

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПЛАСТИКА, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ FDM-ПЕЧАТИ**А. А. Михальченко***Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель*

Научный руководитель А. Б. Невзорова

Использование 3D-принтеров на промышленных предприятиях позволяет получить высокую гибкость производства, а также снизить затраты на производство и транспортировку деталей [1], [2]. С развитием, доступностью и невысокой стоимостью данной технологии число примеров внедрения 3D-принтеров на предприятиях с каждым годом стремительно растёт.

В настоящее время одними из наиболее распространенных методов 3D-печати термопластичных материалов являются:

- послойное наплавление детали снизу вверх (FDM-печать);
- селективное лазерное спекание (SLS-печать).

Выбор конкретного метода печати для производства деталей обуславливается набором параметров, таких как свойства исходного материала и конечного изделия, его конфигурация и требуемая производительность процесса. Например, изделия, полученные FDM-методом, зачастую требуют дополнительной механической обработки из-за высокой шероховатости поверхности и необходимости печати не входящих в конструкцию детали поддерживающих элементов. Кроме того, филамент для FDM-печати производится на экструзионных линиях с высокими допусками по диаметру, что требует существенных расходов на его получение из гранулированного или порошкообразного сырья [3].

Наряду с этим при SLS-печати предъявляются достаточно высокие требования к качеству полимерных материалов, так что печать из обычных полимерных порошков, представленных на рынке, далеко не всегда возможна [4].

Цель исследований – изучить влияние различных параметров 3D-печати на точность и качество получаемых изделий.

Методика работы. Тестовые образцы деталей были запроектированы и распечатаны на 3D-принтере Flashforge Finder для дальнейших экспериментальных исследований. Была проведена оценка точности геометрических параметров деталей. По результатам проведенных измерений обнаружены ограничения на возможность создания мелких геометрических элементов деталей. Установлены факторы, влияющие на точность получаемых изделий, по параметрам программного обеспечения 3D-принтера, как: выбор режима качества печати; настройка степени заполнения при печати; выбор коэффициента экструдирования. Поэтому при использовании технологии FDM-печати накладываются ограничения на форму и параметры элементов детали.

Установлено, что на отклонения формы и размеров изделий значительное влияние оказывают технологические режимы работы экструзионных головок 3D-принтера, которые задаются через настройки специализированного программного обеспечения, осуществляющего генерацию управляющего G-кода. Важной задачей является определение оптимальных значений настроек, обеспечивающих получение максимально точных по размерам изделий, а также создание прикладных приложений, выполняющих предварительный анализ геометрии 3D-модели и позволяющих автоматизировать выбор оптимальных настроек печати [5]–[7].

Для подготовки 3D-модели к печати и выбора параметров печати использовалось специальное программное обеспечение, разработанное производителем принтера.

Оценка размерной точности и качества печати производилась для 3D-модели, которая была построена при помощи программы Autodesk Inventor 2019.

При подготовке моделей и проведении пробных экспериментов были отобраны следующие параметры, которые могут оказывать влияние на качество и точность деталей:

- степень заполнения (Fill Density), которая выражается процентом заполнения структурами поддержки внутренней полости модели в ходе печати;

- коэффициент экструдирования (Extrusion Ratio), позволяющий управлять интенсивностью подачи материала в печатающую головку принтера. Этот параметр задает отношение реального количества материала, расходуемого на один слой, к номинальному. Данный параметр задается в процентах и составляет от 80 до 125 %;

- различные настройки, определяющие толщину (высоту) и количество укладываемых слоев при печати изделия;

- число проходов при построении оболочки (т. е. число проходов при построении внешнего контура изделия на каждом слое). Данный параметр влияет на толщину оболочки изделия – чем он выше, тем больше толщина оболочки;

- стандартные наборы настроек качества печати (Resolution), определенные производителем принтера. Пользователю доступны четыре предопределенных режима качества печати: низкое; стандартное; высокое; наилучшее. При выборе одного из режимов автоматически включается соответствующий набор параметров (толщина и количество слоев, скорость движения печатающей головки во время рабочих и холостых перемещений) [2].

В таблице приведены параметры исследуемых образцов, полученные экспериментально.

