

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Потапова Андрея Алексеевича
«Конструкторско-технологическое обоснование режимов
FDM-печати изделий с заданными характеристиками»
по специальности 2.5.6. Технология машиностроения,
выполненной на кафедре электро- и нанотехнологий
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

В последнее десятилетие благодаря универсальности и относительной простоте реализации FDM-печать активно внедряется в мелкосерийное производство функциональных неметаллических деталей, в том числе из инженерных и специальных полимеров, обладающих повышенными прочностными и/или иными уникальными свойствами. Параллельно наблюдается неизбежное усложнение конструктивных решений и непрерывное ужесточение требований к обеспечению высоких параметрических и эксплуатационных свойств конечного продукта. Обе тенденции требуют особо взвешенного и обоснованного подхода в технической реализации печати самых разнообразных изделий. Но из анализа доступных источников информации, разрозненных и отчасти противоречивых, следует, что на практике приемлемые по техническим параметрам результаты FDM-печати чаще достигаются путем проб и ошибок. Общепринятых, научно обоснованных методик конструкторско-технологической подготовки процесса, позволяющих прогнозировать свойства получаемых полимерным изделий, обнаружить не представляется возможным. В тоже время основной целью работы Потапова А.А. представляется повышение эффективности изготовления полимерных изделий с изначально заданными характеристиками на основе выбора обоснованных схем формообразования и режимов FDM-печати, что прямо указывает на *актуальность* и правильный выбор темы диссертационной работы.

Научная новизна диссертации просматривается в выявлении связей в системе полимер – изделие – процесс, в теоретическом обосновании конструкторско-технологических режимов FDM-печати, обеспечивающих заданные параметры продукции по физико-механическим свойствам и качеству при снижении материалоемкости.

Использованные методы теоретических и экспериментальных исследований, продвинутое компьютерное моделирование, уровень апробации результатов в реальном производстве, на научных форумах (семь конференций) и в информационном плане (14 публикаций) подтверждают *достоверность и обоснованность* принятых автором работы решений, планомерность достижения выбранной цели. В результате Потапову А.А. удалось достичь важных *практических результатов*:

– установлена структура конструкторско-технологического обоснования рациональных режимов FDM-печати изделий, гарантирующих не только обеспечение заданных характеристик полимерного продукта, но и оптимизацию их конструкции (схем заполнения), одновременное повышение эффективности изготовления и снижение материалоемкости;

- даны рекомендации по выбору методов постобработки с учетом требований по физико-механическим свойствам и качеству изделий;
- разработан способ определения характеристик напечатанных изделий при изотропном и ортотропном заполнении их объема.

Вместе с тем имеется ряд *замечаний* по содержанию автореферата:

- не ясно, для какого изделия оптимизирована конструкция, подобран материал и параметры печати (стр. 5, абзац 1);
- экспериментальные исследования выполнены на примере ABS-пластика (стр. 10); насколько результативность выполненных изысканий может быть сопоставима в случае применения других материалов;
- как объяснить некоторое противоречие в тексте (стр. 8, абзац 1): «Структура технологического обоснования... включает выбор параметров FDM-печати... в зависимости от требований, предъявляемых к изделию. Параметры печати и постобработки определяются экспериментально».

В *заключении* следует отметить, что с учетом изложенного работу Потапова А.А. по значимости решенных задач, уровню исследований, полезности практических результатов и в целом можно считать соответствующей требованиям, предъявляемым ВАК. Диссертация представляется законченной научно-исследовательской работой, содержащей новое решение актуальной задачи. Ее автор, Потапов Андрей Алексеевич, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 «Технология машиностроения».

Канд. техн. наук 2.5.5
(05.03.01 – «Технологии и оборудование
механической и физико-технической
обработки»), доцент, доцент кафедры Технологии
машиностроения,
тел. +7 913 987 60 30
e-mail: raximyanov@corp.nstu.ru
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный
технический университет»
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

Рахимянов Константин Харисович

21.01.25г.

На обработку персональных данных согласен

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Начальник отдела кадров
ФГБОУ ВО НГТУ



ФГБОУ ВО

«Тульский государственный университет»

300012, г. Тула, пр. Ленина, д. 92

Учёному секретарю диссертационного
совета 24.2.417.01 А. В. Анцеву

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Потапова Андрея Алексеевича
«Конструкторско-технологическое обоснование режимов FDM-печати
изделий с заданными характеристиками», представленной на соискание
учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения

Технология FDM-печати легко интегрируется в логику цифровизации производственных процессов. Особенно это актуально для наукоёмких производств. Применение данной 3D-технологии позволяет существенно сократить конструкторско-технологический этап подготовки производства и производственные процессы в части изделий, характеристики которых позволяют применить FDM-технологию. С одной стороны, потенциал FDM-печати, обуславливает возможность изготовления детали практически любой геометрической формы (ограничение связано только с техническими возможностями 3D-принтера). С другой стороны, чтобы получить изделие с требуемыми характеристиками, следует учесть широкую линейку факторов, начиная от физико-механических свойств материала филамента и заканчивая настройками печати. Именно поэтому разработка конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати детали, включающая проектирование детали с учётом специфики FDM-печати, определение технологических схем, режимов печати и последующую обработку, является актуальной научно-технической задачей. Её решение позволит оптимизировать ряд производственных процессов большого круга машиностроительных производств путём широкого внедрения данной технологии.

Исходя из выше сказанного следует, что задачи, рассматриваемые в диссертационной работе, являются актуальными. Их решение вносит значимый вклад в благоприятные тенденции экономического развития страны.

Научная новизна заключается в обоснованном выборе оптимальных конструкторско-технологических режимов FDM-печати, позволяющих получить изделие с заданными характеристиками. В основе данного выбора лежат полученные в ходе работы аналитические и регрессионные зависимости физико-механических свойств изделий от степени заполнения, температуры печати, её скорости, высоты слоя печати.

Практическая ценность заключается в разработке структуры конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати для изделий с заданными характеристиками, что приводит к новым способам ускорения и удешевления технологической подготовки производства при условии совершенствования геометрии в сочетании с механическими свойствами изделия.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современных средств и методов исследований, опирающихся на результаты аналитических, численных и экспериментальных данных, и согласованностью выводов с результатами апробации на предприятиях.

Автореферат даёт представление о работе с учётом следующих замечаний:

1) в автореферате не обнаружено сведений о влиянии на механические свойства изделия, выполненного с применением FDM-печати, внешней оболочки, образованной периметром, верхней и нижней поверхностями (если наличие двух последних обусловлено геометрией изделия);

2) из автореферата не следует информации о том, в соответствии с каким ГОСТом проводились экспериментальные исследования, на каком основании были выбраны конкретные размеры и форма образцов для испытаний? К настоящему моменту экспериментальные исследования FDM-образцов не регламентированы.

Указанные замечания, в целом не снижают научную и практическую ценность диссертационной работы. Она является научно-квалификационной работой, выполненной на должном научно-техническом уровне.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней» (утверждённого Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а её автор – Потапов Андрей Алексеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

Кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Самолётостроение и
эксплуатация авиационной техники»
Иркутского национального исследовательского
технического университета

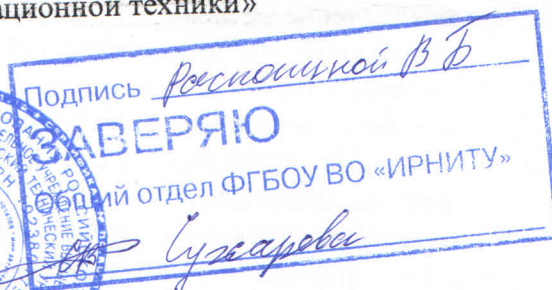
Распопина Вера Борисовна
Дата 27.01.2015

Научная специальность: 01.02.06 - Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
кафедра «Самолётостроение и эксплуатация авиационной техники»

e-mail: raspopina_vb@ex.istu.edu
тел.: +7 964 803 85 19

Подпись Распопиной В.Б. заверяю



Специалист по управлению
персоналом 1 категории

В диссертационный совет 24.2.417.01, созданный на базе ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Потапова Андрея Алексеевича** на тему
«Конструкторско-технологическое обоснование режимов FDM-печати изделий с заданными характеристиками», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.5.6. Технологии машиностроения.

В настоящее время для создания перспективных изделий гражданского и специального машиностроения широкое применения находят аддитивные технологии, в том числе технология FDM-печати. Стоит отметить, что за последние годы существенно выросло количество отечественных компаний - производителей, как 3Д принтеров, так и материалов для FDM-печати. Существенно расширяется номенклатура сложнопрофильных изделий, изготовленных по технологии FDM-печати. Однако не в полной мере решены научные и технологические задачи, позволяющие обеспечить прогнозирование точности полученных изделий, в зависимости от параметров FDM-печати. Не в полной мере решены задачи оптимизации конструкций изделий с целью уменьшения их материалоемкости при обеспечении требуемых эксплуатационных характеристик. В связи с этим, диссертационная работа Потапова Андрея Алексеевича посвящена решению актуальной научно-технологической задачи.

В своей работе, Потапов А.А. провел анализ существующих технологических подходов, систематизировал полученные данные и разработал методические подходы по конструкторско-технологическому обоснованию режимов FDM-печати.

