

УДК 620.173.2

В. А. Витренко, д-р техн. наук, профессор, **Г. В. Сыровой**, к.т.н., доцент,
А. А. Афошин, ассистент

Луганский Национальный Университет имени Владимира Даля, ЛНР

Тел./Факс: +38 050 5492825; E-mail: [vitrenko.vl@gmail.com](mailto:vitreko.vl@gmail.com)

Тел./Факс: +38 072 1413836; E-mail: rodgis@mail.ru

Тел./Факс: +38 050 8862369; E-mail: 80508862369@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ В 3-D ПЕЧАТИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ ПО FDM-ТЕХНОЛОГИИ

Приведены результаты экспериментальных исследований параметров при 3D-печати цилиндрических образцов по FDM-технологии. Проанализировано влияние скорости на прочностные характеристики детали. Установлены зависимости изменений прочности изделия от скорости печати.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, FDM-технология, скорость заполнения модели, прочность детали из АБС-пластика.

V. A. Vitrenko, G. V. Syrovoy, A. A. Afoshin

INFLUENCE OF THE SPEED IN 3-D PRESSES ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF CYLINDRICAL SAMPLES ON FDM-TECHNOLOGY

The results of experimental studies of parameters in 3D printing of cylindrical samples using FDM technology are presented. The effect of speed on the strength characteristics of the part is analyzed. The dependences of changes in the strength of the product on the speed of printing.

Keywords: additive technologies, 3D printing, FDM technology, model filling speed, strength of an ABS plastic part.

1. Введение

Решение проблемы повышения конкурентоспособности продукции находится в приоритете всех отраслей промышленности и применение аддитивных технологий (АТ) является одной из ведущих тенденций роста современного производства. Технология моделирования методом наплавления – известная как Fused Deposition Modeling (FDM-технология) значительно экологичнее, проще в эксплуатации и дешевле. Так же послойное наплавление детали по FDM-технологии в сравнении с классической обработкой заготовки на станках дает преимущество в исключении ручного труда.

Базовым фундаментом для определения механических свойств детали являются знания о реакциях используемого материала при различных нагрузках. По известной величине деформации, которую может создавать данная нагрузка, инженер-конструктор способен заведомо определять поведение детали в условиях эксплуатации.

К технологическим параметрам режима печати по FDM-технологии входят рабочие параметры и системные настройки, используемые во время цикла изготовления детали. Для получения детали по FDM-технологии, ключевыми параметрами выступают: скорость заполнения модели, плотность заполнения модели, толщина стенки, температура печати. Данные параметры регулирует пользователь, а такие параметры как: время печати, количество слоев, и т.п. выдает программа подготовки к печати – слайсер [1].

В работах [5-10] приводятся результаты исследований на прочность образцов, напечатанных с помощью FDM технологии, однако в научной и технической литерату-

ре нет достаточно обоснованных рекомендаций по технологическим параметрам для режимов печати по FDM-технологии. Поэтому изучение особенностей печати по FDM-технологии и их влияние на прочностные характеристики изготавливаемых изделий представляют особый практический и научный интерес.

Целью работы является определение зависимости прочностных характеристик цилиндрических образцов, изготовленных по FDM-технологии от скорости печати.

Задачи исследования – изучить основные параметры режима печати по FDM-технологии, установить зависимость влияния параметра скорости на прочностные характеристики для цилиндрических образцов.

2. Основное содержание и результаты работы. Исследования проводились на цилиндрических образцах из полимерного материала, представленным термопластом акрилонитрилбутадиенстиролом (аббр. АБС-пластик с химической формулой $(C_8H_8)_x \cdot (C_4H_6)_y \cdot (C_3H_3N)_z$ и международным CAS-номером 9003-56-9). Механические свойства материала представлены в таблице 1 согласно ГОСТам, данным исследований и производителя.

Таблица 1. – Физико-механические свойства АБС-пластика

Параметр	Значения параметров в соответствии с		
	данными 345	ГОСТ*	данными производителя
Плотность, г/см ³	1,04...1,12	1,03...1,05	1,04...1,05
Модуль Юнга, ГПа	1,9...2,7		1,6...2,3
Предел прочности, МПа	32...56		22...36
Предельное относительное удлинение, %	15...40	3...7	4...6
Твердость	Роквелл (R) 75...120	98	

*номера ГОСТов: плотность – 15139, предельное относительное удлинение – 11262; твердость – 4670; модуль упругости при изгибе – 9550-81.

