

ОТЗЫВ **официального оппонента**

кандидата технических наук, ведущего инженера-технолога ООО «Южный завод тяжелого станкостроения» Колчанова Дмитрия Сергеевича на диссертацию Брыкина Вениамина Андреевича «Влияние параметров аддитивной технологии на структуру и физико-механические свойства изделий из металлопорошковой композиции AlSi10Mg», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы (технические науки)

Диссертационная работа В.А. Брыкина посвящена исследованию и оптимизации процесса селективной лазерной плавки (СЛП) изделий из металлопорошковой композиции AlSi10Mg. В работе рассматриваются вопросы влияния технологических параметров СЛП на структуру и физико-механические свойства изделий, что имеет ключевое значение для успешного внедрения аддитивных технологий в промышленное производство.

Актуальность темы СЛП – это одна из наиболее востребованных технологий аддитивного производства, позволяющая создавать изделия сложной геометрии с минимальным количеством отходов. Однако реализация полного потенциала данной технологии требует тщательного подбора параметров процесса для обеспечения высокой плотности, прочностных характеристик и однородности структуры. СЛП занимает важное место среди современных производственных технологий благодаря своей универсальности и способности создавать изделия, которые затруднительно, а в ряде случаев - невозможно изготовить традиционными металлообрабатывающими или формообразующими технологиями. Использование алюминиевых сплавов, таких как AlSi10Mg, расширяет сферу применения данной технологии, особенно в таких высокотехнологичных отраслях, как авиакосмическая и автомобильная промышленность.

Особенность AlSi10Mg заключается в его хорошей коррозионной стойкости, сочетании низкой плотности с удовлетворительными механическими характеристиками. Однако недостаток методики СЛП – необходимость многократного экспериментального подбора параметров, что увеличивает сроки внедрения технологии на производстве. Исследования, направленные на автоматизацию этого процесса, обладают значительным научным и прикладным потенциалом.

Диссертационная работа Брыкина В.А. направлена на решение проблемы автоматизации процесса подбора оптимальных параметров, что сокращает время технологической подготовки, минимизирует затраты на проведение экспериментальных исследований и повышает качество конечной продукции. Данная работа полностью соответствует современным вызовам аддитивного производства и способствует развитию этой области в контексте импортозамещения и локализации технологий.

Целью диссертационной работы является совершенствование технологического процесса аддитивного производства методом селективной лазерной плавки металлопорошковых композиций путём разработки методики автоматизированного подбора технологических параметров процесса.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. проведен анализ существующих методов технологической подготовки и опытных технологических работ (ОТР) аддитивного производства изделий с целью поиска недостатков процесса;
2. проведена типизация и декомпозиция проводимых опытных работ с учетом требований, предъявляемых к процессу выращивания, сформировать алгоритм поиска оптимальных параметров аддитивного производства изделий с учетом технологических ограничений и требований к качеству процесса/изделия;

3. исследовано влияние технологических параметров на характеристики протекания процесса селективной лазерной плавки металлопорошковых композиций, структуру и свойства образцов и готовых изделий;

4. разработаны программные инструменты экспресс-анализа результатов опытных технологических работ аддитивного производства и оптимизации набора технологических параметров с целью достижения требуемых характеристик свойств изделия и снижения времени, затрачиваемого на цикл опытных работ;

5. результаты исследований применены при создании новых методических решений, которые обеспечили бы усовершенствование технологического процесса селективной лазерной плавки, сокращение сроков опытных работ по поиску оптимальных параметров процесса с точки зрения пористости, морфологии структуры и механических свойств получаемого изделия.

Общая характеристика работы

Автор провёл достаточно полное исследование технологических аспектов аддитивного производства из металлопорошковых композициями. Рассмотрены технологии изготовления изделий методами точного литья, порошковой металлургии и селективной лазерной плавки. В ходе обзора подчёркнуто, что пористость образцов снижает их механические свойства, нивелируя преимущества, полученные сложной геометрией изделий. Автор указывает на важность оптимизации параметров плавки и управляющих программ. На основе анализа литературы определены цель и задачи работы.