Применение методики эмпирического моделирования процесса FDM-печати позволило получить зависимости описывающие влияние угол наклона раstra, высоты слоя, температуры и скорости 3Д печати на механические свойства и анизотропию образцов. Определены диапазоны режимов, позволяющие сократить время печати, а минимизировать затраты на материал.

Стоит отметить, что результаты работы Потапова А.А. нашли применение в промышленном производстве при изготовлении изделий инновационных вентиляционных систем.

Результаты работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, а также в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, что подтверждает актуальность полученных результатов.

Однако стоит отметить замечания по работе:

По автореферату имеются следующие замечания:

– На странице 94 диссертации отмечено, что решение поставленных задач в работе было осуществлено при использовании АБС пластика, как материала, наиболее распространенного для FDM-печати. При этом, указано, что при использовании другого материала алгоритм определения значений параметров процесса, обеспечивающих свойства изделия, не изменится. Необходимо пояснить и обосновать данное утверждение. Важно

отметить необходимость расчета и применения поправочных коэффициентов в методике в случае использования других АБС пластиков;

– Не в полной мере представлен сравнительный анализ полученных результатов исследования с существующими научными результатами в данной области, с точки зрения дополнения, или их опровержения;

Несмотря на замечания, работа выполнена на высоком методологическом и экспериментальном уровне. Диссертация является самостоятельно выполненной законченной научно-квалификационной работой, и отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям п.п. 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор Потапов Андрей Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Канд.техн. наук 2.5.21 (05.02.13 –
«Машины, агрегаты и процессы
(в машиностроении)»), доцент,
директор Передовой инженерной школы
«Высшая школа
авиационного двигателестроения»
тел. +7 952 325 65 65
email: atr_pish@pstu.ru
ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»
614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29

Абляз Тимур Ризович

На обработку персональных данных согласен.

Подпись заверяю:

Учёный секретарь Ученого Совета ПНИПУ,
к.ист.н, доцент

Печать



Макаревич Владимир Иванович



Экз. № 1

Акционерное общество
«Научно-производственное объединение
«СПЛАВ» имени А.Н. Ганичева»
(АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева»)
Щегловская засека, 33, г. Тула, 300004, Россия
Телефон: (4872) 46-44-09, факс: (4872) 55-25-88
E-mail: mail@splavtula.ru
ОГРН 1127154020311, ИНН 7105515987

№ _____
На № _____ от _____

ОТЗЫВ

*на автореферат диссертации Потапова Андрея Алексеевича на тему
«Конструкторско-технологическое обоснование режимов FDM-печати изделий с
заданными характеристиками», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности*

2.5.6. «Технологии машиностроения»

Диссертационная работа Потапова Андрея Алексеевича на тему «Конструкторско-технологическое обоснование режимов FDM-печати изделий с заданными характеристиками» посвящена решению актуальной задачи – повышению эффективности изготовления изделий с заданными характеристиками путем разработки конструкторско-технологически обоснованных режимов FDM-печати, что позволяет расширить область применения FDM-печати. Данная задача является актуальной в связи с повсеместным внедрением и применением аддитивных технологий при мелкосерийном и опытном производстве изделий, в том числе в АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева».

Научной новизной диссертационной работы Потапова А.А. является выявление взаимосвязей и обоснование 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. В данной области исследований есть ряд монографий и научных трудов, однако, обоснование выбора режимов FDM-печати упоминается вскользь и неглубоко исследовано.

О достоверности полученных результатов и их практической значимости свидетельствуют данные экспериментальных исследований и их применении при производстве рабочего колеса для вентиляционных систем.

Достоинствами работы является разработка структуры конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати и способа определения фактических значений характеристик изделия с использованием методов микромеханики, с помощью которых можно определить эффективные значения физико-механических свойств при различных степенях заполнения и снизить массу изделий до 50% при соблюдении заданных характеристик.

Автореферат написан языком, принятым в научно-технических публикациях. Стил ь изложения ясный, логичный.

К недостаткам работы можно отнести:

- из автореферата неясно по какой причине выбрано направление слоев при печати 0° и 90° , а также неочевидно, какие именно режимы FDM-печати оказывают влияние на уменьшение времени печати до 70 % и на уменьшение количества используемого материала до 50 %;

- согласно автореферату, автор выбрал вариант конструкции рабочего колеса, состоящий из нескольких частей, что снижает прочность колеса и нивелирует преимущества использования аддитивных технологий при изготовлении изделий сложной геометрии.

