

Колодкин Д.Ю., Боброва В.В.,
Спиглазов А.В., Кордикова Е.И.

(Белорусский государственный технологический университет)

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ FDM-ПЕЧАТИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗДЕЛИЙ ИЗ АБС-ПЛАСТИКА

Технология послойной укладки расплавленной полимерной нити – FDM – печать (fused deposition modeling) в настоящее время является наиболее простой и востребованной в различных отраслях промышленности для изготовления изделий из полимерных или композиционных материалов [1–5]. При этом необходимо учитывать физикомеханические показатели исходного полимера и его поведение при печати для получения оптимальных с точки зрения реализации физико-механических свойств готового изделия.

Изделия, напечатанные по технологии FDM, имеют заниженные прочностные показатели по сравнению с полученными традиционным методом литья под давлением. Данный эффект снижения свойств обусловлен низкой адгезией между отдельными нитями пластика. В современной литературе недостаточно сведений для анализа данной проблемы: нет обобщенных сведений о влиянии отдельных технологических параметров печати на уровень показателей прочности.

При этом для изделий аддитивного синтеза необходимо учитывать характерную анизотропию свойств, что связано с самой технологией FDM. Выделяется три главных направления печати (рис.1).

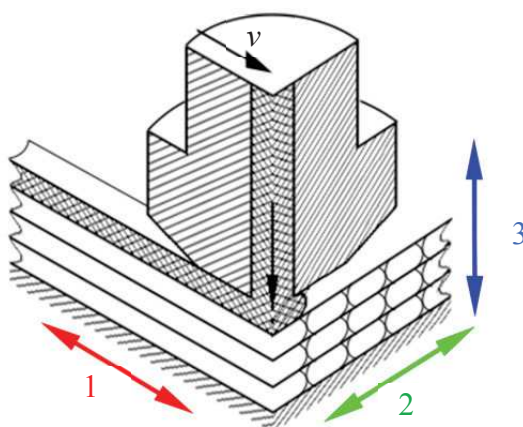


Рисунок 1 – Главные направления печати
(1 – продольное, 2 – поперечное, 3 – синтеза)

В работе исследовалось влияние технологических параметров на прочность изделий в разных направлениях печати. Для каждого из них на 3D-принтере SHAREBOT-NG печатали стандартные образцы, с размерами в соответствии с ГОСТ 11262-80 (рис. 2, а). Образцы с направлениями печати 1 и 2 (тип 2) печатали горизонтально, а с направлением печати 3 (тип 3) – вертикально в виде столбиков из трёх образцов с последующим механическим разделением (рис. 2, б). Для исследования влияния основных технологических параметров, при печати их изменяли в соответствии с таблицей 1.

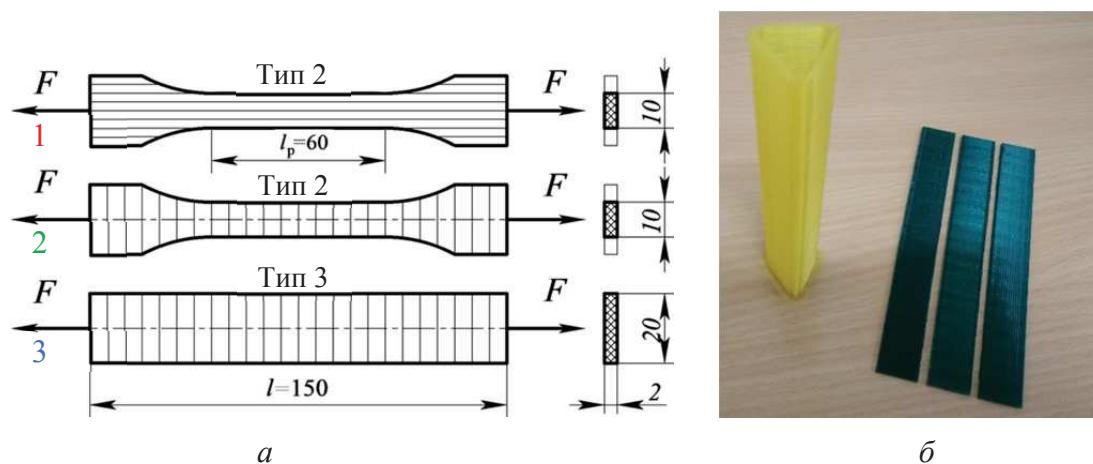


Рисунок 2 – Вид стандартных образцов
(а – схема, б – общий вид образца с направлением печати 3 до и после механической обработки)

