

Заключение диссертационного совета 31.1.002.01, созданного на базе федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ), Российская Федерация, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «18» декабря 2025 г. № 27

О присуждении Рогалеву Алексею Михайловичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Формирование структуры и физико-механических свойств синтезированного материала жаропрочного никелевого сплава ЭП648, полученного методом селективного лазерного сплавления» по научной специальности 2.6.17. Материаловедение принята к защите 16 октября 2025 г. (протокол заседания № 23) диссертационным советом 31.1.002.01, созданным на базе федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 17, приказ Минобрнауки России от 24.10.2022 г. № 1363/нк «О выдаче разрешения на создание совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе федерального государственного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Соискатель Рогалев Алексей Михайлович, 27 июля 1988 года рождения, в 2010 году окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет «МАМИ» по специальности «Автомобиле и- тракторостроение». Справка о периоде обучения № 0031 выдана 04.04.2019 г. федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Москва.

Рогалев Алексей Михайлович с 2011 г. работает в НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ в лаборатории № 616 «Порошковая металлургия и аддитивное производство», с 2022 г. работает в должности заместителя начальника лаборатории.

Диссертация выполнена в лаборатории № 616 «Порошковая металлургия и аддитивное производство» федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Научный руководитель – кандидат технических наук Сухов Дмитрий Игоревич, ведущий научный сотрудник лаборатории «Порошковая металлургия и аддитивное производство» федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Официальные оппоненты:

– Маликов Александр Геннадьевич, доктор технических наук, заведующий лабораторией «Лазерные технологии» федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН;

– Суфияров Вадим Шамилевич, кандидат технических наук, доцент, доцент Научно-образовательного центра «Конструкционные и

функциональные материалы» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук в своем положительном отзыве, подписанном заведующим лабораторией прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов, главным научным сотрудником, член-корреспондентом РАН, д.т.н. Колмаковым Алексеем Георгиевичем и утвержденным заместителем директора по научной работе ИМЕТ РАН, д.т.н. Юсуповым Владимиром Сабитовичем, указала, что диссертационная работа Рогалева Алексея Михайловича на тему: «Формирование структуры и физико-механических свойств синтезированного материала жаропрочного никелевого сплава ЭП648, полученного методом селективного лазерного сплавления», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. Материаловедение, представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, имеющую актуальность, научную новизну, практическую ценность, и в полной мере удовлетворяет всем требованиям, установленным пунктам 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013), а ее автор Рогалев Алексей Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. Материаловедение.

Соискатель имеет 59 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 научных работ, из них 6 - в изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России, 2 - в журналах, включенных в международные системы цитирования Scopus, и 2 патентах Российской Федерации.

В опубликованных работах содержатся основные научные и практические результаты, изложенные в диссертационной работе соискателя. Все работы выполнены в соавторстве. Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке задач, проведении экспериментальных исследований, сборе и интерпретации данных, разработке научно-технической документации.

Наиболее значимые работы:

1. Сухов Д.И., Капланский Ю.Ю., Рогалев А.М., Куркин С.Э. Особенности получения высокохромистых сплавов на основе никеля методом селективного лазерного сплавления // Труды ВИАМ. 2023. № 1 (119). С. 15-27.
2. Оспенникова О.Г., Наприенко С.А., Медведев П.Н., Зайцев Д.В., Рогалев А.М. Особенности формирования структурно-фазового состояния сплава ЭП648 при селективном лазерном сплавлении // Труды ВИАМ. 2021. № 8 (102). С. 3-11.
3. Оспенникова О.Г., Мин П.Г., Рогалев А.М., Вадеев В.Е. Исследование химического состава, структуры и механических свойств сплава ЭП648, полученного методами деформации, литья по выплавляемым моделям и селективного лазерного сплавления // Вопросы материаловедения. 2020. 1(101). С.44-54. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2020-101-1-44-54>.
4. Быценко О.А., Чабина Е.Б., Филонова Е.В., Рогалев А.М. Взаимосвязь дефектов структуры жаропрочного никелевого сплава, полученного методом селективного лазерного сплавления, стратегии и параметров сканирования // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016. № 3. С. 121-132.
5. Евгенов А.Г., Рогалев А.М., Карачевцев Ф.Н., Мазалов И.С. Влияние горячего изостатического прессования и термической обработки на свойства сплава ЭП648, синтезированного методом селективного лазерного сплавления // Технология машиностроения. 2015. № 9. С. 11-16.
6. Евгенов А.Г., Рогалев А.М., Неруш С.В., Мазалов И.С. Исследование свойств сплава ЭП648, полученного методом селективного