Тем не менее, имеющиеся замечания носят частный характер и не затрагивают сути защищаемых положений и выводов, а также не снижают ценности работы. Диссертационная работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Потапов Андрей Алексеевич, заслуживает присуждения

В диссертационный совет Д 24.2.417.01
при ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
300012, г. Тула, проспект Ленина, д.92, 9-101

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель управляющего
директора ПАО «Императорский
Тульский оружейный завод»,
кандидат технических наук

А.Л. Бахно

2025 г.



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Потапова Андрея Алексеевича
«Конструкторско-технологическое обоснование режимов FDM-печати
изделий с заданными характеристиками»

В настоящее время в промышленности предъявляются всё более высокие требования к объёмам и качеству выпускаемых изделий сложной формы. Традиционные технологии изготовления вышеуказанных изделий, основывающиеся на многооперационности могут быть недостаточно эффективны. Кроме того, ряд термических операций имеют некоторые существенные ограничения, особенно при производстве элементов изделий с заданными характеристиками, что в свою очередь увеличивает себестоимость выпускаемой продукции. Аддитивные технологии позволяют с минимальными затратами изготавливать изделия сложной формы, существенно сокращая сроки подготовки производства. Достаточно известной и доступной технологией 3 D - печати в мире считается FDM-печать, применяемая в различных отраслях промышленности, в том числе в спецтехнике. Работа Потапова Андрея Алексеевича посвящена решению актуальной задачи – разработке конструкторско-технологических обоснований режимов FDM-печати изделий с заданными характеристиками,

Автором проведен анализ современного состояния технологий производства изделий с заданными характеристиками и методов постобработки. Разработаны структура конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати и способ определения фактических значений характеристик изделия с использованием моделей микромеханических свойств. Обосновано рациональные технологические режимы FDM-печати с использованием многофакторного эксперимента в виде нелинейных уравнений регрессии зависимости свойств изделия от температуры и скорости печати, а также высоты слоя. Исследовано влияние постобработки на физико-механические свойства изделий, полученных

методом FDM-печати. Применены результаты исследований на производстве и в учебной процессе.

Также особое значение имеет практическая ценность полученных результатов. Разработаны рекомендации по улучшению физико-механических свойств изделий с заданными характеристиками, изготовленных методом FDM-печати.

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований свидетельствуют, что диссертация выполнена на достаточно высоком уровне.

Все научные положения диссертации в полной мере освещены в опубликованных автором работах и докладах автора на научно – технических конференциях. Исходя из этого, можно сделать вывод о достаточном уровне апробации работы.

Из автореферата не ясно:

- на сколько изменится себестоимость изготавливаемых изделий от внедрения предлагаемых решений;

- проводился ли обзор существующих методов 3D - печати и их сравнительный анализ в отношении FDM-печати.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Потапов Андрей Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения.

Начальник отдела интеллектуальной
собственности ПАО «Императорский Тульский
оружейный завод»,
кандидат технических наук

03.02.2025

А.О. Чуприков

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Потапова Андрея Алексеевича
«КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ
FDM-ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ С ЗАДАНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.5.6. Технология машиностроения

Технологии аддитивного производства, и, в частности, технология послойного наплавления FDM, находят широкое применение в современной машиностроительной промышленности для изготовления прототипов, запасных частей оборудования, элементов технологической оснастки, а также для мелкосерийного производства комплектующих конечной продукции. Текущий уровень развития материалов, применяющихся в технологии FDM, и соответствующего оборудования (3D принтеров) позволяет с успехом применять печатные изделия в качестве полностью функциональной альтернативы предметам труда, полученным с помощью литья, механической обработки и других традиционных технологических процессов. В числе прочего в рамках FDM технологии применяются полимерные композиционные материалы с короткими и с непрерывными волокнами, обеспечивающие достаточно высокие физико-механические свойства, чтобы заменять изделия из традиционных композитов, цветных металлов и некоторых сталей. Зачастую целесообразность применения технологий объёмной печати обуславливается очень быстрой и дешёвой технологической подготовкой производства, универсальностью оборудования, возможностью существенно уменьшить материалоёмкость и трудоёмкость изделия за счёт усложнения формы (например, топологической оптимизации).

В качестве основных ограничений технологии FDM чаще всего называют высокую анизотропию и низкое качество поверхности получаемых изделий. Однако в диссертационной работе Потапова А. А. подчёркивается важность еще одной научной проблемы, связанной с тем, что на сегодняшний день отсутствуют надёжные методики прогнозирования характеристик печатных изделий в зависимости от значений технологических параметров печати, таких как плотность внутреннего заполнения или толщина слоя. Это приводит к тому, что в реальной инженерной практике возникает необходимость либо перерасходовать материал, чтобы гарантированно обеспечить прочность и работоспособность изделия, либо проводить длительные испытания и оптимизацию режима печати конкретного изделия перед его внедрением. Таким образом, поставленная в работе научно-техническая задача разработки конструкторско-технологического обоснования режимов FDM печати изделий с заданными характеристиками представляется очень актуальной для обеспечения наибольшей результативности внедрения аддитивных технологий на любом предприятии.

