

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор ФГАОУ ВО
"Российский университет транспорта",
д.т.н., доцент
Савин Александр Владимирович

«17» ноября 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Орехова Александра Александровича «Математическое моделирование технологических температурных напряжений в процессе изготовления деталей методом селективного лазерного плавления», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Диссертационная работа Орехова А.А. посвящена разработке и реализации новых численно-аналитических методов расчета технологических температурных напряжений, возникающих в процессе изготовления деталей методами аддитивного производства. В частности, исследуются физико-механические характеристики изделий, полученных с применением методов 3D печати при различных параметрах процесса. Проблематика исследования относится к важному направлению, связанному с разработкой новых математических моделей определения технологических температурных напряжений, возникающих в процессе трехмерной печати изделий методом селективного лазерного плавления металлов. Данная работа, несомненно, является актуальной.

Научная новизна работы определяется полученными результатами:

- получено аналитическое решение задачи о нестационарном нагреве полупространства подвижным источником лазерного излучения, а также предложен численно-аналитический метод определения технологических температурных напряжений в упругом полупространстве, при воздействии на его поверхность подвижного источника тепла;
- получены новые результаты теплофизических экспериментальных исследований образцов из металлопорошковой композиции AlSi10Mg, синтезированных на установке трехмерной печати методом селективного лазерного плавления металлопорошковой композиции при различных инертных средах и направлениях печати, а также результаты

Служба документационного
обеспечения МАИ

19. 11 2021 г.

механических испытаний в испытаниях на растяжение, сжатие и трехточечный изгиб. Определены коэффициенты линейного температурного расширения (КЛТР);

- разработана и реализована в пакете Ansys адекватная конечно-элементная модель послойного селективного лазерного плавления металлопорошковой композиции, позволяющая определять термонапряженное состояние элементов конструкций с учетом анизотропных свойств материала;

- впервые предложен и реализован в конечно-элементном программном комплексе COMSOL Multiphysics метод численного моделирования технологических температурных напряжений, возникающих в монослое в процессе селективного лазерного плавления металлопорошковой композиции AlSi10Mg с учетом реальных параметров трехмерной печати.

Практическая значимость работы заключается в предложенной численно-аналитической модели для решения задачи о нестационарном нагреве полупространства движущимся высокоинтенсивным источником лазерного излучения, с учетом реальных параметров установки трехмерной печати и, в частности, использования точной траектории движения лазерного луча по поверхности проплавляемой области. Кроме того, в разработке достоверных конечно-элементных моделей для определения термонапряженного состояния как в рамках одного слоя, так и для компоновочного решения в известных программных комплексах Ansys и COMSOL Multiphysics.

Апробация результатов работы была проведена на российских и международных конференциях:

- Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред Материалы XXIV международного симпозиума имени А.Г. Горшкова. 2018, 2019, 2021 гг.

- Международный научный семинар "Динамическое деформирование и контактное взаимодействие тонкостенных конструкций при воздействии полей различной физической природы" Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). 2018.

- Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов», посвященная 65-летию БИИЖТа – БелГУТа. 2018.

- Международная научно-практическая конференция «Проблемы

безопасности на транспорте». 2019, 2020 гг.

– ICCMSE 2021, 17th International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering. 2021 г.

Результаты работы представлены в 21 публикации, из них 4 публикации в журналах, индексируемых международной системой цитирования Scopus, 2 публикации в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, 11 публикаций в виде тезисов докладов конференций, в том числе международных, а также автором диссертации получены 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура диссертации состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы (119 источников), всего 130 стр. текста.

В первой главе обсуждаются существующие методы трехмерной печати, их различие и применяемые материалы, а также представлен обзор известных работ, связанных с тематикой диссертационной работы.

Во второй главе представлены результаты физико-механических испытаний экспериментальных образцов, полученных методом селективного лазерного плавления металлопорошковой композиции AlSi10Mg при различных параметрах процесса аддитивного производства (варьирование инертной средой и направлением печати). В главе изложена методика печати образцов и проведения испытаний, проанализированы результаты температурных и механических испытаний экспериментальных образцов. Показано, что рассматриваемые образцы при различных параметрах печати имеют разные механические характеристики и дана оценка влияния параметров печати на полученные значения. Результаты проведенных экспериментальных исследований используются в дальнейшем для построения адекватных численно-аналитических и конечно-элементных моделей процесса трехмерной печати методом селективного лазерного плавления.

В третьей главе предложен численно-аналитический метод определения технологических температурных напряжений, возникающих в деталях при их производстве методом селективного лазерного плавления. Представлена постановка задачи о нестационарном нагреве изотропного полупространства подвижным источником лазерного излучения, которая является вспомогательной для определения температурных напряжений, возникающих в процессе создания изделий методами аддитивного

производства. В главе представлены результаты конечно-элементного моделирования процесса трехмерной печати методом послойного селективного лазерного плавления для компоновочного решения, состоящего из нескольких образцов, расположенных под разным углом относительно платформы построения. Представлен алгоритм проведения численного расчета, включающий в себя печать калибровочных образцов, с целью уточнения констант, необходимых для построения адекватной конечно-элементной модели. Моделирование проводилось в широко известном программном комплексе Ansys. Также представлены результаты численного моделирования термонапряженного состояния в монослое с использованием программного комплекса COMSOL Multiphysics. Полученные результаты сравнивались с результатами, полученными при численно-аналитическом моделировании, и показали хорошую корреляцию.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертационной работы.

Имеется ряд замечаний, которые, однако, не относятся к основной содержательной части работы и не снижают её общего уровня:

1. На странице 66 диссертации в таблице 12 отсутствует размерность величины β .

2. В главе 3 на страницах 78-79 представлены результаты численно-аналитического расчета для определения напряжений по глубине в конкретный момент времени, было бы интересно увидеть аналогичные графики для конечно-элементного расчета.

3. В тексте автореферата следовало указать характеристики материала, используемые в расчетах, так как без текста диссертации это не очевидно.

Указанные замечания не снижают важности полученных результатов. Работа представляет собой законченное научное исследование и соответствует квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертационным работам, в том числе соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, а ее автор, Орехов Александр Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Транспортное строительство» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)» 15 ноября 2021г., протокол № 4.

Зав. кафедрой «Транспортное строительство» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», д.ф.-м.н., профессор

Локтев Алексей Алексеевич

Секретарь кафедры, зав. лабораторией

Федорова Снежана Владимировна

Контактные данные организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет транспорта". 125190, г. Москва, ул. Часовая, д. 22/2, ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Российская открытая академия транспорта.

Телефон: +7 495 684-23-96

E-mail: tu@miit.ru

Официальный сайт: <https://rut-miit.ru/>

Подпись д.ф.-м.н. профессора Локтева Алексея Алексеевича и Федоровой Снежаны Владимировны заверяю:



СЕРТИФИКАТ
ПО КАДРОВОМУ
ПРОИЗВОДСТВУ
ПОПОВА Т. Ю.