лазерного сплавления металлических порошков // Труды ВИАМ. 2015. № 2. С.2.

Публикации, индексируемые в базе Scopus:

7. Bakradze M.M., Rogalev A.M., Sukhov D.I., Aslanyan G.G. Special features of formation of surface by selective laser melting // Metal Science and Heat Treatment. 2022. Т. 64. № 1-2. С. 108-116.

8. Мин П.Г., Сухов Д.И., Вадеев В.Е., Рогалев А.М. Влияние режима термической обработки на структуру и механические свойства коррозионно-стойкого жаропрочного сплава ВЖЛ718, полученного методом селективного лазерного сплавления // Металловедение и термическая обработка металлов. 2022. № 12 (810). С. 52-61.

В ходе выполнения диссертационной работы получены два патента на изобретение:

1. Каблов Е.Н., Евгенов А.Г., Неруш С.В., Афанасьев-Ходыкин А.Н., Щербаков А.И., Рогалев А.М. Способ получения металлического порошка. Патент на изобретение RU 2492028 С1, 10.09.2013. Заявка № 2012127429/02 от 02.07.2012.

2. Каблов Е.Н., Неруш С.В., Евгенов А.Г., Рогалев А.М., Василенко С.А., Ходырев Н.А., Сухов Д.И. Способ изготовления деталей послойным лазерным сплавлением металлических порошков жаропрочных сплавов на основе никеля. Патент на изобретение RU 2623537, 27.06.2017. Заявка № 2015148793 от 13.11.2015.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Отзыв ведущей организации подписан заведующим лабораторией прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов, главным научным сотрудником, член-корреспондентом РАН, д.т.н. Колмаковым Алексеем Георгиевичем и утвержден заместителем директора по научной работе ИМЕТ РАН, д.т.н. Юсуповым Владимиром Сабитовичем. Отзыв рассмотрен и утвержден на совместном коллоквиуме сотрудников лаборатории прочности и пластичности металлических

материалов и композиционных материалов и наноматериалов и лаборатории конструкционных сталей и сплавов ИМЕТ РАН (протокол № 3 от 19.11. 2025).
Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- из изображений, приведённых на рис. 3.4, сложно сделать однозначные выводы о наличии или отсутствии микротрещин в синтезированном материале ЭП648-ПС, изготовленном в среде азота и в среде аргона. Для точного определения наличия микротрещин и пустот в материале рекомендуется привести статические данные по количеству обработанных изображений и долей дефектов, выявленных в синтезированном в среде азота и аргона материале;

- в разделе 3.4 приведен сравнительный анализ структуры синтезированного материала ЭП648-ПС со структурой литого материала ВХ4Л. Литой материал ВХ4Л обрабатывается по схеме закалка с последующим старением, синтезированный материал ЭП648-ПС – горячее изостатическое прессование с последующим старением. В тексте диссертации не проведен сравнительный анализ характера формирования структуры литого и синтезированного материала.

- в разделе 2.2 на стр. 42 указано, что в работе проводили измерение пикнометрической плотности, однако по тексту работы результаты этих исследований не представлены;

- хотя установлено влияние кислорода на трещинообразование, недостаточно раскрыта роль других примесей (серы, азота, углерода) и их взаимодействия с основными легирующими элементами (Cr, Mo, W).

