

ISSN 1561-8323 (Print)
ISSN 2524-2431 (Online)

УДК 620.22:678.6
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-121-128>

Поступило в редакцию 03.08.2018
Received 03.08.2018

В. Н. Коваль¹, С. С. Строгонова², член-корреспондент С. С. Песецкий¹

¹*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого
Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Республика Беларусь*

²*Открытое акционерное общество «Могилевхимволокно», Могилев, Республика Беларусь*

СМЕСИ ПОЛИКАРБОНАТА С ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТГЛИКОЛЕМ: СОВМЕСТИМОСТЬ КОМПОНЕНТОВ, РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Аннотация. Исследовано влияние соотношения компонентов в стабилизированных бинарных смесях аморфных поликарбоната (ПК) и полиэтилентерефталатгликоля (ПЭТ-Г) на совместимость компонентов, релаксационные, реологические и механические свойства. Материалы получали методом реакционного смешения компонентов в расплаве в ректоре-смесителе на базе двухшнекового экструдера с однонаправленным вращением шнеков. Установлено, что компоненты в смесях взаимно растворимы во всем диапазоне варьирования их концентраций. Температура α -процесса релаксации (температура стеклования, T_g , в смесях) находится в промежутке между значениями $T_{g\text{ПК}} = 148,3$ °С и $T_{g\text{ПЭТ-Г}} = 82,0$ °С и подчиняется уравнению Фокса для однофазных смесей. Механические характеристики смесей изменяются неаддитивно при варьировании концентрации компонентов. В частности, в смесях, в которых преобладает содержание ПК, наблюдается существенное повышение верхнего предела текучести по сравнению с аддитивными значениями, что по данным релаксационной спектроскопии обусловлено интенсивными межмолекулярными взаимодействиями.

Ключевые слова: поликарбонат, полиэтилентерефталатгликоль, реакционное смешение, совместимость

Для цитирования: Коваль, В. Н. Смесей поликарбоната с полиэтилентерефталатгликолем: совместимость компонентов, реологические и механические свойства / В. Н. Коваль, С. С. Строгонова, С. С. Песецкий // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 1. – С. 121–128. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-121-128>

Vasili N. Koval¹, Suzana S. Strogonova², Corresponding Member Stepan S. Pesetskii¹

¹*V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus*

²*Open Joint-stock Company "Mogilevkhimvolokno", Mogilev, Republic of Belarus*

BLENDS OF POLYCARBONATE WITH POLYETHYLENE TEREPHTHALATE GLYCOL: COMPATIBILITY OF COMPONENTS, RHEOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

Abstract. The influence of the component ratio in the stabilized binary blends of amorphous polycarbonate (PC) and polyethylene terephthalate glycol (PET-G) on the compatibility of components, relaxation, rheological and mechanical properties was studied. The materials were prepared by reactive mixing of the components in the melt in a mixing rectifier based on a twin-screw extruder with unidirectional screw rotation. It is established that the components in the blends are mutually soluble over the entire range of their concentrations. The temperature of the α -process of relaxation (the glass transition temperature, T_g , in the mixtures) is in the interval between the values of $T_{g\text{PC}} = 148.3$ °C, $T_{g\text{PET-G}} = 82.0$ °C and obeys the Fox equation for single-phase blends. The mechanical characteristics of the mixtures change in a non-additive way when the concentration of the components is varied. In particular, in blends in which the PC content prevails, a significant increase in the upper yield limit is observed in comparison with the additive values, which, according to the relaxation spectrometry, is due to intense intermolecular interactions.

Keywords: polycarbonate, polyethylene terephthalate glycol, reaction mixing, compatibility

For citation: Koval V. N., Strogonova S. S., Pesetskii S. S. Blends of polycarbonate with polyethylene terephthalate glycol: compatibility of components, rheological and mechanical properties. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2019, vol. 63, no. 1, pp. 121–128 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-121-128>

Введение. Повышенный и неослабевающий интерес многих исследовательских центров к смесям поликарбонатов (ПК) и полиалкилентерефталатов (ПАТ) обусловлен выявлением фундаментальных научных проблем, связанных, прежде всего, с совместимостью компонентов, а также коммерческими соображениями [1–7]. ПК обладает низкой стойкостью к действию ряда органических растворителей, которая повышается при введении химически стойких ПАТ. Кроме того, введением ПАТ удастся снизить стоимость материалов, поэтому их смеси находят широкое практическое применение.

Смеси ПК/ПАТ характеризуются интенсивным межфазным взаимодействием, что позволяет отнести их к частично-совместимым [4; 5]. Улучшение совместимости компонентов возможно, видимо, и вследствие протекания реакций переэтерификации и эфир-эфирного обмена на стадиях смешения и переработки компонентов в расплаве [1; 2; 5]. Однако в связи с тем, что ПАТ являются, как правило, частично-кристаллическими, а ПК аморфен достижение полной взаимной растворимости компонентов в смесях невозможно.

