

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель

Генерального директора

ФГУП «ЦАГИ»

доктор физико-математических
наук, профессор



А.Л. Медведский

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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»

В современных условиях расширения применения аддитивной технологии лазерного сплавления металлических порошков (SLM-технология) при изготовлении деталей изделий машиностроения практически важным является обеспечение точности их изготовления, при выполнении требуемых прочностных и ресурсных характеристик. В этой связи диссертационная работа А.А. Орехова, направленная на математическое моделирование термических напряжений в деталях, изготавливаемых в аддитивной SLM-технологии, обуславливающих определенное изменение физико-механических характеристик материалов в деталях и их коробление, приводящее к искажениям геометрической формы, представляется актуальной и практически важной.

При выполнении работы автором сформулированы цели и задачи исследования. Проведен обзор методов и технических средств трехмерной печати. Он правильно определил как наиболее перспективную в современных условиях при изготовлении деталей изделий машиностроения аддитивную технологию селективного лазерного сплавления металлических порошков (SLM-технология). В ней возможно изготовление деталей повышенной геометрической сложности при прочностных характеристиках, не уступающих традиционным технологиям обработки металлов. Для оценки технических характеристик деталей получаемых в аддитивной SLM-технологии он провел экспериментальные исследования на специально изготовленных образцах простой геометрической формы (в виде прямоугольных пластин) – коэффициента линейного термического расширения, прочностных характеристик при нагружении растяжением, сжатием, а также

Уддел документационного
обеспечения МАИ

13. 12 2021 г.

трехточечным изгибом. Определенной новизной отличается оценка характеристик образцов при проведении сплавления в среде инертных газов (аргон, азот). Изготовление образцов выполнено из распространенного порошка литейного алюминиевого сплава AlSi10Mg, изготавливаемого как за рубежом, так и в Российской Федерации. Упрощенная форма образцов обеспечивает простое определение характеристик в эксперименте.

Применительно к расчетному определению технологических температурных напряжений, возникающих при послойном изготовлении деталей лазерным сплавлением металлического порошка, А.А. Ореховым предложена ясная физическая модель технологического процесса лазерного сплавления, отличающаяся безусловной научной новизной. В ней воспроизводится нестационарный нагрев металлического порошка источником тепла, движущегося над формируемым лазерным сплавлением текущего слоя детали пятном нагрева, воспроизводящим воздействие лазерного луча. Принимая в качестве параметров распределение теплового потока по поверхности формируемой детали, мощность лазерного излучения, с учетом возможной теплоотдачи и скорости перемещения лазера им получены расчетные соотношения для распределения напряжений по глубине формируемой детали от воздействия стационарного теплового потока. Практически важным представляется построенный процесс конечно-элементного моделирования методом послойного лазерного сплавления в известных промышленных программных комплексах. Результаты выполненного численного моделирования теплонапряженного состояния образцов, судя по приведенной визуализации, представляются вполне физическими.

Имеются замечания к содержанию автореферата:

1. Выбранный литейный алюминиевый сплав отличается низкими прочностными характеристиками, по сравнению с авиационными конструкционными алюминиевыми сплавами, при также низкой склонности к короблению. Изготовление образцов из порошка одного из конструкционных алюминиевых сплавов (выпускаются в производствах «РУСАЛ» и ФГУП «ВИАМ») повысило бы практическую значимость результатов.

2. Не рассмотрены опорные элементы («подпорки») для крепления к инструментальным плитам в рабочей зоне селективного лазерного сплавления, изготавливаемые совместно с деталями в аддитивной технологии. Их конструкция существенно влияет на точность изготовления деталей, которые подвергаются термической обработке для снятия остаточных напряжений и коробления без отделения от инструментальной плиты.

3. Отсутствует информация об оценке величин возможного коробления деталей в аддитивном процессе изготовления по SLM-технологии с

использованием полученных расчетных соотношений или в конечно-элементном расчете.

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не умоляют значения диссертационной работы.

На основании рассмотрения автореферата диссертации можно сделать вывод, что она является завешенной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение актуальной научно-технической задачи, имеющей важное практическое значение, отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Ее автор, Орехов Александр Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Начальник Научно-технического
центра Научно-производственного
комплекса ФГУП «ЦАГИ»,
профессор МФТИ, доктор
технических наук, заслуженный
машиностроитель РФ

Вермель Владимир
Дмитриевич

10.12.2021

Адрес: 140180, М.О., г. Жуковский
ул. Жуковского, дом 1, ФГУП «ЦАГИ»
тел.: 8 (495) 556-43-62
e-mail: vermel@tsagi.ru
npk@tsagi.ru