

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

¹Беева Д.А.*¹Беев А.А., ²Борисов В.А., ¹Шокумова М.У., ²Кодзокова М.Х.

¹*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*
²*Наука и инновации Госкорпорации «Росатом»*

**d.beeva@mail.ru*

Аннотация. В статье приведены сведения об основных эксплуатационных характеристиках и практическом применении полиэтилентерефталата и его переработанных отходов.

Ключевые слова: полиэтилентерефталат, водопоглощение, предел прочности при разрыве, ударная вязкость

PERFORMANCE CHARACTERISTICS AND APPLICATION ASPECTS OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE

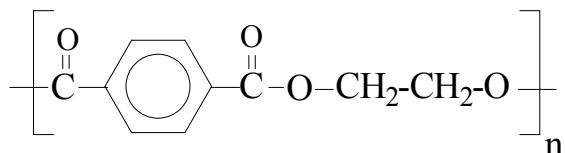
¹Beeva D.A., ¹Beev A.A., ²Borisov V.A., Shokumova M.U., ¹Kodzokova M.Kh.

¹*Kabardino-Balkarian State University*
²*Science and Innovations the State Corporation «Rosatom»*

Abstract. The article provides information on the main operational characteristics and practical application of polyethylene terephthalate and its processed waste.

Keywords: polyethylene terephthalate, water absorption, tensile strength, impact strength

Полиэтилентерефталат (ПЭТ) – сложный полиэфир, является термопластичным полимером общего назначения:



В этом полимере удачно сочетаются важные эксплуатационные характеристики, такие как теплопроводные и механические свойства, химическая стойкость, а также хорошая переработываемость на серийном оборудовании и формостойчивость.

Полиэтилентерефталат выпускается в России под названием «лавсан», за рубежом – «майлар», «терилен». ПЭТ является кристаллическим полимером, при быстром охлаждении расплава можно получить аморфный полимер, который при нагреве выше 80 °C начинает кристаллизоваться. Присутствие кислорода в цепи придает полимеру хорошую морозостойкость (−70 °C), а наличие бензольного кольца – высокую теплостойкость. Полиэфирные пленки жестки, прочны и высокопрозрачны [1]. ПЭТ проявляет высокую механическую прочность, ударостойкость и жесткость в сочетании с великолепной пластичностью в холодном и особенно в нагретом состоянии. У него низкий коэффициент трения скольжения и высокая устойчивость к деформации. ПЭТ может использоваться в температурных пределах −20 ÷ +110 °C. Обладает средними диэлектрическими свойствами. ПЭТ имеет высокую химическую стойкость к бензину, маслам, жирам, спиртам, эфиру, разбавленным кислотам и щелочам, превосходящую устойчивость акрилового стекла и поликарбоната. Неустойчив к действию кетонов, сильных кислот и щелочей.

Материал не образует трещин при любых изгибах, вплоть до безрадиусного сгибания в холодном состоянии. Подобно поликарбонату, ПЭТ сохраняет свои высокие ударостойкие и прочностные характеристики при низких температурах до -20°C . Совместим с пищевыми продуктами. ПЭТ при сохранении высоких механических показателей в нагретом состоянии еще более пластичен и легче подвергается термообработке [2].

Таким образом, ПЭТ является универсальным пластиком с широким диапазоном разнообразия свойств и возможностей переработки. Прекрасные эксплуатационные свойства сочетаются с высокой технологичностью этого материала. ПЭТ имеет высокую твёрдость, наряду с хорошей ударной вязкостью, высокую размерную точность изделий, малую вязкость расплава, не зависящую от градиента скорости сдвига, что позволяет перерабатывать его литьем под давлением и экструзией [3].