Большой научный и практический интерес представляет исследование смесей ПК с полностью аморфным ПЭТ-Г. ПЭТ-Г – относительно новый тип насыщенного полиэфира, который благодаря сочетанию в структуре макромолекул ароматических, алифатических и циклоалифатических фрагментов обладает комплексом уникальных свойств [5; 8; 9]. В связи с нерегулярностью молекулярного строения и кинетическими ограничениями он не кристаллизуется при охлаждении из расплава и, вследствие этого, сохраняется его прозрачность в относительно толстых листовых заготовках или блочных изделиях. Поэтому он, как и ПК, может использоваться при получении оптически прозрачных листовых и пленочных материалов, деталей, формируемых экструзией или литьем под давлением.

ПЭТ-Г, выпускаемый в промышленном масштабе, содержит в структуре макромолекул 30–35 мол. % связанного циклогександиметанола-1,4 (ЦГДМ-1,4), представляющего собой смесь транс- и цис-изомеров в соотношении 70/30 [8]. ЦГДМ-1,4 получают каталитическим гидрированием диметилтерефталата, используемого в качестве сомомера при двухстадийном синтезе серийных модификаций ПЭТ.

В связи с этим представлялось важным изучить влияние соотношения компонентов в смесях ПК/ПЭТ-Г на их совместимость, особенности релаксационных свойств и комплекс технологических и технических показателей, характеризующих эксплуатационные свойства материалов.

Цель работы – изучение влияния состава полиэфирных смесей при варьировании соотношения ПК и ПЭТ-Г во всем диапазоне концентраций на совместимость компонентов, релаксационные, реологические и механические характеристики материалов.

Материалы и методы исследования. В экспериментах использовали ПК с торговым названием Macrolon (плотность 1,2 г/см³, молекулярная масса $M_w = 35000$, параметр растворимости $\delta = 20,4$ (Дж/см³)^{0,5}), полученный взаимодействием фосгена с 2,2-бис(п-гидроксифенилол)-пропаном производства фирмы Bayer (ФРГ). Используемый полиэтилентерефталатгликоль произведен фирмой SK Chemicals (Ю. Корея, плотность 1,27 г/см³, водопоглощение за 24 ч при 23 °С равно 0,13 %, температура стеклования 82 °С, $\delta = 19,93$ (Дж/см³)^{0,5}, молекулярная масса $M_w = 30000$, по данным производителя). Значения параметров растворимости полимеров ПК и ПЭТ-Г определяли расчетным путем [10].

Получение смесевых материалов и экспериментальных образцов. Технология компаундирования материалов состояла в следующем. Вначале приготавливали механическую смесь предварительно высушенных в вакууме до остаточной влажности не более 0,05 % гранулятов ПК и ПЭТ-Г. Затем получали механическую смесь полимерных компонентов и порошкообразного стабилизатора В-561 (смесь термостабилизатора Irgafos 168 и антиоксиданта Irganox 1010 при массовом соотношении 4 : 1, производство фирмы Bayer) в соотношениях, приведенных в табл. 1,

Т а б л и ц а 1. Составы исследуемых материалов

Table 1. Compositions of test materials

№ состава Serial number	Компоненты, % Components, %		
	ПК	ПЭТ-Г	В-561
I	99,8	–	0,2
II	87,3	12,5	0,2
III	74,8	25,0	0,2
IV	49,8	50,0	0,2
V	24,8	75,0	0,2
VI	–	99,8	0,2

П р и м е ч а н и е: здесь и далее концентрация выражена в мас. %.
N o t e: here and in the following the concentration is expressed in wt. %.

при тщательном перемешивании в высокоскоростном двухлопастном смесителе. Далее полученную смесь подвергали реакционному компаундированию в расплаве на экструзионно-грануляционной линии на базе двухшнекового экструдера TSSK-35/40 с однонаправленным вращением шнеков (производство КНР, диаметр шнеков 35 мм, $L/D = 40$, 10 секций материального цилиндра с независимым нагревом и точным поддержанием температуры). Конструкция отдельных секций шнеков материального цилиндра экструдера подробно описана в [11].

В серии выполненных экспериментов температурные режимы работы материального цилиндра экструдера при компаундировании материалов были идентичными (температура в основных смесительных секциях IV–VIII материального цилиндра была постоянной и составляла 240 °С). Частоту вращения шнеков принимали равной 350 об/мин. Длительность пребывания полимерного расплава в материальном цилиндре при этом была равной $\approx 0,5$ мин.

После прохождения материального цилиндра экструдера расплав выдавливался из него через фильеру в виде четырех стренг, которые подвергались водяному охлаждению и гранулированию. Далее полученный гранулят высушивали в вакууме до остаточной влажности $\leq 0,05$ % и использовали для анализа показателя текучести (ПТР) и получения экспериментальных образцов литьем под давлением на термопластавтомате EN-30 (производство Тайвань, объем впрыска 30 см³) при температуре 240 °С.

