

DOI: 10.32864/polymmattech-2018-4-4-37-45

УДК 678.01:536.4:621.002.3

СТРУКТУРНАЯ МОРФОЛОГИЯ, РЕЛАКСАЦИОННЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСЕЙ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТГЛИКОЛЯ С ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛБУТАДИЕНСТИРОЛОМ

В. Н. КОВАЛЬ¹⁺, С. С. СТРОГОНОВА², С. С. ПЕСЕЦКИЙ¹

¹Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, ул. Кирова, 32а, 246050 г. Гомель, Беларусь

²ОАО «Могилевхимволокно», Могилев-35, 212035, Могилев, Беларусь

Изучено влияние соотношения компонентов в смесях аморфных полиэтилентерефталатгликоля (ПЭТ-Г) и полиакрилонитрилбутадиенстирола (АБС) на совместимость компонентов, морфологию, механические и реологические характеристики материалов. Последние получали компаундированием в расплаве в экструзионном реакторе-смесителе на базе двухшнекового экструдера с односторонним вращением шнеков (диаметр шнеков 35 мм, $L/D = 40$). Смесии анализировали с помощью методов релаксационной спектроскопии (обратный крутильный маятник), сканирующей электронной микроскопии, вискозиметрии и стандартных механических испытаний. Показано, что независимо от фазовой структуры совместимость компонентов в них отсутствует. Однако они характеризуются интенсивным межфазным взаимодействием, что приводит к формированию квазиоднородной морфологии независимо от соотношения компонентов и превышению механической прочности смесей над аддитивными значениями.

Ключевые слова: полиэтилентерефталатгликоль, АБС-пластик, морфология, совместимость, механические свойства.

STRUCTURAL MORPHOLOGY, RELAXATION AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE GLYCOL-ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE COPOLYMER BLENDS

V. N. KOVAL¹⁺, S. S. STROGONOVA², S. S. PESETSKII¹

¹V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

²OJSC «Mogilevkhimvolokno», Mogilev-35, 212035, Mogilev, Belarus

The influence of the ratio of components in blends of amorphous polyethylene terephthalate glycol (PET-G) and polyacrylonitrile butadiene styrene (ABS) on the compatibility of components, morphology, mechanical and rheological characteristics of materials has been studied. The latter were obtained by melt compounding in an extrusion-reactor-blender based on a co-rotating twin-screw extruder (screw diameter 35 mm, $L/D = 40$). The blends were analyzed using relaxation spectrometry (reverse torsion pendulum), scanning electron microscopy, viscometry, and standard mechanical tests. It is shown that, regardless of the phase structure, there is no compatibility of the components in them. However, they are characterized by intense interfacial interaction, which leads to the formation of a quasi-homogeneous morphology, regardless of the ratio of components and the increase of the mechanical strength of mixtures over additive values.

Keywords: polyethylene terephthalate glycol, ABS plastic, morphology, compatibility, mechanical properties.

⁺ Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: Koval@MPRI.ORG.BY

Введение

Смеси полиалкилентерефталатов с АБС-пластиками уже давно привлекают внимание исследователей и разработчиков [1]. При смешивании полиэтилентерефталата (ПЭТ) с АБС представляется возможным создавать стойкие к ударным нагрузкам и химстойкие материалы, которые потенциально могут использоваться взамен более дорогостоящих смесевых композитов поликарбонат/АБС, широко применяемых в автомобилестроении [2]. Кроме того, за счет смешения с АБС может быть упрощена технология регенерирования вторичного промышленного сырья на основе ПЭТ и его бытовых отходов [6].

В работах [3, 4] изучены зависимости «морфология–свойство» смесей ПЭТ/АБС, полученных без компатибилизатора [3], а также при использовании в качестве последнего трехблочного блок-сополимера стирол-этилен-бутилен-стирол, функционализированного прививкой малеинового ангидрида (марка Kraton FG 1900X) [4]. Установлена термодинамическая несовместимость компонентов в смесях обоих типов. Показано также, что основные компоненты смесей — аморфный сополимер акрилонитрила и стирола и аморфная фаза ПЭТ — при концентрации АБС в смеси 30–70 мас.% образуют сосуществующие взаимопроникающие непрерывные фазы.

