

Исследование механических свойств материала Polyketon, применяемого в 3D печати*

Козенко М.Ю., Гайдадин А.Н., Дьяченко Е.А.

Волгоградский государственный технический университет

г. Волгоград, Российская Федерация

kozenkomichael1999@yandex.ru

Аннотация. В настоящей статье рассмотрено экспериментальное исследование механических свойств образцов материала для 3D печати Polyketon (Polymer M710F) от компании НИТ изготовленных на FFF/FDM 3D принтере с активным термостатированием рабочей области. Целью данной работы является проверка влияния термостатирования рабочей области на такие свойства, как прочность и относительное удлинение при разрыве, путём качественного сравнения результатов испытания тестовых образцов изготовленных при различных режимах работы оборудования для аддитивного производства. Представлены материалы и методы исследования и анализ результатов.

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

ВВЕДЕНИЕ

С каждым днем 3D-печать находит все новые применения в различных сферах промышленности. Наибольшую популярность приобрела технология, основанная на методе послойного наплавления (FFF/FDM). Одним из наиболее обещающих направлений ее развития является создание готовых рабочих компонентов и механизмов, таких как кронштейны, шестерни и другие детали

Для подобных деталей важнейшую роль играют высокие значения механических характеристик. Не каждый из существующих на рынке полимеров соответствует этим требованиям, чаще всего используются POM, PA-6, PA-66 и другие. Эти материалы характеризуются высокой прочностью, широким диапазоном рабочих температур, устойчивостью к износу, твердостью и химической стойкостью. Во многих аспектах они превосходят наиболее распространенные филаменты, такие как ABS и PETG.

Но также у них есть свои недостатки, это высокая цена, высокая гигроскопичность (способность набирать влагу из окружающего воздуха) и выступание в реакцию гидролиза с водой при высоких температурах. Поскольку технология FFF подразумевает, нагрев пластика до высоких температур и его последующую экструзию, то два последних недостатка очень критичны. Образующиеся пузыри газа приводят к нарушению геометрии изделия, пористости, что является браком. Чтобы это предотвратить, необходимо длительное время высушивать пластик перед и во время непосредственной печати.

Для решения возникшей задачи мы провели анализ полимера, который ранее не находил использования в сфере

3D-печати: Polyketon (Polymer M710F), до этого применяемого исключительно в термопластичных автоматизированных системах. В силу инновационности этого материала, отсутствуют сведения о механических параметрах изделий, созданных с помощью 3D-печати. Не исследовано, как температурные условия, скорость печати, толщина слоя и скорость перемещения печатающей головки воздействуют на качество готовых изделий, что затрудняет предсказание механических характеристик финальной продукции.

ГИПОТЕЗА

Из опыта предыдущих исследований [1-3] известно, что наибольшее влияние на прочностные характеристики 3D печатного изделия оказывает термостатирование рабочей области печати.

Мы предполагаем, что использование термокамеры и повышение температуры в материале Polyketon (Polymer M710F) способствует улучшению межслойной когезии в процессе изготовления изделия, что, в свою очередь, будет способствовать увеличению его прочностных характеристик. Под межслойной когезией в 3D печати понимается взаимодействие частиц филамента между слоями, находящимися на разной высоте. Однако нельзя с уверенностью говорить, происходит ли именно когезионное взаимодействие (так как задействованы частицы одного материала) или адгезионное (поскольку взаимодействуют различные фазы вещества – расплавленный и остывший, затвердевший филамент).

ЦЕЛЬ

В данной работе производится проверка влияния термостатирования рабочей области на такие свойства, как прочность и относительное удлинение при разрыве, путём качественного сравнения результатов испытания тестовых образцов, изготовленных с использованием разнообразных условий работы аппаратуры для аддитивного производства [4].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В исследовании использовался полимер Polyketon марки M710F, который был переработан в филамент компанией НИТ. Заявленные производителем NYOSUNG характеристики исходного материала представлены в табл. 1. Схема расположения слоев тестового образца показана на рис. 1. Размеры образцов показаны на рис. 2 [5-6].

* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг", <https://icie-rus.org>

Таблица 1
Заявленные характеристики исходного сырья от компании HYOSUNG

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES OF POKETONE POLIMER M710F – Measured at 23 °C				
	Test Method & Condition		ASTM Values	ISO Values
	ASTM	ISO	SI	SI
Tensile strength at yield	D638	527-1	43 MPa	43 MPa
Tensile modulus	D638	527-1	950 MPa	900 MPa
Tensile elongation at yield	D638	527-1	19%	19%
Tensile elongation at break	D638	527-1	300%	300%
Flexuar strength	D790	178	40 MPa	40 MPa
Flexuar modulus	D790	178	900 MPa	850 MPa
Unnotched Charpy impact strength	-	179/1 eU	-	N.B.
Notched Charpy impact strength	-	179/1 eA	-	14 kJ/m ²
Unnotched Izod impact strength	D256	180/U	N.B.	N.B.
Notched Izod impact strength	D256	180/A	120kJ/m	9 kJ/m ²
TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES OF POKETONE POLIMER M710F – Measured at 23 °C				
	Test Method & Condition		ASTM Values	ISO Values
	ASTM	ISO	SI	SI
Specific gravity	D792	1183	1,22 g/cm ³	1,22 g/cm ³
Shore D hardness	D2240	868	-	71
Hardness Rocwell	D785	-	105	-
Water absorption equilibrium at 50% RH	D570	62	0,5%	2,5%
Water absorption at saturation	D570	62	2,2%	2,2%
TYPICAL THERMAL PROPERTIES OF POKETONE POLIMER M710F – Measured at 23 °C				
	Test Method & Condition		ASTM Values	ISO Values
	ASTM	ISO	SI	SI
Melting temperature	D3418	11357	197 °C	197 °C
Heat deflection temperature	D648	75		
	66psi	0,45 MPa	155 °C	140 °C
	254psi	1,8 MPa	75 °C	65 °C

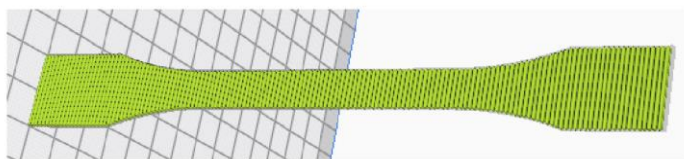


Рис. 1. Схемы расположения волокон в экспериментальных лопатках

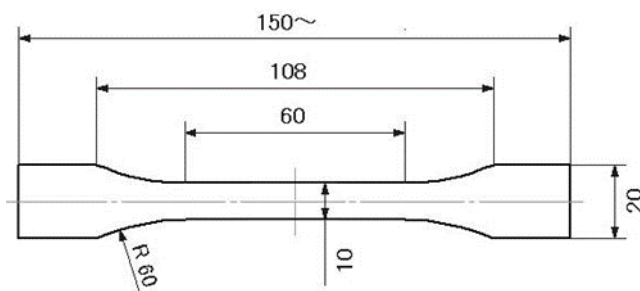


Рис. 2. Размеры образцов типа 2 по стандарту ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012)

Печать осуществлялась с одной катушки расходного материала, чтобы свести к минимуму влияния разницы свойств между разными партиями филамента, на 3D принтере A4Pro с термостатируемой камерой. Это обеспечивало равномерный нагрев зоны печати, что способствовало улучшению спекания образцов и обеспечивало более равномерную усадку [7]. Параметры печати были выбраны на основе эмпирических данных, при этом единственным варьируемым параметром была температура в термокамере. Измерения проводились на лабораторном оборудовании в лаборатории Волгоградского государственного технического университета в соответствии со стандартом ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012) [8]. Параметры испытаний отражены в табл. 2. Результаты испытаний представлены в табл. 3 и на рис. 3 и 4.

Таблица 2

Параметры испытаний

Стандарт испытания	ГОСТ 11262-2017
Материал	Polyketon
Температура экструзии	280°C
Температура стола	180°C
Температура термокамеры	0°C /20°C /40°C /60°C /80°C /100°C /120°C /140°C
Толщина слоя	0,2 мм
Диаметр сопла	0,4 мм
Тип образца	Лопатка тип 2
Преднагрузка	0,5 Н
Скорость испытания	50 мм/мин

Таблица 3

Сводные данные абсолютных значений показателей, на основании которых выполнены выводы и графики

Номер образца	Температура, °C	Прочность, МПа	Отн. удл., %
14	0	19,9	2,5
11	20	21,4	3,7
1	40	21,8	3,4
3	60	23,3	5
6	80	25,3	3,9
9	100	30,2	4,9
5	120	42,8	9,1
13	140	43,3	9,1