- выявлено образование наноразмерных нитридов хрома после ГИП+ТО, но не изучены кинетика и термодинамика их образования, а также не представлены температурно-временные диапазоны оптимального выделения упрочняющих фаз;

- технологический процесс сплавления представлен для сред «азот» и «аргон» с выявлением кинетики структурообразования, однако не

рассмотрены другие защитные технологические среды, например, «гелий» или «гелий-аргоновая смесь», с целью определения наилучшей среды синтеза.

Сделанные замечания, однако, не снижают общую положительную оценку работы, ее научную и практическую значимость, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

2. Отзыв на диссертацию официального оппонента Маликова Александра Геннадьевича, доктора технических наук, заведующего лабораторией «Лазерные технологии» федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- не исследовалась форма единичного трека (дорожки) в зависимости от энергетических режимов процесса селективного лазерного сплавления;

- в работе рассматривается плотность энергии (энергия на единицу объема расплавленного материала выраженная формулой $E = \frac{P}{V h_c l}$ размерностью [Дж/мм³] где P - мощность лазерного излучения, V - скорость сканирования, h_c - толщина слоя, l - расстояние между проходами лазера. Почему на рисунке 3.6, а также в некоторых местах в тексте диссертации плотность энергии размерностью [Дж/мм²] или это затраты энергии на единицу площади, а не плотность;

- в диссертации не указаны параметры лазерного излучения, тип лазера, диаметр сфокусированного излучения, фокусное расстояние. Варьировались ли при оптимизации два последних параметра;

- на структуру материала в технологии селективного лазерного сплавления влияет скорость кристаллизации и градиент температур. Проводились исследования по влиянию температуры платформы построения на порообразование и структуру материала?

– согласно тексту диссертации результаты, полученные при сравнении двух фракций (10-40 мкм и 10-63 мкм), показывают сопоставимые значения по относительной плотности синтезированного материала, однако фракция с размерностью 10-63 мкм наиболее технологичная, обеспечивает плотноупакованный слой. Почему это повлияло на плотность, ведь диапазоны фракций перекрываются. Сравнивалось ли распределение частиц по размерам в этих фракциях?

– в главе 3 указано, что нитридов в структуре после СЛС не выявлено, однако в главе 4 в структуре материала после ГИП+ТО выявлены нитриды хрома, с чем это связано?

– в работе не указаны режимы горячего изостатического прессования и термообработки. Т.к. структура после селективного лазерного сплавления отлична от структуры литого материала, возникает вопрос, оптимизировались ли режимы пост обработки для материала, полученного после селективного лазерного сплавления?

Указанные замечания не снижают ценности диссертационной работы в целом, которая посвящена актуальному научно-техническому направлению получения изделий в авиационной и космической промышленности на основе жаропрочного никелевого сплава марки ЭП648 с помощью селективного лазерного сплавления.

3. Отзыв на диссертацию официального оппонента Суфиярова Вадима Шамилевича, кандидата технических наук, доцента, доцента научно-образовательного центра «Конструкционные и функциональные материалы» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Отзыв положительный.

Имеются замечания:

– в разделе 3.5, научной новизне, положениях, выносимых на защиту, выводах отмечено критическое значение содержания кислорода на

образование микротрещин. Как считаете, в чем заключается механизм воздействия кислорода на зарождение/появление трещин?

– схема, представленная на рис.3.5, не совсем корректна, она отражает стандартный шаблон сканирования внутренних площадей и боковых поверхностей, тогда как в программном обеспечении имеются отдельные настройки для верхних и нижних поверхностей (UpSkin и DownSkin) для которых проводилось измерение шероховатости;

– в разделе 3.3.3 приводятся значения плотности энергии, но в размерности Дж/мм², тогда как ранее и в указанном в разделе 3.3.1 уравнении (1) вычисления объемной плотности энергии СЛС измеряется в Дж/мм³. Так по какому уравнению производится вычисление плотности энергии на контуре для оценки ее влияния на качество поверхности?

