

## ОТЗЫВ

научного руководителя д.т.н., доцента, заведующего кафедрой технологий производства двигателей Хаймовича Александра Исааковича по диссертационной работе Балякина Андрея Владимировича на тему «Разработка методики проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД методом прямого лазерного выращивания», представленной на соискание ученой степени кандидат технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Балякин А.В. поступил в аспирантуру Самарского университета в 2011 году, после окончания специалитета по специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки». За время обучения в аспирантуре Балякин А.В. положительно проявил себя в научной деятельности, продемонстрировав умение самостоятельно и качественно решать сложные исследовательские задачи в области моделирования процесса взаимодействия лазерного излучения и металлопорошковой композиции для процесса прямого лазерного выращивания, проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД прямым лазерным выращиванием. Результаты исследований по тематике диссертационной работы Балякина А.В. отражены в 9 работах, опубликованных с соавторами в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК и индексируемых базой данных Scopus, и 2 индивидуальных статьи. Результаты работы докладывались на международных и всероссийских конференциях высокого уровня, в частности, на международной научно-технической конференции по достижениям в области прикладной физики и математики – ААРМ-2023 (Узбекистан, г. Ташкент, апрель 2023 г.); International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Environmental Technologies (EMMFT-2023) (Воронеж, апрель 2023 г.); III International Conference on Advances in Science, Engineering and Digital Education – ASEDU-III 2022 (г. Красноярск, октябрь 2023 г.); международной научно-технической конференции имени Н.Д. Кузнецова «Перспективы развития двигателестроения» (Самара, июнь 2023 г.); X международном технологическом форуме «Инновации. Технологии. Производство» (Рыбинск, апрель 2024 г.); XI международной научно-технической конференции "Лучевые технологии и применение лазеров" (г. Санкт-Петербург, сентябрь 2024 г.).

В настоящее время Балякин А.В. работает в Самарском университете в должности старшего преподавателя кафедры технологий производства двигателей.

Диссертационная работа Балякина Андрея Владимировича посвящена решению научно-технической задачи по повышению производительности изготовления крупногабаритных деталей авиационных ГТД с использованием технологического процесса изготовления заготовок методом прямого лазерного

выращивания и разработке методики, обеспечивающей получение требуемых характеристик заготовок за счёт определения области рациональных технологических параметров процесса прямого лазерного выращивания. Создание современных газотурбинных двигателей (ГТД) представляет собой важнейшую задачу для современной промышленности. Подход, предложенный А.В. Балякиным в рамках методики проектирования технологических процессов для изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД с использованием прямого лазерного выращивания, позволяет снизить трудозатраты и повысить производительность. Разработанная методика основывается на определении оптимальных условий лазерного выращивания, что обеспечивает необходимые характеристики заготовок. Важную роль в этом процессе играют аналитические модели взаимодействия лазерного излучения с металлопорошковыми композициями, регрессионные зависимости и база знаний для подбора оптимальных технологических параметров. Также применяемый метод численного моделирования в САЕ-системах позволяет повысить геометрическую точность заготовок, что делает данный подход особенно актуальным в условиях современного производства.

Предлагаемая методика, отличающаяся от известных решений постановкой задачи учёта полноты плавления металлопорошковой композиции вне зоны ванны расплава. В результате определяются диапазоны рациональных технологических параметров процесса прямого лазерного выращивания заготовок из металлопорошковой композиции жаропрочного никелевого сплава ЭП648, которые гарантированно обеспечивают заданный комплекс физико-механических и химических свойств для выращенного материала.

С целью изучения процесса нагрева и плавления частиц металлопорошковой композиции для получения качественной заготовки Балякиным А.В. выполнено объемное исследование по изучению влияния различных параметров прямого лазерного выращивания на процесс формирования материала заготовки, в частности, на основе разработанной модели проведены исследования влияния скорости газопорошковой струи, насыпной плотности, среднего радиуса частиц металлопорошковой композиции и мощности лазера на полноту плавления частиц порошка в зависимости от расстояния до ванны расплава. Выполненные исследования позволили установить диапазоны рациональных значений технологических параметров процесса прямого лазерного выращивания для жаропрочного сплава ЭП648. Проведённые натурные исследования по проверки адекватности математического моделирования, а также проведение регрессионного анализа позволили определить рациональный режим прямого лазерного выращивания жаропрочного сплава ЭП648. Установлены закономерности влияния величины расфокусировки лазерного излучения на геометрическую точность и рельеф поверхностей заготовок. В отличие от известных решений были предложены новые параметры оценки характерных рельефа заготовок.

Разработанная методика проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД методом прямого лазерного выращивания Балякиным А.В. включающая аналитическую модель взаимодействия лазерного излучения и металлопорошковой композиции, регрессионные зависимости и базу данных для определения рациональных значений технологических параметров. Влияние величины расфокусировки лазерного излучения на геометрическую точность и микроструктуру образцов, предлагаемый в рамках данной методики, автоматизирован и реализован в виде базы данных «Геометрических размеров и микроструктуры образцов из сплава ЭП648, полученных прямым лазерным выращиванием» (Свидетельство № 2024620533). По результатам, полученным в диссертационном исследовании получено 3 патента на изобретение № 2830597 С1, № 2832100 С1 и № 2824784 С2.

Практическая значимость диссертационной работы подтверждена наличием актов об использовании её результатов на предприятии ПАО «ОДК-Кузнецов» в виде методики проектирования технологического процесса изготовления крупногабаритных заготовок деталей «Кожух наружный камеры сгорания» и «Кожух внутренней камеры сгорания» ГТД и для проектирования технологических процессов и изготовления крупногабаритных заготовок камеры сгорания авиационного ГТД ФОН-22Г на предприятии АО «Самарские авиадвигатели».

Все основные результаты, выносимые на защиту, получены лично Балякиным А.В. или при непосредственном его участии, и обладают научной новизной.

Диссертационная работа Балякина А.В. является законченным научным исследованием и соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов, а её автор, Балякин Андрей Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Научный руководитель,  
заведующий кафедрой  
технологий производства двигателей  
Самарского университета, д.т.н., доцент

А.И. Хаймович

+7 (846) 267-45-79, khaymovich.ai@ssau.ru  
ФГАОУ ВО «Самарский национальный  
исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева»  
443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, д. 34  
+7 (846) 267-43-70, ssau@ssau.ru  
<https://www.ssau.ru/>



Подпись Хаймовича А.И. удостоверяю.  
Начальник отдела сопровождения деятельности  
ученых советов Самарского университета  
Бояркина У.В.  
20 15 г.