Таблица 1 – Технологические параметры печати

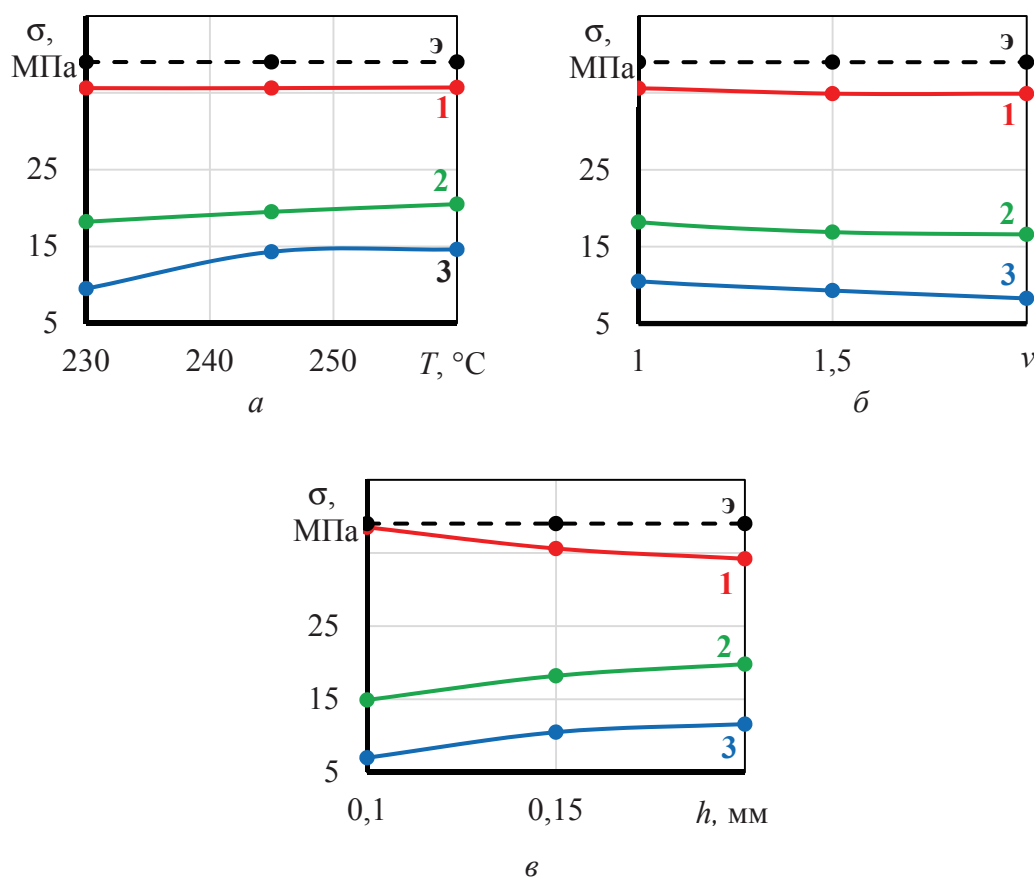
Технологические параметры		
Температура, °С	Толщина слоя, мм	Скорость печати, мм/с
245	0,2	60; 90; 120
245	0,1; 0,15; 0,2	60
230; 245; 260	0,2	60

Исследования проводили для АБС-пластика, наиболее распространенного в 3D-печати и, в тоже время, имеющего наибольшие проблемы при подборе параметров из-за сильно расслоения при изготовлении изделий. В качестве исследуемого объекта использовали АБС-пластик марки CYCOLAC RESIN EX58F с диаметром 1,75мм, производитель REC, со следующими показателями свойств: плотность – 1,05 г/см³, температура размягчения – 103°С, прочность на растяжение – 39,0 МПа, модуль упругости при растяжении – 1,6 ГПа.

Механические испытания стренг и напечатанных образцов проводили на испытательной машине MTS Criterion-43. Управление процессом и обработка данных проводится с помощью программного обеспечения TW Essential.

Для определения изменения физико-механических параметров материала в изделии проводили сравнение свойств напечатанных в разных направлениях стандартных образцов со свойствами исходного материала в виде стренги.

На рис. 3 показаны графики зависимостей прочности при растяжении для образцов в трёх направлениях печати от различных технологических параметров в сравнении с эталонным образцом (Э).