Для исследований был изготовлен ряд образцов при скорости печати в интервале от 10 до 150 мм/с. При этом исследуемый цилиндрический образец имеет следующие параметры: наружный диаметр 20 мм, внутренний 18 мм, толщина стенки 1 мм, длина изделия 50 мм.

Для печати использовался 3D принтер «TEVO Tarantula i3», обработка моделей для печати проводилась в программе Simplify 3D согласно [2], параметры печати представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Применяемые параметры режима печати по FDM-технологии

№	Управляет параметром	Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
1	2	3	4	5
1	Пользователь	Сырье	-	полиамид белый
2		Диаметр нити	мм	1,75
3		Диаметр сопла	мм	0,2
4		Скорость заполнения модели	мм /с	от 10 до 150
5		Плотность заполнения модели	%	100

6		Толщина стенок	мм	0,1
7		Температура печати: - сопла - стола	°С	240 80
8	Слайсер	Время печати		от 23 часа 30 мин до 1ч 57 мин
9		Количество слоев	шт.	от 183224 до 183716
10		Общий вес (модели + поддержки)	г	3,77
11		Расход нити	мм	1252,6

Испытания проводились согласно [3] на разрывной машине модели Р-0,5, которая предназначена для испытаний на растяжение при температуре окружающей среды от 10 до 35 °С. Поэтому для испытаний на сжатие было изготовлено специальное приспособление, показанное на (рис. 1, а), оно состоит из верхнего кронштейна и нижнего, с помощью которых приспособление закреплялось в захватах разрывной машины (рис. 1, б). На образец по торцам надевались вставки для предотвращения торцевого смятия, так, что исследуемая зона составляла 40 мм.



Рисунок 1: а) приспособление для испытания на сжатие; б) приспособление с образцом в разрывной машине

Во время испытания измеряли разрывное усилие и перемещение. На рис. 2 приведены образцы после испытания, а полученные данные представлены в таблице 3.



Рисунок 2. Образцы после испытания

Замеры проводили согласно ГОСТ [4]. На основании замеров всех образцов были получены средние значения, результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3. Средние значения полученных замеров образцов

№	Скорость печати модели $V_{п}$, (мм/с)	Усилие сжатия, σ , (МПа)	Полученное перемещение, мм
1	10	4,38	7
2	30	4,29	7
3	50	4,24	7
4	70	4,04	7
5	90	4,06	7
6	110	4,21	8
7	130	4,21	9
8	150	3,76	8

Результаты эксперимента обрабатывали с помощью статистического метода средних величин, на основе которого были определены зависимости изменений прочности от скорости печати детали. По результатам обработки замеров получен график зависимости прочности от скорости печати цилиндрических образцов (см. рис. 3).

