

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.10, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16 мая 2025 г. № 8
о присуждении Балякину Андрею Владимировичу, гражданину Российской
Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методики проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД методом прямого лазерного выращивания» по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов принята к защите 14 марта 2025 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.2.379.10, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (443086, г. Самара, Московское шоссе, 34), приказом Минобрнауки России №229/нк от 14 февраля 2023 г.

Соискатель Балякин Андрей Владимирович, 12 июля 1979 года рождения, в 2005 году окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева» по специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки», в 2015 году окончил с отличием заочную аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов. В настоящее время Балякин А.В. работает в должности старшего преподавателя кафедры технологий производства двигателей федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре технологий производства двигателей федерального государственного автономного образовательного учреждения

высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Хаймович Александр Исаакович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологий производства двигателей федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Официальные оппоненты: Колодяжный Дмитрий Юрьевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», проректор по научной деятельности; Ионов Алексей Владимирович, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», доцент кафедры 205 «Технология производства двигателей летательных аппаратов», - дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, в своём положительном отзыве, подписанном доктором технических наук, профессором, директором института машиностроения, материалов и транспорта Поповичем Анатолием Анатольевичем и кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории «Дизайн материалов и аддитивного производства» Сотовым Антоном Владимировичем и утверждённом проректором по научной работе кандидатом физико-математических наук Фоминым Юрием Владимировичем, указала, что диссертационная работа Балякина Андрея Владимировича является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся результаты, имеющие значение для развития методик проектирования технологического процесса изготовления крупногабаритных заготовок методом прямого лазерного выращивания с целью повышения производительности изготовления крупногабаритных деталей двигателей и энергоустановок летательных аппаратов и их элементов.

Обоснованность и достоверность основных положений и выводов обеспечивается корректностью физической и математической постановки задач исследования, применением апробированных аналитических и численных методов расчёта и анализа, обоснованностью принятых допущений и ограничений в математической модели, хорошей сходимостью расчётных и экспериментальных данных, положительным эффектом от использования результатов работы в

производстве при изготовлении деталей ГТД. Научные и практические положения диссертационного исследования можно охарактеризовать как решение актуальной научной задачи, имеющей существенное значение для развития теоретических основ проектирования технологических процессов и изготовления крупногабаритных деталей авиационных двигателей и энергетических установок и их элементов, а именно задачи по созданию заготовок крупногабаритных деталей горячей части с применением аддитивных технологий.

Полученные результаты соответствуют п. 9 «Теоретические основы и технологические процессы изготовления деталей двигателей и агрегатов летательных аппаратов, включая технологическую подготовку производства, в том числе автоматизированные системы проектирования и управления, технологические процессы и специальное оборудование для формообразования и обработки деталей двигателей, их защита» направлений исследования паспорта научной специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, содержит результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью и отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор, Балякин Андрей Владимирович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Соискатель имеет 134 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 25 работ, из них 7 работ опубликованы в периодических изданиях, рекомендованных ВАК России, 4 статьи - в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, и получено 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных и 3 патента на изобретение. Суммарный объём принадлежащего соискателю опубликованного материала составляет 4,5 печатных листа. Из материалов совместных публикаций лично соискателю принадлежат: установление параметров, влияющих на процесс прямого лазерного выращивания и на качество формообразования заготовок, а также изложение преимуществ и недостатков процесса прямого лазерного выращивания, проведение оценки результатов исследования влияния режимов прямого лазерного выращивания на формообразование одиночных валиков и тонких стенок из жаропрочного сплава, определение влияния различных режимов термической обработки на твёрдость, микроструктуру и остаточные напряжения жаропрочного сплава, формулирование математической модели для анализа процесса взаимодействия лазерного излучения и металлопорошковой композиции в процессе прямого лазерного выращивания, анализ результатов исследования влияния различной мощности лазерного излучения и термической обработки на

микроструктуру и механические характеристики жаропрочного сплава, методика определения оптимального режима прямого лазерного выращивания жаропрочного сплава, методика калибровки конечно-элементной модели для расчета компенсации деформаций от действия остаточных напряжений в процессе прямого лазерного выращивания. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые работы:

1) **Балякин, А.В.** Применение прямого лазерного сплавления металлических порошков из жаропрочных сплавов в двигателестроении / А.В. Балякин, Д.Л. Скуратов, А.И. Хаймович, М.А. Олейник // Вестник Московского авиационного института. – 2021. – Т. 28. – № 3. – С. 202-217. – DOI 10.34759/vst-2021-2-202-217. (научная статья 2,0 п.л./0,75 п.л.);