Благодаря своей структуре ПЭТ обладает комплексом уникальных свойств (табл. 1) [4]:

Таблица 1
Технические характеристики ПЭТ

Характеристика	Единица измерения	Величина
Плотность	г/см ³	1,27
Водопоглощение за 24 часа	%	<0,1
Предел прочности при разрыве	МПа	50
Удлинение при разрыве	%	55
Предел прочности при изгибе	МПа	70
Ударная вязкость (Charpy) без надреза	кДж/м ²	не разр.
Ударная вязкость (Charpy) с надрезом	Дж/м	10
Ударная вязкость (Izod) с надрезом	Дж/м	115
Теплостойкость (Vicat)	°C	82
Теплопроводность	Вт/м·К	0,20
Удельная теплоемкость	Дж/г·К	1.1
Температура стеклования	°C	70
Температура термоформования	°C	120-160
Температура начала разложения	°C	> 270
Температура воспламенения	°C	> 400
Твердость (Rockwell)	R/M	105
Светопропускание	%	88-90
Электрическая прочность	кВ/мм	16
Объемное сопротивление	Ом·см	> 10 ¹⁶
Поверхностное сопротивление	Ом	> 10 ¹⁵

Полиэтилентерефталат – антифрикционный материал с высокой износостойчивостью (характеризуется высокой прочностью, устойчивостью к истиранию и многократным деформациям при растяжении и изгибе) – обладает приятным блеском поверхности, способен легко окрашиваться как объёмно, так и поверхностно, легко подвергается металлизации алюминием, цинком, оловом и др. металлами, так как не выделяет летучих продуктов. Дублируется (чаще всего полиэтиленовой пленкой), армируется волокном, сетками и т. п., на пленки из ПЭТ наносят печать и липкие слои [5]. ПЭТ воспламеняется с трудом, гаснет при удалении пламени. Средний срок службы полиэфирных мононитей достигает 60–70 лет.

Применение полиэтилентерефталата

Уникальные свойства полиэтилентерефталата обеспечили ему широкое применение в различных сферах жизнедеятельности человека.

В легкой промышленности ПЭТ используется как сырье для получения искусственных волокон уже с 50-х годов XX века. На его основе производятся высокотехнологичные влагостойкие и в то же время газопроницаемые ткани для спортивной одежды. Полиэтилентерефталат применяют при изготовлении огнестойких тканей для жилых помещений, парашютов и ремней безопасности, износостойких ковров.

В пищевой промышленности из него изготавливают дозаторы разлива пищевых продуктов, направляющие элементы и ролики в конвейерных линиях, зубчатые формы для нарезки пищевых продуктов и формовки кондитерских изделий, втулки и лезвия скрепера при производстве мороженого, матрицы для получения изделий из теста.

В станко- и приборостроении ПЭТ применяют для изготовления защитных плит, гидравлических молотов, подушек, шестерен и звездочек для конвейерных линий, направляющих (накладки на салазки) на металлорежущем оборудовании.

В машиностроении из полиэтилентерефталата изготавливают подшипники для шатунов (при возвратно-поступательном движении), шестерни непрессовой посадки, фланцы, втулки для валов в гидроцилиндрах; подшипники, работающие в условиях высокой влажности и ударных нагрузок; прокладки и втулки, эксплуатирующиеся в агрессивной среде; поршни для регулирования потока жидкости, регулировочные элементы, шкивы в ременных передачах, вакуумные мембранные в упаковочных машинах, вкладыши инжекторов.

В медицине из ПЭТ получают джиггеры для изготовления оптических линз, уплотнительные кольца и формы в оборудовании по производству таблеток. Чистота и механические свойства открыли для ПЭТ области применения, в которых действуют самые строгие гигиенические и защитные требования. В медицине и фармацевтике ПЭТ играет важную роль как упаковочный материал для лекарств или переливания крови, он служит также для изготовления хирургических нитей и сосудов или мешочеков для крови при опасных инфарктах сердца.

Полиэтилентерефталат прекрасно подходит для изготовления различных пленок [6], упаковок и емкостей. Довольно много косметических продуктов и чистящих средств уже сегодня фасуется в ПЭТ-емкости. Наряду с этим, часто в ПЭТ упаковываются пищевое масло, майонез, соусы, мед, шоколадные конфеты, кофе.

Высокие потребительские свойства тары, изготовленной из ПЭТ, обеспечили этому материалу стремительный рост в производстве упаковки для напитков и пищевых продуктов [7]. ПЭТ-тара в настоящее время активно вытесняет такие традиционные виды сырья для упаковки, как стекло и картон.