(a – температура, $б$ – скорость перемещения экструдера в долях от 60мм/с, $в$ – толщина слоя; 1 – продольное направление печати, 2 – поперечное направление печати, 3 – направление синтеза, Э – эталонный показатель)

Рисунок 3 – Зависимости прочности при растяжении от технологических параметров

Результаты эксперимента показывает, что напечатанные образцы уступают в прочности чистому АБС-пластику. Однако для образца с

продольным направлением нитей эффект незначителен, т.к. возникают лишь продольные напряжения, которые направлены вдоль нитей пластика в слое. Для образцов с направлением печати 2 и 3 эффект значительный, т.к. в данном случае напряжения возникают перпендикулярно нитям пластика в материале и прочность обеспечивается за счет адгезионного взаимодействия между ними.

Можно сделать вывод, что увеличение температуры экструзии приводит к упрочнению за счет увеличения адгезии, как и уменьшение скорости печати (теплопередача от экструдера увеличивается). В то же время изменение толщины слоя влияет на образцы по-разному. Для образцов с направлением печати 2 и 3 увеличение толщины слоя приводит к упрочнению за счет лучшего распределения пластика и, как следствие, большей адгезии, а для образцов с направлением 1 наоборот, что связано с образованием пор в поперечном сечении образцов (уменьшение реальной площади поперечного сечения).

Исследования показывают, что при повышении температуры печати, уменьшении скорости перемещения экструдера и увеличении толщины слоя прочность напечатанного материала увеличивается и этот эффект в основном наблюдается на всех трех направлениях печати. По сравнению с исходным материалом прочность напечатанных образцов в направлении 1 составляет 87–98%, в направлении 2 38–53%, в направлении 3 18–37%).

Полученные выводы исследований позволят получить изделия с большей прочностью при использовании тех же материалов и оборудования, лишь за счет подбора подходящих технологических параметров печати. Также эти результаты будут полезны при использовании других материалов, т.к. механизм влияния выбранных технологических параметров на прочность изделий схож для них.

Литература

1. Смирнов О.И. Моделирование технологии послойного синтеза при разработке изделий сложной формы / О.И. Смирнов, С.В. Скородумов // Современные наукоемкие технологии / Москва, 2010 г. № 4. С. 83–87.
2. Novakova-Marcincinova L., Kuric I. Basic and Advanced Materials for Fused Deposition Modeling Rapid Prototyping Technology // Manufacturing and Industrial Engineering. 2012. Vol. 11(1). P. 24–27.
3. Turner B., Strong R., Gold S. A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling // Rapid Prototyping Journal. 2014. No. 20/3. P. 192-204. DOI: 10.1108/RPJ-01-2013-0012.

4. Durgun I., Ertan R. Experimental investigation of FDM process for improvement of mechanical properties and production cost // Ibid. P. 228–235. DOI: 10.1108/RPJ-10-2012-0091.

5. Петрова Г.Н. Исследование комплекса характеристик базовых материалов для FDM-технологии аддитивного синтеза. Физикомеханические и теплофизические свойства / Г.Н. Петрова, М.М. Платонов, В.А. Большаков, С.А. Пономаренко // Пластические массы / Москва, 2016 г. № 5–6. С. 53–59.

УДК 667.633.2

Крутько Э.Т., Глоба А.И.

(Белорусский государственный технологический университет)

МЕЛАМИНОАЛКИДНОЕ ПОКРЫТИЕ С ПОВЫШЕННОЙ ТВЕРДОСТЬЮ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТЬЮ

Разработка защитно-декоративных лаковых и эмалевых покрытий с повышенной коррозионной стойкостью и твердостью на загрунтованных и незагрунтованных металлических поверхностях является актуальной задачей лакокрасочной промышленности. Такие покрытия широко используются в автомобиле- и сельскохозяйственном машиностроении для улучшения их качества, в частности, антикоррозионных свойств и стойкости к истиранию. Например, тоннажно производимый лак МЛ-0136 (ТУ-10-1392-78), на основе алкидной и меламиноформальдегидной смолы в настоящее время широко используется для производства эмалей, используемых на многих предприятиях Республики Беларусь, производящих автомобили, автобусы, троллейбусы, комбайны, трактора и другую технику для получения антикоррозионных и декоративных покрытий. Недостатком покрытий на основе данного лака является невысокая твердость формируемой пленки. В работе [2] показано, что лаковая композиция, представляющая собой смесь растворов алкидной, меламиноформальдегидной (К-421-02) смол и полималеимидамина на основе бис-малеинимида и ароматического диамина в органических растворителях, обеспечивает хорошие защитно-декоративные свойства формируемого покрытия, его удовлетворительную долговечность. Вместе с тем, формируемое покрытие обладает невысокой твердостью и коррозионной стойкостью, что сокращает срок службы защитного слоя, являясь недостатком указанного лакокрасочного материала.