

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу Балякина Андрея Владимировича на тему: «Разработка методики проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД методом прямого лазерного выращивания», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа Балякина А.В. посвящена повышению производительности изготовления крупногабаритных деталей авиационных ГТД за счёт использования аддитивного процесса изготовления заготовок методом прямого лазерного выращивания. В ходе реализации поставленной цели были решены следующие задачи: разработана аналитическая модель взаимодействия лазерного излучения и металлопорошковой композиции для процесса прямого лазерного выращивания (ПЛВ); исследовано влияние технологических параметров процесса ПЛВ и термической обработки на механические свойства, на формирование геометрии, структуры и трещинообразование наплавляемого жаропрочного сплава ЭП648; определены рациональные технологические параметры процесса ПЛВ; исследовано влияние величины расфокусировки лазера на параметры рельефа и точность размеров заготовок; разработана база данных влияния условий процесса ПЛВ на геометрические размеры и микроструктуру сплава ЭП648 для проектирования технологического процесса изготовления заготовок ГТД; разработана методика проектирования технологического процесса для изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД; разработан технологический процесс ПЛВ крупногабаритных заготовок из жаропрочных сплавов и проверена его работоспособность при изготовлении крупногабаритных заготовок деталей.

### **Актуальность темы диссертации**

Актуальность данного исследования связана с увеличением требований к тягово-экономическим характеристикам, надежности и эффективности газотурбинных двигателей. В условиях необходимости уменьшения веса и ограничения затрат возникает потребность в разработке новых конструкций компонентов и узлов, а также в использовании современных технологий, способствующих снижению трудоемкости производства.

Одним из таких методов является прямое лазерное выращивание, которое обеспечивает высокий коэффициент использования материала и позволяет получать заготовки с минимальным припуском для последующей обработки.

Разработка технологического процесса изготовления заготовок сложнопрофильных деталей методом прямого лазерного выращивания (ПЛВ) представляет собой сложную, комплексную и многовариантную задачу. Этот процесс требует учёта множества разнообразных факторов, таких как свойства используемых металлопорошковых композиций, параметры лазерного излучения, скорость выращивания, температура и другие условия процесса. Ключевым аспектом успешной реализации данной технологии является необходимость математического моделирования взаимодействия лазерного излучения с металлопорошковой композицией. Моделирование позволяет глубже понять физические процессы, происходящие в зоне обработки, включая тепловые эффекты, а также динамику плавления материала. Таким образом, подход, включающий моделирование физических явлений в технологическом процессе, становится неотъемлемой частью разработки технологии ПЛВ, позволяя не только повысить эффективность производства, но и сократить время на экспериментальную проверку различных режимов работы. Актуальность

Входящий № 206-3147  
Дата 18 АПР 2025  
Самарский университет

этой задачи обусловлена растущими требованиями к качеству и точности сложнопрофильных деталей для двигателестроения

### **Структура диссертации**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 183 наименований и одного приложения. Изложение диссертационной работы подчинено решению поставленных задач.

### **Новизна проведенных исследований**

Научная новизна диссертационной работы не вызывает сомнений и заключается в том, что получены следующие результаты:

1. Разработана методика проектирования технологического процесса изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД из жаропрочного сплава и на её основе технологический процесс изготовления заготовок «Кожух наружный камеры сгорания» и «Кожух внутренней камеры сгорания» ГТД.

2. Разработана аналитическая математическая модель взаимодействия лазерного излучения и металлопорошковой композиции для процесса прямого лазерного выращивания, позволяющая выполнить численное исследование технологических параметров выращивания заготовок с учётом полноты плавления вне зоны ванны расплава.

3. Исследовано влияние основных технологических параметров и термической обработки на механические свойства, геометрию, структуру и трещинообразование наплавляемого сплава ЭП648. Получены регрессионные модели влияния мощности лазерного излучения на механические свойства образцов до и после термообработки.

4. Исследовано влияние величины расфокусировки лазера на рельеф и точность заготовок, предложены параметры для оценки качества поверхностей. Разработана база данных влияния условий прямого лазерного выращивания на геометрические размеры и микроструктуру образцов из сплава ЭП648.