2) **Балякин, А.В.** Влияние режимов прямого лазерного выращивания на формообразование одиночных валиков и стенок из жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ / М. А. Олейник, А.В. Балякин, Д.Л. Скуратов [и др.] // Вестник Московского авиационного института. – 2022. – Т. 29. – № 4. – С. 243-255. (научная статья 1,62 п.л./0,6 п.л.);

3) **Балякин, А.В.** Модель взаимодействия лазерного излучения и металлопорошковой композиции в процессе прямого лазерного выращивания заготовок для деталей газотурбинных двигателей // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2024. Т. 23, № 4. С. 99-111. DOI: 10.18287/2541-7533-2024-23-4-99-111. (научная статья 1,625 п.л./1,625 п.л.);

4) **Балякин, А.В.** Процесс прямого лазерного выращивания жаропрочного сплава: влияние мощности и термической обработки на микроструктуру и механические характеристики / А.В. Балякин // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2023. – № 4(46). – С. 64-78. (научная статья 0,93 п.л./0,93 п.л.);

5) Носова, Е.А. Исследование влияния отжига на микроструктуру и твёрдость сплава ЭП648 после прямого лазерного выращивания / Е.А. Носова, **А.В. Балякин**, М.А. Олейник // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2023. – Т. 20. – № 1. – С. 115-122. – DOI 10.25712/ASTU.1811-1416.2023.01.014. (научная статья 1,0 п.л./0,4 п.л.).

На диссертацию и автореферат поступило 15 отзывов от организаций:

1) ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», отзыв составлен и подписан Исаковым Владимиром Владимировичем, к.т.н., старшим научным сотрудником;

2) АО «Объединенная двигателестроительная корпорация», отзыв составлен и подписан Денисовым Анатолием Яковлевичем, к.т.н., главным экспертом;

3) АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» - филиал «Научно-исследовательский институт технологии и организации производства двигателей», отзыв составлен и подписан Павлиничем Сергеем Петровичем, д.т.н., профессором, директором филиала и Хакимовым Алексеем Мунировичем, к.т.н., начальником отдела «Лазерная обработка»;

4) ПАО «ОДК-Кузнецов», отзыв составлен и подписан Хвацковым Борисом Евгеньевичем, к.т.н., ведущим специалистом ОИР СГК;

5) АО «ОДК-Климов», отзыв составлен и подписан Елисеевым Всеволодом Александровичем, генеральным конструктором, Кузьминым Олегом Вадимовичем, главным металлургом, Тихомировой Еленой Александровной, к.т.н., начальником лаборатории ИЦЗЛ, Орловой Еленой Юрьевной, начальником отдела научных программ- секретарем НТС и Живушкиным Алексеем Алексеевичем, ведущим специалистом - руководителем группы АО «ОДК- Климов»;

6) АО «Казанское моторостроительное производственное объединение», отзыв составлен и подписан Кусюмовым Сергеем Александровичем, к.т.н., доцентом, инженером-конструктором, отдела главного конструктора газотурбинных двигателей;

7) АО «Центр аддитивных технологий», отзыв составлен и подписан Мазаловым Алексеем Борисовичем, генеральным директором, Басюком Юрием Николаевичем директором по производству и Каргальским Алексеем Викторовичем, главным конструктором;

8) АО «Металлист-Самара», отзыв составлен и подписан Федорченко Дмитрием Геннадиевичем, к.т.н., главным конструктором и Цыбизовым Юрием Ильичом, д.т.н., профессором, ведущим конструктором;

9) АО «Салют», отзыв составлен и подписан Беловым Глебом Олеговичем, к.т.н., начальником бюро программного управления;

10) АО «Новые инструментальные решения», отзыв составлен и подписан Дружковым Станиславом Сергеевичем, к.т.н., ведущим специалистом АО «НИР»;

11) ООО «Космические транспортные системы», отзыв составлен и подписан Дмитриевым Дмитрием Николаевичем, к.т.н., руководителем проектной группы;

12) ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», отзыв составлен и подписан Земляковым Евгением Вячеславовичем, к.т.н., доцентом кафедры «Цифровые лазерные технологии»;

13) ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», отзыв составлен и подписан Трушниковым Дмитрием Николаевичем, д.т.н., профессором кафедры «Сварочное производство, метрология и технология материалов»;

14) ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», отзыв составлен и подписан Курлаевым Николаем Васильевичем, д.т.н., профессором, заведующим кафедрой СиВС;

15) ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», отзыв составлен и подписан Заятровым Алексеем Викторовичем, к.т.н., начальником научно-исследовательской лаборатории «Метрологическое обеспечение и испытания»; старшим научным сотрудником федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет».

