

Список использованных источников

1. Baibarac, M., Daescu, M., Matei, E., Nastac, D., Cramariuc O. Optical Properties of Composites Based on Poly(o-phenylenediamine), Poly(vinylene fluoride) and Double-Wall Carbon Nanotubes [Text] / M. Baibarac, M. Daescu, E. Matei, D. Nastac, O. Cramariuc // J. Mol. Sci. 2021, 22, 8260. [https:// doi.org/10.3390/ijms22158260](https://doi.org/10.3390/ijms22158260).
2. Yang, W.; Zhou, H.; Huang, Z.; Li, H.; Fu, C.; Chen, L.; Li, M.; Liu, S.; Kuang, Y. In situ growth of single-stranded like poly(o-phenylenediamine) onto graphene for high performance supercapacitors [Text] / W. Yang, H. Zhou, Z. Huang, H. Li, C. Fu, I. Chen, M. Li, S. Liu, Y. Kuang // Electrochim. Acta 2017, V. 245, P. 41–50.

УДК 004.9

А.А. Михальченко

Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЭТ-БУТЫЛОК ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Аннотация. В последнее время вопрос переработки пластика стал одним из важнейших вопросов охраны окружающей среды. Полимерные материалы нашли применение во многих областях повседневной жизни и промышленности. Перспектива повторного использования полимерных материалов дает возможность эффективно использовать отходы для получения расходных материалов.

A.A. Mikhalchenko

Belarusian State University of Transport
Gomel, Belarus

REUSE OF PET BOTTLES FOR 3D PRINTING

Abstract. Recently, the issue of plastic recycling has become one of the most important issues of environmental protection. Polymer materials have found application in many areas of everyday life and industry. The prospect of reuse of polymer materials makes it possible to effectively use waste to obtain consumables.

Введение. Рынок 3D-печати является хорошо развивающимся направлением. Пригодные для печати филаменты могут быть

изготовлены из различных термопластичных материалов, в том числе из материалов, полученных в процессе рециркуляции.

Пластмассы являются чрезвычайно универсальными материалами, так что возможности их применения практически безграничны. Их неоспоримым преимуществом является высокая механическая прочность, низкая плотность, низкий вес, легкость обработки и низкая стоимость. Благодаря этим особенностям пластмассы нашли применение в производстве упаковки, автомобильной промышленности, электроэнергетике, строительстве и транспорте, а также в медицине, сельском хозяйстве или других областях [1].

3D-печать – относительно новая технология, которая стала очень популярной в последние несколько лет. Простота и низкая стоимость способствовали тому, что он в основном используется при прототипировании и мелкосерийном производстве. В последние годы использование 3D-печати стало более популярным в различных отраслях промышленности, в аэрокосмической, военной, автомобильной, медицинской и строительной отраслях.

Нити, используемые в 3D-печати, в основном состоят из термопластов. Наиболее популярными являются акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) и полимолочная кислота (PLA). Остальную группу материалов составляют поликапролактон (PCL), поликарбонат (PC), полистирол (PS), полиэфиримид (PEI), полиэфирэфиркетон (PEEK) и различные типы полиэтилена (PE), включая LDPE (PE низкой плотности), LLDPE. (линейный полиэтилен низкой плотности) и HDPE (полиэтилен высокой плотности). Эти типы материалов обычно используются для печати автомобильных компонентов, хирургических инструментов, прототипов, различных типов упаковки, небольшой садовой архитектуры, игрушек и многих других продуктов, которые используются в повседневном использовании [2].

Несмотря на преимущества, 3D-печать создает большое количество отходов, которые являются результатом неудачных отпечатков или бракованных опорных конструкций. Более того, возможность создавать компоненты без механической обработки или инструментов приводит к тому, что многие отпечатки используются в качестве одноразовых прототипов. Количество термопластичных отпечатков постоянно растет с развитием аддитивных технологий, поэтому возникает проблема обращения с отходами. Решением могут стать нити, полученные в результате переработки пластика.

Переработанные полимеры для 3D-печати

В последние годы мировое производство изделий из пластика значительно увеличилось. Мировое производство пластика в 2021 году составило 359 млн тонн, из которых 51% приходится на азиатские страны и 17% на Европу. Ежегодно 4% мировой добычи нефти (1,3 млрд баррелей в год) используется для производства первичного пластика. Полимеры, используемые для производства, в основном не разлагаются и остаются в ландшафте в течение многих сотен лет. По этой причине загрязнение окружающей среды, связанное с этим видом отходов, является серьезной проблемой. Данные показывают, что до 90% пластика можно использовать повторно. В настоящее время до 80% пластиковых отходов находится на свалках, и лишь несколько процентов перерабатываются. Основным ограничением, связанным с повторным использованием материала, является проблема потери свойств после многократной переработки [1].