### **Обоснованность и достоверность основных результатов исследований**

Основные положения диссертации в достаточной мере обоснованы и логически вытекают из поставленных диссертантом целей. Достоверность результатов обеспечивается корректностью постановки задач исследования и использованием соответствующего математического аппарата для их решения, сопоставлением полученных результатов с данными других авторов, а также необходимым объемом экспериментальных исследований.

Работа выполнена на основе классических методов теории теплопередачи, плавления и кристаллизации твёрдых тел. При обработке результатов экспериментальных исследований применялись методы прикладной статистики и методы регрессионного анализа.

Основные положения диссертации иллюстрированы фотографиями, графиками анализа расчётных и экспериментальных данных, что усиливает доказательную базу для подтверждения достоверности исследований.

### **Апробация работы**

Основные положения оппонируемой работы в достаточной мере отражены в 25 публикациях в том числе, в пяти научных журналах из перечня ВАК РФ, в четырёх статьях в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, одно свидетельство о государственной регистрации базы данных и трёх патентах на изобретение. Результаты исследований докладывались и обсуждались на семинарах и конференциях различного уровня, включая международные. Поэтому считаю, что диссертационная работа Балякина А.В. в достаточной мере апробирована.

**Диссертация и автореферат** написаны доступным технически грамотным языком. Содержание диссертации достаточно полно, подробно и ясно раскрывает постановку, методы и результаты решения поставленных и рассмотренных задач. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Оформление диссертации и автореферата соответствует существующим требованиям.

#### **Замечания по содержанию и оформлению работы**

Недостатков, ставящих под сомнение справедливость каких-либо результатов, в диссертации не обнаружено. Однако имеются некоторые замечания:

1. В работе проведено исследование в рамках разработанной аналитической математической модели ряда параметров процесса влияющих на производительность процесса ПЛВ, однако в явном виде пересчета параметров нанесения металлопорошковой композицией (МПК) в скорость наплавки не приводится, однако в рекомендованных режимах скорость наплавки присутствует.

2. При решении задачи взаимодействия лазерного луча с металлопорошковой композицией (МПК) с целью ее полного расплавления до попадания в ванну расплава формулируется ряд допущений, среди которых производится осреднение размера частиц порошка. Следует отметить, что фракционный состав МПК различный, следовательно, часть порошинок не будет расплавленной полностью, а часть получит избыток энергии. Информации о том, как это факт скажется на точности определения технологических параметров ПЛВ в диссертации не содержится.

3. Для проведения исследований процесса ПЛВ в работе используется конкретная технологическая головка, в которой определенным образом организованы процессы ввода лазерного излучения и подачи МПК. Для лучшего понимания технологических параметров процесса наплавки хотелось бы видеть в работе фактические размеры и углы, реализованные в наплавочной головке, а также выводы о применимости полученных в работе результатов на другом оборудовании.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Балякина А.В.

#### **Заключение по диссертации**

Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным соискателем самостоятельно и на достаточно высоком научном уровне. Диссертантом решена важная научно-техническая проблема, направленная на повышение производительности труда и снижение трудоёмкости при производстве крупногабаритных деталей авиационных ГТД.

Исходя из вышеизложенного, могу сказать, что оппонируемая диссертационная работа является завершённым научным исследованием, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Балякин Андрей Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

**Заключение.** Диссертация А.В. Балякина на тему «Разработка методики проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных заготовок деталей авиационных ГТД методом прямого лазерного выращивания» является законченной научно-квалификационной работой, выполнена на высоком уровне и полностью соответствует требованиям новизны, научно-практической значимости и достоверности, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук в соответствии с действующим «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013

года. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов. Считаю, что автор диссертации – Балякин Андрей Владимирович - заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

**Ионов Алексей Владимирович,**

кандидат технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», доцент кафедры 205 «Технология производства двигателей летательных аппаратов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Тел. +7 (915) 422-60-67,

E-mail: ionovav@mai.ru

Ионов Алексей Владимирович

Подпись к.т.н., доцента кафедры №205 «Технология производства двигателей летательных аппаратов» А.В. Ионова удостоверяю.

Директор Института №2

«Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки»,

к.т.н., доцент

Монахова Вероника Павловна

