

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.

Тема диссертации посвящена решению актуальной и востребованной задачи современного авиадвигателестроения – исследованию, разработке и проектированию аддитивной технологии прямого лазерного выращивания (ПЛВ). Применение технологии ПЛВ для изготовления крупногабаритных заготовок типа камеры сгорания представляет собой важное направление совершенствования производства деталей газотурбинных двигателей (ГТД). Кожух камеры сгорания является важной составной частью горячего тракта ГТД, поэтому исследования по поиску эффективных конструкторско-технологических решений на основе аддитивной технологии ПЛВ могут улучшить его характеристики, снизить трудоемкость изготовления, существенно уменьшить расходы материалов и энергоресурсов. Разработка методики проектирования технологии ПЛВ, ее апробация на примере изготовления заготовок внутреннего и внешнего кожухов камеры сгорания из сплава ЭП648 и их испытание в составе технологического двигателя безусловно способствует успешному применению ПЛВ в реальном производстве ГТД.

Автор, на основе энергетического баланса в зоне лазерного воздействия на металлопорошковую композицию (МПК), разработал математическую модель теплообмена на поверхности частиц МПК и предложил ее численное решение методом Эйлера. Модель позволяет определить оптимальное расстояние между срезом лазерного сопла и ванной расплава МПК, которое является важным технологическим параметром. На основе разработанной модели проведены исследования влияния скорости газопорошковой струи, насыпной плотности МПК, среднего радиуса МПК и мощности лазера для оптимальных условий выращивания. Установлено, что с увеличением мощности лазера, расстояние до зоны расплавления уменьшается, а объёмный расход порошка и ширина наплавляемого валика остаются постоянными. В результате численного эксперимента рассчитан диапазон оптимальных значений технологических режимов процесса ПЛВ: мощность лазерного излучения 1800 - 2000 Вт; расход МПК 20 - 31 г/мин; скорость 20 - 30 мм/с.

В работе было исследовано влияние основных технологических параметров ПЛВ – мощности лазера, скорости наплавки, расхода порошка на геометрические характеристики заготовки, предел прочности МПК жаропрочного сплава ЭП648, его структуру и дефектообразование. Исходя из результатов регрессионного анализа следует, что наилучшие значения механических характеристик (предел прочности, относительное удлинение и твердость по Бринеллю) синтезируемого материала были получены при мощности лазера – 2000 Вт, скорости выращивания – 25 мм/с, расходе МПК – 26,6 г/мин.

Большое внимание диссертант уделил исследованию влияния расфокусировки лазерного излучения на качество получаемых поверхностей заготовки, точность геометрических размеров и стабильность процесса ПЛВ. В частности, для расчета характеристик рельефа поверхностей боковых стенок было предложено использовать: максимальную высоту, эквивалентную высоту и коэффициент поверхности. Величина лазерной расфокусировки, как это принято в лазерной технологии, включает в себя две составляющие: числовое значение и знак. Морфология поверхности и отклонения размеров образцов, выращенных при различной величине и знаке расфокусировки лазера, убедительно проиллюстрирована посредством их 3D-сканирования.

Исследовано влияние режимов термической обработки на формирование структуры и твердость синтезированного сплава ЭП648. Показало, что наибольшая твердость 311 ± 8 НВ получена, при многоступенчатом режиме: 1) $1100 \pm 10^\circ\text{C}$, выдержка 4 часа и

Входящий № 206 - 3739
Дата
Самарский университет

охлаждение на воздухе; 2) $950 \pm 10^\circ\text{C}$, выдержка 3,5 часа и охлаждение на воздухе; 3) $800 \pm 10^\circ\text{C}$, выдержка 7,5 часов и охлаждение на воздухе; 4) $700 \pm 10^\circ\text{C}$, выдержка 14 часов, охлаждение на воздухе.