Параметры исследуемых образцов

Модель принтера	Flashforge Finder		
	Послойное наплавление (FDM-печать)		
Технология печати	Послойное наплавление (FDM-печать)		
Рабочий материал	PLA	ABS	PETG
Геометрические размеры	20 × 10 × 5		
Толщина слоя, мм	0,06–03	0,1–05	0,3–0,5
Количество печатающих головок	1	1	1
Заявленная точность печати, мкм	100	100	100
Степень заполнения, %	15	15	15
Коэффициент экструдирования, %	109	109	109
Твердость (по Роквеллу)	R70	R105	R106
Масса, г	1,110	0810	1,101
Плотность, г/см ³	1,23	1,1	1,3
Температура плавления, °С	174	178	224
Температура размягчения, °С	50	100	80
Усадка при изготовлении	Нет	До 0,8 %	Нет
Химическая формула	(C ₃ H ₆ O) _n	(C ₈ H ₈ · C ₄ H ₆ · C ₃ H ₃ N) _n	(C ₁₀ H ₈ O ₄) _n
Прочность на изгиб, МПа	54	40	74,5
Прочность на разрыв, МПа	57	22	35,1

Результаты исследований. Проведено сравнение параметров образцов, полученных из различных видов пластика. Установлено, что при одинаковых коэффициентах экструдирования и степени заполнения, наибольшую твердость имеет образец, выполненный из PETG пластика (R106), который также обладает наибольшей температурой плавления (224 °С), температура размягчения 80 °С. У изделий из данного пластика отсутствует усадка при изготовлении, обладает самой высокой прочностью на изгиб (74,5 МПа) среди прочих материалов, использованных при исследовании, и средней прочностью на разрыв (35,1 МПа). Образцы из пластика ABS также обладают высокой твердостью (R105), температурой плавления 178 °С, более высокой температурой размягчения (100 °С), по сравнению с образцами из PETG и PLA пластиков. Однако наряду с этим присутствует усадка при изготовлении до 0,8 %. Обладают средними прочностью на изгиб и разрыв (40 и 22 МПа соответственно). Образцы, выполненные из PLA пластика, обладают самой низкой температурой размягчения (50 °С), относительно низкой твердостью (R70), при этом отсутствует усадка, а прочность на изгиб и разрыв составляют 54 и 57 МПа соответственно. Также стоит отметить, что PLA пластик является биоразлагаемым (получают из сахарного тростника и кукурузы).

Таким образом, основываясь на результатах исследования качества деталей из различных видов пластика, изготовленных методом FDM-печати, можно дать следующие рекомендации по способам их применения:

– PLA – 3D-печать крупногабаритных изделий, 3D-печать изделий с точными размерами, 3D-печать декоративных элементов мебели и др.;

– ABS – возможно использование для производства механических изделий, мелкосерийной печати корпусов и комплектующих, для печати изделий, рассчитанных на долгий срок службы.

– PETG – подходит для печати не сильно нагруженных кинематических пар, печати изделий, эксплуатирующихся в уличных условиях [8].

Литература

1. Технологии 3D-печати. – Режим доступа: http://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml. – Дата доступа: 20.03.2022.
2. Зачем нужны 3D-принтеры. – Режим доступа: <http://pechat-3d.ru/3dprinter/primenenie/3d-printer-primenenie.html>. – Дата доступа: 20.03.2022.
3. Flashforge Finder 3D-Printer. UserGuide. – Режим доступа: <http://static.creativetools.se/misc/doc/flashforge/finder/Finder-User-Guide.pdf>. – Дата доступа: 14.03.2022.
4. Flashforge Dreamer. – Режим доступа: <https://www.3dhubs.com/3dprinters/flashforge-dreamer>. – Дата доступа: 11.03.2022.
5. The Latest Flashforge Software, Firmware, and User Manual Download. – Режим доступа: <http://www.flashforge.com.hk/downloads.html>. – Дата доступа: 20.03.2022.
6. Garrett, W. Melenka, Evaluation of dimensional accuracy and material properties of the MakerBot 3D-desktop printer, Rapid Prototyping Journal. – 2015. – № 21.
7. Farzadi, A. Effect of Layer Thickness and Printing Orientation on Mechanical Properties and Dimensional Accuracy of 3D-Printed Porous Samples for Bone Tissue Engineering, PLOS. – 2014. – № 9.
8. Библиотека анализа моделей для 3D-печати. – Режим доступа: http://edu.ascon.ru/main/competition/gallery/items/?bm_id=65174. – Дата доступа: 20.02.2022.