Технология переработки. На первом этапе материал отделяется и промывается, а затем измельчается пластик. На следующем этапе измельченный материал экструдирован при высокой температуре (температура устанавливается в зависимости от типа полимера). Подготовленная нить вставляется в 3D-принтер. Напечатанный элемент подвергается анализу (механические, реологические и структурные свойства). Тестируемый образец снова измельчают. В случае модификации материала появляется дополнительный этап: в первом случае в смешанный материал добавляют дополнительный компонент и связующее (например, силиконовое масло) и затем экструдирован; во втором случае измельченный элемент растворяют в органическом растворителе с дополнительным армирующим компонентом, растворитель выпаривают и измельченный материал экструдирован [3].

Аддитивное производство при переработке полимеров может происходить с одновременным улучшением термических, механических и трибологических свойств материалов за счет формирования композитов, представляющих собой полимерную матрицу, армированную волокном, керамикой, металлом или стеклом. Такие улучшенные материалы требуют определения характеристик с помощью различных методов, чтобы исследовать также деградацию материала: термический анализ (DSC), термогравиметрический анализ (TGA), динамический механический анализ (DMA), инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье (FT-IR), а также термический анализ электропроводности [3].

Термопластичные полимеры также можно использовать для получения композиционных материалов, повышающих ценность за

счет улучшения эстетических и механических характеристик материала. 3D-печать позволяет производить в домашних условиях продукты с добавленной стоимостью сложной геометрии. Так называемые рециклоботы – экструдеры отходов пластика для производства нитей для 3D-принтеров из переработанного пластика – кажутся полезными. Можно использовать различные материалы, например, полимолочную кислоту (PLA) или акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) из отработанных материалов [4].

Повторное использование неудачных отпечатков, бывших в употреблении деталей, одноразовых прототипов и отходов, не обязательно изначально использовавшихся для 3D-печати, в качестве источника материалов для производства филамента выгодно как с экономической, так и с экологической точки зрения. Это снижает как материальные затраты, так и выбросы CO₂ и потребление энергии. Требуемое оборудование, в виде шредеров или экструдеров, может быть как второстепенным оборудованием на малых предприятиях, так и крупной установкой по переработке пластиковых отходов [4, 5].

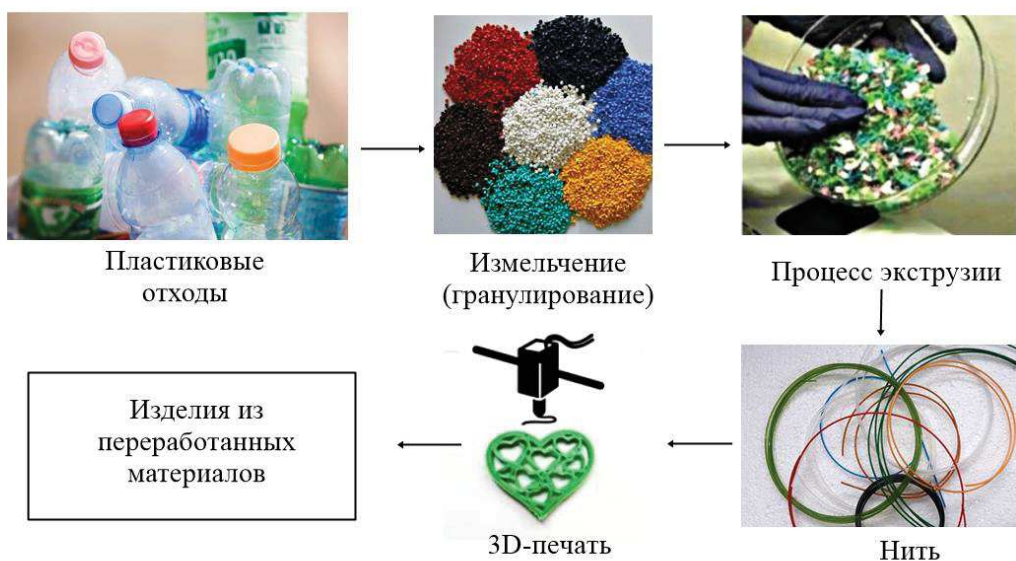


Рис. 1 – Схема переработки материалов для 3D-печати

Пластмассы не подвержены биодegradации, а их разложение приводит к дополнительному загрязнению окружающей среды. Было обнаружено, что переработка является наиболее выгодным методом повышения ценности пластика, бывшего в употреблении, который соответствует концепции экономики замкнутого цикла [5].

