

ОТЗЫВ

официального оппонента **Носовой Екатерины Александровны**, доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Технологии металлов и авиационного материаловедения» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» на диссертационную работу **Добрянского Василия Николаевича** на тему: «Влияние гранулометрического состава порошков из сплава AlSi10Mg на закономерности процесса селективного лазерного плавления», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17 – Материаловедение

Актуальность темы диссертационной исследования

Технология СЛП, являясь одной из ключевых в сфере аддитивного производства, требует глубокого изучения влияния свойств исходных порошковых материалов на результаты получения изделий с требуемой геометрией, состоянием поверхности, структурой и свойствами. Проблемы, связанные с вариативностью гранулометрического состава порошков и его влиянием на сплавление, остаются недостаточно изученными. Практический интерес представляет изготовление тонкостенных деталей, а учитывая послойность нанесения материала в технологии СЛП, возможность изготовления таких деталей напрямую зависит от размера частиц порошка. Наличие мелких частиц порошка улучшает кинетику консолидации из-за меньшего количества тепла, необходимого для расплавления частиц порошка. Кроме того, уменьшение размера частиц порошка приводит к увеличению удельной поверхности по отношению к объему, что, в свою очередь, повышает поглощательную способность порошкового слоя. Из-за высокой отражательной способности сплавов на основе Al ее повышение имеет высокое практическое значение. Средний размер частиц порошка может оказывать существенное влияние на качество получаемой поверхности изделия.

Исходя из этого, актуальность темы диссертационной работы Добрянского В.Н., направленной на изучение влияния гранулометрического состава порошка на его химический состав и параметры селективного лазерного плавления, повышение достоверности оценок эффективных теплофизических свойств порошкового слоя на уровне исследования единичных треков на примере порошка сплава AlSi10Mg для повышения качества изделий, не вызывает сомнения. Полученные результаты способствуют повышению эффективности и предсказуемости процесса СЛП изделий из алюминиевых сплавов, что особенно важно для внедрения данной технологии в производство ответственных изделий сложной геометрии.

Структура, объем и форма изложения диссертации

Диссертация изложена на 165 страницах машинописного текста, включает 72 рисунка и 23 таблицы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, содержащего 128 наименований, приложений.

Диссертация написана четким, грамотным языком; иллюстрации хорошо дополняют текст. Существенных замечаний по оформлению диссертации нет.

Результаты диссертации опубликованы в 12 научных работах, в том числе 5 статей в журналах, индексируемых в международной системе цитирования Scopus, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. В публикациях изложены основные результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных автором.

Основные результаты и положения диссертационной работы докладывались на 6 научно-технических конференциях и семинарах: 51 школа-конференция «Актуальные проблемы механики» (Великий Новгород, 2024); XIII всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике (Санкт-Петербург, 2023); XLIX Международная

молодежная научная конференция «Гагаринские чтения-2023» (Москва, 2023); 12-й Всероссийской научной конференции с международным участием им. И.Ф. Образцова и Ю.Г. Яновского (Москва, 2022); XXVIII Международный симпозиум «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» имени А.Г. Горшкова (Москва, 2022); XIV Всероссийская научно-техническая студенческая школа-семинар (Симферополь, 2021).

Краткая характеристика содержания диссертации

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна и практическая значимость работы, приведены объект и предмет исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, подтверждена достоверность результатов работы, указан личный вклад автора в выполненные исследования. Приводятся сведения об апробации работы и публикациях, структуре и объеме диссертации.

В первой главе приведен обзор работ по тематике исследования. Характеризуются и классифицируются параметры процесса селективного лазерного плавления, их влияние на качество получаемых изделий. Обсуждаются проблемы, возникающие в процессе печати из изделий из металлов и пути их решения. Приводятся подходы и методы моделирования процессов СЛП. Описываются методы идентификации свойств материалов, применяемых в технологиях СЛП. Подробно обсуждаются подходы исследования процессов СЛП, в том числе на основе анализа сплавления единичных треков. Обсуждаются принципы построения карт технологического процесса.

Во второй главе изложено описание процесса подготовки металлорошковых композиций, методов экспериментальных исследований, а также применяемого оборудования. Приведены результаты исследований гранулометрического, химического состава и теплофизических свойств металлорошковых композиций различного гранулометрического состава. Выведены закономерности влияния среднего размера частиц на химический состав.