Показатели механических свойств определяли при испытаниях методами растяжения и ударного нагружения. Экспериментальные образцы представляли собой лопатки (тип 2, размер рабочей части 150 × 10 × 4 мм) – для испытаний методом растяжения (ГОСТ 11262–80), а также бруски размером 80 × 10 × 4 мм для определения ударной вязкости по Шарпи в соответствии с ГОСТ 4647–80, на образцах с острым надрезом и для измерения усадки по ГОСТ 18616–80. Испытания при растяжении производили на машине Instron 5657 (Великобритания), а при ударе – на маятниковом копре РИТ 550J (фирма Shenzhen Wance Testing Machine Co. Ltd., КНР) при температуре 23 °С.

Реологическое поведение расплавов анализируемых материалов оценивали по значениям ПТР, определяемым на приборе 5MPCA фирмы RAY-RAN TEST EQUIPMENT Ltd (Великобритания) в соответствии с ГОСТ 11645, главным образом, при температуре 240 °С и нагрузке 21,6 Н (диаметр капилляра 2,095 мм, длительность выдержки расплава в плавильном цилиндре прибора 4 мин).

Исследования методом релаксационной спектроскопии (РС) проводили с использованием образцов в виде пластин размером 50 × 4 × 1 мм. Их изготавливали на лабораторной литьевой машине поршневого типа с объемом впрыска 5 см³ при температуре расплава 240 °С и температуре формирующих элементов формы 40 °С. Динамические механические (релаксационные) свойства материалов изучали на основании анализа температурных зависимостей тангенса угла механических потерь ($\text{tg}\delta$) и динамического модуля сдвига (G') образцов. Испытания проводили при использовании обратного крутильного маятника конструкции ИММС НАН Беларуси при частоте 1 Гц; точность измерений температуры составляла $\pm 0,1$ °С, $\text{tg}\delta \pm 3$ %, $G' \pm 1$ % [7].

Данные о температурных зависимостях G' отдельных полиэфиров и смесевых композитов на их основе использовали для расчета критерия zG_3 , который определяли по методике, предложенной И. И. Перепечко [12], по формуле

$$zG_3 = G'_{\text{см}} - \varphi_1 G'_1 - \varphi_2 G'_2,$$

где φ_1 и φ_2 – объемные доли компонентов; $G'_{\text{см}}$, G'_1 , G'_2 – соответственно динамические модули сдвига смеси и исходных компонентов; z – функция, зависящая от соотношения компонентов в смеси; G_3 – параметр, учитывающий вклад взаимодействия между компонентами в величину динамического модуля упругости; zG_3 – критерий, учитывающий отклонения динамического модуля сдвига от аддитивных значений.

В соответствии с [12] критерий zG_3 может служить параметром, учитывающим взаимодействие между компонентами смеси. Его отрицательное значение указывает на слабое взаимодействие между компонентами. Положительная величина – свидетельство сильных взаимодействий.

Расчетные значения единой температуры стеклования компонентов в смесях ($T_{c\text{ см}}$) ПК/ПЭТ-Г находили по уравнению Фокса [13]

$$\frac{1}{T_{c\text{ см}}} = \frac{m_{\text{ПК}}}{T_{c\text{ ПК}}} + \frac{m_{\text{ПЭТ-Г}}}{T_{c\text{ ПЭТ-Г}}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{ПК}}$, $m_{\text{ПЭТ-Г}}$ – массовые доли ПК и ПЭТ-Г в смесях; $T_{c\text{ ПК}}$ и $T_{c\text{ ПЭТ-Г}}$ – температуры стеклования индивидуальных компонентов смесей.

Плотность материалов определяли методом гидростатического взвешивания в дистиллированной воде в соответствии с ГОСТ 15139–69 при использовании в качестве образцов брусков для оценки ударной вязкости.

Результаты и их обсуждение. Близкие значения параметров растворимости ПК и ПЭТ-Г (расчетные значения $\delta_{\text{ПК}} = 20,40$ (Дж · см⁻³)^{0,5} и $\delta_{\text{ПЭТ-Г}} = 19,93$ (Дж · см⁻³)^{0,5}) предопределяют возможность их взаимного растворения в бинарных смесях. Для экспериментальной оценки совместимости наиболее целесообразно использовать метод динамической механической спектроскопии (релаксационной спектроскопии), основанный на анализе температурных зависимостей динамического модуля сдвига материалов и тангенса угла механических потерь [14]. Наиболее однозначным критерием совместимости в полимерных системах является наличие единой температуры стеклования смеси ($T_{c\text{ см}}$), промежуточной между T_c компонентов, что указывает на гомогенность материала на молекулярном (сегментальном) уровне.

Релаксационные спектры (температурные зависимости $\text{tg}\delta$ и G') ПК, ПЭТ-Г и смесей ПК/ПЭТ-Г приведены на рис. 1. В смесях ПК/ПЭТ-Г-25 % при отсутствии совместимости ПЭТ-Г образовывал бы дисперсную фазу. При равном содержании оба компонента должны образовывать дисперсионные среды, а при [ПЭТ-Г] = 75 % дисперсная фаза была бы сформирована ПК [4].

