ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.347.03, СОЗДАННОГО 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 КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК.

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 30 июня 2022 г. № 1

О присуждении Рашковец Марии Владимировне, гражданство Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Структура и свойства никелевых сплавов, полученных по аддитивной технологии с использованием метода прямого лазерного выращивания» **по специальности** 2.6.17 – «Материаловедение» принята к защите 05 апреля 2022 г., протокол № 5 диссертационным советом 24.2.347.03, созданным 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.

Соискатель Рашковец Мария Владимировна 04 октября 1991 года рождения. В 2017 году соискатель окончила магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению 22.04.01 – «Материаловедение и технологии материалов». В августе 2021 г. окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению 22.06.01 – «Технологии материалов». В настоящее время работает инженером в Центре коллективного пользования «Структура, механические и физические свойства материалов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре материаловедения в машиностроении Новосибирского государственного технического университета, Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Никулина Аэлита Александровна, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», профессор кафедры материаловедения в машиностроении.

Официальные оппоненты:

Шаркеев Юрий Петрович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией физики наноструктурных биокомпозитов;

Соболева Наталья Николаевна, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник лаборатории конструкционного материаловедения;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет), г. Самара, **в своем положительном отзыве,** подписанном Носовой Екатериной Александровной, кандидатом технических наук, доцентом, заведующей кафедрой «Технология металлов и авиационного материаловедения», и утвержденном первым проректором – проректором по научно-исследовательской работе, доктором технических наук, доцентом Прокофьевым Андреем Брониславовичем, **указала**, что диссертация Рашковец М.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ (Постановление Правительства 842 от 24 сентября 2013 г.). Работа содержит новые научно обоснованные результаты, внедрение которых окажет существенный вклад в развитие машиностроительной отрасли и экономики страны в сфере получения

деталей новыми аддитивными технологиями из никелевых сплавов. Автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение».

Соискатель имеет 12 опубликованных работ по теме диссертационного исследования, 2 из которых входят в журналы, рекомендованные ВАК, 8 публикаций представлены в изданиях, индексируемых в базах *Web of Science* и *Scopus*, 2 – в сборниках трудов докладов международных научно-технических конференций. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах отсутствуют. Общий объем опубликованных работ – 6,392 п.л., авторский вклад – 2,08 п.л. Наиболее значительные работы по теме диссертации:

1. Рашковец М.В. Исследование фазового состава никелевого сплава *Inconel* 718, полученного аддитивной технологией / М.В. Рашковец, А.А. Никулина, О.Г. Климова-Корсмик, К.Д. Бабкин, О.Э. Матц, М. Маццаризи // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2020. – Том 22. – № 3. – С. 69–81.

2. Рашковец М.В. Влияние термической обработки на структурно-фазовое состояние и ударную вязкость никелевого сплава Inconel 718 при аддитивном производстве / Рашковец М.В., Кислов Н.Г., Никулина А.А., Климова-Корсмик О.Г. // Фотоника. – 2021. – Том 15. – № 7. – С. 568–575.

3. *Rashkovets M. Microstructure and Phase Composition of Ni-Based Alloy Obtained by High-Speed Direct Laser Deposition / M. Rashkovets, A. Nikulina, G. Turichin, O. Klimova-Korsmik, M. Sklyar // Journal of Materials Engineering and Performance.* – 2018. – *Vol.* 27. – *iss.* 12. – *P.* 6398–6406.

На диссертацию и автореферат поступило 11 отзывов, все они положительные: отзыв от заместителя директора по научной и проектной деятельности института лазерных и сварочных технологий, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», к.т.н. **Землякова Е.В.** (замечания об отсутствии объяснения выбора схемы растягивающей силы при испытании образцов из сплавов систем *Ni-Cr-Mo* и *Ni-Co-Cr*; об отсутствии испытаний на ударную вязкость для образцов из никелевых сплавов на основе систем *Ni-Cr-Mo* и *Ni-Co-Cr*; о целесообразности использования в тексте термина «несплавления» взамен «неслитины»); отзыв от научного сотрудника лаборатории химии твердого тела ФГБУН Института химии твердого тела и механохимии СО РАН, PhD Университета Тохоку **Лапушкиной**