К наиболее значимым результатам работы, полученным автором, следует отнести:

- 1) структуру конструкторско-технологического обоснования режимов печати, позволяющую уменьшить временные и материальные затраты с учётом технологических особенностей FDM технологии;
- 2) модель для определения эффективных механических характеристик печатного изделия с учётом его внутренней структуры;
- 3) взаимосвязи между режимами FDM печати и постобработки печатных изделий и конечными характеристиками изделий: механическими характеристиками, пористостью и точностью воспроизведения размеров и формы изделий.

По представленной работе имеются следующие замечания и вопросы.

1. В автореферате не расшифровано много переменных, входящих в предложенные автором уравнения: V , T , h и др., не приводятся их единицы измерения, сами полученные зависимости не визуализированы графически, не проведено их сопоставление с экспериментальными данными, не показана погрешность математической аппроксимации по временному сопротивлению разрыву. Все это делает невозможным использование результатов работы в текущем виде в практической области и требует доработки.

2. При математическом моделировании эффективных свойств материалов был сделан акцент на исследовании зависимостей от плотности внутреннего заполнения изделия. В то же время значительную часть многих печатных изделий составляет сплошная внешняя оболочка – верхние и нижние структуры (крышки) и боковые структуры (стенки). Учитывались ли данные оболочки при моделировании? Позволяют ли разработанные модели оптимизировать кроме плотности внутреннего заполнения изделия ещё и соотношение между заполнением и оболочками?

3. Описанная в 4 главе работы постобработка печатных изделий проводилась при температуре 190 °С, что существенно выше температуры кристаллизации выбранного АБС-пластика. Неясно, почему были выбраны именно такие значения температуры отжига? Нельзя ли добиться меньших деформаций при аналогичной пористости при меньших температурах отжига?

4. В автореферате указывается, что для изготовленного в главе 5 рабочего колеса была проведена коррекция исходной компьютерной модели, чтобы сделать поправку на деформации при постобработке. Представляется, что методика компенсации деформаций изделий сложной формы при отжиге требует дополнительного описания.

Тем не менее, работа имеет научную ценность и имеет потенциал развития с перспективой достижения практической значимости. Достоверность сформулированных положений подтверждается приведёнными в работе экспериментальными исследованиями и научными публикациями по теме работы, среди которых 3 публикации в рецензируемых научных изданиях,

рекомендованных ВАК Минобрнауки России, и 4 публикации в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

Представленная к защите диссертационная работа на тему «Конструкторско-технологическое обоснование режимов FDM-печати изделий с заданными характеристиками» является научно-квалификационной работой, в которой отражено решение задачи, актуальной для эффективного внедрения аддитивной технологии FDM в различных предприятиях машиностроительной отрасли.

Диссертационная работа Потапова А. А. удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки России и паспорту специальности, а её автор, Потапов А.А., заслуживает присвоение ученой степени кандидат технических наук по специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

Кандидат технических наук
по специальности
2.5.6 «Технология машиностроения»,
должность: главный разработчик
тел.: +7 999 628 1158
e-mail: gushchin@5dtech.pro
Организация: ООО «Стереотек»
Адрес: 400001, Волгоградская область, г.
Волгоград, ул. им. Циолковского, д. 9а, офис 14.

Гущин
Илья Александрович



10.02.2025

На обработку персональных данных согласен.

Подпись заверяю

 / Гущин И.А. / *Илья Александрович* *10.02.2025*
печать ООО «Стереотек»



О Т З Ы В

на автореферат диссертации Потапова Андрея Алексеевича
«Конструкторско-технологическое обоснование режимов
FDM-печати изделий с заданными характеристиками»
(специальность 2.5.6. Технология машиностроения)

