
ХИМИЯ

УДК 691.175.2

ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ СМЕСЕЙ ПОЛИ(Е-КАПРОЛАКТОНА) И ПОЛИ(ЭТИЛЕНА) В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ СОСТАВОВ

^{1,2}Абушахманова З.Р.*, ^{1,2}Масталыгина Е.Е., ^{1,2}Пантюхов П.В., ^{1,2}Попов А.А.

¹Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова

²Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля РАН

*zubarzhat.akh@gmail.com

Совместимость поли(ε-капролактона) и полиэтилена низкой плотности оценивали по деформационно-прочностным свойствам их смесей. Увеличение предела текучести, прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве характерны для механически совместимой системы при высоком и низком содержании поликапролактона.

Ключевые слова: механические свойства, полиэтилен, полимерный композит, смесевая композиция, поли(ε-капролактон), прочность при разрыве, удлинение при разрыве, модуль упругости.

TENSILE STRENGTH PROPERTIES OF POLY(ε-CAPROLACTONE) AND POLY(ETHYLENE) BLENDS IN A WIDE COMPOSITION RANGE

^{1,2}Abushakhmanova Z.R., ^{1,2}Mastalygina E.E., ^{1,2}Pantukhov P.V., ^{1,2}Popov A.A.

¹G.V. Plekhanov Russian University of Economics

²N.M. Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences

The compatibility of poly(ε-caprolactone) and low-density polyethylene was evaluated by the deformation-strength properties of their blends. Increases in yield strength, tensile strength and elongation at break are characteristic of a mechanically compatible system with high and low polycaprolactone content.

Keywords: mechanical properties, polyethylene, polymer composite, polymer blend, poly(ε-caprolactone), tensile strength, elongation at break, modulus of elasticity.

Введение

Основной задачей при создании новых материалов является придание им новых свойств, например, биоразлагаемости [1–3]. Зачастую введение биоразлагаемых компонентов приводит к снижению механических свойств основного полимера матрицы [4–5]. Ежегодно разрабатываются новые полимерные композиционные материалы (ПКМ), которые получены из двух или более компонентов, где один компонент – это матрица, в которой диспергированы другие компоненты, образуя границу раздела фаз [6]. Регулировать структуру и свойства конечных материалов возможно получая смеси полимеров. Известно, что полимеры плохо совместимы друг с другом и имеют ограниченную совместимость. Несмотря на это, термодинамически несовместимые полимеры могут быть совместимы в аморфных областях с образованием межфазных слоев. За счет боль-

шой вязкости систем в смесях полимеров не происходит расслаивания и материалы представляют собой целостные системы с распределением меньшей фазы в большей.

Моделью термодинамически несовместимых полимеров являются смеси на основе полиэтилена низкой плотности и поли(ϵ -капролактона). Полиэтилен низкой плотности (ПЭ) выбран поскольку он обладает хорошей технологичностью, высокой прочностью, эластичностью, ударной вязкостью, гибкостью, водостойкостью и отличной стабильностью. Поли(ϵ -капролактон) (ПКЛ) представляет собой универсальный синтетический биоразлагаемый полимер с низкой температурой плавления, который легко перерабатывается и может легко смешиваться с различными аморфными и кристаллическими полимерами для улучшения их свойств. При комнатной температуре он имеет аморфную структуру, мягкий и эластичный, но легко кристаллизуется и превращается в кристаллическую структуру, подобную структуре ПЭ, с исключительными механическими свойствами [7].

Целью данной работы являлось изучение взаимной совместимости и основных прочностных свойств смесей на основе полиэтилена низкой плотности и поликапролактона в широком диапазоне составов.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования был использован полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) марки LUTENE LB 7500N (LG CHEM, Южная Корея) и поли(ϵ -капролактон) (ПКЛ) торговой марки «Полиморфус» 600С (Shenzhen ESUN Industrial Co., Ltd, Китай) (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики полимеров, используемых в работе,
согласно данным технической документации производителей

Полимер	ПЭ	ПКЛ
Торговая марка, производитель	LUTENE LB 7500N (LG CHEM, Корея)	600С, (Shenzhen ESUN Industrial, Китай)
Плотность (г/см ³)	0,918	1,08–1,12
ПТР (г/10 мин)	7,5 (190 °С, 2,16 кг)	11–12 (160 °С, 2,16 кг)
Молекулярная масса (г/моль)	100 000	60 000
Температура плавления (°С)	107	58–60

