

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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 кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

**Актуальность.** Аддитивная технология прямого лазерного выращивания (ПЛВ) является инновационным решением, обеспечивающим существенное повышение эффективности производства за счет оптимального использования материала, сокращения технологических припусков и уменьшения времени изготовления деталей вдвое. Однако создание технологических процессов ПЛВ для сложнопрофильных деталей представляет собой многогранную задачу, требующую детального анализа различных факторов. Ключевыми аспектами являются: разработка математических моделей физических процессов взаимодействия лазерного излучения с материалом, определение оптимальных режимов обработки и обеспечение заданных свойств металла в зоне выращивания. Научно-обоснованная методология проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных конструкций методом ПЛВ играет важнейшую роль в развитии современного двигателестроения. В ходе исследований была проведена комплексная научная работа по совершенствованию технологий аддитивного производства элементов газотурбинных двигателей (ГТД), что соответствует актуальным направлениям развития аддитивных технологий в авиационной отрасли. Данный подход позволяет не только повысить производительность, но и обеспечить необходимое качество крупногабаритных деталей авиационных ГТД, что особенно важно для критичных конструктивных элементов двигателей.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1) В разработанной математической модели физико-химических процессов взаимодействия лазерного излучения с металлопорошковой композицией (МПК) при ПЛВ, учитывающая особенности энергетического баланса и динамики расплавленной ванны.

2) Теоретически обоснованы закономерности влияния технологических параметров ПЛВ на формирование геометрической точности заготовок, механические свойства материала, микроструктуру и склонность к трещинообразованию в процессе выращивания.

3) Определены оптимальные технологические режимы ПЛВ для жаропрочного никелевого сплава ЭП648, обеспечивающие заданный комплекс физико-механических характеристик получаемых изделий.

4) Оценено влияние параметров расфокусировки лазерного луча на геометрическую точность, качество поверхности и технологическую стабильность процесса ПЛВ крупногабаритных конструкций.

Входящий № 206-307a  
Дата 21 АПР 2025  
Самарский университет

5) Создана научно-обоснованная методика проектирования технологических процессов изготовления крупногабаритных деталей методом ПЛВ, учитывающая особенности аддитивных процессов и требования к качеству изделий авиационного двигателестроения.

**Практическая значимость** выполненного исследования подтверждается успешным промышленным внедрением разработанных решений. Создан научно обоснованный подход к проектированию технологических процессов ПЛВ крупногабаритных изделий, который лег в основу серийной технологии производства наружных и внутренних кожухов камеры сгорания газотурбинного двигателя из высокотемпературного сплава ЭП648. По результатам испытаний на стенде ПАО «ОДК-Кузнецов», проведенных в составе технологического двигателя, заготовки продемонстрировали полное соответствие предъявляемым требованиям по механическим свойствам, геометрической точности и эксплуатационным характеристикам. На основе полученных результатов конструкторская и технологическая документация получила допуск к серийному производству.

**Достоверность результатов работы** подтверждается следующими факторами: четкой постановкой исследовательских задач, применением хорошо зарекомендовавших себя аналитических и численных методов расчета, обоснованными предположениями при формировании математической модели процесса, а также высоким уровнем согласования теоретических прогнозов с экспериментальными данными. Практическую верификацию результатов исследования составило успешное внедрение разработанных технологических решений в серийное производство деталей для газотурбинных двигателей на ведущих предприятиях отрасли.

Публикации автора отражают основное содержание диссертации и соответствуют требованиям ВАК. Автореферат написан понятным научным языком, достаточно иллюстрирован результатами расчетов и свидетельствует о высокой квалификации соискателя.

При рассмотрении автореферата диссертации следует отметить следующие аспекты, требующие дополнительного внимания:

1) В автореферате точность печати связывается с шириной наплавляемых валков. Утверждается, что с увеличением ширины снижается точность, что представляется некорректным. Так, увеличение ширины валика может сопровождаться снижением его высоты, что делает формируемую стенку более гладкой и позволяет снизить припуски на механообработку.

2) Желательно провести комплексное исследование влияния остаточных напряжений на точностные характеристики и качество поверхности при многослойном формировании заготовок, включая разработку мер по их контролю и снижению.

3) Учитывая специфику аддитивных технологий, представляется целесообразным расширить область экспериментальных исследований за рамки одного материала (сплава ЭП648), что позволило бы увеличить универсальность

полученных результатов и повысить их применимость к более широкому кругу конструкционных материалов.

Несмотря на перечисленные замечания, диссертация соответствует требованиям ВАК РФ, а ее автор, Балякин Андрей Владимирович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Профессор кафедры  
«Сварочное производство,  
метрология и технология материалов»,  
ФГАОУ ВО «ПНИПУ»,  
доктор технических наук

Д.Н. Трушников

Подпись: Трушникова Д.Н.

Должность

Специалист по персоналу УИ  
Е.И. Овчинникова



Адрес:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

Телефон/факс: +7 (342) 219-80-67, +7 9194785031

E-mail: trushnikov@pstu.ru