

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА

© 2021 г. М. В. Тимошенко^{1, *}, С. В. Балабанов¹, М. М. Сычев^{1, 2}, Д. И. Никифоров²¹*Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН,
наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, 190034 Россия*²*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
Московский пр., 26, Санкт-Петербург, 190013 Россия***e-mail: timoshe-mikhail@mail.ru*

Поступила в редакцию 11.03.2021 г.

После доработки 18.05.2021 г.

Принята к публикации 07.06.2021 г.

В данной работе разработан термоэластопласт на основе бутадиен-стирольного каучука для 3D печати по технологии послойного наплавления материала. Выполнено 3D моделирование простых и сложных геометрических структур из разработанного материала. Подобраны параметры 3D печати, оптимально подходящие для данного материала.

Ключевые слова: термоэластопласт, 3D печать, FDM технология, 3D принтер, бутадиен-стирольный каучук, g-code

DOI: 10.31857/S0132665121050152

ВВЕДЕНИЕ

Резиновые материалы, используемые в настоящее время в различных отраслях промышленности, имеют высокие показатели прочности и эластичности. Помимо этого, такие материалы имеют множество недостатков, главными из которых является сложность технологического оборудования, а также высокие трудозатраты, требуемые для процесса изготовления изделий. Данный процесс требует применения специализированного дорогостоящего оборудования и является низкопроизводительным. Применение материалов, имеющих подобные свойства, способные многократно перерабатываться, позволяют значительно увеличить производительность, снизить трудозатраты, автоматизировать процесс изготовления и сделать безотходной технологию получения эластичных деталей из термоэластопластов на традиционном оборудовании по переработке пластиков [1].

Термоэластопласты – компаунды, состоящие из термопластичной и эластомерной составляющей. Эти полимерные материалы привлекли интерес научного сообщества благодаря своей уникальной эластичности и термопластичной обрабатываемости [2–4].

Выбор материалов для 3D печати с низким модулем Юнга и в то же время с высокой прочностью, на рынке весьма ограничен, в основном материалы, такие как ABS, PLA, HIPS, PP, PETG, PC имеют высокий показатель модуля Юнга и, следовательно, низкую упругость [5].

Таблица 1. Состав термоэластопласта

Компонент	Содержание, %
Бутадиен-стирольный каучук (SEBS) УН503	43
Полипропилен РР Н250 GP	43
Концентрат красителя черного ПФ1901/09	2
Масло вазелиновое МХ-200	12

Таблица 2. Характеристики термоэластопласта

Наименование показателя	Методика испытаний	Единицы измерения	Фактическое значение
Твердость по Шору D	ГОСТ 263-75	Усл.ед.	48
Плотность	ГОСТ 267-73	г/см ³	0.90
Показатель текучести расплава	ГОСТ 11645-73	г/10 мин (190°С, 5 кг)	3.1

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сочетание в термоэластопласте стирола (этилен-бутадиен)-стирола (SEBS) и полипропилена (PP) на основе метода смешивания сочетает в себе преимущества эластичности SEBS и печати PP. Полипропилен распространен в различных областях промышленности благодаря своей отличной обрабатываемости, высоким прочностным характеристикам, перерабатываемости, низкой стоимости и т.д. [6]. Помимо этого, SEBS является важным полимерным эластомером, обладающим высоким удлинением при разрыве, низкой температурой обработки, низкой вязкостью расплава и низкой деформацией при формовании [7, 8]. Ожидается, что смешивание PP с SEBS откроет новые эластичные полимеры для использования в аддитивных технологиях с более широким спектром свойств, таких как высокое напряжение при разрыве, улучшенное удлинение и технологичность. Изменение содержания SEBS в компаундах позволяет пользователю контролировать гибкость и эластичность получаемого материала и печатных частей, расширяя диапазон применений.

На первом этапе был подобран состав (табл. 1) термоэластопласта. Данный состав хорошо экструдирован и обладает оптимальными характеристиками (табл. 2).

В 3D печати по технологии FDM используют прутки круглого сечения (филамент), самый распространенный диаметр филамента 1.75 мм. Для изготовления филамента диаметром 1.75 мм использовали одношнековый экструдер АBB ACS510 производительностью 5 кг/ч с установленной фильерой диаметром 1.78 мм для получения прутка.

Филамент был получен путем продавливания расплава термоэластопласта через отверстие фильеры. Материал, проходя через водяную баню, охлаждался и наматывался на катушку. Благодаря тянущему устройству, филамент был доведен до диаметра 1.75 мм, с максимальным отклонением ± 0.03 мм.

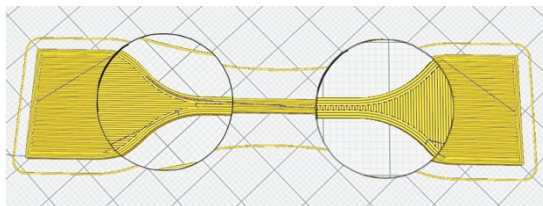


Рис. 1. Рендер лопадки с чередующимся расположением слоев.

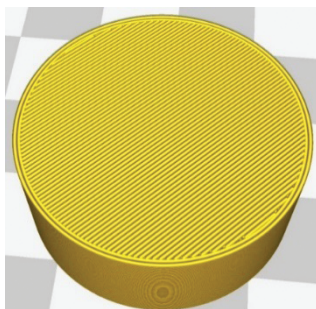


Рис. 2. Рендер цилиндра.