– не везде показано в какой среде (азот или аргон) образцы были изготовлены. Например, в разделе 4.2 только одна таблица которая четко демонстрирует различия свойств от инертной среды, по другим данным остается неопределенность;

– в научной новизне и выводах утверждается положительное влияние нитридов на сопротивление ползучести, однако данных по измерению ползучести не приведено;

– на рис. 4.8 представлены кривые длительной прочности. Возникает вопрос: почему экспериментальные точки нанесены четко по времени (100 ч, 500 ч), а не группируются по нагрузке?

Указанные замечания не снижают ценность и положительную оценку представленной научной работы.

Отзывы на автореферат:

1. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», отзыв подписан старшим научным сотрудником Научно-учебного центра СВС, доцентом кафедры Порошковой

металлургии и функциональных покрытий, доктором технических наук Логиновым Павлом Александровичем.

Имеются замечания:

– по результатам третьей итерации экспериментов по оптимизации режимов СЛС сделан вывод об изменении размера пор в зависимости от атмосферы рабочей среды. Проводили ли статистическую обработку данных о размере пор?

– в тексте неоднократно встречаются упоминания о формировании карбидов Me_{23}C_6 и MeC ; их важная роль, в том числе, отмечается в выводах? Из текста автореферата неясно, каково происхождение углерода в сплаве и его содержание;

– в разделе, посвященном исследованию влияния содержания кислорода на структуру синтезированного материала, недостаточно подробно описано, как осуществлялась варьирование кислорода. Какое количество точек было использовано для построения кривых зависимости объемной доли трещин от содержания кислорода?

2. Филиал публичного акционерного общества «ОДК-Сатурн»- ОМКБ», отзыв подписан главным металлургом, кандидатом технических наук Лавриком Евгением Геннадьевичем.

Имеется замечание (рекомендательный характер): в работе обоснован выбор двух толщин слоя металлопорошковых композиций в 40 и 80 мкм без рассмотрения меньших толщин, например, в 30 или 20 мкм.

3. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», отзыв подписан руководителем лаборатории SLS печати ПИШ «СтанкоИнструментТех», кандидатом технических наук Федоровым Алексеем Аркадьевичем.

Имеются замечания:

– недостаточно подробно описаны методы подготовки образцов для микроструктурного анализа;

– в пятой главе представлены две разработанные технологии изготовления заготовок деталей из синтезированного материала жаропрочного никелевого сплава ЭП648, однако не указаны достигнутые точности изготовления указанных заготовок.

4. Акционерное общество производственно-конструкторское объединение «Теплообменник», отзыв подписан главным металлургом Харчевым Русланом Михайловичем.

Имеются замечания:

– не приведены данные по чистоте аргона, в частности, по кислороду и азоту, так как повышенное содержание последнего также может приводить к формированию нитридов в синтезированном материале, но в меньшем количестве, чем в азоте;

– в работе для определения пористости синтезированного материала используются два метода исследования: оптический по изображениям микроструктуры материала и гидростатический. Не указано, какой из методов является наиболее точным при определении пористости синтезированного материала сплава ЭП648.

5. Акционерное общество «Корпорация «Московский институт теплотехники», отзыв подписан заместителем начальника отделения и главного технолога - начальником отдела, кандидатом технических наук Геровым Михаилом Владимировичем.

Имеется замечания:

– из рисунка 15 автореферата не ясно, какое количество образцов было испытано для определения длительной прочности синтезированных в среде аргона и азота образцов, что требуется для оценки достоверности полученных результатов;

– по тексту автореферата сказано, что синтезированные образцы в любом состоянии превосходят литой ВХ4Л (ЭП648 в литом состоянии), однако не указано, проводили ли термическую обработку на литом материале.

6. Акционерное общество «Национальный центр вертолетостроения им. М.Л. Миля и Н.А. Камова», отзыв подписан заместителем главного конструктора ОРПТ, кандидатом технических наук Слизовым Александром Кузьмичом.

