

УДК 621.3.049.75:658.5.012.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ,
ИЗГОТОВЛЕННЫХ 3D-ПЕЧАТЬЮ**

Ольга Николаевна Смирнова⁽¹⁾, Александр Александрович Александров⁽²⁾, Юлия Сергеевна Боброва⁽³⁾

*Аспирант по специальности 2.2.3⁽¹⁾; инженер-технолог, выпускница кафедры⁽³⁾
Кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Аспирант по специальности 2.5.6⁽²⁾
Кафедра «Технологии обработки материалов»*

*Научный руководитель: К.М. Моисеев
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в
машиностроении»*

Метод послойного наложения филамента (Fused Deposition Modeling, FDM) является одним из методов 3D-печати, который может быть применен для изготовления печатных плат (ПП). Он представляет собой соединение последовательно наложенных слоев разогретого до вязко-текучего состояния филамента (полимерной нити), который послойно подается через экструзионное сопло (ЭС) при нагреве в соответствии с управляющей программой 3D-принтера [1].

Наиболее популярным подходом к изготовлению ПП с применением метода послойного наложения филамента (ПНФ) является печать диэлектрической подложки с каналами под печатные проводники, которые в дальнейшем заполняются проводящим материалом.

Проведенный анализ физических процессов рассматриваемого метода 3D-печати показал, что обеспечение размерных показателей достигается выбором диаметра ЭС, количества контуров (периметров), скоростей подачи филамента и перемещения экструзионной головки (ЭГ), расчетом траектории движения ЭГ, температурными режимами и свойствами филамента. Все вышеуказанные факторы, кроме первых двух, относятся к свойствам филамента или к скрытым от пользователя алгоритмам слайсера (т.е. программы, создающей G-код на основе виртуального «расслаивания 3D-модели» по оси Z, соответствующей толщине ПП, на слои заданной толщины).

Таким образом, в работе исследовалось влияние диаметра сопла (D) и количества контуров (P) на следующие выходные параметры: линейные размеры образца, ширина канала печатного проводника и расстояние между проводниками.

Эксперименты проводились в Научно-образовательном центре «Центр аддитивных технологий» (НОЦ «ЦАТ») на отечественном 3D-принтере Hercules Strong 2017 (Imprinta) [2] с использованием слайсера Ultimaker Cura (версия 5.2.1). Диаметры латунных ЭС, поставляемые официальным производителем оборудования, составили Ø0,4 мм и Ø0,2 мм (является минимально возможным). Количество контуров задавалось с помощью слайсера равным 1 или 3 шт. В связи с тем, что полилактид (PLA) является основной составляющей большинства проводящих и стеклонаполненных филаментов (например, Conductive PLA [Protopasta]) и может быть применен для печати латунными ЭС диаметром до 0,4 мм, были выбраны для исследования филаменты двух отечественных производителей: PLA+ Standart

(Filamentarno!) [3] и НИТ-PLA (ООО «ПК НИТ») [4]; белого и оранжевого цветов соответственно. Температура печати была задана 205°C, рабочей платформы – 105°C. Размеры образца составляли 21×18 мм.

Анализ полученных результатов и построенных на их основе математических моделей (ММ) показывает, что:

– несмотря на различия для производителей филамента в значениях коэффициентов и значимости факторов для некоторых выходных параметров ММ, общие рекомендации по выбору стратегии печати являются одинаковыми;

– в большинстве случаев образцы, изготовленные из НИТ-PLA, имеют меньшее отклонение размеров от номинальных значений и лучший внешний вид, чем аналогичные образцы из PLA+ Standart;

– все полученные линейные размеры образцов находились в допуске $\pm 0,5$ мм для длины и ширины и $\pm 0,2$ мм для толщины. Для лучшего соответствия требованиям рекомендуется применять ЭС больших диаметров в сочетании с малым количеством контуров;

– ЭС $\varnothing 0,4$ мм позволяет изготовить элементы проводящего рисунка до 2 класса точности (ширина проводника до 0,45 мм), а $\varnothing 0,2$ мм – до 3 класса точности (ширина проводника до 0,25 мм);

– для лучшего соответствия размеров элементов проводящего рисунка ПП требованиям, согласно ММ, следует применять большие диаметры ЭС в сочетании с большим количеством контуров. Однако подобная стратегия заметно увеличит шероховатость поверхности и приведет к появлению заусенцев (рис.1). В связи с этим предлагается применять малые диаметры ЭС в сочетании с большим количеством контуров. Кроме того, при выборе стратегии печати ПП следует руководствоваться рекомендациям для элементов проводящего рисунка, т.к. все проверенные сочетания факторов обеспечивают выполнение требований для линейных размеров.

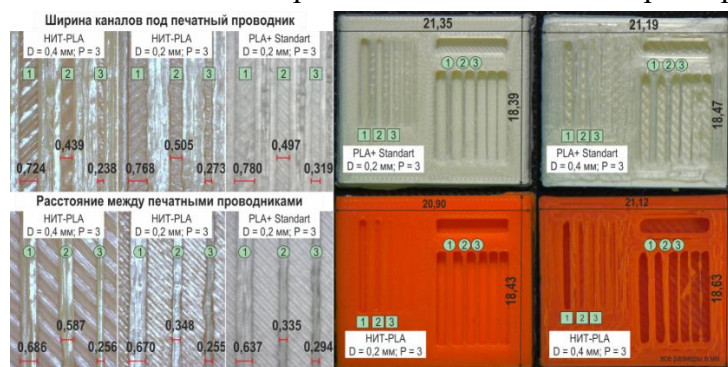


Рис.1. Внешний вид элементов проводящего рисунка образцов, имеющих наилучшее соответствие (номинальные значения слева направо $(0,75\pm 0,15)$ мм, $(0,45\pm 0,1)$ мм; $(0,25\pm 0,05)$ мм)

Литература

- ГОСТ Р 59100–2020. Пластмассы. Филаменты для аддитивных технологий. Общие технические требования. Введ. 2021-07-01. М.: Стандартинформ, 2020. 11 с.
- Брошюра Hercules Strong 2017. Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/1k0Nj2tBegzr6Bj4vqHCTMxF8wr1mCenj/view?usp=sharing> (дата обращения: 28.12.2022).
- Брошюра PLA+ STANDART белый. Режим доступа: <https://filamentarno.ru/id=75> (дата обращения: 28.12.2022).
- Брошюра НИТ-PLA оранжевый. Режим доступа: https://plastik-nit.ru/catalog/nit_pla/6302/ (дата обращения: 28.12.2022).