Из рис. 1 следует, что на температурных кривых $\text{tg}\delta$ исходных ПК и ПЭТ-Г (кривые I, II) наблюдается по два основных пика, характеризующих β -процесс релаксации ($T_{\beta\text{ ПК}} = -95$ °С и $T_{\beta\text{ ПЭТ-Г}} = -72$ °С) и α -процесс релаксации ($T_{c\text{ ПК}} = 148$ °С и $T_{c\text{ ПЭТ-Г}} = 82$ °С). На температурных зависимостях G' соответственно проявляется два плато после окончания процессов β - и α -релаксации.

Анализируемые смеси ПК/ПЭТ-Г характеризуются наличием единых $T_{\beta\text{ см}}$ и $T_{c\text{ см}}$ (рис. 1, *a*, кривые III–V), что указывает на реализацию совместимости компонентов как на сегментальном уровне, так и на уровне более мелкомасштабных структурных единиц (мономерных звеньев), ответственных за β -процесс релаксации. $T_{c\text{ см}}$ имеет значение, промежуточное между T_c компонентов, и ее величина определяется концентрацией компонентов в смеси (рис. 2). Расчет значений $T_{c\text{ см}}$ по уравнению Фокса (1) (рис. 2, пунктирная кривая) показал, что расчетные значения близки к экспериментальным. Поскольку уравнение Фокса описывает изменение T_c в бинарной смеси полностью взаимно растворимых компонентов, то следует полагать, что ПК и ПЭТ-Г молекулярно растворимы.

Наличие единой $T_{c\text{ см}}$ независимо от состава свидетельствует об интенсивных межмолекулярных взаимодействиях между компонентами и реализации их совместимости в смесях. Анализ ширины и формы пика стеклования смесей (рис. 1, *a*) указывает на то, что взаимодействия в смесях зависят от соотношения компонентов при принятой технологии компаундирования. В частности, при равном соотношении компонентов в смеси (рис. 1, *a*, кривая IV) образуется широкий пик стеклования с выраженным перегибом при $T \approx 128$ °С, что может быть следствием неполного растворения ПК в матрице ПЭТ-Г.

Можно ожидать также, что вследствие несогласованности молекулярной динамики цепей в смесях разного состава интенсивность межмолекулярных взаимодействий будет неидентичной. Ее экспериментальную оценку производили на основании анализа температурных зависимостей критерия zG_3 (рис. 3). Как видно из рис. 3, согласованность молекулярной динамики ПК и ПЭТ-Г существенно сказывается на взаимодействии компонентов. В интервале температур от $T_{c\text{ ПЭТ-Г}}$ до $T_{c\text{ ПК}}$ (по мере развития сегментальной подвижности в обоих полимерах) межмолекулярное взаимодействие ослабевает, что фиксируется по отрицательным значениям zG_3 . Видимо, в этом интервале температур молекулярная подвижность ПК в форме вращательной диффузии

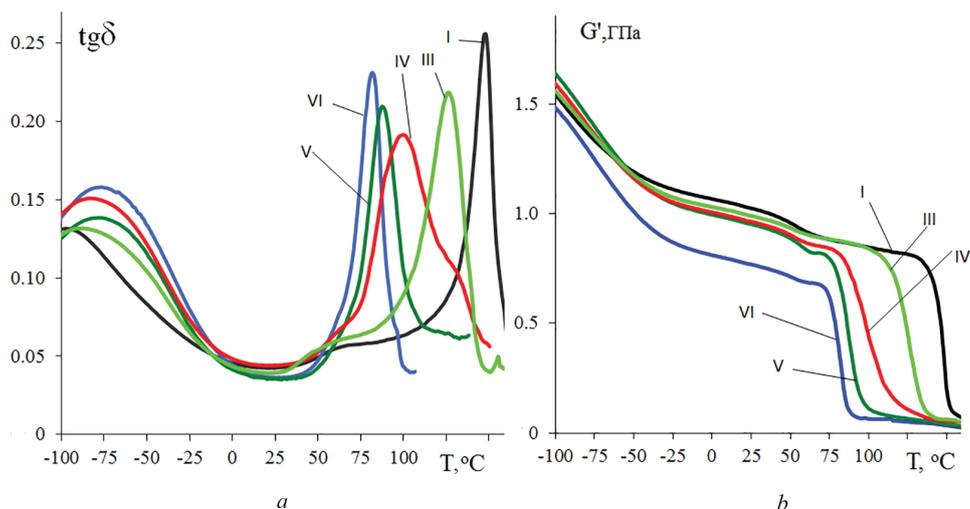


Рис. 1. Температурные зависимости $\text{tg}\delta$ (a) и G' (b) ПК (I) и ПЭТ-Г (VI) и смесевых материалов: ПК/ПЭТ-Г-25 % (III), ПК/ПЭТ-Г-50 % (IV), ПК/ПЭТ-Г-75 % (V); обозначения кривых здесь и на рис. 3 – составы в соответствии с табл. 1
 Fig. 1. Temperature dependences of $\text{tg}\delta$ (a) and G' (b) PC (I), PET-G (VI) and blended materials: PC/PET-G-25 % (III), PC/PET-G-50 % (IV), PC/PET-G-75 % (V); the notation for the curves here and in Fig. 3 – compositions in accordance with Table 1