На сегодняшний день рынок ПЭТ является самым быстроразвивающимся из всех полимеров и его рост составляет 10–15 % в год.

Применение вторичного ПЭТ

Из вторичного ПЭТ получают различные материалы [8, 10-18].

1. Очищенный и измельченный ПЭТ можно смешивать с другими полимерами и наполнителями и получать новые материалы со спектром других свойств. В России разработан литьевой ПЭТФ-КМ с 10 %-ным ПЭНП по ТУ-6-05-1984-85 и стеклонаполненный ПЭТФ-М-КС в соответствии с ТУ-6-19-07388-85.

2. Композиционный материал с отработанными отходами от компакт-дисков из поликарбоната фирмы «Мелодия». Смесь 10–50 %-ного поликарбоната с ПЭТ обладает улучшенной способностью к переработке, повышенными термостойкостью и сопротивлением ударным нагрузкам.

3. Смеси ПЭТ с ПА-6 с добавкой функционализированного кислотой или глицидиловым эфиром полиолефина.

4. Материал со свойствами древесины можно получать из бутылочных отходов ПЭТ, с добавлением 4–12 % отходов поликарбоната и 0,5 % вспенивающего агента, например, 5-фенилтетразола. Из полученного композита отливают различные изделия при 240–260 °C, температуре формы 16 °C со временем смыкания формы 60 с и временем впрыска расплава 60 с. Изделия или заготовки с плотностью 0,63 г/см³, как дерево, хорошо пилятся, сверлятся, скрепляются винтами, в них легко забиваются гвозди.

5. Смесь из (%): ПЭТ – 60, поликарбонат – 20, эластомер АБС – 20 – это материал с высокой прочностью к ударным нагрузкам.

6. Смесь отходов ПЭТ/ПЭВП в соотношении 3,5: 1 + 10 % каучука – блок-сополимера стирол/бутадиен/этилен SEBS, особенно модифицированного акриловой кислотой, имеет ударную вязкость (на образцах с надрезом) 65 кг·см/см, у аналогичной смеси на основе первичного ПЭТ – 73 кг·см/см. Можно получать негорючие, антистатичные, упрочненные различными волокнами (углеродным, арамидным, и др.) материалы.

7. Благодаря усовершенствованной конструкции установки фирмы «Ерема» и гибкой технологии из использованных бутылок ПЭТ получают, минуя стадию грануляции, прозрачные, блестящие листы. Используют экструдер со специальной геометрией сжимающего шнека, работающего под вакуумом с фильтром в конце процесса, действующий по принципу обратной перемотки. Такие листы обходятся намного дешевле, чем по технологии с отдельной сушкой и грануляцией.

8. Получают и нетканое полотно из использованных бутылок на оборудовании, представляющем собой экструдер с шестеренчатым насосом перед соплом, к которому подводят воздух под давлением, и расплав распыляют на вращающийся коллектор-собиратель, на котором нити склеиваются в полотно. Чтобы получить нетканое полотно, сопоставимое по качеству с исходным, рециклат ПЭТ смешивают с исходным. Таким образом, используются и отходы текстильного производства полипропилена.

9. Предложены способы получения на основе отходов ПЭТ различных лакокрасочных материалов, в том числе порошковых (гидроксил- и карбоксилсодержащих компонентов для эпоксиполиэфирных композиций), электроизоляционных лаков, алкидных олигомеров, материалов для разметки шоссейных дорог [19–21] и других. Авторы [22] предлагают использовать для получения порошковых красок продукты глициеролиза ПЭТ в сочетании с блокированными изоцианатами.

Благодаря высоким электроизоляционным свойствам, высокой структурной стойкости и формоустойчивости полиэтилентерефталат широко используется [23] при производстве компонентов электроники и электрических приборов. Материал может эффективно использоваться в качестве альтернативы металлам и термореактивным полимерам в таких сферах, как производство электроизоляционных компонентов, соленоидов, деталей измерительных приборов, фотогальванических компонентов, распределительных коробок и т. д. Высокая текучесть полимера обеспечивает возможность получать из него изделия различной формы (даже миниатюрные компоненты) с высокими эксплуатационными характеристиками.