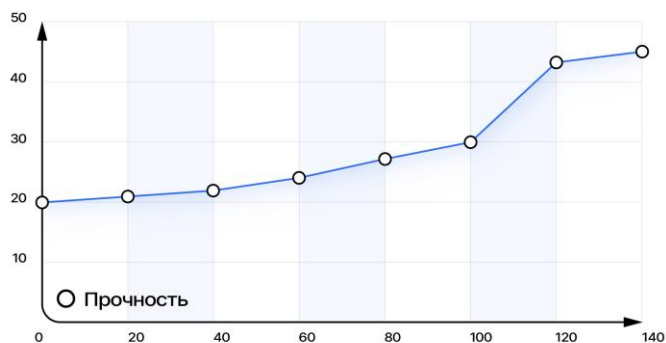


Рис. 3. Сводный график результатов испытаний прочности на разрыв

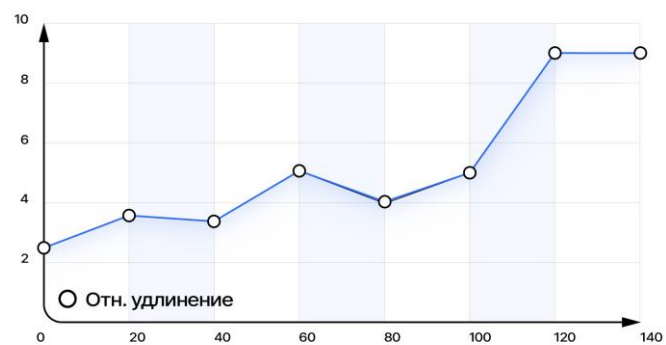


Рис. 4. Сводный график результатов испытаний относительного удлинения

Выводы

Результаты тестирования демонстрируют, что при увеличении температуры термокамеры до 120°C, прочность на пределе текучести 3D-печатных изделий становится сопоставимой с прочностью литых образцов, которую заявляет производитель исходного полимера.

На основе этих данных можно утверждать, что данный материал подходит для создания функциональных изделий для промышленных нужд с помощью 3D-печати, при этом прочностные характеристики изготовленных таким образом деталей не будут уступать изделиям, произведенным традиционным методом литья пластмасс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brian Vo. The Effect of 3D Printing Temperature on the Mechanical Properties of Polypropylene // Proc. SPE Polymer Nanocomposite Conference. – 2016.
2. Honglei Zhen. Effect of 3D Printing Process Parameters and Heat Treatment Conditions on the Mechanical Properties and Microstructure of PEEK Parts. Polymers. - 2023. – 2023. Vol. 15(9). – 2209.
3. Козенко М.Ю. Исследование влияния термостатирования рабочей области на механические свойства изделий, получаемых методом послойного наплавления / М.Ю. Козенко, А.М. Макаров, Е.А. Дьяченко, О.И. Сушкова // Известия ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. – 2020. – № 3(238). – С. 73-76.
4. Frans Johansson. Optimizing Fused Filament Fabrication 3D printing for durability: Master's Degree Thesis Mechanical Engineering. – 2016. – 88 с.
5. <https://www.can-altek.com/poketone> (дата обращения: 10.02.2024)
6. <https://poketone.info/ru/> (дата обращения: 10.02.2024)
7. Swanson W.J., Turley P.W., Leavitt P.J., Karwoski P.J., La Bossiere J.E., Skubic R.L. High temperature modeling apparatus // US Patent. US6722872B1. 2000. – 15 с.
8. 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: 11.02.2024 г.).

DOI: 10.24892/RIJE/20240411

Study of Mechanical Properties of Polyketon Material Used in 3D Printing

Kozenko M.Y., Gaydadin A.N., Dyachenko E.A.

Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation
kozenkomichael1999@yandex.ru

Abstract. In this article, an experimental study of the mechanical properties of samples of material for 3D printing Pokyketon (Polymer M710F) from the NIT company manufactured on an FFF/FDM 3D printer with active thermal insulation of the working area is considered. The purpose of this work is to verify the effect of the deformation of the working area on properties such as strength and elongation at break by qualitatively

comparing the test results of test samples manufactured under different operating modes of equipment for additive manufacturing. The materials and methods of research and analysis of the results are presented.

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