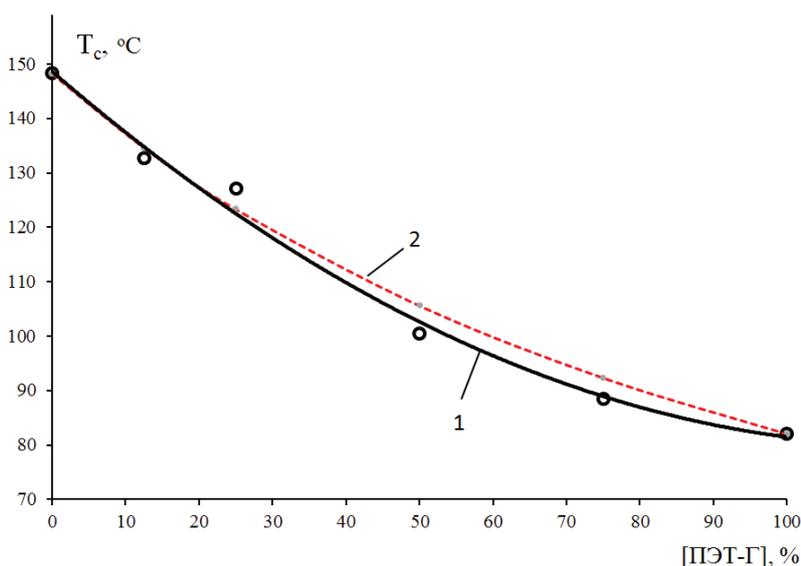


Рис. 2. Влияние концентрации ПЭТ-Г на изменение значений T_g материалов: 1 – экспериментальные значения, 2 – значения, рассчитанные по уравнению (1)
 Fig. 2. Influence of PET-G concentration on the change in T_g values of materials: 1 – experimental values, 2 – values calculated by the equation (1)

и диффузное вращение сегментов ПЭТ-Г оказываются несогласованными [4] (энергия сегментального движения ПЭТ-Г в расстеклованном состоянии оказывается значительно выше, чем сегментов ПК, находящихся в застеклованном состоянии) и значение zG_3 в этом интервале температур падает, принимая отрицательную величину независимо от соотношения компонентов (рис. 3). При температуре, превышающей $T_{с\text{см}}$ согласованность молекулярной динамики (ПК и ПЭТ-Г находятся в высокоэластическом состоянии) приводит к резкому подъему zG_3 , а значит и интенсификации взаимодействия в смесях (рис. 3). Причиной этому является облегчение сближения функциональных групп макромолекул, определяющих энергию межмолекулярного взаимодействия.

В области температур ниже $T_{с\text{см}}$ значения $zG_3 > 0$ для составов с равной или преобладающей концентрацией ПК, что является свидетельством интенсивных межмолекулярных взаимодействий, реализуемых, главным образом, за счет мелкомасштабных структурных единиц, обладающих подвижностью вплоть до температуры β -процесса релаксации.

Таким образом, несмотря на наличие единой $T_{c, см}$, свидетельствующей о молекулярной совместимости компонентов, релаксационные измерения позволяют считать, что интенсивность межмолекулярных взаимодействий в исследованных смесях в значительной степени зависит от температуры. Очевидно, что в зависимости от температуры будет изменяться и степень микрогетерогенности материалов, что необходимо учитывать при определении оптимальных температурных условий их эксплуатации.

В связи с изложенным, представляло интерес произвести оценку влияния состава на технические и технологические характеристики смесей, предопределяющие возможности их переработки и практического применения. Эти данные представлены в табл. 2 и на рис. 4.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что концентрационные зависимости отдельных показателей свойств носят неаддитивный характер. Это касается, прежде всего, верхнего и нижнего пределов текучести, экспериментальные значения которых превышают рассчитанные, исходя из правила аддитивности. Причем отклонение от аддитивности происходит в сторону больших значений данных показателей (рис. 4). Причиной этому являются, видимо, интенсивные межмолекулярные взаимодействия в смесях. Смешением ПК и ПЭТ-Г не удастся получить материалы с повышенной ударной вязкостью, что является еще одним подтверждением формирования однородной структуры в смесях, плохо диссипирующей энергию при ударном