Критическими замечаниями в представленных отзывах являются: результаты расчётов не подтверждены натурными экспериментами; не рассматривается вопрос влияния принятых ограничений (однородность гранулометрического состава, сферичность частиц металлопорошковой композиции, форма лазерного излучения) на адекватность моделирования расплавления частиц металлопорошковой композиции в газопорошковой струе под воздействием луча лазера; требуется уделить должное внимание анализу влияния скорости подачи металлопорошковой композиции, скорости наплавления на качество получаемых заготовок; требуется более детально обосновать экономический эффект от внедрения данной технологии по сравнению с традиционными методами изготовления заготовок; не приводится в явном виде пересчет параметров нанесения металлопорошковой композиции в скорость наплавки; не содержится информации о том, как повлияет на точность определения технологических параметров прямого лазерного выращивания тот факт, что фракционный состав металлопорошковой композиции К различный, следовательно, часть порошинок не будет расплавленной полностью, а часть получит избыток энергии; отсутствуют выводы о применимости полученных в работе результатов на другом оборудовании.

В полученных отзывах отмечено, что указанные замечания в целом не снижают высокой оценки работы, а сама диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Балякину А.В. учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Выбор Колодяжного Дмитрия Юрьевича в качестве официального оппонента обосновывается его глубокими знаниями в области исследования и разработки устройств камер сгорания газотурбинных двигателей, а также богатым опытом экспериментальных исследований, связанных с определением характеристик форсунок камер сгорания и применением технологии прямого лазерного выращивания в авиационном двигателестроении.

Выбор Ионова Алексея Владимировича в качестве официального оппонента обосновывается его глубокими знаниями и опытом в области решения задач оптимального проектирования и производства деталей и узлов авиационных газотурбинных двигателей с использованием аддитивных технологий. Кроме того,

он имеет значительный опыт в проведении расчётных исследований и моделировании аддитивных процессов.

Выбор федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» в качестве ведущей организации обосновывается наличием специалистов, таких как д.т.н., профессор, директор института машиностроения, материалов и транспорта Попович Анатолий Анатольевич, д.т.н., доцент, профессор научно-образовательного центра «Конструкционные и функциональные материалы» Разумов Николай Геннадьевич, к.т.н., заведующий базовой кафедрой «Авиационные двигатели, силовые установки и системы автоматического управления» Шемет Михаил Вячеславович, д.т.н., профессор, профессор «Высшей школы атомной и тепловой энергетики» в институте энергетики Кортиков Николай Николаевич, области компетенций которых связаны с проектированием современных газотурбинных двигателей и энергоустановок, системного проектирования технологических процессов, имеют большой опыт работы в области аддитивных технологий и авиационного материаловедения.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны:

- аналитическая математическая модель взаимодействия лазерного излучения и металлопорошковой композиции в процессе прямого лазерного выращивания, что позволяет проводить численное исследование технологических параметров процесса с учётом полноты плавления частиц вне зоны ванны расплава;

- методика проектирования технологического процесса для изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных газотурбинных двигателей из жаропрочного сплава на основе никеля ЭП648 методом прямого лазерного выращивания, включающая аналитическую модель взаимодействия лазерного излучения и металлопорошковой композиции, регрессионные зависимости и базу знаний по рациональным значениям технологических параметров;

предложены:

- регрессионные модели для оценки влияния мощности лазерного излучения на предел прочности при растяжении, относительное удлинение и твёрдость материала заготовок, полученных методом прямого лазерного выращивания до и после проведения термической обработки;

- базовые алгоритмы методики разработки технологического процесса и проектирования заготовок, получаемых методом прямого лазерного выращивания, включающие алгоритм определения рациональных технологических параметров выращивания и алгоритм коррекции геометрии заготовок, которые обеспечивают

достижение необходимых физико-механических и химических свойств получаемого материала и требуемую геометрическую точность заготовок;

– параметры оценки характерных изменений рельефа заготовок, а также закономерности влияния величины расфокусировки лазера на геометрическую точность и параметры рельефа поверхностей заготовок.

