

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.173.13 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18.12.2020 г. № 5

О присуждении Лазуренко Дарье Викторовне, гражданство Российская Федерация, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Структура и свойства слоистых композиционных материалов с интерметаллидной составляющей» по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении) принята к защите 10 сентября 2020 г., протокол № 11, диссертационным советом Д 212.173.13 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки России, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, Приказ 717/НК от 09.11.2012 г.

Соискатель Лазуренко Дарья Викторовна 1987 года рождения. В 2009 г. окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет». В 2011 г. защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении) «Структура и механические свойства слоистых материалов на основе титана и алюминия, полученных по технологии сварки взрывом и дополнительной термической обработки» в совете Д 212.173.13 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет». С 2016 по 2019 гг. обучалась в очной докторантуре Новосибирского государственного технического университета. В настоящее время является доцентом кафедры материаловедения в машиностроении и старшим научным сотрудником в научно-исследовательской лаборатории физико-

химических технологий и функциональных материалов Новосибирского государственного технического университета.

Диссертация Лазуренко Д. В. выполнена на кафедре материаловедения в машиностроении Новосибирского государственного технического университета, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор Батаев Анатолий Андреевич, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», ректор.

Официальные оппоненты:

Гуревич Леонид Моисеевич, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», заведующий кафедрой «Материаловедение и композиционные материалы»,

Прибытков Геннадий Андреевич, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник лаборатории физики наноструктурированных функциональных материалов,

Имаев Валерий Мазитович, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией 07 «Металловедение труднодеформируемых сплавов»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск., в своем **положительном заключении**, подписанном заведующим кафедрой – руководителем отделения материаловедения на правах кафедры доктором технических наук, профессором Клименовым Василием Александровичем, ученым секретарем, кандидатом технических наук, доцентом отделения материаловедения

Ваулиной Ольгой Юрьевной, и утвержденном проректором по науке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», доктором химических наук, профессором Юсубовым М. С. указывает, что диссертация Лазуренко Д. В. является законченной научно-квалификационной работой и в полной мере соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ (Постановление Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к докторским диссертациям. Работа содержит новые научно обоснованные технические решения, направленные на получение новых композиционных материалов с повышенным уровнем удельных свойств, внедрение которых внесет существенный вклад в развитие экономики страны в сфере материалов машиностроительного и иного назначения. Автор диссертации заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.09 - Материаловедение (в машиностроении)

Соискатель имеет 111 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 45 работ, из них работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, 43. Другие публикации по теме диссертационной работы представлены в виде патентов и материалов научных конференций. Общий объем опубликованных работ – 44 печатных листа, авторский вклад – 11,8 печатных листов. Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Структурные преобразования, происходящие в процессе сварки взрывом легированной стали и высокопрочного титана / Д. В. Лазуренко, В. И. Мали, И. А. Батаев, В. А. Батаев [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2018. – Т. 119, № 5. – С. 495–503.

2. Synthesis of metal-intermetallic laminate (MIL) composites with modified Al_3Ti structure and in situ synchrotron X-ray diffraction analysis of sintering process / D. V. Lazurenko, I. A. Bataev, V. I. Mali, A. M. Jorge [et al.] // Materials and Design. – 2018. – Vol. 151. – P. 8–16.

3. Formation of Ti-Al intermetallics on a surface of titanium by non-vacuum electron beam treatment / D. V. Lazurenko, I. A. Bataev, I. S. Laptev, A. A. Ruktuev [et al.] // Materials Characterization. – 2017. – Vol. 134, iss. – P. 202–212.

4. Explosively welded multilayer Ti-Al composites: Structure and transformation during heat treatment / D. V. Lazurenko, I. A. Bataev, V. I. Mali, A. A. Bataev [et al.] // *Materials and Design*. – 2016. – Vol. 102. – P. 122–130.

5. Metal-Intermetallic Laminate Ti-Al₃Ti Composites Produced by Spark Plasma Sintering of Titanium and Aluminum Foils Enclosed in Titanium Shells / D. V. Lazurenko, V. I. Mali, I. A. Bataev [et al.] // *Metallurgical and Materials Transactions A*. – 2015. – Vol. 46, iss. 9. – P. 4326–4334.

