



**МОСКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский политехнический университет»
(Московский Политех)

Б. Семеновская ул., д.38, Москва, 107023
Тел.+7 495 223 05 23, Факс +7 499 785 62 24
www.mospolytech.ru | E-mail: mospolytech@mospolytech.ru
ОКПО 04350607, ОГРН 1167746817810,
ИНН/КПП 7719455553/771901001

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,
К.Т.Н.

Антон Юрьевич Наливайко

«*Антон Юрьевич Наливайко*» 2025 г.

печать организации

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» на диссертационную работу Потапова Андрея Алексеевича на тему: «Конструкторско-технологическое обоснование режимов FDM-печати изделий с заданными характеристиками», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. Технология машиностроения

Актуальность темы диссертационной работы

В машиностроении существует необходимость в изделиях сложной формы, традиционные технологии изготовления которых характеризуются многооперационностью, низкой эффективностью и большой материалоемкостью. Существующие методы производства, такие как литье, обработка давлением, методы механической обработки и т.д. имеют ряд существенных ограничений, особенно при производстве элементов изделий сложной формы. Это приводит к существенному увеличению времени конструкторско-технологической подготовки производства, высокой стоимости технологической оснастки, большому количеству технологических операций, высокой материалоемкости, ограничивает применение полимерных и композиционных материалов. В последние годы интенсивно

развиваются технологии аддитивного производства, позволяющие существенно сократить сроки конструкторско-технологической подготовки производства и уменьшить материалоемкость изделий. Среди известных методов 3D-печати метод FDM (Fused-Deposition Modeling) является широко востребованным благодаря способности изготавливать изделия сложной формы из различных полимерных и композиционных материалов при минимальных сроках конструкторско-технологической подготовки производства. FDM-печать позволяет изготавливать изделия с разной степенью заполнения, тем самым варьируя массу изделия и физико-механические свойства.

Одной из проблем, ограничивающих реализацию возможностей FDM-печати, является отсутствие конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати и постобработки, а также оптимизации конструкций изделий с целью уменьшения их массы при обеспечении заданных характеристик. В настоящее время так же отсутствуют методики, позволяющие прогнозировать характеристики конечного продукта в зависимости от режимов процесса FDM-печати, что сказывается на эффективности применения данной технологии изготовления в производстве изделий сложной формы.

Диссертационная работа направлена на решение актуальной научно-технической задачи – разработки конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати изделий с заданными характеристиками, включающего разработку и оптимизацию конструкций, выбор материалов, определение технологических схем, режимов печати и последующей дополнительной обработки.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы из 161 наименований; общий объем – 181 страницы машинописного текста, включая 104 рисунков и 33 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, направленной на решение важной научно-технической задачи: разработка конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати изделий с заданными характеристиками. Сформулированы цели и задачи диссертационных исследований.

В первой главе приводится обзор технологий и параметров 3D-печати, а также рекомендациям по видам доводочных операций и пост-обработке.

Во второй главе разработана структура конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати изделий с заданными характеристиками на основе базовой структуры. Структура конструкторского обоснования режимов FDM-печати изделий включает в себя выбор материала и конструкции изделия с учетом специфики процесса FDM-печати, позволяющей значительно уменьшить массу изделия без потери прочности и жесткости.

В третьей главе численным методом проведено исследование эффективных характеристик изотропного и ортотропного материала при разной степени заполнения и установлены результирующие аналитические зависимости.

В четвертой главе реализован многофакторный эксперимент, построены параметрические поверхности и установлены регрессионные зависимости физико-механических свойств от параметров FDM-печати. Даны рекомендации по рациональным режимам FDM-печати изделий с заданными характеристиками. Проведены исследования влияния постобработки на физико-механические свойства изделия.

В пятой главе выполнена практическая реализация диссертационного исследования. Представлены технические требования на изделие «рабочее колесо вентилятора». Моделирование позволило определить оптимальный процент заполнения (60%), позволяющий снизить массу изделия на 50% при соблюдении технических требований. В соответствии со структурой технологического обоснования для изделия были определены рациональные режимы процесса FDM-печати и постобработки, которые позволили увеличить производительность на 70% и уменьшить используемый материал на 50%, при соблюдении технических требований.

Оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Научная новизна диссертационной работы

Научная новизна состоит в выявлении взаимосвязей и обосновании конструкторско-технологических режимов FDM-печати, позволяющих уменьшить материалоемкость изделий путем оценки достижения заданных характеристик с использованием полученных аналитических и регрессионных зависимостей физико-механических свойств изделий от степени заполнения, температуры, скорости печати и высоты слоя.