Имеются замечания:

– в автореферате не указано, проводилось ли исследование микроструктуры в зависимости от направления построения образцов (вертикальное, горизонтальное) при СЛС, что может влиять на анизотропию механических свойств синтезированного материала;

– в работе показано влияние содержания кислорода на образование микротрещин, однако не раскрыт механизм влияния кислорода на формирование данных дефектов.

7. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», отзыв подписан доктором технических наук, профессором Федоровой Лилией Владимировной.

Имеются замечания:

– в соответствии с формулой (1), приведенной в автореферате, размерностью измерения плотности энергии должна быть Дж/мм³, при этом на рисунке 3 в качестве размерности указана Дж/мм². Требуется уточнение в части различия размерностей;

– уменьшить количество формирующихся дефектов (микротрещин) при селективном лазерном сплавлении возможно путем подогрева платформы построения. По тексту автореферата не указано, был ли подогрев платформы построения и исследовали ли влияние температуры подогрева на объемное содержание микротрещин.

8. Акционерное общество «ОДК-Климов», отзыв составлен ведущим специалистом – руководителем группы УГМет Живушкиным Алексеем Алексеевичем и подписан генеральным конструктором Продановым

Евгением Степановичем, врио главного металлурга Козловой Е.А, заместителем главного конструктора по перспективным разработкам, к.т.н. Липиным Алексеем Владимировичем, начальником лаборатории по исследованию материалов, к.т.н. Музафаровой Светланой-Викторией Рустамовной и руководителем группы научных программ-секретарем НТС Орловой Еленой Юрьевной.

Имеются замечания:

– по рис. 8 автореферата, с материаловедческой точки зрения непонятно объяснение отличий показателей роста объемной доли трещин от содержания кислорода в зависимости от направления построения XY и XZ. Нам представляется, что с увеличением содержания кислорода, независимо от направления, возможно, изменяется стехиометрия соединения CrN (нитрид Cr) на Cr–O–N (оксинитрид Cr), что сопровождается увеличением твёрдости и увеличением сжимающих остаточных напряжений, по сравнению с чистым CrN. При, примерно, одинаковых параметрах кристаллической решетки нитрида хрома и оксинитрида хрома фиксируется уменьшение размеров наночастиц соединений при росте оксинитридной составляющей, и, следовательно, исходя из соотношения Холла-Петча, ожидается дополнительное увеличение прочности и твердости. Последнее, не исключено, приводит к увеличению объемной доли микротрещин, что мы и наблюдаем из графика;

– из автореферата не прослеживаются технологические и практические последствия выполненной работы, а именно:

– планируется ли в дальнейшем выполнение аналогичных работ для многолазерных установок, в частности, для зон одновременной работы нескольких лазеров;

– какова температура подогрева платформы построения в установке применялась для данных работ, и проводились ли исследования по влиянию температуры подогрева платформы на качество получаемого синтезированного материала;

– могут ли быть перенесены рекомендации, полученные в ходе настоящей работы (в частности, в части касающейся плотностей энергии, мощности и скорости лазера для различных элементов синтезируемого материала), на однолазерные установки, отличные от указанных в паспорте №975;

– планируются ли испытания материала ЭП648 на установках, конструктивно аналогичных установкам 3D Systems по принципу инертизации камеры построения (предварительное вакуумирование), с целью определения разницы содержания кислорода в материале относительно прочих установок, в которых принцип инертизации – накачка камеры инертным газом.

Все отзывы носят положительный характер. В отзывах отмечено, что диссертационная работа является завершенной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой в области материаловедения жаропрочного никелевого сплава, полученного методом селективного лазерного сплавления. Работа соответствует требованиям и критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявленным к диссертациям на соискание степени кандидата наук, а ее автор, Рогалев Алексей Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. Материаловедение.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

– доктор технических наук, заведующий лабораторией «Лазерные технологии» федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН Маликов Александр Геннадьевич является признанным специалистом в области лазерной сварки и аддитивных технологии, автор более 250 научных трудов. Под руководством и при непосредственном участии Маликова А.Г. выполнен колоссальный объем научно-исследовательских работ, направленных на исследование лазерного излучения на природу