В настоящее время цифровые технологии широко применяются в различных производствах, без их использования современное предприятие не может быть конкурентоспособным. Одним из прогрессивных, быстроразвивающихся и все более широко применяемых в производстве методов изготовления изделий, основанном на цифровом моделировании, является 3D-печать. Существенное сокращение сроков подготовки производства, возможность рентабельного производства единичных и мелкосерийных сложнопрофильных изделий, достигаемые параметры точности, являются преимуществом данного метода. Среди известных методов 3D-печати наиболее широко применяется FDM-метод (fused deposition modeling), основанный на технологии послойного изготовления изделий. Благодаря доступности и невысокой сложности в реализации, этот аддитивный метод формообразования неуклонно расширяет области своего применения и совершенствуется, переходя от решения простейших задач прототипирования и макетирования к мелкосерийной печати ответственных функциональных деталей, в частности из термопластов и композитных полимеров. Однако применение данного метода в настоящее время существенно сдерживается отсутствием не только универсальных, но и частных для отдельных групп изделий методик конструкторско-технологической подготовки производства, позволяющих заранее прогнозировать физико-механические свойства и качественные показатели изготавливаемых изделий. Выбор режимов печати, схем и траекторий заполнения формируемых объемов обычно недостаточно обоснован. В результате возможности FDM-метода при производстве изделий реализуются не полностью, а в ряде случаев заданные параметры изделий не могут быть достигнуты. В связи с изложенным, цель диссертации А.А. Потапова – повышение эффективности изготовления изделий с заданными характеристиками – представляется *актуальной*, как в научном, так и в практическом плане, *заслуживает* внимания специалистов.

Не вызывает сомнения *научная новизна* работы, которая заключается в теоретико-экспериментальном выявлении взаимосвязей в технологической системе для FDM-печати и обосновании на этой основе конструкторско-технологических режимов для прогнозирования и гарантированного достижения заданных характеристик реальных изготавливаемых изделий.

Использованные методы исследований и уровень апробации работы, включая публикации, подтверждают *достоверность и обоснованность* принятых автором работы решений, *планомерность* достижения поставленной в работе цели. В результате А.А. Потапову, судя по автореферату, удалось достичь важных *практических результатов*:

1) разработать методику конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати, для повышения эффективности

изготовления, снижения материалоемкости и обеспечения заданных характеристик деталей из полимеров;

2) оценить влияние технологических параметров FDM-печати на физико-механические и конструктивные свойства деталей (в том числе при разной степени заполнения их объема и ортотропности заполняющих слоев) и обоснованно принять их в качестве обобщенных параметров процесса в функции критерия качества изготавливаемых деталей;

3) установить рациональные методы и условия постобработки полимерных изделий с учетом требований по физико-механическим свойствам и качеству изделий;

4) внедрить результаты выполненных изысканий в реальное производство инновационных вентиляционных систем.

Отмечая положительные результаты работы А.А. Потапова, следует отметить ряд **замечаний** исходя из текста автореферата:

1) не упомянуты вопросы, связанные с устранением появления возможных дефектов деталей, часто сопутствующих FDM-печати, (расслоение, щели между стенками, воблинг и др.);

2) разработанная модель для ортотропного материала имитирует слои FDM-печати при чередующемся их направлении только для 0° и 90° и не имитирует наложение слоев для других углов.

С учетом изложенного следует признать, что диссертационная работа А.А. Потапова по уровню исследований и значимости решенных задач, полезности разработок и практических рекомендаций, а также в целом соответствует требованиям, установленным ВАК. Диссертация может считаться законченной научно-исследовательской работой, которая содержит решение актуальной задачи на новом уровне. Автор работы Потапов Андрей Алексеевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.6 «Технология машиностроения».

Канд. техн. наук 2.5.5 (05.03.01
Технология и оборудование
механической и физико-технической
обработки), доцент каф. «Инструментальная
техника и технологии»
тел. +7 917-566-98-96
email: stav@bmstu.ru, vats59@mail.ru
ФГБОУ ВО «Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
105005, г.Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, с.1

Ставицкий Иван Борисович



12 02 2025

На обработку персональных данных согласен.

Подпись заверяю



СПЕЦИАЛИСТ ПО ПЕРСОНАЛУ
ОТДЕЛА КАДРОВОГО
АДМИНИСТРИРОВАНИЯ
ХОДЫКИНА Л.Д.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Потапова Андрея Алексеевича** на тему
«Конструкторско-технологическое обоснование режимов FDM-печати
изделий с заданными характеристиками», представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.5.6. Технология машиностроения.

Автореферат диссертации Потапова А.А. представляет собой хорошо структурированный и содержательный документ, отражающий актуальность, научную новизну и практическую значимость проведенного исследования. Работа посвящена важной научно-технической задаче – разработке конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати изделий с заданными характеристиками, что является значимым вкладом в развитие аддитивных технологий и машиностроения.