В третьей главе приводится описание методики проведения экспериментальных исследований по сплавлению единичных треков, применяемого оборудования. Обсуждаются результаты анализа начала образования единичных треков, полученных на порошках различного гранулометрического состава, оценивается величина энерговклада, необходимая для получения полностью сплавленного непрерывного единичного трека для различных порошков. Приводятся результаты обработки поперечных шлифов полученных единичных треков, карты процесса СЛП, карты появления дефектов структуры поперечных шлифов, даются закономерности влияния энерговклада на морфологию ванны расплава единичного трека.

В четвертой главе проводится валидация моделей подвижных тепловых источников на основании полученных экспериментальных данных. Проводится безразмерный анализ полученных экспериментальных данных по сплавлению единичных треков для порошков различного гранулометрического состава.

В заключении кратко изложены основные результаты диссертационного исследования и выводы по работе, а также сформулированы перспективы дальнейших исследований.

В приложении приведены изображения полученных единичных треков в зависимости от мощности и скорости сканирования; микроснимки, поперечные контуры надплатформенной части и 3D-модель некоторых единичных треков, результаты сплавления единичных треков, сопоставление теоретических оценок для параметров ванны расплава и обезразмеренных экспериментальных данных для различных параметров процесса для порошка выбранных фракций.

Оценка степени научной новизны результатов диссертации

В диссертационной работе автором получены следующие новые научные результаты, которые повышают уровень понимания процессов, происходящих при лазерном плавлении металлических порошков, и имеют как фундаментальное, так и прикладное значение:

1. Установлено, что с увеличением размеров частиц от 20.2 до 73.4 мкм содержание кремния в порошке возрастает с 11.5 вес.% до 13.1 вес.%.

2. Предложена новая методика оценки эффективного коэффициента теплопроводности порошкового слоя сплава AlSi10Mg по результатам сплавления единичных треков и применения стандартных расчетных моделей для подвижных тепловых источников. Показано, что широко применяемые оценки для средней теплопроводности порошков в диапазоне рабочих температур процессов селективного лазерного плавления не позволяют достоверно описать имеющиеся экспериментальные данные.

3. Предложена новая методика оценки эффективного коэффициента поглощения порошкового слоя по результатам сплавления единичных треков и применения стандартных расчетных моделей для подвижных тепловых источников на примере порошков сплава AlSi10Mg. Показано, что коэффициент поглощения снижается с 0.45 до 0.15 с увеличением среднего размера частиц от 20.2 до 73.4 мкм.

4. Установлены закономерности влияния гранулометрического состава металлопорошковой композиции на морфологию ванны расплава и дефектность структуры единичных треков. Показано существенное влияние размера частиц порошка на величину энерговклада, необходимого для получения полностью сплавленного непрерывного единичного трека, при этом порошки с более крупным средним размером частиц требуют большего энерговклада. Установлено, что в режимах большого энерговклада (более 700 Дж/м) влияние размера частиц на морфологию ванны расплава нивелируется.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, рекомендаций, заключений и выводов

Обоснованность и достоверность научных положений, рекомендаций, заключений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, подтверждаются использованием аттестованных методик проведения исследования на современном оборудовании и широким спектром методов исследования. При выполнении диссертационной работы был выполнен большой объем экспериментальных исследований, что обеспечивает достоверность полученных результатов. Данные, полученные в рамках экспериментальных работ, обладают удовлетворительной сходимостью с положениями теоретического металловедения и в целом не противоречат данным нормативных документов и результатам исследований других авторов.

Соответствие представленной работы требованиям, предъявляемым к диссертациям и паспорту специальности

Положения и результаты диссертации Добрянкого В.Н. обладают научной новизной и практической значимостью, при этом полученные результаты соответствуют научным положениям. Основные результаты диссертации относятся к области теоретических и экспериментальных исследований фундаментальных связей структуры алюминиевых сплавов с комплексом физико-механических свойств с целью обеспечения надежности и долговечности деталей, получаемых методом СЛП.

Публикации имеют достаточно высокий уровень и полностью отражают содержание диссертации.

Диссертационная работы Добрянкого В.Н. отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту научной специальности 2.6.17 – Материаловедение по пунктам 2, 6 и 8.

