

УДК 004.925.84

Петров Николай Викторович, Нозирзода Шодмон Салохидин  
ФГБОУ ВО «Новгородский Государственный Университет  
имени Ярослава Мудрого, г. Великий Новгород, Россия.  
Научный руководитель: Саламатин Б.В., к.т.н.

## **К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ**

Аннотация. В статье рассмотрены исследования процессов получения полимерных структур методом вторичной переработки, а также получаемые физико-механические свойства на примере полиэтилентерефталата для применения в рамках аддитивных технологий. Проанализированы тенденции развития направления технологий послойного наплавления для изготовления различных по степени готовности деталей и возможности применения программного комплекса для осуществления расчета состава исходного сырья при вторичной переработке полимерных материалов по аналогии с металлургическим расчетом шихты.

Ключевые слова: Вторичная переработка, получение исходного сырья, полимерные материалы, полиэтилентерефталат, полипропилен, аддитивные технологии.

Термопластичные полимеры в настоящее время широко используются почти во всех отраслях промышленности благодаря своим уникальным свойствам. Такие материалы также применяются в качестве исходного сырья во многих аддитивных технологиях. Переработка полимерных отходов с целью создания исходного сырья является наиболее целесообразным путем их использования с коммерческой точки зрения. Полимеры являются универсальными синтетическими материалами со всевозможными свойствами и активно используются во всех отраслях промышленности. Полимеры с высокими качественными показателями применяются в аддитивных технологиях как исходный материал для создания различных изделий.

В процессе разработки инновационной продукции прибегают к созданию прототипов, опытных образцов изделий или отдельных деталей сборочных единиц, что подчеркивает тематику исследования и общую необходимость в обеспечении дешевизны, а также необходимого качества производства деталей в рамках применения таких исходных материалов на аддитивном производстве, т.к. при создании прототипов применяются различные методы и способы изготовления. Аддитивные технологии позволяют многократно сократить время на

подготовку производства и затраты на изготовление прототипов. Одним из наиболее распространённых видов аддитивных технологий почти во всех отраслях промышленности является послойное наплавление. При использовании данной технологии изготавливаются практически полностью завершённые изделия. Поэтому технология послойного наплавления является отличным решением в условиях мелкосерийного или единичного производства. При малых и средних объемах партий с помощью этой технологии можно получить различные приспособления, нестандартные детали и пресс-формы для применения в технологическом процессе.

Одним из преимуществ данной технологии также является большой ассортимент исходных материалов. В процессе создания детали по этой технологии применяются полимерные материалы. Одним из таких материалов является полиэтилентерефталат и полипропилен. Приведенные материалы считаются доступными для использования. Поэтому переработка таких материалов является целесообразным и экономически выгодным технологическим процессом для получения расходного материала. В качестве примера можно привести программу для расчета шихты исходных материалов на металлургических предприятиях, которая позволяет определять ближайшие марки материала по ГОСТ и подбирать оптимальные составы, выводя данные о необходимости добавить тот или иной компонент [10]. Для работы такого программного комплекса требуется производить анализ выходного сырья при переработке после его термообработки. Экономия на материалах составляет более 10%, что является существенным показателем на общей эффективности работы предприятия. На практике при вторичной переработке таких материалов теряются физико-механические свойства и снижаются качественные показатели, которые очень важны для получения соответствующего нормативным документам изделия.

Для анализа свойств полимерных материалов применяются различные методы компьютерного моделирования и расчета. На основе литературных данных и конкретных источников, которые описывают изменения физико-механических свойств полимерных материалов на примере полиэтилентерефталата, рассмотрены математические методы учета параметров материала. Механические свойства полимерных материалов в источниках [3,4] отмечаются в следующих пределах приведённые в таблице 1.

**Таблица 1 – Механические свойства полиэтилентерефталата**

Полимер	Механическое напряжение $\sigma$ , МН/м <sup>2</sup> (МПа)	Относительная деформация $\varepsilon$ , %	Модуль упругости (Юнга) E, МН/м <sup>2</sup> (МПа)	Физическое состояние
Полиэтилентерефталат пленка волокно(лавсан)	170	100	35 000	Кристаллическое
	900	15	1 0000	Кристаллическое
Полиэтилен низкой плотности высокой плотности	12-16	100-600	150-250	Кристаллическое
	22-30	200-900	550-800	Кристаллическое

В ряде исследований [5] рассматриваются изменения физико-механических свойств полимерных отходов. Проанализировав данные исследования, можно отметить, что показатели физико-механических свойств полимерных материалов на примере полиэтилентерефталата меняются в определённых диапазонах. Основные изменения свойств таких материалов приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Механические свойства вторичного полиэтилентерефталата**

Показатели	Значение
Модуль упругости, МПа	350-1000
Предел прочности, МПа	50-75
Ударная вязкость по Шарпи, кДж/м <sup>2</sup>	20

Таким образом, проанализировав математические методы учёта изменения свойств полимерных отходов, можно отметить, что для разработки математической модели и выбора оптимального расчёта для выполнения технологического процесса вторичной переработки необходимо рассмотреть различные технологии и методы их моделирования. Вторичная переработка полимеров представляет собой сложный технологический процесс. Для данного процесса требуется наличие специального оборудования, но при этом есть возможность автоматизировать процесс и улучшить качество изделий в сравнении с первичным полимером путем программной оптимизации и анализа. При вторичной переработке также необходимо предусмотреть понижение таких свойств, как горючесть полимеров. Для этого необходимо разработать специальные добавки, которые являются комплексны-

ми антипиренами и повышают пожаробезопасность. Комплексные антипирены должны иметь более высокую температуру разложения по сравнению с существующими, не менее 200–250 °С.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьев В.П., Потапов А.Д. Инженерная геология: учеб. для строительных специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2000. – 511 с.

2. Систематика и классификация минералов, горных пород, метеоритов, окаменелостей, 2010–2015 [Электронный ресурс]. – URL: <http://kristallov.net/montmorillonit.html> (дата обращения: 04.10.2017).

3. Козлов Н.А. Митрофанов А.Д. К 59 Физика полимеров: Учеб. пособие / Владим. гос. ун-т; Владимир, 2001. 345 с.

4. Основные свойства полимеров: учебное пособие / В. М. Сутягин, О. С. Кукурина., В. Г. Бондалетов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 96 с.

5. Исследование физико-механических и оптических свойств ПММА при введении вторичного полимера / Е. М. Борисовская, О. В. Карманова, М. С. Щербакова, В. В. Калмыков // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2017. – Т. 79. – № 1(71). – С. 264-270. – DOI 10.20914/2310-1202-2017-1-264-270. – EDN YTNJCH.

УДК 621.794.4:661.862.22

Студ. С. И. Спицкий, студ. К. Ю. Шелемет, студ. К. С. Коваль  
Науч. рук. доц., канд. хим. наук Н. В. Богомазова  
БГТУ, г. Минск

#### **ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК ОКСИДОВ Mo МЕТОДОМ «НАПЫЛЕНИЕ – ОКИСЛЕНИЕ» ИЛИ ХИМИЧЕСКИМ НАСЛАИВАНИЕМ**

Ключевой тенденцией современного материаловедения, в том числе для устройств микро-, нано- и оптоэлектроники, является усложнение как химического состава используемых материалов, так и геометрического строения функциональных структур. Это позволяет эффективно решать задачи миниатюризации и многофункциональности устройств электроники. Вместе с тем, большая часть приборов основана на использовании определенного базового материала, обеспе-