

## ИССЛЕДОВАНИЕ НА РАЗРЫВ ПЛАСТИКА ПЭТ-БУТЫЛОК И ЕГО ПЕРЕРАБОТКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФИЛАМЕНТОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

*А. А. МИХАЛЬЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. Б. НЕВЗОРОВА*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

В последнее время вопрос переработки пластмасс из полиэтилентерефталата стал одним из ведущих вопросов охраны окружающей среды и обращения с отходами. Возможность повторного использования позволяет эффективно утилизировать отходы для получения расходных продуктов, например получения филаментов для 3D-печати. Печатные нити могут быть изготовлены из различных термопластичных материалов, в том числе из вторичной переработки полиэтилентерефталата.

Полиэтилентерефталат (ПЭТ) широко используется при производстве бутылок различного назначения. Одной из основных характеристик этого материала является то, что он входит в группу материалов, известных как полиэфиры, он также характеризуется своей кристалличностью. Основным компонентом этого материала является углерод, и благодаря другим веществам, входящим в его состав, его можно формовать с использованием тепла или давления. Среди отличительных свойств этого материала наиболее заметным является его устойчивость к деградации [1]. В мире воздействие на окружающую среду из-за использования ПЭТ-бутылок велико, потому что, если не будет принята культура переработки и если не будет проведено исследование, которое выявит факторы, препятствующие снижению экологического воздействия, мы продолжим наблюдать чрезмерное использование этого материала [2, 3].

Рынок 3D-печати – один из самых быстрорастущих секторов. Ожидается, что к 2023 году рынок вырастет более чем на 25 % по сравнению с 2017 годом и достигнет более 10 млн долларов США. 3D-печать – это относительно новая технология, которая стала очень популярной в последнее десятилетие. Простота и низкая стоимость способствовали тому, что она используется в основном в прототипировании и мелкосерийном производстве. В последние годы использование 3D-печати стало более популярным в различных отраслях промышленности, причем всё чаще используют ее аэрокосмическая, военная, автомобильная, медицинская и строительная отрасли. Количество термопластичных отпечатков постоянно растет с развитием аддитивных технологий, поэтому возникает проблема обращения с отходами. Решением могут быть филаменты (или нити), полученные при переработке пластмасс. Нити или жгуты, используемые в 3D-печати, чаще всего формируются в процессе экструзии путем введения в экструдер гранулята или полимерного порошка, который под воздействием температуры преобразуется в однородный материал в виде нити с заданными параметрами, адаптированными к размеру печатающего элемента.

Целью работы является определение возможности переработки ПЭТ-бутылок для производства филаментов для 3D-печати и исследование их физико-механических свойств.

Переработка пластика в филамент обычно включает его измельчение на мелкие кусочки и продавливание через шнековый экструдер. Однако можно использовать другой подход с PetBot, в ходе которого ПЭТ-бутылки разрезаются на ленту, а затем превращаются в нить. Резка ленты и экструзия происходят в двух совершенно разных процессах на одной и той же машине. ПЭТ-бутылка подготавливается путем отрезания дна, а открытый край проталкивается между парой подшипников, где резак разрезает бутылку на одну длинную полосу, когда ее скручивает приводная катушка. Затем катушка с лентой перемещается на вторую ступень машины, которая протягивает ленту через горячий конец, очень похожий на 3D-принтер. В то время как большинство обычных экструдеров проталкивают пластик через сопло с помощью винта, PetBot нагревает ленту только до температуры чуть выше ее температуры стеклования, что позволяет приводной катушке медленно протягивать её через сопло, не ломаясь. Вентилятор охлаждает нить непосредственно перед тем, как она пойдет на катушку. На обеих стадиях процесса используется один и тот же шаговый двигатель.

Недостатком является ограничение длины нити материалом в одной бутылке. Получение большей длины требует сплавления ленты после резки или нити после экструзии, что не так просто,

как может показаться. Процесс, скорее всего, будет ограничен большой бутылкой из-под газировки с гладкими внешними поверхностями, чтобы толщина и ширина ленты были максимально одинаковыми [4].

В качестве испытуемых образцов были подготовлены ленты пластика из ПЭТ-бутылок голубого цвета, отличающиеся между собой шириной испытуемых образцов (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимости нагрузки при разрыве от размера образцов

Размеры образцов, мм	Нагрузка при разрыве, кг·с/см <sup>2</sup>			Средняя
	1	2	3	
150×10	4,16	4,12	4,20	4,16
150×3	0,92	0,82	0,93	0,89
150×9 (жгут из лент по 3 мм)	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 150×10 мм со средней нагрузкой при разрыве, равной 4,16 кг·с/см<sup>2</sup>. Далее следуют образцы размером 150×3 мм (жгут из 3 лент размером 150×3 мм) со средней нагрузкой при разрыве, равной 1,50 кг·с/см<sup>2</sup>. Самой низкой прочностью характеризуются образцы наименьшего размера 150×3 мм, средняя нагрузка которых при разрыве составляет всего 0,89 кг·с/см<sup>2</sup>.

Следует отметить, что при непосредственном производстве филамента, включающем этапы роспуска на ленты и нагревания материала до температуры стеклования, прочность может значительно увеличиться ввиду 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 литературы

- 1 Нить 3D-печати как вторая жизнь отходов пластмасс [Электронный ресурс] / К. Микула [и др.]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10657-8>. – Дата доступа : 20.04.2022.
- 2 Experimental determination of the tensile strength of fused deposition modeling parts / K. Savvakis [et al.] // American Society of Mechanical Engineers-International Mechanical Engineering Congress & Exposition, At Montreal : conference. – 2014. – P. 1–6.
- 3 The Latest Flashforge Software, Firmware, and User Manual Download [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.flashforge.com.hk/downloads.html>. – Date of access : 20.04.2022.
- 4 Evaluation of dimensional accuracy and material properties of the MakerBot 3D-desktop printer / G. W. Melenka // Rapid Prototyping Journal. – 2015. – No. 21 (5). –P. 618–627.

УДК 517.958

## ВОЛНЫ В УПРУГОЙ ОБОЛОЧКЕ С ДРОБНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ, ОКРУЖЕННОЙ УПРУГОЙ СРЕДОЙ И СОДЕРЖАЩЕЙ ВЯЗКУЮ НЕСЖИМАЕМУЮ ЖИДКОСТЬ

Л. И. МОГИЛЕВИЧ, Е. В. ПОПОВА

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А., Российская Федерация

Проведено исследование, целью которого является развитие метода возмущений для задач нелинейной волновой динамики при моделировании волн деформаций в упругой физически нелинейной цилиндрической оболочке, содержащей вязкую несжимаемую жидкость с учетом инерции ее движения. Данный класс задач имеет важное теоретическое и практическое значение [1] для развития методов неразрушающей волновой диагностики состояния упругих конструкций, заполненных жидкостью, что особенно актуально для проблем обеспечения безопасности на транспорте. Динамика вязкой жидкости, находящейся внутри оболочки, исследуется без учета ее сжимаемости и описывается уравнениями Навье – Стокса совместно с уравнением неразрывности [2]. Данные