Автором определены объекты и методы исследования, включая изготовление образцов методом СЛП – единичных треков, объёмных образцов и эксперименты. Разработаны программы экспресс-анализа в Microsoft Visual Studio, изготовлены образцы треков и кубиков. Проведены исследования для поиска параметров СЛП, обеспечивающих пористость менее 3%. Изготовлены образцы с толщиной слоя от 30 до 90 мкм, что позволяет балансировать между скоростью синтеза и механическими свойствами.

Созданы инструменты экспресс-анализа и автоматизации контроля порошковых материалов через обработку изображений СЭМ. Также предложены инструменты экспресс-анализа образцов, полученных в результате экспериментов с единичными треками сплавленного материала и объёмными образцами.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Предложено научно-методическое обеспечение подготовки технологического процесса аддитивного производства методом селективной лазерной плавки с учетом пористости и микроструктуры синтезируемого материала, включающее программные компоненты и методику экспериментов.

2. Разработана программа экспресс-анализа влияния выбранных параметров технологического процесса селективной лазерной плавки на формирование единичного трека порошкового материала, позволяющая определять эффективные наборы параметров линейного энерговклада в соответствии с критериями качества трека. Для российской установки Addsol D50 и порошка сплава AlSi10Mg установлен диапазон параметров (мощность лазерного излучения [220:400] Вт и скорость сканирования [200:1400] мм/с), гарантирующий синтез непрерывных единичных треков.

3. Разработана программа экспресс-анализа и автоматизации исследования объёмных объектов, выращенных с помощью технологии селективной лазерной плавки. Инструмент позволяет определить наборы оптимальных технологических параметров, обеспечивающих процесс выращивания объектов с требуемыми уровнем пористости и морфологией структуры. Для российской установки Addsol D50 и порошка сплава AlSi10Mg установлены параметры [325 Вт; 900 мм/с; 30 мкм], позволяющие достичь относительной плотности образцов в 99,5% и однородной дендритно-ячеистой структуры со средним размером зёрен твердого раствора на основе алюминия 1-2 мкм.

4. Сформулированы границы применимости и разработаны проектные рекомендации для предложенных методик экспресс-анализа. Показано, что их применение позволяет сократить сроки работ по поиску технологических параметров процесса селективной лазерной плавки на ~53,5%.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Установлены закономерности влияния определяющих параметров энергозклада (мощности лазерного излучения, скорости сканирования и высоты слоя насыпаемого порошка) на пористость и морфологию микроструктуры синтезируемых объектов при селективной лазерной плавке порошка сплава AlSi10Mg.

2. Разработаны программы экспресс-анализа и методика для исследования и поиска оптимальных параметров энергозклада с учетом требований к пористости, структуре и свойствам изделий, что позволило сократить сроки этого этапа опытных работ на 53,5% для отечественной установки Addsol D50 и порошка сплава AlSi10Mg.

3. Для исследованного материала порошка сплава AlSi10Mg и отечественной установки Addsol D50 определены параметры процесса селективной лазерной плавки [325 Вт; 900 мм/с; 30 мкм], позволяющие достичь пористости – 0,3%, предела прочности на разрыв – 341,5 МПа и относительного удлинения – 2,65%.

4. Полученные результаты используются в опытных технологических работах аддитивного производства в АО «Лазерные системы», что подтверждено соответствующим актом.

Обоснованность и достоверность разработанных методов, сформулированных в диссертационной работе, и полученных на их основе результатов обеспечивается надежностью аппарата анализа соответствующих технологических процессов и подтверждается сравнением эффективности предложенных инструментов с уже используемыми на предприятиях и участках аддитивного производства. Все результаты получены на поверенном оборудовании с использованием лицензионного программного обеспечения. Стандартные испытания и исследования проводились в соответствии с требованиями научно-технической документации, действующей на территории Российской Федерации (ГОСТ и ISO). Достоверность разработанных методик и моделей