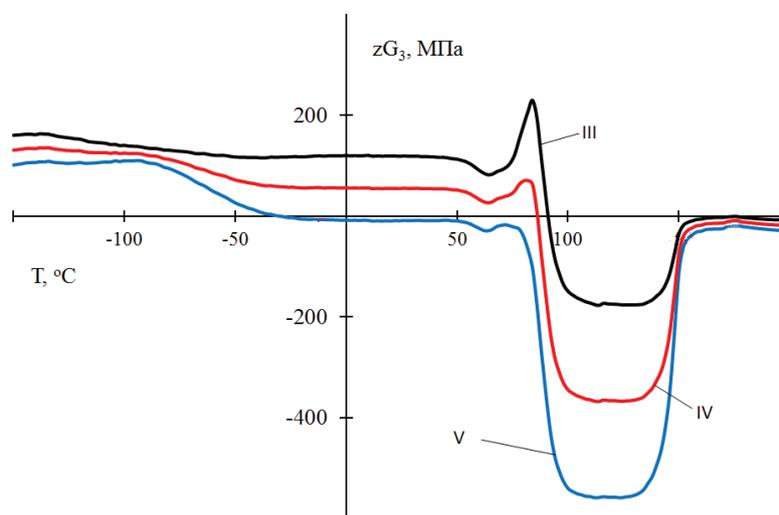


Рис. 3. Температурные зависимости критерия zG_3 для смесевых материалов ПК/ПЭТ-Г

Fig. 3. Temperature dependences of the criterium zG_3 for PC/PET-G blends

Т а б л и ц а 2. Показатели свойств исходных компонентов и смесевых материалов ПК/ПЭТ-Г

Т a b l e 2. Indicators of the properties of the initial components and blends materials PC/PET-G

Обозначения состава согласно табл. 1 Designations of the composition according to Table 1	ПТР, г/10 мин MFI, g/10 min	ρ , г/см ³ ρ , g/cm ³	$\sigma_{тв}$, МПа $\sigma_{ys u}$, МПа	$\sigma_{тн}$, МПа $\sigma_{ys l}$, МПа	ε_p , % ε_b , %	$a_{он}$, кДж/м ² a_{sn} , kJ/m ²	S , %	
							$S_{ }$, %	S_{\perp} , %
I	1,9	1,19	58±2	47±2	97	18,1	0,7	1,5
II	3,3	1,20	62±2	48±2	82	12,7	0,7	1,4
III	5,2	1,21	60±3	48±2	101	11,7	0,7	1,1
IV	10,2	1,23	57±2	42±2	143	10,6	0,6	1,0
V	15,2	1,25	52±2	37±2	213	10,3	0,6	1,0
VI	17,2	1,27	46±1	29±1	105	7,2	0,5	0,9

Примечание: ρ – плотность; $\sigma_{тв}$, $\sigma_{тн}$ – соответственно верхний и нижний пределы текучести при растяжении; ε_p – относительное удлинение при разрыве; $a_{он}$ – ударная вязкость по Шарпи на образцах с острым надрезом; $S_{||}$, S_{\perp} – усадка, измеренная соответственно вдоль продольной оси образца параллельно направлению течения расплава и перпендикулярно этому направлению.

Note: ρ – density; $\sigma_{ys u}$, $\sigma_{ys l}$ – accordingly the upper and lower limits of tensile yield stresses; ε_b – elongation at break; a_{sn} – Charpy impact strength on specimens with a sharp notch; $S_{||}$, S_{\perp} – shrinkage, measured respectively along the longitudinal axis of the sample parallel to the direction of melt flow and perpendicular to this direction.

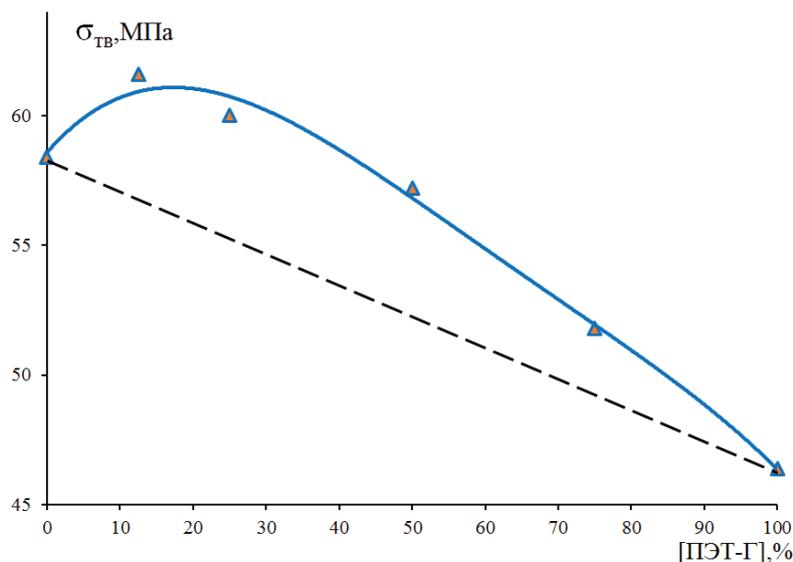


Рис. 4. Влияние концентрации ПЭТ-Г на значения верхнего предела текучести; пунктирная линия – аддитивные значения $\sigma_{тв}$

Fig. 4. Influence of the PET-G concentration on the values of the upper yield strength; dotted line – additive values of σ_{ys}