Смеси ПЭ с ПКЛ получали смешиванием на лабораторных смесительных вальцах UBL-6175-BL (Китай), температура валков 130/140 °С, скорость вращения 8 об./мин, время смешения 10 мин. Содержание ПКЛ в смеси было 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 масс. %. После смешения на вальцах полученные смеси разрезали на куски, которые затем измельчали на роторно-ножевой мельнице РМ-120 (Вибротехник, Россия). После измельчения на мельнице из полученной крошки прессовали пленки на гидравлическом прессе с нагревом РПА-12 (Биолент, Россия) на алюминиевых пресс-формах с целлофановой подложкой с последующей закалкой в холодной воде. В результате прессования получили пленки толщиной 150-300 мкм.

Прочностные характеристики смесевых пленок исследовали при помощи универсальной испытательной машины GP UG 5 DLC-0,5 DVT (DEVOTRANS, Турция). Образцы для испытаний вырубались по типу 3 согласно ГОСТ 11262-дейст. «Пластмассы. Метод испытания на растяжение». Скорость хода траверсы 10 мм/мин.

Результаты и их обсуждение

По результатам исследований деформационно-прочностных свойств были установлены три диапазона состава. Введение от 10 до 30 масс. % ПКЛ в матрицу ПЭ привело к образованию фазы включения ПКЛ в непрерывной фазе ПЭ. Это привело к снижению механических характеристик данных смесей: относительное удлинение чистого ПЭ составляло 450 %, а добавление 30 масс. % ПКЛ привело к снижению относительного удлинения до 20 %. Введение 30–70 масс. % ПКЛ в матрицу ПЭ привело к снижению основных механических свойств: относительное удлинение, прочность при разрыве и предел текучести. Это связано с инверсией фаз при которой образуются взаимопроникающие сетки на основе

ПЭ и ПКЛ. Третий диапазон наблюдается у смесей с содержанием от 70 до 90 масс. % ПКЛ. У данных образцов наблюдается постепенное увеличение прочностных характеристик с увеличением количества ПКЛ. Относительное удлинение для семей 80ПКЛ/20ПЭ составляет 400 %, а для чистого ПКЛ 1100 %, прочность при разрыве увеличилась с 13 МПа (80ПКЛ/20ПЭ) до 26 МПа (чистый ПКЛ) (рис. 1). Увеличение деформационно-прочностных характеристик у смесей, начиная с 70 % ПКЛ, говорит об образовании непрерывной структуры ПКЛ, в составе которого ПЭ является фазой включения. Таким образом, можно сделать вывод, что в промежуточных соотношениях одного полимера в другом (30–70 %) они не совместимы, а при крайних составах совместимы «механически» [8].