ПЭТ успешно используется при производстве различных деталей для сферы автомобилестроения. Так, например, из этого полимера получаются рычаги стеклоочистителя, корпуса механических передач, держатели фар, крышки двигателей, корпуса соединителей.

Библиография

1. Тара и упаковка / под ред. Э.Г. Розанцева. М.: МГУПБ, 1999. 158 с.
2. Раков В.Г., Шапенков Н.М., Прудников Е.А., Сабсай О.Ю. Прогнозирование гарантийных сроков хранения технических жидкостей в ПЭТ-бутылках // Пластические массы. 1999. № 10. С. 18–20.
3. Электронный ресурс: Упаковочные материалы на основе полиэтилентерефталата. <http://www.amipak.ra>
4. Электронный ресурс: Снежков В. Упаковочные материалы на основе полиэтилентерефталата. <http://www.ainipak.ru/info/index2.shtml>.
5. Электронный ресурс: Чубыкин А. Российский рынок ПЭТ-пленок // Флексо Плюс. 2004. https://plastinfo.ru/information/news/19255_04.03.2013.
6. Брукс Д., Джайлз Дж.А. Производство упаковки из ПЭТ / под ред. О.Ю. Сабсая. 2010. 368 с.
7. Быстров Г.А., Гальперин В.М., Титов Б.П. Обезвреживание и утилизация отходов промышленных пластмасс. Л.: Химия, 1982. 264 с.
8. Патент US № 6190710B1. Plastic packaging material / M.M. Nir, A. Machado, N. Aharoni. 20.02.2001.
9. Патент РФ № 70226U1. Полимерная упаковка / И.В. Варнакова, О.В. Коваленко. Опубл. 20.01.2008 г. Бюл. № 2.
10. Чанг Д.Х. Реология в процессах переработки полимеров. М.: Химия, 1979. 366 с.
11. Бортников В.Г. Основы технологий переработки пластических масс. Л.: Химия, 1983. 304 с.
12. Вторичное использование полимерных материалов / под ред. Любешкиной. М.: Химия, 1985. 152 с.
13. Кацнельсон М.Ю., Балаев Г.А. Полимерные материалы: справочник. Л.: Химия, 1982. 317 с.
14. Переработка пластмасс: справочное пособие / под ред. В.А. Брагинского. Л.: Химия, 1985. 296 с.
15. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1984. 628 с.
16. Справочник по пластическим массам / под ред. В.М. Катаева, В.А. Попова, Б.И. Сажина. Т. 1-2. М.: Химия, 1975. 448 с.
17. Справочник по технологии изделий из пластмасс / под ред. Г.В. Сагалаева, В.В. Абрамова, В.Н. Кулезнева, С.В. Власова. М.: Химия, 2000. С. 424.
18. Техника переработки пластмасс / под ред. Н.И. Басова, В. Броя. М.: Химия, 1985. 528 с.
19. Патент РФ № 2102404. Способ получения полиэфиров / Тамазина В.Н. Опубл. 20.01.1998 г.
20. Mitrofanov R.Yu., Bochkarev P.N., Sevodin V.P. A chemical procedure for reprocessing of poly(ethylene terephthalate) waste // Russian Journal of Applied Chemistry. 2007. V. 80, N 6. P. 992–994.
21. Кудюков Ю.П., Маслош В.З., Савицкая А.В., Литвинова Е.В. Переэтерификация полиэтилентерефталата полиолами // Лакокрасочные материалы и их применение. 1993. № 3. С. 3–4.
22. Афанасьев А.В. Получение твердых гидроксилсодержащих полизифиров из отходов лавсана для порошковых полиуретановых композиций // Химия и технол. пр-ва, перераб. и применения ПУ и сырье для них: тезисы докл. сес. конф. Сузdalь, 1988. С. 133.
23. Электронный ресурс: ПЭТФ становится предпочтительным материалом во многих сферах применения (обзор). <https://plastinfo.ru/information/articles/686/>.