нагрузении [4]. Важно отметить также, что добавки ПК к ПЭТ-Г способствуют резкому повышению значений $\sigma_{тн}$ и ε_p , что важно для определения потенциальных возможностей практического применения смесей. Продольная и поперечная усадка ($S_{||}$, S_{\perp}) несколько снижается по мере повышения концентрации ПЭТ-Г, что может быть обусловлено повышением степени уплотнения расплава в оформляющей полости техоснастки из-за роста его текучести (увеличения ПТР) и облегчения вследствие этого передачи давления. Данный факт следует учитывать в реальных технологиях переработки смесей ПК/ПЭТ-Г.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о возможности реализации взаимной растворимости компонентов в смесях ПК/ПЭТ-Г, полученных методом реакционного компаундирования в расплаве. Однако невзирая на наличие единой температуры стеклования, значения которой могут быть определены по уравнению Фокса, уровень межмолекулярных взаимодействий и, как следствие, степень микрогетерогенности материалов определяются температурой испытаний. В области $T_{с см}$ эти взаимодействия минимальны и смесевой материал наиболее микрооднороден. Смещением удастся улучшить комплекс деформационно-прочностных и реологических характеристик материалов, что предопределяет широкие возможности их практического применения.

Список использованных источников

1. The compatibility and transesterification for blends of poly(ethylene terephthalate)/poly(bisphenol-A carbonate) / L. H. Wang [et al.] // *Macromol. Science* – 1990. – Vol. 29, N 2–3. – P. 155–169. <https://doi.org/10.1080/00222349008245771>
2. Кузьмин, В. П. Вязкоупругое поведение поликарбоната, пластифицированного стилибеном / В. П. Кузьмин, И. И. Перепечко, Е. М. Звонкова // *Высокомолекул. соед. Сер. А.* – 1986. – Т. 28, № 1. – С. 152–157.
3. Bertilsson, H. Thermal ageing of polycarbonate/poly(butylene terephthalate) blends / H. Bertilsson, B. Franzen, J. Kubat // *J. Macromol. Chem.* – 1990. – Vol. 38, N 1. – P. 115–123. <https://doi.org/10.1002/masy.19900380109>
4. Pesetskii, S. S. Polycarbonate/poly(alkylene terephthalate) blends: interphase interaction and impact strength / S. S. Pesetskii, B. Jurkowski, V. N. Koval // *J. Applied Polymer Science.* – 2002. – Vol. 84, N 6. – P. 1277–1285. <https://doi.org/10.1002/app.10472>
5. Handbook of thermoplastic polyesters: Homopolymers, Copolymers, Blends, and Composites / ed. S. Fakirov. – 2005. <https://doi.org/10.1002/3527601961>
6. Structural features and relaxation properties of PET/PC blends containing impact strength modifier and chain extender / S. S. Pesetskii [et al.] // *Express Polymer Letters.* – 2009. – Vol. 3, N 10. – P. 606–614. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2009.76>
7. PET/PC blends: effect of chain extender and impact strength modifier on their structure and properties / S. S. Pesetskii [et al.] // *J. Applied Polymer Science.* – 2011. – Vol. 119, N 1. – P. 225–234. <https://doi.org/10.1002/app.32532>
8. Синтез и свойства аморфного светопрозрачного с-ПЭТ / Н. В. Шевлик [и др.] // *Полимерные материалы и технологии.* – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 35–46. <https://doi.org/10.32864/polymmattech-2016-2-3-35-46>
9. Смесей ПЭТ и полиэтилентерефталатгликоля: особенности структуры, совместимость компонентов, механические и реологические свойства / С. С. Строгонова [и др.] // *Полимерные материалы и технологии.* – 2017. – Т. 3, № 2. – С. 18–27. <https://doi.org/10.32864/polymmattech-2017-3-2-18-27>

10. Матвеев, Ю. И. Химическое строение и физические свойства полимеров / Ю. И. Матвеев, А. А. Аскадский. – Москва, 1983. – 248 с.
11. Pesetskii, S. S. Morphology and properties of poly(ethylene terephthalate) and thermoplastic polyester elastomer blends modified in the melt by a diisocyanate chain extender and filled with a short glass fiber / S. S. Pesetskii, V. V. Shevchenko, V. V. Dubrovsky // *J. Applied Polymer Science*. – 2018. – Vol. 135, N 6. – P. 45711. <https://doi.org/10.1002/app.45711>
12. Перепечко, И. И. Влияние взаимодействия между компонентами на динамические вязкоупругие свойства двухкомпонентных полимерных систем / И. И. Перепечко // Докл. Академии Наук СССР. – 1986. – Т. 291, № 1. – С. 147–149.
13. Fox, T. G. Influence of diluent and copolymer composition on the glass temperature of a polymer system / T. G. Fox // *Bull. Amer. Physic. Society*. – 1956. – Vol. 1. – P. 123–126.
14. Росовицкий, В. Ф. Динамическая механическая спектроскопия гетерогенных полимерных систем / В. Ф. Росовицкий, Ю. С. Липатов // Физико-химия многокомпонентных полимерных систем. – Киев, 1980. – С. 229–254.