доказана перспективность использования разработанной методики проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД прямым лазерным выращиванием для изготовления деталей авиационных двигателей из жаропрочного сплава ЭП648. Оценка затрат на разработку и производство заготовок деталей, созданных на основе разработанной методики проектирования технологического процесса прямого лазерного выращивания, показала, что применение методики позволило обеспечить повышение производительности труда в 2,5 раза, снижение трудоёмкости на 1025 н/ч и уменьшение массы для двух заготовок на 138,4 кг.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изложены основные положения нового подхода к созданию технологического процесса для изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных газотурбинных двигателей методом прямого лазерного выращивания, отличающегося от известных решений включением в него ряда методик для определения рациональных технологических режимов выращивания с использованием результатов численного моделирования условий плавления частиц в газопорошковой струе совместно с результатами регрессионного анализа механических свойств и состояния поверхности выращиваемых заготовок;

использован применительно к процессу прямого лазерного выращивания комплекс методов математического и численного моделирования взаимодействия лазерного излучения с металлопорошковой композицией в газопорошковой струе, основанный на законе Бера-Ламберта, теории теплопроводности, плавления и кристаллизации твёрдых тел, а также современные методы статистической обработки результатов измерений;

разработаны рекомендации по проектированию геометрических элементов заготовок для повышения эффективности применения технологии прямого лазерного выращивания при формировании заготовок деталей газотурбинных двигателей, учитывающие технологические особенности процесса аддитивного производства;

– рекомендации по термической обработке заготовок деталей газотурбинных двигателей, изготовленных по технологии прямого лазерного выращивания, учитывающие влияние режимов термической обработки на свойства сплава ЭП648;

– база данных влияния технологических параметров процесса прямого лазерного выращивания на геометрические размеры и микроструктуру образцов из сплава ЭП648, необходимая для проектирования технологического процесса изготовления заготовок ГТД.

раскрыты и впервые установлены закономерности влияния величины расфокусировки лазера на геометрическую точность и параметры рельефа поверхностей заготовок, были предложены новые параметры оценки характерных изменений рельефа заготовок;

изучено влияние технологических параметров прямого лазерного выращивания и режимов термической обработки на физико-механические свойства жаропрочного сплава ЭП648;

доказана возможность использования методики проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД методом прямого лазерного выращивания из сплава ЭП648, обеспечивающей получение требуемых механических характеристик материала, а также выполнение требований конструкторской документации к изделию.

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

– использование технологии прямого лазерного выращивания при изготовлении заготовок деталей с применением разработанной методики позволяет повысить производительность, сократить трудоёмкость, снизить материалоемкость производства заготовок, а также сократить время проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок деталей из жаропрочного сплава ЭП648 за счёт использования базы данных технологических процессов и разработанных моделей процесса прямого лазерного выращивания;

– предложенная в диссертации методика проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД методом прямого лазерного выращивания **использовалась в процессе** проектирования технологических процессов и изготовления крупногабаритных заготовок деталей горячей части ГТД в рамках НИОКТР по теме: «Организация высокотехнологичного производства промышленных ГТД с интеллектуальной системой конструкторско-технологической подготовки для повышения функциональных характеристик» по договору между Самарским университетом и ПАО «ОДК-Кузнецов» от 24 апреля 2021 г. № 00826, ИГК 000000S407521QLG0002 в рамках выполнения Соглашения с Минобрнауки России от 24 июня 2021 г. №075-11-2021-042;

– установленные в диссертации зависимости влияния величины расфокусировки лазера на параметры рельефа верхней и боковых поверхностей заготовок и геометрическую точность получаемых размеров **использовались в**

процессе разработки системы управления качеством заготовок, изготавливаемых с использованием технологии прямого лазерного выращивания в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSSS-2024-0018);

– материалы диссертационной работы **применялись при разработке и изготовлении** крупногабаритных заготовок деталей «Кожух наружный камеры сгорания» и «Кожух внутренний камеры сгорания» ГТД, что позволило повысить производительность труда в 2,5 раза, обеспечило снижение трудоёмкости на 1025 н/ч и уменьшение массы заготовок на 138,4 кг при выполнении остальных требований конструкторской документации (подтверждено актом внедрения в ПАО «ОДК-Кузнецов», от 04.02.2025 г.), для изготовления деталей камеры сгорания газотурбинного двигателя ФОН-22Г, что обеспечило снижение себестоимости изготовления на 597600 рублей, сокращение трудоёмкости производства на 1015 н/ч, уменьшение массы на 130,7 кг и повышение производительности труда в 3 раза (подтверждено актом внедрения в АО «Самарские авиадвигатели», от 04.02.2025 г.);

