М. Ю. Козенко, А. М. Макаров, Е. А. Дьяченко, О. И. Сушкова

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ
РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗДЕЛИЙ,
ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: kozenkomichael1999@yandex.ru

Проводится экспериментальное исследование влияния применения термостатирования рабочей области FFF/FDM 3D принтера на механические свойства получаемых изделий. Представлены материалы и методы исследования и анализ результатов.

Ключевые слова: автоматизация, 3D печать, моделирование методом наплавления, прочность на разрыв, когезия.

M. Yu. Kozenko, A. M. Makarov, E. A. Dyachenko, O. I. Sushkova

**STUDY OF THE INFLUENCE OF THERMOSTATING THE WORKING AREA
ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF PRODUCTS OBTAINED BY FFF**

Volgograd State Technical University

An experimental study of the effect of temperature control of the working area of the FFF / FDM 3D printer on the mechanical properties of the products was carried out. Materials and methods of research and analysis of results were presented.

Keywords: automation, 3D printing, Fused Deposition Modeling, tensile strength, cohesion.

В последнее время аддитивные технологии получают все большее распространение, наибольшей популярностью при этом пользуется моделирование методом послойного наплавления (FFF/FDM), однако существует ряд технологических ограничений, которые делают невозможным ее применение в ряде случаев. Прежде всего это связано с высокой анизотропией свойств и их значительным различием вдоль и поперек слоев напечатанного изделия. Это не позволяет прикладывать большие нагрузки к тонким элементам с поперечным расположением слоев, например, защелкам, бобышкам, лапкам и т.п., что сильно ограничивает разработчиков при проектировании изделий. К сожалению, в отечественной литературе эта проблема слабо исследована, что подчеркивает актуальность данной работы. Из-за этого поль-

зователи вынуждены подбирать режимы аддитивного производства эмпирическим путем, а разработчики оборудования сталкиваются с определенными рисками в связи с непредсказуемостью конечного результата их работы.

Благодаря опыту применения аддитивных технологий очевидно, что пользователям FFF/FDM оборудования нужно максимально уменьшать нагрузки, приложенные поперек слоев, если же это диктуется компоновкой изделия, то необходимо разбивать детали на составные части.

Производители расходных материалов при этом двигаются в сторону увеличения межслойной когезии и уменьшения коэффициента температурного расширения для уменьшения влияния накопления внутренних напряжений в изделиях на их выходные характеристики после изготовления.

Среди производителей оборудования намечается тенденция к увеличению возможных температур экструзии материала и к организации равномерного прогрева изделий во время печати за счет термостатированных камер, внутри которых происходит процесс нанесения слоев [1].

Однако параметров, влияющих на свойства получаемых изделий во время печати, намного больше. Это температура экструзии, температура окружающей среды, скорость и температура дополнительного воздушного потока для охлаждения наносимого материала, ширина линий укладки, толщина линий укладки (слоев), скорость нанесения и многое другое. Для улучшения свойств получаемых изделий необходимо исследование по каждому из параметров.

В данной работе производится проверка влияния термостатирования рабочей области на такие свойства, как прочность и относительное удлинение при разрыве, путем качественного сравнения результатов испытания тестовых образцов изготовленных при различных режимах работы оборудования для аддитивного производства [2].

В результате планирования эксперимента было определено рациональное количество исследований, при этом выбраны три схемы (рис. 1) расположения волокон и слоев и четыре вида исследования:

1. С расположением слоев в плоскости сечения, перпендикулярно оси разрыва (рис.1, а) лопатки, изготовленной без термостатирования рабочей области.

2. С расположением слоев в плоскости сечения, перпендикулярно оси разрыва (рис. 1, а)

Рис. 1. Схемы расположения волокон в экспериментальных лопатках

лопатки, изготовленной с использованием термостатирования рабочей области.

3. С расположением слоев поперек плоскости сечения параллельно оси разрыва лопатки на нагреваемом рабочем слое с укладкой волокон вдоль оси разрыва (рис.1, б).

4. Расположением слоев поперек плоскости сечения, параллельно оси разрыва, на нагреваемом рабочем столе с укладкой волокон вдоль оси разрыва по периметру и под 45 градусов по центру (рис.1, в). Данный эксперимент был выбран так как это является стандартной схемой наложения волокон при FFF/FDM печати.

В качестве материала для разрывных пластин был выбран АБС пластик в виду наибольшего его распространения. Печать осуществлялась с одной катушки расходного материала для минимизации влияния разницы свойств между партиями на 3D принтерах с термостатированной камерой VolgoBot A4 PRO и без термостатированной камеры VolgoBot A4. Измерения производились на лабораторном оборудовании в лаборатории Волгоградского государственного технического университета по стандарту ГОСТ 11262–2017 (ISO 527-2:2012) [3]. Параметры испытаний приведены в табл. 1.

В результате испытаний были получены экспериментальные данные, обработанные результаты которых представлены в табл. 2.

Таблица 1

Параметры испытаний

Стандарт испытания	ГОСТ 11262-2017
Материал	АБС пластик
Температура экструзии	240 °С
Толщина слоя	0.2 мм
Диаметр сопла	0.4 мм
Тип образца	Лопатка тип 2
Преднагрузка	0,5 Н
Скорость испытания	50 мм/мин

Графики, построенные по результатам экспериментов и представленные на рис. 2 показывают, что термостатирование рабочей области значительно (на 26,8 %) увеличивает прочность при растяжении и в соответствии с табл. 2. на 50 % увеличивает относительное удлинение при растяжении (рис. 3).

Таблица 2

Результаты испытаний

Номер эксперимента	Средняя прочность при растяжении, МПа	Среднее относительное удлинение при растяжении, %	Средняя прочность при разрыве, МПа	Среднее относительное удлинение при разрыве, %	Средняя площадь поперечного сечения, мм ²
1.	9,41	0,6	9,41	0,6	20,1
2.	12,1	0,9	12,0	0,9	20,23
3.	37,6	2,1	34,6	4,6	19,26
4.	26,2	2,4	25,5	5,0	19,97

Рис. 2. Результаты экспериментов с применением и без применения термостатирования

Рис. 3. Результаты экспериментов с различным расположением слоев

Таким образом применение термостатирования рабочей области положительно сказывается на механических свойствах печатаемого изделия. Однако для определения оптимальных режимов печати требуется проведение допол-

нительных исследований, например, на предмет поиска корреляций между температурой термостатирования и механическими свойствами полученного изделия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. US Patent. US6722872B1. High temperature modeling apparatus: заявл. 23.06.2000: опубл. 20.04.2004 / William J. Swanson, Patrick W. Turley, Paul J. Leavitt, Peter J. Karwoski, Joseph E. LaBossiere, Robert L. Skubic – 15 с.
2. Frans Johansson. Optimizing Fused Filament Fabrica-

tion 3D printing for durability: Master's Degree Thesis Mechanical Engineering. – 2016. – С.88.

3. ГОСТ 11262–2017 (ISO 527-2:2012) Пластмассы. Метод испытания на растяжение: ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 ноября 2017 г. N 52): дата введения 2018-10-01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200158280> (дата обращения: 11.02.2020 г.)