На диссертацию и автореферат поступило 19 отзывов, все отзывы положительные: отзыв доктора технических наук, профессора кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», профессора Шацова А. А. (замечание об отсутствии в автореферате конкретных фактов внедрения; замечание об отсутствии сравнения с мировым уровнем интерметаллидов); отзыв доктора технических наук, начальника сектора по разработке акустико-эмиссионной и тензометрической аппаратуры ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт авиации имени С.А. Чаплыгина», профессора Степановой Л. Н. (замечание об отсутствии описания метода численного моделирования процессов соударения заготовок из титана и алюминия; замечание о выборе легирующих элементов из 4 ряда периодической системы вместо традиционно используемых для алюминидов титана Ta, Nb, Mo); отзыв доктора технических наук, главного научного сотрудника лаборатории физики упрочнения поверхности ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, профессора Сизовой О. В. (замечание о затруднении в наблюдении изменения структуры наплавленных слоев состава Ti-Al от крупнокристаллической до пластинчатой на рис. 15; замечание об отсутствии анализа причин снижения износостойкости и трещиностойкости, результаты определения которых приведены на стр. 23-24); отзыв доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника лаборатории лазерных технологий ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, профессора Оришича А. М. (без замечаний); отзыв доктора технических наук, профессора кафедры «Технологии сварочного и

металлургического производства» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», профессора Муравьева В. И. (без замечаний); отзыв доктора технических наук, профессора кафедры обработки металлов давлением ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева», доцента Ерисова Я. А. и доцента кафедры технологии материалов и авиационного материаловедения ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева», доцента Носовой Е. А. (замечание об отсутствии информации о соотношении долей компонентов слоистых композитов, для которых определялось относительное удлинение на с.17 и об отсутствии информации о соотношениях объёмной доли титана и упрочнителя, для которых было выявлено положительное влияние на пластичность и вязкость композита; замечание о недостаточном освещении в автореферате свойств получаемых композитов; замечание о недостаточном пояснении рис. 8, из которого не понятны этапы формирования интерметаллида и равномерность протекания превращений в нижних и верхних слоях многослойного пакета; рекомендация по нормированию длительности спекания); отзыв доктора технических наук, заведующего кафедрой «Строительная механика» ФГОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», профессора Герасимова С. И. (без замечаний); отзыв доктора технических наук, директора производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», профессора Ситникова А. А. (замечание об отсутствии пояснения механизма процесса фазообразования многослойного композита, армированного частицами твердой фазы, в частности пояснения причин формирования МАХ-фазы при 1250 °С); отзыв доктора химических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории химического материаловедения ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, старшего научного сотрудника Григорьевой Т. Ф. (замечание о размытости и многословности в изложении научной новизны и формулировках выводов); отзыв доктора технических наук, профессора кафедры МТ 8 ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», профессора Федоровой Л. В. (замечание об

отсутствии указания в четвертом выводе, посвященном описанию эффективного технологического процесса спекания слоистых пакетов, второго этапа спекания чистых компонентов с порошками упрочняющей фазы, который реализуется при температуре 1250 °С в течение 5 минут; замечание об отсутствии пояснений по выбору количества слоев композиций); отзыв доктора технических наук, ведущего научного сотрудника ФГБУН Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Валитова В. А. (замечание об отсутствии анализа влияния частиц TiB_2 , не вступающих в реакцию при спекании слоистых композитов на основе алюминидов титана с матрицей, на трещиностойкость и малоцикловую усталость); отзыв доктора технических наук, профессора кафедры технологии металлов ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», профессора Матюнина В. М. (без замечаний); отзыв доктора химических наук, научного сотрудника отделения структурного анализа Федерального института материаловедения (г. Берлин, Германия), Юсенко К. В. (замечание об отсутствии пояснения о величине и характере давления, упомянутого на стр. 14, а также о его влиянии на фазовые превращения в системе; замечание об отсутствии на стр. 18 краткого пояснения сути дифракционного эксперимента, проведенного на линии P07 немецкого электронного синхротрона и ошибочном названии геометрии съемки методом Дебая-Шеррера; замечание об отсутствии информации о длине волны на стр. 19, неудачном графическом исполнении рис. 11 и отсутствии на этом рисунке данных об энергии синхротронного излучения, а также об отсутствии анализа фазовых превращений при охлаждении; замечание об отсутствии указания метода анализа дифракционных картин в автореферате; замечание о недостаточно четком указании природы фазы, формирующейся при взаимодействии меди и алюминия, на стр. 20; замечание об отсутствии сравнения полученных фаз с фазовыми диаграммами); отзыв доктора технических наук, директора ООО «Кузбасский Инженерный Консультационный Центр», профессора кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», профессора Смирнова А. Н. (без замечаний); отзыв доктора технических наук, заведующего кафедрой металлургических технологий Нижнетагильского технологического института (филиала) ФГАОУ ВО «Уральский

федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», доцента Шевченко О. И. (без замечаний); отзыв доктора технических наук, проректора по научной работе и инновациям Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», профессора Сизова И. А. и кандидата технических наук, старшего преподавателя кафедры «Металловедение и технологии обработки материалов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» Полянского И. П. (без замечаний); отзыв доктора технических наук, декана машиностроительного института, заведующего кафедрой «Машиностроение и материаловедение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет», профессора Еремина Е. Н. (замечание об отсутствии патентов на композиционные материалы различных составов; вопрос о перспективах дальнейшего развития темы исследования); отзыв доктора физико-математических наук, профессора Института ядерной физики и технологий Национального исследовательского ядерного университета «Московский инженерно-физический институт», профессора Калина Б. А. (замечание об отсутствии информации о масштабируемости полученных результатов и об отсутствии информации о практическом применении композитов в промышленных изделиях или макетных образцах).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается близостью решаемых ими научных задач к тематике диссертационной работы Лазуренко Д. В., наличием публикаций в области изучения структуры и свойств интерметаллидных сплавов и композиционных материалов с интерметаллидной фазой, а также методов высокоэнергетической обработки материалов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная идея по созданию слоистых металл-интерметаллидных композиционных материалов с модифицированной структурой триалюминид титана, характеризующихся повышенным уровнем трещиностойкости,

обогащающая научную концепцию формирования структуры разнородных металлических материалов в процессе их нагрева;

предложены оригинальные суждения о закономерностях взаимодействия алюминия и титана с переходными элементами и реакциях, протекающих в этих системах в зависимости от кристаллической структуры третьего компонента и температуры его плавления;

доказана перспективность использования предварительной сварки взрывом металлических пластин алюминия и титана при формировании металл-интерметаллидных композиционных материалов с точки зрения ускорения процесса их производства;

введены – новые понятия и термины не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность формирования модифицированной кубической $L1_2$ структуры триалюминид титана в композиционном материале с избытком титана в условиях нагрева чистых компонентов;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс базовых методов исследований в области материаловедения, в том числе методы растровой и просвечивающей электронной микроскопии, микрорентгеноспектрального анализа, дифракционные методы исследования фазового состава, включая *in situ* метод дифракции рентгеновского синхротронного излучения, методы определения свойств материалов, численное моделирование, а также методы математической статистики для обработки экспериментальных данных;

изложены факторы, способствующие снижению количества дефектов в виде пор и трещин в интерметаллидном слое, стабилизации триалюминид титана кубической модификации, обеспечению максимальной доли этой фазы в структуре композита «Ti-Al₃Ti» и минимизации объемной доли побочных продуктов реакций, развивающихся в процессе синтеза композитов;

раскрыты несоответствия между результатами экспериментальных исследований и опубликованными ранее литературными данными о влиянии различных элементов на процесс стабилизации триалюминид титана с $L1_2$ структурой;

изучены причинно-следственные связи между процессом структурообразования в сваренных взрывом пакетах при их нагреве и параметрами динамического взаимодействия пластин титана и алюминия;

модернизация существующих математических моделей, алгоритмов и/или численных методов не проводилась.