Е.Ю (замечание об отсутствии в тексте автореферата рентгенограмм по результатам рентгенофазового анализа); отзыв от заведующего кафедрой естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», д.ф.-м.н, профессора, заслуженного деятеля РФ, лауреата премии Правительства РФ в области науки и техники **Громова В.Е. и** доцента кафедры естественнонаучных дисциплин им. профессора В.М. Финкеля, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», к.т.н, доцента **Невского С.А.** (замечание об отсутствии в тексте автореферата полного спектра технологических режимов аддитивной установки, применяемых при создании исследуемых материалов); отзыв от главного научного сотрудника управления научно-исследовательской деятельностью, ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», д.т.н, профессора **Муравьева В.И.** (без замечаний); отзыв от заведующего лабораторией контроля качества материалов и конструкций и ведущего научного сотрудника, ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, к.ф.-м.н. **Рубцова В.Е и** старшего научного сотрудника ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, к.т.н. **Фортуны С.В.** (замечание об идентификации электронограмм); отзыв от директора производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет», д.т.н., профессора **Ситникова А.А.** (замечания о процентном соотношении компонентов используемых в работе никелевых сплавов; о выбранных параметрах эффективной энергии лазерного излучения; о пористости, приемлемой для анализируемого материала; о принадлежности размеров частиц порошка к используемым в работе системам; о выбора шага слоя; об отсутствии количественных данных скоростей охлаждения материалов); отзыв от начальника отдела – главного металлурга Ленинградского металлургического завода, АО «Силовые машины», к.т.н. **Корчагина А.М.** (замечание об отсутствии доверительных интервалов в данных по пористости материалов); отзыв от заведующего кафедрой машиностроения и материаловедения, ФГБОУ ВО «Поволожский государственный технологический университет», д.т.н., профессора **Алибекова С.Я.** (без замечаний); отзыв от доцента кафедры технологии

машиностроения, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», д.т.н. **Варданяна Э.Л.** (замечания об отсутствии в автореферате характеристики области разрушения образцов; об отсутствии упоминания способа оценки распределения упрочняющих частиц по объему сплава); отзыв от профессора кафедры технологии металлов, ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», д.т.н. **Матюнина В.М.** (без замечаний); отзыв от главного научного сотрудника лаборатории микромеханики материалов Института машиноведения им. Э.С. Горкунова УРО РАН, д.т.н., доцента **Пугачевой Н.Б.** (замечания об отсутствии в автореферате данных о химическом составе полученных никелевых сплавов; об отсутствии области применения исследованных никелевых сплавов; о целесообразности проведения испытаний на ударную вязкость; об условиях эксплуатации исследуемых сплавов).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается близостью решаемых ими научных задач к тематике диссертационного исследования, их компетентностью в области современного материаловедения, наличием публикаций по проблемам послойных и аддитивных технологий, реализуемых, в частности, с использованием сплавов на основе никеля.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция о закономерностях формирования структурно-фазового состояния никелевых сплавов с различными механизмами упрочнения при реализации аддитивного процесса методом прямого лазерного выращивания опытных образцов, на основе которой возможен контроль формирующейся структуры и фазового состава, обеспечивающих требуемые механические характеристики заготовок;

предложены оригинальные суждения о структурно-фазовых преобразованиях, развивающихся в условиях многократно повторяющегося высокотемпературного воздействия на никелевые сплавы систем *Ni-Cr-Mo*, *Ni-Co-Cr* и *Ni-Fe-Cr* при реализации аддитивного процесса по схеме прямого лазерного выращивания, объясняющие комплекс свойств полученных материалов и позволяющие

прогнозировать структуру и фазовый состав никелевых сплавов при их послойной лазерной наплавке;

доказано наличие зависимостей, описывающих возможность контроля структурно-фазовых состояний никелевых сплавов систем *Ni-Cr-Mo*, *Ni-Co-Cr* и *Ni-Fe-Cr* в процессе формирования опытных образов при послойной наплавке материалов, обладающих требуемым уровнем механических свойств;

введены – новые понятия и термины не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, вносящие вклад в расширение представлений о строении никелевых сплавов систем *Ni-Cr-Mo*, *Ni-Co-Cr* и *Ni-Fe-Cr*, полученных методом прямого лазерного выращивания, которые позволяют прогнозировать свойства материала, формирующиеся в процессе периодически повторяющего высокотемпературного воздействия на материал;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс базовых методов исследования в области материаловедения, в том числе методы световой и электронной (растровой и просвечивающей) микроскопии, микрорентгеноспектрального, рентгенофазового анализа, методы механических испытаний, а также метод численного моделирования температурных полей при реализации аддитивной технологии по схеме прямого лазерного выращивания;