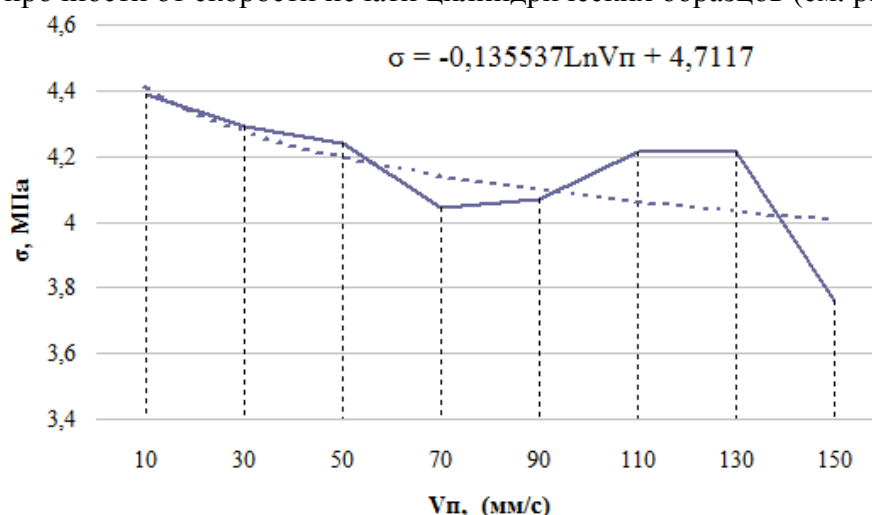


Рисунок 3. График зависимости прочности от скорости печати образцов

На полученном графике (рис. 3) явно выделяются четыре области прочности на сжатие испытываемых образцов. В первую область при скорости от 10 до 50 мм/с попадают изготовленные образцы при печати с повышенной прочностью на сжатие (4,38-4,24 МПа). В третью область при скорости печати от 100 до 130 мм/с попадают образцы имеющие прочность 4,21 МПа. В четвертой области при скорости 150 мм/с идет резкое снижение прочностных свойств.

Представленная зависимость второй областью при скорости печати от 50 до 100 мм/с имеет участок, на котором эмпирическая кривая вырождается в прямую. Во второй области образцы имеют равномерную прочность, наиболее удовлетворяющей паспортным данным материала печати.

3. Заключение

Таким образом, выполненное исследование позволило реализовать следующее:

1. Изучены особенности технологии моделирования методом наплавления при получении цилиндрических образцов.
2. Изготовлено приспособление для испытания образцов на сжатие в соответствии с ГОСТом.
3. Определено, что наиболее конструктивная прочность на сжатие цилиндрических образцов получается при скорости печати от 50 до 100 мм/с.
4. Установлено, что разрыв образцов проходит в разных сечениях – это свидетельствует о равномерной прочности по всей поверхности изделия.
5. Направить дальнейшие исследования на изучение зависимости плотности заполнения модели от прочности цилиндрических образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 57558-2-017. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы.
2. ГОСТ 20999-83. Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации управляющих программ.
3. ГОСТ 4651-2014 (ISO 604:2002). Пластмассы. Метод испытания на сжатие.
4. ГОСТ 33694-2015. Пластмассы. Определение линейных размеров образцов для испытания.
5. Петров, М. А. Исследования по определению силовых характеристик процесса одноосного сжатия цилиндрических образцов, изготовленных из АБС-пластика по методу трехмерной печати [Текст] / М. А. Петров, Н. В. Косачев, Ф. Б. Прокопов. // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2014. – № 10. – Ч. 2 – С. 84-90.
6. Балашов, А. В. Исследование прочности изделий, полученных методом 3D-печати [Текст] / А. В. Балашов, А. О. Черданцев, Е. А. Новиковский, С. В. Ананьин, С. В. Белоплотов // [Ползуновский вестник](#). – Барнаул: [Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова](#), 2016, – № 2. – С. 61-64.
7. Петрова, Г. Н. Реологические свойства термопластичной композиции на основе поликарбоната: зависимость от температуры переработки; влияние на механические характеристики и размерную стабильность объектов, созданных по FDM-технологии [Текст] / Г. Н. Петрова, С. А. Ларионов, Ю. А. Сапего, М. М. Платонов // Труды ВИАМ. – 2017. – № 4. – С. 81-88.
8. Петрова, Г. Н. Исследование комплекса характеристик базовых материалов для FDM-технологии аддитивного синтеза. Физико-механические и теплофизические свойства [Текст] / Г. Н. Петрова, М. М. Платонов, В. А. Большаков, С. А. Пономаренко // Пластические массы. – 2016. – № 5-6. – С. 53-59.
9. Иванова, А. Е. Исследование на прочность образцов, напечатанных с помощью FDM технологии / А. Е. Иванова, С. С. Колмаков, Б. Г. Скуйбин, И. А. Лаптев. // Современный физический практикум. – 2016. – № 14. – С. 277-278.
10. Камоничкина, Н. В. Исследование прочностных характеристик модельного материала, получаемого методом FDM-печати [Текст] / Н. В. Камоничкина, И. В. Кочешков // Аддитивные технологии. – 2018. – № 3. – С. 39-41.

Поступила в редколлегию 18.01.2020 г.