формирования структуры и физико-механических свойств синтезированных материалов и разработке технологических процессов сплавления;

– кандидат технических наук, доцент, доцент Научно-образовательного центра «Конструкционные и функциональные материалы» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» Суфияров Вадим Шамилевич является одним из ведущих ученых в области порошковой металлургии и аддитивного производства, автор более 50 научных трудов. При непосредственном участии Суфиярова В.Ш. проведен большой объем научно-исследовательских работ, посвященных разработке и исследованию различных направлений аддитивных технологий металлическими, полимерными и пьезокерамическими материалами.

– федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук является одним из ведущих научных центров Российской Федерации по изучению материаловедения и проблем в черной и цветной металлургии.

Список основных публикаций сотрудников ведущей организации за последние 5 лет:

1. Геров М.В., Колмаков А.Г., Просвирнин Д.В., Жданова Н.С., Пруцков М.Е., Пивоварчик С.В. Структура и механические свойства сплава Al-6,7Mg-0,3Sc-0,25Zr, полученного селективным лазерным сплавлением // Деформация и разрушение материалов. 2024. № 10. С. 2–18. DOI 10.31044/1814-4632-2024-10-2-18.

2. Геров М.В., Колмаков А.Г., Просвирнин Д.В., Каясова А.О., Жданова Н.С., Пруцков М.Е. Механические свойства и особенности разрушения аустенитной стали, полученной методом селективного лазерного сплавления // Деформация и разрушение материалов. 2022. № 4. С. 2–12. DOI 10.31044/1814-4632-2022-0-4-2-12.

3. Геров М.В., Каясова А.О., Колмаков А.Г., Просвирнин Д.В., Терентьев В.Ф. Механические свойства и особенности разрушения высокопрочной мартенситно-старееющей стали, полученной селективным лазерным сплавлением // Деформация и разрушение материалов. 2021. № 9. С. 2–10. DOI 10.31044/1814-4632-2021-9-2-10.
4. Грязнов М.Ю., Самохин А.В., Чувильдеев В.Н., Дорофеев А.А., Шотин С.В., Фадеев А.А., Алексеев Н.В. Послойное лазерное сплавление сфероидизированного в плазме порошка вольфрама с мелкокристаллической структурой частиц // Физика и химия обработки материалов. 2024. № 5. С. 5–20. DOI 10.30791/0015-3214-2024-5-5-20.
5. Грязнов М.Ю., Самохин А.В., Чувильдеев В.Н. Фадеев А.А., Алексеев Н.В., Шотин С.В., Дорофеев А.А. Получение композитного порошка системы W-Ni-Fe со сферической формой частиц и исследование возможности его использования в технологии послойного лазерного сплавления // Физика и химия обработки материалов. 2022. № 3. С. 54–66. DOI: 10.30791/0015-3214-2022-3-54-66.
6. Глушченков В.А., Хаймович А.И., Колмаков А.Г., Саргаева Т.С., Разживин В.А., Шевцов А.Н., Юсупов Р.Ю. Влияние импульсного магнитного поля на структуру и свойства пластин из сплава AlSi10Mg, полученных селективным лазерным сплавлением // Деформация и разрушение материалов. 2023. №5 С.21-24. DOI: 10.31044/1814-4632-2023-5-21-24.
7. Panin A., Kazachenok M., Kolmakov A., Chizhik S., Heifetz M., Chugui Yu. Microstructure and mechanical behavior of additive manufactured Ti-6Al-4V parts under tension // The European Physical Journal Conferences, 2019. Vol. 221 (6). № 01037. DOI: 10.1051/epjconf/201922101037.
8. Panin A., Kazachenok M., Perevalova O., Kolmakov A.G. Surface modification of EBF3-Fabricated Ti-6Al-4V parts by ultrasonic impact treatment // AIP Conference Proceedings, 2020. V2310. Is. 1. №:020244 DOI: 10.1063/5.0034461.