изложены закономерности структурно-фазовых преобразований, происходящих в никелевых сплавах систем *Ni-Cr-Mo*, *Ni-Co-Cr* и *Ni-Fe-Cr* в процессе прямого лазерного выращивания объектов в зависимости от применяемых технологических режимов, а также закономерности разрушения многослойных материалов при статическим, динамическом и циклическом нагружении опытных образцов;

раскрыта особенность влияния карбонитридов $(Nb,Ti)NC$ в никелевом сплаве системы *Ni-Fe-Cr* на перераспределение элементов с выделением γ'-фазы как основной упрочняющей составляющей сплава, сформированного в условиях повторяющегося высокотемпературного воздействия на материал;

изучена связь эффективной энергии лазерного излучения, типа формируемой структуры и фазового состава опытных образцов из никелевых сплавов систем *Ni-Cr-Mo*, *Ni-Co-Cr* и *Ni-Fe-Cr*, полученных методом прямого лазерного

выращивания, а также влияние структурно-фазовых особенностей на механические свойства материалов с приложением нагрузки параллельно и перпендикулярно направлению роста слоев при статическом, динамическом и циклическом нагружении;

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

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

разработаны практические рекомендации для реализации аддитивного процесса по схеме прямого лазерного выращивания никелевых сплавов систем *Ni-Cr-Mo*, *Ni-Co-Cr* и *Ni-Fe-Cr* и получения образцов со структурой, характеризующейся минимальным количеством пор, отсутствием трещин и заданным структурно-фазовым составом;

результаты **внедрены** в учебный процесс при подготовке бакалавров по направлению «Материаловедение и технологии материалов» в НГТУ; результаты диссертационной работы **апробированы** в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН;

определены перспективы практического применения результатов экспериментальных исследований для создания сложнопрофильных деталей из никелевых сплавов систем *Ni-Cr-Mo*, *Ni-Co-Cr* и *Ni-Fe-Cr* с использованием метода прямого лазерного выращивания;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию механических характеристик аддитивно сформированных никелевых сплавов посредством дополнительной термической обработки;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты исследований получены на сертифицированном оборудовании мирового уровня с применением методов статистической обработки экспериментальных данных; показана воспроизводимость результатов, полученных взаимодополняемыми методами исследований;

теория формирования структурно-фазовых состояний многослойных материалов, формирующихся методом прямого лазерного выращивания, построена на

проверяемых данных и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертационного исследования и смежным отраслям;

идея работы базируется на анализе практики получения бездефектных образцов никелевых сплавов, характеризующихся необходимым уровнем механических свойств; обобщении передового опыта в области материаловедения, многопроходной сварки, наплавки и аддитивных технологий;

использованы экспериментальные и теоретические данные, полученные ранее специалистами по изучению структуры, фазового состава и свойств никелевых сплавов, сформированных с использованием традиционных и аддитивных технологических процессов;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с отдельными результатами, представленными в независимых источниках по сварке, наплавке и аддитивным технологиям с применением никелевых сплавов;

использованы современные методики сбора и обработки экспериментальных данных и данных математического анализа.

Личный вклад соискателя состоит в подготовке литературного обзора по тематике диссертационного исследования, формулировании задач диссертационного исследования, подготовке образцов для всех видов исследований, проведении структурного анализа с использованием световой микроскопии, оценке фазового состава методами рентгенофазового анализа (совместно с к.т.н, доцентом Веселовым С.В.) и просвечивающей электронной микроскопии (совместно с к.т.н, доцентом Смирновым А.И.), проведении механических испытаний (совместно с д.т.н., доцентом Попелюхом А.И.), а также анализе полученных результатов, их обобщении и сопоставлении с литературными данными, формулировании выводов и положений, выносимых на защиту.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- о целесообразности проведения высокотемпературных испытаний.

Соискатель Рашковец М.В. согласилась с замечаниями, ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию: диссертационная работа акцентировалась на выявлении закономерностей структурно-фазового состояния многослойных экспериментальных заготовок из

никелевых сплавов, полученных аддитивным методом. При этом учитывались существующие представления о влиянии тех или иных упрочняющих фаз на свойства никелевых сплавов. Проведение высокотемпературных испытаний готовых изделий может являться дальнейшим развитием представленных исследований.

На заседании 30 июня 2022 г. диссертационный совет принял решение за решение научной задачи в области формирования структурно-фазового состояния никелевых сплавов с использованием аддитивной технологии по схеме прямого лазерного выращивания, имеющей значение для развития современного материаловедения, присудить Рашковец М.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук (по специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель диссертационного сове Николай Васильевич

Ученый секретарь диссертационного Андрей Геннадиевич

«30» июня 2022 г.