Практическая значимость и использование результатов

Практическая ценность диссертации Добрянского Василия Николаевича заключается в разработке новых методических подходов и практических рекомендаций, которые могут быть применены для повышения эффективности и качества аддитивного производства методом селективного лазерного плавления (СЛП).

Предложенные методики оценки коэффициентов теплопроводности и поглощения порошкового слоя на основе анализа единичных треков могут быть использованы для эффективного проектирования технологических процессов и снижения экспериментальных затрат.

Разработанные зависимости между размером частиц порошков, их химическим составом и параметрами плавления дают возможность прогнозировать свойства конечных изделий и подбирать оптимальные параметры их синтеза.

Полученные результаты и разработанные методики могут быть адаптированы для работы с другими порошковыми материалами, что расширяет область их применения.

Полученные результаты диссертационной работы могут быть использованы на машиностроительных предприятиях, выпускающих изделия методом СЛП из алюминиевых сплавов.

Замечания по диссертационной работе

1. Некорректные формулировки по тексту, например, автор пишет, что в первой главе его работы вводится понятие селективного лазерного плавления, а в четвёртой главе - вводится понятие точечного и распределенного теплового источника. Такие формулировки не совсем верные, т.к. применяемые понятия в мировой практике СЛП уже введены, а автором они только описываются и применяются.

2. Отсутствуют расшифровки формул из цитируемых публикаций.

3. При анализе зависимости химического состава частиц от их размера автор одной из причин называет испарение кремния при высоких температурах нагрева, хотя в исследуемом сплаве более вероятно испарение менее тугоплавких алюминия и магния.

4. Одной из причин зависимости мощности и скорости лазера, при которых был получен первый сплавленный единичный трек при толщине слоя 60 мкм, от гранулометрического состава порошков при одинаковой процедуре проведения эксперимента и одинаковой толщине слоя, обусловленной разными теплофизическими свойствами порошкового слоя, автор называет разный химический состав: с увеличением среднего размера частиц растёт содержание кремния, в свою очередь, с увеличением содержания кремния может уменьшаться теплопроводность. Однако известно, что алюминиевые сплавы самопассивируются, что приводит к образованию оксидной плёнки на поверхности. С уменьшением размера частиц доля оксидной фазы возрастает, что может оказывать более существенное влияние на теплофизические свойства, чем содержание кремния.

5. В разделе 4.4 выполнено сопоставление моделирования и экспериментальных данных с учётом влияния среднего размера частиц. Для анализа морфологии ванны расплава и дефектность ее структуры выдвинуто 7 гипотез зависимости от размера частиц, представлено внушительное количество рисунков, однако внятного анализа построенных зависимостей глубины проплавления от операционного параметра, используемых допущений в гипотезах и размера частиц не приведено.

6. Общие выводы по работе имеют общие и умозрительные формулировки, хотя в выводах по главам формулировки более чёткие и подкреплены числовыми результатами.

7. В публикациях по диссертации отсутствуют статьи в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ. Среди работ с единоличным авторством представлены только 1 тезисы, опубликованные в материалах конференции.

8. Отсутствуют акты внедрения результатов работы, хотя бы в учебный процесс для подготовки бакалавров, магистров и аспирантов, хотя разработанные методики, вероятно, в организации, где выполнена работа, применяются.

Заключение

Отмеченные замечания существенно не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы, не снижают ее научную и практическую ценность.

Диссертационная работа Добрянкого В.Н. является законченной научно-квалификационной работой, предлагающей решение актуальной научной задачи – улучшение качества изделий из алюминиевых сплавов, полученных селективным лазерным сплавлением., которая имеет важное значения для развития материаловедения.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Добрянкого В.Н. соответствует требованиям, в том числе, п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», ВАК Российской Федерации, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям, а её автор Добрянский Василий Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 Материаловедение.

Даю согласие на обработку моих персональных данных.

Официальный оппонент

Доктор технических наук (2.6.17 – Материаловедение),

доцент, заведующий кафедрой «Технологии

металлов и авиационного материаловедения»

ФГАОУ ВО «Самарский национальный

исследовательский университет имени

академика С.П. Королева»

Носова 25.11.2024

Носова Екатерина Александровна

Адрес почтовый и электронный: 443086, Самарская область, г. Самара, Московское шоссе, д. 34, 8 (846) 267-46-40, e-mail: nosova.ea@ssau.ru.