Практическая и теоретическая значимость работы

Теоретическая и практическая значимость заключается в том, что разработана структура конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати изделий с заданными характеристиками. В результате применения разработанной структуры конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати была оптимизирована конструкция изделия, подобран материал и параметры печати, изготовлены изделия с меньшей массой, удовлетворяющие предъявляемым требованиям. На основе данных, полученных в ходе экспериментальных исследований, разработаны рекомендации по улучшению физико-механических свойств изделий сложной формы, изготовленных методом FDM-печати.

Полученные результаты использованы при создании инновационных вентиляционных систем в ООО «ИВЕНС» (г. Москва) и внедрены в образовательный процесс ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет».

Обоснованность и степень достоверности результатов и выводов

Обеспечивается использованием современных технических средств и оборудования, применением экспериментальных и теоретических методов исследования, математической обработкой данных с использованием вычислительной техники. Промышленное апробирование подтвердило адекватность полученных результатов.

Апробация основных результатов диссертации в научной печати

По материалам диссертации опубликованы 14 научных работ, из них 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России; 4 статьи в изданиях, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus; 5 статей в других изданиях и материалах конференций; получены 2 свидетельства на программы для ЭВМ.

Оценка содержания диссертации

Анализ содержания диссертационной работы убеждает в ее завершенности. Материалы диссертации структурированы в логической последовательности. В целом работа изложена грамотным техническим языком.

Текст диссертации составлен логично, грамотно, материал изложен последовательно, структурирован по разделам. Поставленные цели соответствуют полученным результатам, представленным в выводах. Автореферат полностью отражает содержание диссертации и её основные положения.

Работа соответствует паспорту научной специальности 2.5.6. «Технология машиностроения»: п.5 «Методы проектирования и оптимизации технологических процессов» и п.10 «Цифровые технологические процессы и производства в машиностроении».

Объем и содержание диссертационной работы по степени научной новизны и практической значимости удовлетворяет требования ВАК Российской Федерации.

Замечания и вопросы по работе

1. В главе 1 диссертации приводится обзор общеизвестных технологий и параметров 3D-печати, а также рекомендациям по видам доводочных операций и пост-обработке, при этом отсутствует информация по существующим методикам и системам выбора благоприятного сочетания параметров экструзионной 3D-печати.

2. В диссертации несколько раз встречается термин «оптимизация конструкции», данный термин подразумевает изменение геометрии конструкции согласно выбранной целевой функции, для которой определён максимум или минимум. Но в диссертации определение (задание) целевой функции и поиск её экстремума нигде не фигурирует. Отсюда можно сделать вывод, что вопрос

оптимизации не был рассмотрен должным образом.

3. В главе 3 разработана модель для определения эффективных характеристик изотропного материала, но в практической реализации, применительно к конкретному изделию, данная модель не используется.

4. В работе подробно исследовано влияние степени заполнения и режимов FDM-печати на упругие и прочностные характеристики изделий, однако, исследованию точности геометрии и качества поверхности следовало бы уделить больше внимания.

5. Автор ограничился исследованием АБС-пластика и не приводит сравнительный анализ возможностей применения других современных материалов для FDM-печати.

6. Согласно диаграмме Исикавы весьма существенным являются: возможности оборудования (3D-принтера для FDM-печати) и исходный материал (входной контроль свойств). При выполнении оценки прочностных характеристик в работе был сделан упор только на исследование свойств материала.

7. Существует вероятность отказа изделия «Колесо вентилятора» в результате деградации исследуемого полимерного материала по параметрам длительной прочности, поэтому одним из направлений дальнейших работ по теме автору следует рассмотреть исследования на усталостную прочность детали и ползучесть материала.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.

Заключение

В целом представленная диссертационная работа Потапова Андрея Алексеевича на тему: «Конструкторско-технологическое обоснование режимов FDM-печати изделий с заданными характеристиками» выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена научно-техническая задача разработки конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати изделий с заданными характеристиками, включающего разработку и оптимизацию конструкций, выбор материалов, определение технологических схем, режимов

печати и последующей дополнительной обработки.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о порядке присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор Потапов Андрей Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. Технология машиностроения (технические науки).

Диссертация заслушана, а отзыв рассмотрен и одобрен на расширенном заседании кафедры «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии», протокол № 6 от 28.01.2025 года. На заседании присутствовало 14 чел. Результаты голосования: «за» – 14, против – нет, воздержавшихся – нет.

Отзыв составил:

Заведующий кафедрой «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», к.т.н.
(научная специальность 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением)

эл. почта: a.g.matveev@mospolytech.ru

тел.: +79263379556

107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, д.38

Матвеев Алексей Григорьевич

Лицо, подписавшее отзыв, выражают согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

ПОДПИСЬ Матвеева А.Г. заверяю

ДЕЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬ
ПОГОРЕЛОВА А.В.