Referenses

1. Wang L. H., Huang Zh., Hong T., Porter R. S. The compatibility and transesterification for blends of poly(ethylene terephthalate)/poly(bisphenol-A carbonate). *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 1990, vol. 29, no. 2–3, pp. 155–169. <https://doi.org/10.1080/00222349008245771>
2. Kuz'min V. P., Perepechko I. I., Zvonkova Ye. M. Viscoelastic behaviour of polycarbonate plasticized with stilbene. *Polymer Science U.S.S.R.*, 1986, vol. 28, no. 1, pp. 170–176. [https://doi.org/10.1016/0032-3950\(86\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0032-3950(86)90023-7)
3. Bertilsson H., Franzen B., Kubat J. Thermal ageing of polycarbonate/poly(butylene terephthalate) blends. *Makromolekulare Chemie. Macromolecular Symposia*, 1990, vol. 38, no. 1, pp. 115–123. <https://doi.org/10.1002/masy.19900380109>
4. Pesetskii S. S., Jurkowski B., Koval V. N. Polycarbonate/poly(alkylene terephthalate) blends: interphase interaction and impact strength. *Journal of Applied Polymer Science*, 2002, vol. 84, no. 6, pp. 1277–1285. <https://doi.org/10.1002/app.10472>
5. Fakirov S., ed. *Handbook of thermoplastic polyesters: Homopolymers, Copolymers, Blends, and Composites*. 2005. <https://doi.org/10.1002/3527601961>
6. Pesetskii S. S., Filimonov O. V., Koval V. N., Golubovich V. V. Structural features and relaxation properties of PET/PC blends containing impact strength modifier and chain extender. *Express Polymer Letters*, 2009, vol. 3, no. 10, pp. 606–614. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2009.76>
7. Pesetskii S. S., Jurkowski B., Filimonov O. V., Koval V. N., Golubovich V. V. PET/PC blends: effect of chain extender and impact strength modifier on their structure and properties. *J. Applied Polymer Science*, 2011, vol. 119, no. 1, pp. 225–234. <https://doi.org/10.1002/app.32532>
8. Shevlik N. V., Stroganova S. S., Tychinskaya L. Yu., Koval V. N., Shcherbina L. A. Synthesis and properties of amorphous translucent c-PET. *Polimernye materialy i tekhnologii = Polymeric Materials and Technologies*, 2016, vol. 2, no. 3, pp. 35–46 (in Russian). <https://doi.org/10.32864/polymmattech-2016-2-3-35-46>
9. Stroganova S. S., Koval V. N., Shevchenko V. V., Shcherbina L. A., Pesetskii S. S. Blends of PET and polyethylene terephthalate glycol: structural features, compatibility of components, mechanical and rheological properties. *Polimernye materialy i tekhnologii = Polymeric Materials and Technologies*, 2017, vol. 3, no. 2, pp. 18–27 (in Russian). <https://doi.org/10.32864/polymmattech-2017-3-2-18-27>
10. Matveev Yu. I., Askadsky A. A. *Chemical structure and physical properties of polymers*. Moscow, 1983. 248 p. (in Russian).
11. Pesetskii S. S., Shevchenko V. V., Dubrovsky V. V. Morphology and properties of poly(ethylene terephthalate) and thermoplastic polyester elastomer blends modified in the melt by a diisocyanate chain extender and filled with a short glass fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, 2018, vol. 135, no. 6, pp. 45711. <https://doi.org/10.1002/app.45711>
12. Perepechko I. I. Influence of interaction between components on the dynamic viscoelastic properties of two-component polymer systems. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*, 1986, vol. 291, no. 1, pp. 147–149 (in Russian).
13. Fox T. G. Influence of diluent and copolymer composition on the glass temperature of a polymer system. *Bulletin of the American Physical Society*, 1956, vol. 1, pp. 123–126.
14. Rosovitsky V. F., Lipatov Yu. S. Dynamic mechanical spectroscopy of heterogeneous poly-dimensional systems. *Physico-chemistry of multicomponent polymer systems*. Kiev, 1980, pp. 229–254 (in Russian).

Информация об авторах

Коваль Василий Николаевич – канд. техн. наук, заведующий сектором. Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси (ул. Кирова, 32а, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: Koval_mpri@tut.by.

Строганова Сюзана Сергеевна – инженер-технолог. ОАО «Могилевхимволокно» (пр. Шмидта, 45, 212035, Могилев, Республика Беларусь). E-mail: mogilev@khimvolokno.by.

Песецкий Степан Степанович – член-корресподент, д-р техн. наук, профессор, заведующий отделом. Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси (ул. Кирова, 32а, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: otdel5mpri@tut.by.

Information about the authors

Koval Vasili Nikolaevich – Ph. D. (Engineering), Head of the Sector. V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (32a, Kirov Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: Koval_mpri@tut.by.

Stroganova Suzana Sergeevna – Process Engineer. Mogilevkhimvolokno (45, Shmidt Ave., 212035, Mogilev, Republic of Belarus). E-mail: mogilev@khimvolokno.by.

Pesetskii Stepan Stepanovich – Corresponding Member, D. Sc. (Engineering), Professor, Head of the Department. V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (32a, Kirov Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: otdel5mpri@tut.by.