9. Колмаков А.Г., Иванников А.Ю., Каплан М.А., Кирсанкин А.А., Севостьянов М.А. Коррозионные стали в аддитивном производстве // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия., 2021. Том64.№9. С. 619-650. DOI:10.17073/0368-0797-2021-9-619-650.

10. Каплан М.А., Горбенко А.Д., Иванников А.Ю., Конушкин С.В., Михайлова А.В., Кирсанкин А.А., Баикин А.С., Сергиенко К.В., Насакина Е.О., Колмаков А.Г., Севостьянов М.А. Исследование характеристик сферического порошка, полученного методом плазменного распыления проволоки из коррозионностойкой стали 03X17H10M2 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2023. Т.66. №1. С.80-85. DOI:10.17073/0368-0797-2023-1-80-85.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны технологические параметры селективного лазерного сплавления МПК из сплава ЭП648, обеспечившие в синтезированном материале ЭП648-ПС низкое объемное содержание дефектов;

предложен и обоснован подход к повышению механических свойств синтезированного материала ЭП648-ПС путем проведения селективного лазерного сплавления в среде азота;

доказана необходимость контроля содержания кислорода в МПК из никелевого жаропрочного сплава ЭП648, минимизация которого обеспечивает снижение количества микротрещин в структуре синтезированного материала ЭП648-ПС.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

получены новые данные об эволюции структуры, фазового состава и свойств синтезированного материала ЭП648-ПС в процессе селективного лазерного сплавления, баротермической и термической обработок;

выявлено влияние технологической среды процесса селективного лазерного сплавления МПК никелевого жаропрочного сплава ЭП648 на длительную прочность синтезированного материала ЭП648-ПС;

установлены основные факторы формирования при синтезе верхней (UpSkin) и нижней (DownSkin) поверхностей заданной шероховатости деталей из сплава ЭП648.

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

разработаны и приняты к внедрению в серийное производство предприятий АО «ОДК-Авиадвигатель» и АО «НПО Энергомаш» технологии изготовления сложнопрофильных статорных деталей соответственно «Завихритель» авиационных двигателей ПД-8 и ПД-14 и «Корпус агрегата наддува» ракетного двигателя РД-191, о чем получены соответствующие акты внедрения;

проведена общая квалификация (паспортизация) синтезированного материала сплава ЭП648-ПС, обладающего следующими механическими характеристиками (средние значения): при 20°С $\sigma_b=1130$ МПа, $\sigma_{0,2}=660$ МПа, $\delta=28$ %; при 800°С $\sigma_b=540$ МПа, $\sigma_{0,2}=530$ МПа, $\delta=6,2$ %, $\sigma_{100}^{800} = 145$ МПа;

разработан способ изготовления сложнопрофильных деталей селективным лазерным сплавлением металлических порошков жаропрочных сплавов на основе никеля, включающий в себя проведение процесса синтеза в среде азота, баротермическую и термическую обработки, который защищен патентом RU 2623537;

выпущены дополнение № 4, дополнительные сведения № 3 и № 4 к паспорту № 975 на жаропрочный никелевый сплав марки ВХ4А (ЭП648) на различные типы оборудования селективного лазерного сплавления.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ были использованы стандартизированные методики исследований в соответствии с действующими государственными стандартами Российской Федерации на

современном и поверенном оборудовании, высокой воспроизводимостью экспериментальных данных и статистически достоверными результатами их обработки, согласованностью теоретических и экспериментальных исследований.

идея диссертации базируется на анализе научных работ в области разработки технологии получения синтезированных в средах аргона и азота жаропрочных материалов;

установлено отсутствие противоречия авторских данных с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

Личный вклад автора состоит в выполнении всех этапов диссертационного исследования, включающих анализ научно-технической литературы, участие в отработке и оценке влияния технологических параметров процесса селективного лазерного сплавления, комплексном исследовании синтезированного материала жаропрочного никелевого сплава ЭП648, обработке и анализе полученных экспериментальных данных, в том числе разработку необходимой научно-технической документации, написании научных публикаций и выступлении с докладами на научных конференциях.