Поскольку целью работы является методика проектирования технологического процесса (ТП) изготовления крупногабаритных заготовок камер сгорания ГТД по технологии ПЛВ, то в работе приведена подробная блок-схема алгоритма проектирования ТП процесса ПЛВ. Алгоритм содержит: блок проектирования заготовки; блок определения рациональных технологических параметров процесса ПЛВ; блок подготовки управляющей программы и изготовления заготовки; блок, определяющий проведение термической обработки; блок коррекции геометрии заготовок (дополнительные технологические припуски, рёбра жёсткости) и блок контроля. В соответствии с алгоритмом, созданы технологические модели заготовок, а также проведено их деление на простые элементы и разработаны управляющие программы применительно к роботизированной установке ИЛИСТ-Л. Выполненное технико-экономическое обоснование выбора технологии ПЛВ для изготовления заготовок деталей «Кожух внутренний камеры сгорания» и «Кожух наружный камеры сгорания» ГТД. Эти заготовки были изготовлены и испытаны в составе технологического двигателя на стенде ПАО ОДК Кузнецов, конструкторская и технологическая документация допущены в серийное производство.

Основными научными результатами работы являются:

- математической модели взаимодействия лазерного излучения и МПК для процесса ПЛВ, учитывающей пространственно-энергетические параметры в зоне выращивания;
- регрессионные зависимости влияния мощности лазерного излучения на прочностные характеристики наплавляемого сплава ЭП648;
- комплексная методика проектирования крупногабаритных узлов, позволяющая создавать эффективные корпусные конструкции с применением аддитивной технологии ПЛВ;
- определена граница применимости технологии ПЛВ при изготовлении корпусных узлов из МПК сплав ЭП648 без дополнительных ребер жесткости;

Практическая значимость работы выражается в следующем:

- 1) Разработан алгоритм проектирования технологического процесса ПЛВ, включающий методы определения оптимальных режимных параметров, которые повышают производительность изготовления крупногабаритных заготовок деталей ГТД.
- 2) Исследовано влияние режимов термической обработки на микроструктуру и механические свойства сплава ЭП648, что улучшает характеристики готового изделия.
- 3) Разработан и реализован технологический процесс изготовления крупногабаритных заготовок деталей «Кожух наружный камеры сгорания» и «Кожух внутренний камеры сгорания» ГТД методом ПЛВ.

По автореферату диссертации имеются замечания.

1. В модели энергетического баланса не учтено влияния температурного градиента и давления защитного газа.
2. Не обоснованы допущения о постоянной интенсивности лазерного излучения и сферической форме частиц МПК.
3. Не раскрыты механизмы влияния знака расфокусировки на формирование микроструктуры материала.
4. Отсутствует детальное описание методики подготовки образцов для механических испытаний

Однако отмеченные замечания не снижают ценности работы Балакина А. В. и важность полученных в ней расчетно-экспериментальных и технологических результатов.

Считаю, что диссертационная работа по научно-методическому уровню и практической значимости отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор Балакин Андрей Владимирович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 – Тепловые, электродвигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

к.т.н., старший научный сотрудник
ФАУ ЦИАМ им. П.И. Баранова

Исаков Владимир Владимирович

Подпись Исакова В.В. заверяю:
Ученый секретарь ФАУ
«ЦИАМ им. П.И. Баранова»
д.э.н., доцент



Джамай Екатерина Викторовна

Федеральное автономное учреждение
«Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова»
111116 г. Москва, ул. Авиамоторная, 2. Тел (485) 362-40-25
vvisakov@ciam.ru

Я, Исаков Владимир Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Балякина Андрея Владимировича на тему «РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ ГТД МЕТОДОМ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ».

ЦИАМ



Федеральное автономное учреждение

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ
АВИАЦИОННОГО МОТОРОСТРОЕНИЯ
имени П.И. Баранова**

Авиамоторная ул., д. 2, г. Москва, 111116

тел.: +7 499 763-6167, факс: +7 499 763-6110, info@ciam.ru, www.ciam.ru
ОГРН 1217700087285, ИНН 7722497881, КПП 772201001, ОКПО 47368486

Ученому секретарю
Диссертационного совета 24.2.379.10

ФГАОУ ВО
«Самарский национальный
исследовательский университет имени
академика С.П. Королева»
Виноградову А.С.

443086, г. Самара Московское шоссе, 34.
Самарский университет

№2000-08/ *507 07 28.04.2025*

На № 104-1403 от 17.03.2025

О направлении отзыва на автореферат
диссертации Балякина А.В.

Уважаемый Александр Сергеевич!

Направляю Вам 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.

Приложение: Отзыв на 3 л. в 2 экз.

С уважением,

Заместитель Генеральный директора

Ю.А. Ножницкий

Входящий № *206-3739*
Дата *07 МАЙ 2025*
Самарский университет