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

разработаны металл-интерметаллидные композиты с прослойками триалюминид титана, характеризующимися повышенным уровнем трещиностойкости, выбраны эффективные легирующие элементы, стабилизирующие структуру триалюминид титана в составе металл-интерметаллидного композиционного материала и обоснованы технологические режимы их производства;

результаты диссертационной работы **внедрены** на федеральном казенном предприятии «Новосибирский опытный завод измерительных приборов» в виде технических решений по формированию стыковых соединений из разнородных материалов с использованием промежуточных вставок, изготовленных методом сварки взрывом; в ПАО «Компания «Сухой» «Новосибирский авиационный завод имени В.П. Чкалова» и в Сибирском научно-исследовательском институте авиации имени С.А. Чаплыгина, г. Новосибирск в виде методических рекомендаций, содержащих алгоритмы и программные коды для анализа дифракционных данных; в АО «Катод», г. Новосибирск; на предприятии «СКБ Сибэлектротерм»; в Новосибирском государственном техническом университете при реализации учебного процесса;

определены перспективы практического применения результатов исследований, полученных методом дифракции рентгеновского синхротронного излучения в режиме *in situ* для разработки новых материалов;

создана система практических рекомендаций по выбору рациональных структурных составляющих и технологических режимов формирования слоистых композиционных материалов с заданными свойствами;

представлены методические рекомендации по анализу данных, полученных методом дифракции рентгеновского синхротронного излучения в режиме *in situ*, и

наглядному представлению фазовых превращений, протекающих в материалах при внешнем воздействии.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты экспериментальных исследований получены с использованием сертифицированного аналитического и испытательного оборудования мирового уровня, показано соответствие результатов, полученных различными методами; воспроизводимость результатов экспериментальных измерений и их достоверность обеспечивается статистической обработкой данных;

теория построена на проверяемых данных и согласуется с опубликованными экспериментальными исследованиями по теме диссертационной работы;

идея синтеза интерметаллидных структур в составе слоистых материалов системы «титан – алюминий» **базируется** на обобщении передового отечественного и зарубежного опыта в области материаловедения композиционных материалов;

использованы экспериментальные данные о структурно-фазовых преобразованиях, развивающихся в процессе синтеза алюминидов титана в составе композиционных материалов в сравнении с данными, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

установлено качественное совпадение полученных автором экспериментальных данных с отдельными результатами в области исследования синтеза интерметаллидных слоев, зафиксированными в независимых источниках;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации для проведения структурных исследований; программное обеспечение для выполнения полнопрофильного анализа рентгенограмм; база данных ICDD PDF-4+ для идентификации фаз; современные подходы к обработке данных *in situ* исследований фазовых превращений методом дифракции рентгеновского синхротронного излучения; программный пакет Ansys Autodyne для расчета параметров процессов, развивающихся в зоне соударения пластин при сварке взрывом.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке целей и задач исследований; участии в планировании и проведении экспериментов по сварке взрывом и электроискровому спеканию (совместно с к.ф.-м.н. В.И. Мали и М.А. Есиковым), а также поверхностной электронно-лучевой обработке (совместно с

к.ф.-м.н. М.Г. Голковским); постановке экспериментов по *in situ* исследованиям фазовых преобразований в трехкомпонентных системах методом дифракции рентгеновского синхротронного излучения (совместно с А. Stark и L. Song); проведении электронно-микроскопических исследований; проведении испытаний полученных материалов и обсуждении результатов совместно с сотрудниками кафедры материаловедения в машиностроении НГТУ и Исследовательского центра им. Гельмгольца (г. Гестахт, Германия); анализе полученных закономерностей, обработке и обобщении результатов, формулировании выводов и положений, выносимых на защиту, написании статей по теме диссертации с личным вкладом в объеме 11,8 печатных листа.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Д.В. Лазуренко представляет собой законченную научно-квалификационную работу, соответствующую всем критериям действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития технологий металл-интерметаллидных композиционных материалов.

На заседании 18 декабря 2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Лазуренко Д. В. ученую степень доктора технических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 17, против – 0, воздержались – 0.

Председатель диссертационного совета

Н. В. Пустовой

Ученый секретарь диссертационного со

А. Г. Тюрин

«18» декабря 2020 г.