В ходе защиты диссертации были заданы вопросы и высказаны критические замечания:

1. Какой лазер использовался в этой работе, какая мощность лазера? На какой длине волны работал лазер?

2. Ваш материал — это первый материал, полученный аддитивной технологией, обладающий свойствами, приближенными к литому. Если это так, то как Вы это объясните? Обычно аддитивные материалы показывают свойства ниже.

3. У Вас в докладе фигурировала объемная доля микротрещин. Каков её смысл? Какая у неё методика оценки?

4. Объясните, почему АО «ОДК-Авиадвигатель» выбрал разработанную Вами технологию для ПД14? И скажите, пожалуйста, за сколько дней Вы выращиваете комплект из 48 «Завихрителей»?

5. Скажите, пожалуйста, в каком виде у Вас содержится кислород: в атомарном или в виде химических соединений?

Соискатель Рогалев А.М. согласился с замечаниями на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Конкретную мощность разглашать мы не можем, так как это «ноу-хау», использовался твердотельный лазер в диапазоне мощностей до 400 Вт, длина волны 1039 нм.

2. Это первый синтезированный материал, на котором мы получили комплекс свойств, провели паспортизацию синтезированного материала, выпустили дополнение и дополнительных сведений в паспорт на материал. Синтезированный материал ЭП648-ПС незначительно уступает литому сплаву ЭП648 по длительной прочности свойствам вследствие более мелкозернистой структуры. Однако за счет этого структурного фактора предел кратковременной прочности синтезированного материала на 25% больше, чем литого.

3. Так как материал имеет достаточно сложный химический состав, в процессе синтеза помимо того, что возникают поры, появляются ещё и трещины. В моей диссертационной работе подтверждено, что повышенное содержание кислорода увеличивает количество микротрещин, что нежелательно для деталей, используемых в авиационной промышленности. Методика – металлографический анализ шлифов.

4. Завихрители выращиваются за три дня. Технологический цикл состоит из изготовления методом селективного лазерного сплавления заготовок и дальнейшего проведения ГИП и ТО. Отметим, что конструкция лопаточных каналов детали «Завихритель» была спроектирована таким образом, что получить данную деталь традиционными методами литья было

невозможно и это явилось отправной точкой в развитии аддитивных технологий в России.

5. В диссертации установлено, что наличие кислорода в МПК способствует трещинообразованию в структуре материала детали. При этом активное насыщение кислородом происходит на стадии получения МПК. От качества МПК зависит качество конечного изделия. Если во время процесса сплавления в защитной среде находится высокая концентрация кислорода, то он растворяется в синтезированном материале. Отвечая на Ваш вопрос, кислород находится в виде оксидов.

Соискатель указал, что все высказанные замечания будут учтены в дальнейшей научной работе.

В диссертационной работе все заимствованные источники представлены со ссылками на автора или источник.

На заседании 18 декабря 2025 г. диссертационный совет принял решение о том, что диссертация Рогалева Алексея Михайловича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата технических наук, и за впервые в Российской Федерации реализацию полного цикла аддитивных технологий, включающей выявление особенностей формирования структуры и разработку технологии изготовления заготовок деталей для авиационной и ракетно-космической отраслей на основании исследования параметров селективного лазерного сплавления, закономерностей формирования структуры и физико-механических свойств синтезированного материала сплава ЭП648-ПС, принял решение присудить Рогалеву А.М. ученую степень кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. Материаловедение.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 4 доктора технических наук по научной

специальности 2.6.17. Материаловедение, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – нет.

Председательствующий:

Заместитель председателя

диссертационного совета

д.т.н., доцент



Славин

Андрей Вячеславович

подпись
фамилия, имя, отчество
(полностью)

Ученый секретарь

диссертационного совета

к.т.н.



Горбовец

Михаил Александрович

подпись
фамилия, имя, отчество
(полностью)

Дата оформления заключения: «18» декабря 2025 г.