Автор обоснованно подчеркивает актуальность темы, связанной с необходимостью производства изделий сложной формы с минимальной материалоемкостью и высокой эффективностью. Традиционные методы производства, такие как литье и механическая обработка, имеют существенные ограничения, особенно при изготовлении изделий с заданными характеристиками. Аддитивные технологии, в частности FDM-печать, предлагают новые возможности для оптимизации производства, особенно в условиях мелкосерийного и единичного выпуска. Автор правильно указывает на недостаток методик, позволяющих прогнозировать характеристики изделий в зависимости от режимов FDM-печати, что делает исследование особенно актуальным. Научная новизна работы заключается в разработке структуры конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати, включающей выбор материалов, оптимизацию конструкции, определение технологических схем и режимов печати. Автор предлагает новые аналитические и регрессионные зависимости, позволяющие прогнозировать физико-механические свойства изделий в

зависимости от степени заполнения, температуры, скорости печати и высоты слоя. Это позволяет значительно снизить материалоемкость изделий при сохранении их прочностных характеристик.

Практическая значимость работы подтверждается внедрением разработанных методик в производство инновационных вентиляционных систем в ООО «ИВЕНС» (г. Москва), а также использованием результатов исследования в учебном процессе Тульского государственного университета. Автор демонстрирует, что применение разработанной структуры позволяет сократить время печати на 70% и уменьшить расход материала на 50%, что является значительным достижением для промышленности.

Автор использовал комплексный подход, включающий численное моделирование, эксперименты и регрессионный анализ. В работе применены современные методы микромеханики для определения эффективных свойств материалов при различной степени заполнения. Проведен многофакторный эксперимент, позволивший установить зависимости физико-механических свойств изделий от параметров FDM-печати. Также исследовано влияние различных методов постобработки на свойства изделий, что расширяет область применения FDM-печати.

Основные результаты и выводы:

1. Разработана структура конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати, позволяющая снизить материалоемкость изделий при сохранении их прочностных характеристик.

2. Получены аналитические зависимости эффективных свойств материалов при различной степени заполнения, что позволяет оптимизировать конструкцию изделий.

3. Установлены ключевые параметры FDM-печати (температура, скорость, высота слоя), влияющие на физико-механические свойства изделий.

4. Проведены экспериментальные исследования влияния постобработки

на свойства изделий, что позволило предложить оптимальные методы улучшения характеристик готовой продукции.

5. Разработанная структура успешно применена при производстве рабочего колеса вентилятора, что подтвердило ее эффективность.

Замечания и рекомендации:

1. В автореферате недостаточно подробно описаны ограничения предложенной методики. Было бы полезно указать, для каких типов изделий и материалов она применима, а также какие возможные сложности могут возникнуть при ее использовании.

2. В тексте автореферата нет четкого описания ограничения базовой структуры конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати.

3. В автореферате не в достаточной мере описаны натурные эксперименты для оценки точности разработанных моделей.

4. При описании результатов численного моделирования в пятой главе не приводятся действующие на колесо нагрузки, что затрудняет понимание результатов.

Заключение:

Автореферат диссертации Потапова А.А. представляет собой научную-квалификационную работу, соответствующую требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям п.п. 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней». Исследование имеет высокую научную и практическую значимость, а его результаты могут быть успешно применены в различных отраслях промышленности.

Диссертационная работа заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

Начальник отделения конструкторского обеспечения разработок, к.т.н.



П.Ю. Калабин

Данные об авторе отзыва и месте его работы

Канд. техн. наук 05.02.02

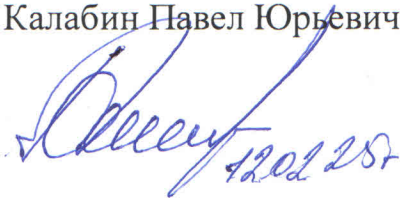
Калабин Павел Юрьевич

(Машиностроение, системы приводов
и деталей машин), начальник отделения
конструкторского обеспечения разработок
тел. (4872) 43-64-00

e-mail: office@npostrela.net

ПАО «НПО «Стрела»

300002, г. Тула, ул. М. Горького, д.6

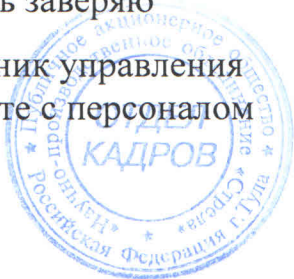


На обработку персональных данных согласен.



Подпись заверяю

Начальник управления
по работе с персоналом



Б.С. Медведев

Отзыв

на автореферат диссертации Потапова Андрея
Алексеевича «**КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
РЕЖИМОВ FDM-ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ С ЗАДАНЫМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.5.6. Технология
машиностроения

Одной из проблем, ограничивающих реализацию потенциальных возможностей FDM-печати, является отсутствие конструкторско-технологического обоснования режимов FDM-печати и постобработки, а также оптимизации конструкций изделий с целью уменьшения их материалоемкости при обеспечении заданных характеристик. В настоящее время также 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. Именно поэтому разработка 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, является актуальной научно-технической задачей, позволяющей не только решить указанные проблемы, но и расширить область применения FDM-печати.