Результаты исследования механических характеристик филаментов, изготовленных из переработанного пластика. В качестве испытуемых образцов были подготовлены ленты пластика из

ПЭТ-бутылок голубого цвета, отличающиеся между собой шириной испытуемых образцов.

Таблица 1 – Зависимости нагрузки при разрыве от размера образцов

Размеры образцов, мм	Нагрузка при разрыве, кг·с/см ²			
	1	2	3	Средняя
150 x 10	4,16	4,12	4,20	4,16
150 x 3	0,92	0,82	0,93	0,89
150 x 9	2,30	1,20	1,00	1,50

Пластик голубых ПЭТ-бутылок один из самых жёстких, однако, в расплавленном виде является наиболее текучим из всех.

Анализируя данные, полученные в ходе проведения эксперимента, следует отметить, что наибольшей прочностью обладают образцы размером 150 x 10 мм, со средней нагрузкой при разрыве, равной 4,15 кг·с/см². Следом за ними по прочностным характеристикам расположились образцы размером 150 x 9 мм, со средней нагрузкой при разрыве, равной 1,50 кг·с/см². Самой низкой прочностью характеризуются образцы наименьшего размера 150 x 3 мм, чья средняя нагрузка при разрыве составляет всего 0,89 кг·с/см².

Заключение. Следует отметить, что при непосредственном производстве филамента, включающем этапы роспуска на ленты и нагревания материала до температуры стеклования, прочность может значительно увеличиться в виду изменения структуры и плотности исходного материала. Аддитивное производство при переработке полимеров может протекать с одновременным улучшением тепловых, механических и трибологических свойств материалов путем формирования композитов, представляющих собой полимерную матрицу, армированную волокном, керамикой и другими типами усилителей.

Список использованных источников

1. Микула К., Скшипчак Д., Изыдорчик Г. и др. Нить 3D-печати как вторая жизнь отходов пластмасс-обзор. *Environ Sci Pollut Res* 28, pp. 12321-12333 (2021). Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10657-8>. – Дата доступа: 20.04.2022.

2. Savvakis K., Petousis M., Vairis A., Vidakis N., Birkmeyer A.T. Experimental determination of the tensile strength of fused deposition modeling parts // Conference: American Society of Mechanical Engineers-International Mechanical Engineering Congress & Exposition, At Montreal. 2014. pp. 1-6.

3. The Latest Flashforge Software, Firmware, and User Manual Download, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.flashforge.com.hk/downloads.html>. – Дата доступа: 20.04.2022.

4. Garrett W. Melenka (2015), Evaluation of dimensional accuracy and material properties of the MakerBot 3D-desktop printer, *Rapid Prototyping Journal*, 2015, № 21.

5. J. M. Pearce, Building Research Equipment with Free, Open-Source Hardware, *Science*, 337(6100) (2012) 1303–1304.

УДК 620.001.5

Д. Мурадова, С. Худайгульева

Международного университета нефти и газа им. Я. Какаева
Ашхабад, Туркменистан

БУДУЩЕЕ ЗЕЛеноЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ТУРКМЕНИСТАНЕ

Аннотация. Зеленая энергетика — это часть энергопроизводящей системы, использующая возобновляемые источники энергии такие как энергия солнца и энергия ветра. На сегодняшний момент около 1% электроэнергии в мире приходится на солнечные установки и около 2%- на ветряные установки.

Ключевые слова: зеленая энергетика, солнечные установки, традиционные энергетические ресурсы, рациональное использование энергии, Туркменское озеро Алтын Асыр.

J. Muradova, S. Hudaygulieva

International University of oil and gas named after Ya. Kakayev
Ashgabat, Turkmenistan

THE FUTURE OF GREEN ENERGY IN TURKMENISTAN

Abstract. Green energy is a part of the energy producing system that uses renewable energy sources. For now in the world, about 1% of electricity is produced by photovoltaic panels and slightly more than 2% by windmills.

Key words: green energy, photovoltaic panel, traditional energy resources, rational use of energy, the Turkmen Lake “Altyn Asyr”.

Все источники энергии на Земле делятся на возобновляемые и невозобновляемые. Существующая энергетика в Мире в основном базируется на использовании невозобновляемых ресурсов.

К невозобновляемым энергетическим ресурсам с позиции эколого-экономического подхода относятся углеводородные ресурсы, являющиеся продуктами разложения и трансформации органики