РЕЗУЛЬТАТЫ

За основу 3D печати были взяты стандартные лопадки второго типоразмера по ISO37-2013 [9], цилиндры диаметром 29 ± 0.5 мм высотой 12.5 ± 0.5 мм, а также примитив Шварца со стороной 30 мм.

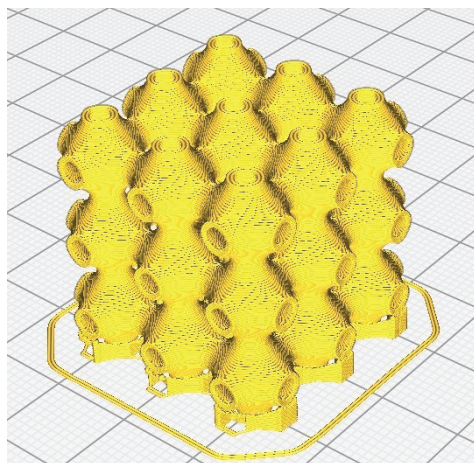


Рис. 3. Рендер примитива Шварца.



Рис. 4. Фотография лопатки, полученной методом FDM печати.



Рис. 5. Фотография цилиндра, полученного методом FDM печати.

Управляющие программы для печати (*g-code*) лопатки были сгенерированы в программе Cura с чередующимся нанесением слоев (рис. 1). Помимо лопаток был сгенерирован *g-code* для печати цилиндров диаметром 29 и высотой 12.5 мм (рис. 2), а также *g-code* примитива Шварца [10] со стороной 30 мм (рис. 3).

Для 3D-печати был использован принтер Wanhao duplicator i3, работающий по FDM-технологии, используемый диаметр сопла 0.4 мм. Наиболее оптимальные параметры печати из данного материала: температура сопла 230°C, температура столика 70°C, скорость печати 20 мм/с, откат прутка в экструдере отключен. На 3D-принтере были изготовлены лопатки (рис. 4), цилиндры (рис. 5) и примитивы Шварца (рис. 6) со 100% заполнением.

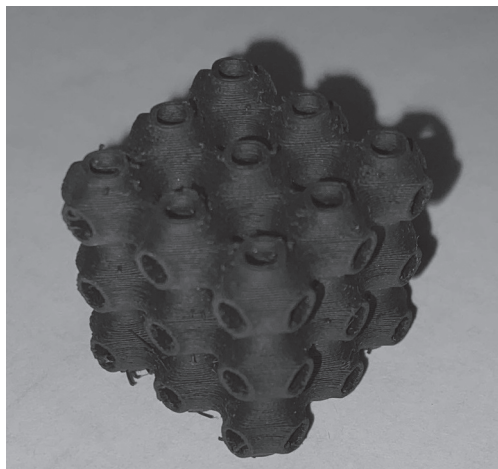


Рис. 6. Фотография примитива Шварца, полученного методом FDM печати.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материалы с высокими упруго-прочностными характеристиками все чаще используют в аддитивных технологиях. Проведенное исследование показывает, что материал может значительно расширить спектр продуктов и свойств, используемых для аддитивных технологий.

Таким образом, разработанный термоэластопласт пригоден для 3D печати не только простых изделий, но и сложных геометрических структур с трижды периодической поверхностью, которые невозможно выполнить более простыми способами формования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-73-10171).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ismail H., Suryadiansyah S.* Thermoplastic elastomers based on polypropylene/natural rubber and polypropylene/recycle rubber blends // *Polymer testing*. 2002. V. 21. P. 389–395.
2. *Banerjee S.S., Bhowmick A.K.* Novel nanostructured polyamide 6/fluoroelastomer thermoplastic elastomeric blends: Influence of interaction and morphology on physical properties // *Polymer*. 2013. V. 54. P. 6561–6571.
3. *Coran A.Y., Patel R.* Rubber-Thermoplastic Compositions. Part IV. Thermoplastic Vulcanizates from Various Rubber-Plastic Combinations // *Rubber Chem. Technol.* 1981. V. 54. P. 892–903.
4. *Banerjee S.S., Kumar K.D., Sikder A.K., Bhowmick A.K.* Nanomechanics and Origin of Rubber Elasticity of Novel Nanostructured Thermoplastic Elastomeric Blends Using Atomic Force Microscopy // *Macromol. Chem. Phys.* 2015. V. 216. P. 1666–1674.
5. *Shkuro, A. E., Krivinigov P. C.* 3D printing technologies and materials: tutorial // *Ural state forestry engineering University – Ekaterinburg Publ.* 2017, 320 p. (In Russian)
6. *Banerjee S.S., Bhowmick A.K.* Tailored Nanostructured Thermoplastic Elastomers from Polypropylene and Fluoroelastomer: Morphology and Functional Properties // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2015. V. 54. P. 8137–8146.
7. *Wilkinson A., Clemens M., Harding V.* The effects of SEBS-g-maleic anhydride reaction on the morphology and properties of polypropylene/PA6/SEBS ternary blends // *Polymer*. 2004. V. 45. P. 5239–5249.
8. *Setz S., Stricker F., Duschek T.* Morphology and mechanical properties of blends of isotactic or syndiotactic polypropylene with SEBS block copolymers // *J. Appl. Polym. Sci.* 1996. V. 59. P. 1117–1128.
9. ISO 37-2017 Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of tensile stress-strain properties. Publication date: 2017-11-01 2017. 30 p.
10. *Sychov M. M., Lebedev L.A., Dyachenko S.V., Nefedova L.A.* Mechanical properties of energy-absorbing structures with triply periodic minimal surface topology // *Acta Astronautica*. 2018. V. 150. P. 81–84.