В представленной работе установлены закономерности влияния параметров печати (температуры экструзии, высоты слоя и степени заполнения) на физико-механические свойства изделий (результаты представлены в виде регрессионных моделей); разработаны практические рекомендации по оптимизации конструкции изделий с учетом особенностей аддитивных технологий, включая стратегии заполнения внутреннего объема изделия; проведены исследования методов постобработки и их влияния на пористость, деформацию и прочностные свойства изделий.

Все представленные результаты обладают научной новизной и практической значимостью, задачи, поставленные соискателем, решены в полном объеме.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. В теоретических и экспериментальных исследованиях автор ограничился рассмотрением только полимерных материалов, не затрагивая композиционные материалы, особенно с армированием непрерывными волокнами, что позволило бы расширить область применения работы.
2. Не полностью раскрыта методика оценки материалоемкости, хотя уменьшение материалоемкости является одной из целей работы.
3. Недостаточное внимание уделено адгезии слоев при печати. Один из ключевых аспектов FDM-печати – межслойная адгезия – рассмотрен

преимущественно в контексте температуры и скорости печати. Однако влияние других параметров, таких как влажность материала или структуры заполнения, изучено недостаточно.

Данные замечания не носят принципиального характера и не снижают значимости работы. Судя по автореферату и публикациям, отражающим основное содержание работы в полном объеме, исследование выполнено на высоком научном уровне и соответствует всем требованиям, предъявляемым к данным работам, а ее автор, Потапов А.А., заслуживает присвоение ученой степени кандидат технических наук по специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

Степень (шифр и наименование специальности), Фамилия Имя Отчество

звание, должность, К.Т.Н зам.гл.технолога подпись

телефон 32-11-52 дата

e-mail tech@tulamash.ru

наименование организации, АО «АК «Туламашзавод»

индекс, город, улица, дом

г. Тула ул. Мосина 2.2

На обработку персональных данных согласен.

Подпись заверяю

подпись

печать

17.02.28

Анненкина А.Н.

(Шавелкин АД)



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Потапова Андрея Алексеевича
«КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ
FDM-ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ С ЗАДАНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.6. Технология машиностроения

Работа автора посвящена актуальной теме – оптимизации режимов FDM-печати для создания изделий с заданными характеристиками. Автор рассматривает ключевые аспекты, влияющие на качество и механические свойства изделий, такие как температура экструзии, скорость печати, толщина слоя и тип используемого материала.

Основное внимание в статье уделено взаимосвязи между технологическими параметрами печати и механическими характеристиками готовых изделий. Автор подробно анализирует, как изменение режимов печати влияет на прочность и точность геометрии. Особенно ценно, что в работе представлены практические рекомендации по выбору оптимальных параметров, что делает работу полезной для применения в производстве.

К достоинствам работы можно отнести четкую структуру, логичное изложение материала и использование актуальных данных. Автор опирается на результаты экспериментов, что повышает достоверность выводов. Кроме того, работа содержит наглядные результаты численного моделирования и таблицы, которые позволяют понять взаимосвязь между параметрами печати и характеристиками изделий.

Однако, стоит отметить, что в работе не раскрыты следующие проблемы:

1. Подробно не рассмотрено влияние различных типов материалов (например, композитных или биоразлагаемых термопластов) на процесс печати и конечные свойства изделий.
2. Не рассмотрены существенные различия в поведении материалов при изменении режимов печати.
3. Слишком низкая температура экструзии (225 °C) может привести к недостаточному плавлению пластика, что в свою очередь увеличивает сопротивление филамента в сопле, способствует его износу и образованию пробок.

В целом, работа представляет собой ценный вклад в область аддитивных технологий и будет полезна для специалистов, занимающихся проблемами FDM-печати. Рекомендации, предложенные автором, могут быть успешно

применены на практике для улучшения качества и эффективности производства изделий с заданными характеристиками.

Представленная к защите диссертационная работа на тему «КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ FDM-ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ С ЗАДАНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача, имеющая существенное значение для машиностроения.

Диссертационная работа Потапова А.А. удовлетворяет требованиям «Положение о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки России, а ее автор, Потапов А.А., заслуживает присвоение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

Канд. техн. наук 2.5.5 (05.03.01 –
Технология и оборудование
механической и физико-технической
обработки), заместитель технического директора
ПАО «РКК «Энергия»
тел. +7 916 141 03 85
email: Alexey.Zaitsev@rsce.ru
ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева
141070, г. Королев, ул. Ленина, 4А

Зайцев Алексей Михайлович



13.02.2025

На обработку персональных данных согласен.

Подпись заверяю



В.А. Кравцов