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 14 научно-технических конференциях (НТК): XVI конференция пользователей CAD/FEM/ANSYS – 2019, (АО «КАДФЕМ Си-Ай Эс», 2019 г.), Sino-Russian Youth Forum and Exchange Camp on Innovation and Entrepreneurship ASRTU-GHMUA, (г. Гуанчжоу, КНР, 2019 г.), 3D КонЦентрАТ (г. Воронеж, 2019-2021 гг.), XIX-XXI Международная НТК «Авиация и космонавтика» (г. Москва, 2020-2022 г.), XLVI-XLVIII Международная молодёжная НТК «Гагаринские чтения» (МАИ, 2020-2022 г.), Международная НТК «Космические системы» (МАИ, 2021 г.), XIV Всероссийская научно-техническая студенческая школа-семинар «Аэрокосмическая декада» (г. Алушта, 2021 г.), НТК им. Е.В. Арменского - 11 - (МИЭМ НИУ ВШЭ, г. Москва, 2023 г.), а также на ежегодных научно-технических советах кафедры 904 «Инженерная графика» МАИ.

Однако, несмотря на высокое качество работы, имеются несколько вопросов и замечаний:

1. С точки зрения внедрения разработанных инструментов было бы полезно провести анализ экономической эффективности внедрения предложенных решений, что повысило бы их практическую значимость для промышленности.
2. В работе отсутствует сравнительный анализ разработанных программных средств с аналогичными зарубежными решениями, что позволило бы оценить их конкурентные преимущества.
3. В работе приведены свойства образцов, изготовленных из AlSi10Mg сплава методом СЛП, которые имеют различные значения в различных пунктах работы. Автор не проводит обобщение этих данных, что несколько затрудняет восприятие

излагаемой информации. Пояснения различий приводимых данных в работе также отсутствует.

4. Известно, что энерговыход - удельная энергия E_v - может быть рассчитан, исходя из теплофизических свойств материала. Данные расчета позволили бы сократить количество необходимых для подбора режимов экспериментов – этот вопрос слабо раскрывается в работе.
5. Автор не говорит о возможности использования данных из открытых источников для пополнения библиотеки результатов эксперимента для дальнейшего анализа влияния технологических параметров на свойства и структуру образцов и изделий, что могло бы увеличить практическую значимость работы.
6. Автор не говорит о применимости предложенной методики и программного комплекса для анализа результатов более распространенных экспериментов, например определения пористости по микрошлифам, что могло бы способствовать внедрению результатов работы на предприятия.

Сделанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертации.

Диссертация написана грамотным научным языком, логично структурирована и последовательно изложена. Автор убедительно демонстрирует владение материалом, приводя четкие и обоснованные выводы по каждой главе. Работа сопровождается необходимыми иллюстрациями, что облегчает понимание сложных технических аспектов.

Результаты работы опубликованы в 16 научных статьях, из которых 4 включены в перечень ВАК, а 2 индексируются в международных системах цитирования. Итоги исследований также были представлены на 14 всероссийских и международных научных конференциях.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

Заключение

Диссертация Брыкина В.А. «Влияние параметров аддитивной технологии на структуру и физико-механические свойства изделий из металлопорошковой композиции $AlSi10Mg$ » выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную самостоятельную научно-квалифицированную работу, в которой представлены научно-обоснованные технические и технологические решения – в частности, предложены новые программные инструменты, способные увеличить эффективность экспериментальных исследований в аддитивном производстве, а также методические рекомендации по оптимизации параметров селективной лазерной плавки. По научному уровню, полученным научно-техническим и практическим результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, Брыкин Вениамин Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. – Порошковая металлургия и композиционные материалы (технические науки).

Официальный оппонент:

Кандидат технических наук,
ООО «Южный завод тяжелого станкостроения»,
ведущий инженер-технолог


Колчанов Дмитрий Сергеевич

Подпись Колчанова Д.С. удостоверяю
Начальник отдела перспективных разработок
К.т.н.



Печать организации

А.А.Дренин
Ф.И.О.

19.11.2024

Тел.: +7 (861) 997-60-47

E-mail: info@uzts-sedin.com

Адрес организации: ул. Захарова, 10/4,
микрорайон Центральный, Центральный
внутригородской округ, Краснодар