– методика проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД методом прямого лазерного выращивания **включена в лекционный и практический курс** «Технологические процессы аддитивного производства», направления подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств (Цифровые и аддитивные технологии)» в рамках учебного процесса Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева (подтверждено актом внедрения от 05 февраля 2025 года);

определены перспективы практического использования предложенной методики проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД методом прямого лазерного выращивания для изготовления крупногабаритных заготовок авиационных двигателей для ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», на производственных предприятиях, в конструкторских бюро и научных институтах АО «ОДК»: ПАО «ОДК-Кузнецов», ПАО «ОДК-Сатурн», АО «ОДК-Авиадвигатель», АО «ОДК-Климов», АО «НПЦ газотурбостроения «Салют», АО «ОДК» «НИИД», ПАО «ОДК-УМПО», АО «ЦАТ» и других предприятиях авиационной, энергетической и ракетно-космической отрасли;

представлены предложения по дальнейшему усовершенствованию технологических процессов прямого лазерного выращивания на основе подходов и методики по определению рациональных параметров прямого лазерного выращивания для различных материалов. Особое внимание уделяется перспективному направлению – совершенствованию системы управления

качеством заготовок, изготавливаемых с использованием технологии прямого лазерного выращивания, что позволит повысить стабильность и надёжность технологического процесса производства деталей газотурбинных двигателей.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты экспериментальных исследований получены на сертифицированном и поверенном измерительном оборудовании, обеспечивающем воспроизводимость результатов исследования;

теория построена на известных, проверенных положениях аналитических методов теории теплопроводности, плавления и кристаллизации твёрдых тел, законе Бера-Ламберта, математического анализа, математической статистики и согласуется с опубликованными данными по теме диссертации и смежным темам;

идея базируется на системном анализе и научном обобщении практики и передового опыта в области технологий изготовления крупногабаритных заготовок и деталей авиационных двигателей, научной оценке условий реализации аддитивных технологий при производстве высоконагруженных компонентов газотурбинных двигателей;

установлено соответствие результатов теоретических исследований с натурными экспериментами, а также корреляция и качественное соответствие результатов, полученных автором диссертации, с результатами, представленными в независимых литературных источниках по тематике исследования, когда такое сравнение является обоснованным;

использовано лицензионное программное обеспечение (ЛОЦМАН:PLM 22.2, КОМПАС-3D v22, ВЕРТИКАЛЬ 22.2, ПОЛИНОМ:MDM 22.1, Fusion 360 with PowerMill Ultimate), сертифицированный программный продукт Mathcad, а также известные численные методы, обладающие высокой точностью при проведении вычислительных экспериментов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии соискателя в получении исходных данных, проведении аналитических и экспериментальных исследований, в разработке математической модели, учитывающей энергетический баланс и динамику ванны расплава для анализа влияния технологических параметров процесса прямого лазерного выращивания на полноту расплавления частиц металлопорошковой композиции в газопорошковой струе, в исследовании влияния расфокусировки лазерного луча на качество поверхности и стабильность процесса прямого лазерного выращивания, в разработке методики проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок с учётом особенностей аддитивных технологий, в разработке и внедрении технологического процесса изготовления деталей «Кожух наружный камеры сгорания» и «Кожух внутренний камеры сгорания» ГТД, в подготовке основных публикаций по выполненной работе. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором

лично, либо при его определяющем личном участии.

В ходе защиты диссертационной работы не было высказано критических замечаний. Соискатель Балякин А.В. обоснованно ответил на все задаваемые в ходе защиты вопросы.

Диссертация Балякина А.В. является законченной научно-квалификационной работой, соответствует специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов и отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук (пп. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 (в действующей редакции)). Работа является актуальной, имеющей значение для развития авиационной и ракетно-космической отрасли, в диссертации содержится новое научно обоснованное техническое и технологическое решение — повышение производительности на основе разработки методики проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД методом прямого лазерного выращивания, обеспечивающей получение требуемых характеристик заготовки за счёт определения рациональных технологических параметров процесса, в том числе учитывающих полноту расплавления металлопорошковой композиции вне зоны ванны расплава и установления закономерности влияния величины расфокусировки лазера на геометрическую точность и параметры рельефа поверхностей заготовок.

На заседании 16 мая 2025 г. диссертационный совет за новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны принял решение присудить Балякину Андрею Владимировичу учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета 24.2.379.10

академик РАН, д.т.н., профессор

Шахматов Евгений Владимирович

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.2.379.10

д.т.н., доцент

16.05.2025



Виноградов Александр Сергеевич