

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента
Щербакова Алексея Владимировича на диссертационную работу
Осколкова Александра Андреевича «Управление температурой при экструзии
полимерного материала в процессе трехмерной печати», представленную в
диссертационный совет Д ПНИПУ.05.04 на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (в промышленности)

Актуальность темы исследования

Диссертация Осколкова А.А. посвящена актуальному вопросу повышения воспроизводимости физико-механических свойств полимерных изделий, изготавливаемых по экструзионной технологии послойного наплавления (FDM/FFF). По мере расширения сферы применения технологии послойного наплавления в различных отраслях промышленности, в частности с целью повышения эффективности штучного или мелкосерийного производства изделий сложной конфигурации, производства деталей специального назначения или медицинских устройств возрастают и требования к эксплуатационным характеристикам печатных изделий. В результате анализа литературных данных в диссертационной работе было установлено, что при текущем уровне техники, возникающие в процессе экструзии перепады температуры полимерного материала, приводят к неприемлемому отклонению физико-механических свойств изделий, их разрушению по границам слоев, отклонению геометрической формы и нестабильному качеству изделий. Разработке различных методов оптимизации данной технологии трехмерной печати посвящено большое количество публикаций, однако, в силу ограничений характерных для традиционных экструдеров, в которых применяется метод косвенного резистивного нагрева сопла, вопросам измерения и регулирования температуры сопла и экструдированного материала не уделяется достаточного внимания.

В диссертации Осколкова А.А. рассматриваются вопросы управления температурой малогабаритного сопла в процессе послойного наплавления. При этом применяется метод индукционного нагрева сопла, а измерение

температуры осуществляется в слоях сопла, через которые непосредственно протекают токи повышенной частоты.

Данный способ управления температурой сопла малой массы предназначен для поддержания стабильного качества сплавления валиков экструдированного материала за счет высокой точности измерения температуры сопла и ее регулирования в процессе печати для обеспечения оптимальной температуры экструдированного полимерного материала.

В связи с вышеизложенным можно констатировать, что тема диссертационной работы Осколкова А.А. является актуальной.

Научная новизна диссертационной работы

На основании анализа полученных автором результатов исследования, а также научных публикаций в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК или входящих в международные базы цитирования Scopus или WoS, посвященных тематике диссертационной работы Осколкова А.А., можно выделить следующие положения:

1. Разработана математическая модель индукционного нагрева сопла для послойного наплавления при экструзии полимерного материала, связывающая тепловые и электромагнитные процессы, позволяющая определить параметры индуктора и сопла как объекта управления.
2. Предложен модифицированный резонансный метод измерения температуры сопла малой массы на основе совместного анализа фазовых и амплитудных характеристик тока цепи индуктора при помощи АЦП, позволяющий производить измерение с высокой скоростью и точностью непосредственно в процессе нагрева.
3. Получена регрессионная модель, описывающая зависимость фазовых и амплитудных характеристик тока цепи индуктора от температуры сопла и потребляемой индуктором мощности, позволяющая осуществлять преобразование регистрируемых значений измерительного сигнала в температуру сопла с высокой точностью.
4. Разработан способ управления температурой сопла малой массы в процессе послойного наплавления с применением разработанного резонансного метода измерения температуры, учитывающий нелинейный характер зависимости температуры сопла от величины управляющего воздействия и позволяющий обеспечить высокую точность, скорость и

постоянные характеристики переходных процессов в диапазоне рабочих температур сопла.

Степень достоверности и обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе

Достоверность научных положений, выводов и выносимых на защиту результатов диссертационного исследования подтверждается корректностью принимаемых допущений, обоснованностью методов исследования и сходимостью результатов моделирования с экспериментальными и известными литературными данными, а также опытно-промышленной апробацией и внедрением полученных в диссертационной работе результатов на предприятии.

Основные результаты диссертации изложены в семи статьях, четыре из которых в журналах рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, три в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus или Web of Science, а кроме того, в тезисах докладов, материалах международных и всероссийских конференций, четырех патентах РФ и прочих источниках.

Практическая и научная значимость полученных результатов

Разработанный метод управления температурой имеет важное практическое значение с точки зрения задачи регулирования термического цикла процесса послойного наплавления (FDM/FFF), решение которой позволит избежать значительных термических деформаций и разрушения синтезированных изделий по границам слоев, значительно упростит печать крупногабаритных полимерных изделий. Разработанный способ впервые делает возможным скоростное регулирование температуры сопла в процессе послойного наплавления в зависимости от скорости экструзии полимерного материала, формы наносимого слоя, а также температурных, массовых и геометрических характеристик уже наплавленных слоев.

Результаты диссертационного исследования с успехом реализованы в рамках проекта ООО «Ф2 Инновации» (г. Пермь) в процессе разработки технологии изготовления деталей специального назначения, а также их производства. Применение разработанного метода управления температурой обеспечило стабилизацию физико-механических свойств наплавленных изделий в среднем на 20%. Известные из открытых источников методы оптимизации процесса трехмерной печати по технологии послойного наплавления, приводимые автором в диссертационной работе, допускают совместное с ними применение разработанного способа управления температурой сопла.

Разработанная математическая модель индукционного нагрева сопла при экструзии полимерного материала применима для сопел и индукторов различных форм и размеров, а также применима при разработке малогабаритных плунжерных систем с постоянной скоростью экструзии материала для определения оптимального положения датчика локального измерения температуры на поверхности сопла.

Замечания

1. В описании результатов испытаний автором приводится утверждение о возможности совместного применения разработанного способа управления температурой сопла и иных методов оптимизации процесса послойного наплавления. Существуют ли какие-либо ограничения, накладываемые на подобное совместное использование?
2. Из текста диссертации не ясно, возможно ли использовать предложенный резонансный способ измерения температуры сопла при использовании композитных присадочных материалов, например, полимерных филаментов, армированных металлической нитью?

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Заключение

Диссертация написана автором самостоятельно, содержит совокупность новых научных результатов и положений, обладает теоретической и практической значимостью. Диссертация хорошо и грамотно оформлена, имеет внутреннее единство, выраженное в последовательном решении поставленных задач. Основные выводы и результаты диссертации хорошо обоснованы, а сама диссертация характеризуется обширностью анализа научных публикаций по теме исследования, значительным объемом привлеченных экспериментальных данных. Соискателем корректно приводятся ссылки на источники упоминаемых в диссертации фактов и результатов. Содержание автореферата отражает основные положения диссертации, а сама диссертация полностью соответствует специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности).

Диссертационная работа Осколкова А.А. на тему «Управление температурой при экструзии полимерного материала в процессе трехмерной печати» является законченной научно-квалификационной работой и отвечает критериям, установленным Постановлением Правительства Российской

Федерации от 24.09.2013 г. №842 (ред. от 11.09.2021) «О порядке присуждения ученых степеней» (вместе с «Положением о присуждении ученых степеней» (п.9-14). Автор диссертационной работы Осколков А.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности).

Официальный оппонент,
доктор технических наук
(специальность 05.09.10
«Электротехнология»), доцент,
профессор кафедры электроснабжения
промышленных предприятий
и электротехнологий



Щербаков А.В.

«19» ноября 2021 г.

Подпись Щербакова Алексея Владимировича заверяю:

Ученый секретарь Ученого Совета
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»



Кузовлев И.В.

«19» ноября 2021 г.

Место работы:

111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 17

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Телефон: +7 (495) 362-70-59

E-mail: ShcherbakovAV@mpei.ru

<https://mpei.ru/>