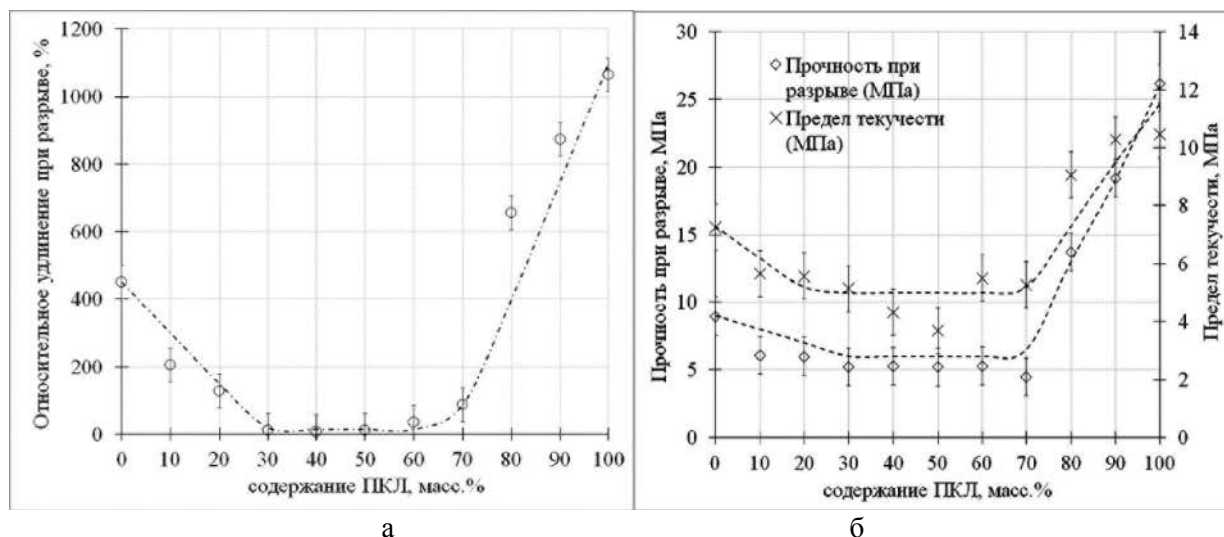


Рис. 1. Результаты деформационно-прочностных характеристик смесевых композитов: (а) – Относительное удлинение; (б) – Прочность при разрыве и предел текучести.

Заключение

Были получены смеси ПЭ с ПКЛ в широком диапазоне составов. Смеси с содержанием 10–30 масс. % ПКЛ в ПЭ представляли собой матрицу ПЭ с прерывной фазой ПКЛ. Введение ПКЛ в матрицу ПЭ привело к снижению всех параметров механических свойств. Относительное удлинение при разрыве линейно уменьшилось с 450 % (для 100 % ПЭ) до 20 % (30ПКЛ/70ПЭ). Далее наблюдался диапазон инверсии фаз (30–70 масс. % ПКЛ). Причём, для этих смесей были характерны минимальные значения всех параметров механических свойств (прочности при разрыве, относительного удлинения при разрыве и модуля упругости). Для смесей с содержанием ПКЛ от 70 до 90 масс. % происходило постепенное увеличение значений всех параметров по мере увеличения содержания ПКЛ в смеси. Так, прочность при разрыве увеличилась с 4,5 МПа (для 70ПКЛ / 30ПЭ) до 26 МПа (для ПКЛ).

Благодарность

Авторы выражают благодарность финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-3573.2022.1.3, «Создание биоразлагаемых полимерных материалов для медицинских трубок на основе полимолочной кислоты и адипиновых производных»). Исследования выполнены с использованием оборудования Центров коллективного пользования РЭУ им. Г.В. Плеханова и ИБХФ РАН.

Библиография

1. Тертышная Ю.В., Пантюхов П.В., Ольхов А.А., Попов А.А. Влияние биодеструкторов на деградацию пленок на основе полиэтилена // Пластические массы. 2012. № 5. С. 61–63.
2. Шабарин А.А., Кузьмин А.М., Матюшкина Ю.И., Шабарин И.А. Получение биоразлагаемых полимерных упаковочных материалов на основе полиолефинов и древесной муки // Химия растительного сырья. 2022. № 2. С. 307–314.
3. Масталыгина Е.Е., Тюбаева П.М., Киселёв Н.В., Попов А.А. Фазовая структура и деформационно-прочностные свойства смесей полимолочной кислоты с гибкоцепными полиэфирами // Пластические массы. 2022. № 7-8. С. 27–29.

4. Шабарин А.А., Кузьмин А.М., Шабарин И.А., Бутяйкин В.В. Полимерные композиты на основе полиолефинов и тонко измельченной ячменной соломы // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26, № 7. С. 4–9.
5. Пантюхов П.В., Хватов А.В., Монахова Т.В., Попов А.А., Колесникова Н.Н. Деструкция материалов на основе ПЭВД и природных наполнителей // Пластические массы. 2012. № 2. С. 40–42.
6. Власов С.В., Кандырин Л.Б., Кулезнев В.Н. и др. Основы технологии переработки пластмасс. М.: Химия, 2004. 600 с.
7. Hrnjak-Murgić Z., Rešček A., Ptiček Siročić A., Kratofil Krehula L., Katančić, Z. Nanoparticles in Active Polymer Food Packaging, 1st ed.; Smithers Pira: Shawbury, UK, 2015. P. 1–217.
8. Kalfoglou N.K. Compatibility of low-density polyethylene–poly(ϵ -caprolactone) blends // J. Appl. Polym. Sci., 1983. P. 2541–2551.