В связи с отсутствием полной взаимной растворимости компонентов, как показано в работах [5, 6], смеси ПЭТ/АБС требуют компатибилизации. Некомпатибилизированные смеси, быстро охлажденные из расплава (содержащие аморфизированный ПЭТ), могут разрушаться во время хранения из-за «разрыхления» частиц АБС. Эффективными компатибилизаторами смесей ПЭТ/АБС являются АБС, функционализированный прививкой малеинового ангидрида [6], акрилатные каучуки или эластомеры, имеющие структуру типа «ядро–оболочка» [7–9].

Подробный анализ особенностей структуры и свойств смесей ПЭТ/АБС выполнен в работе [10]. Показано, что их структура и свойства сильно зависят от соотношения компонентов. При концентрации АБС ≤ 12 мас.% в смесях микрофазовый распад полностью не происходит и компоненты частично взаиморастворимы. Обнаружено замедление кристаллизации ПЭТ под влиянием фазы АБС, а также повышение температуры стеклования (T_c) АБС до ≈ 8 °С при [АБС] ≤ 12 мас.% и снижение $T_{гПЭТ}$ на ≈ 6 °С при превалировании фазы АБС.

На современном этапе большой научный и практический интерес представляет исследование смесей аморфного АБС с полностью аморфным полиэтилентерефталатгликолем. ПЭТ-Г — относительно новый тип насыщенного полиэфира, который благодаря сочетанию в структуре макромолекул ароматических, алифатических и циклоалифатических фрагментов обладает комплексом уникальных свойств [11, 12]. В связи с нерегулярностью молекулярного строения и кинетическими ограничениями он не кристаллизуется при охлаждении из расплава.

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 [11]. ЦГДМ-1,4 получают каталитическим гидрированием диметилтерефталата, используемого в качестве сомономера при двухстадийном синтезе серийных модификаций ПЭТ.

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

Цель настоящей работы — изучение влияния состава полимерных смесей при варьировании соотношения АБС и ПЭТ-Г во всем диапазоне концентраций на совместимость компонентов, релаксационные, реологические и механические характеристики материалов.

Методическая часть

Исходные материалы. В экспериментах использовали АБС-пластик марки Terluran GP-22 (производство «Styrolution Group», ФРГ, температура стеклования $T_c = 107$ °С, показатель текучести расплава ПТР = 1,4 г/10 мин). Используемый полиэтилентерефталатгликоль («SK Chemicals», Южная Корея, плотность 1,27 г/см³, водопоглощение за 24 ч при 23 °С равно 0,13%, $T_c = 82$ °С, молекулярная масса $M_w = 30000$, по данным производителя).

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 АБС 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 производства «BASF», Германия) в соотношениях, приведенных в табл. 1, 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 («Purui Plastics & Rubber Machinery Co. Ltd.», КНР), диаметр шнеков 35 мм, $L/D = 40$, 10 секций материального цилиндра с независимым нагревом и точным поддержанием температуры в отдельных секциях. Конструкция секций шнеков материального цилиндра экструдера описана в работе [13].

В серии выполненных экспериментов температурные режимы работы материального цилиндра экструдера при компаундировании материалов были идентичными (температура в основных смесительных секциях IY–YIII материального цилиндра была постоянной и составляла 230 °С). Частоту вращения шнеков принимали равной 350 об/мин. Длительность пребывания полимерного расплава в материальном цилиндре при этом была равной $\approx 0,5$ мин.

Таблица 1 — Составы исследуемых материалов
Table 1 — Composition of the studied materials

№ п/п	Компоненты, %		
	АБС	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	12,3	87,5	0,2
VII	–	99,8	0,2

Примечание: здесь и далее концентрация выражена в мас. %

После прохождения материального цилиндра экструдера расплав выдавливался из него через фильеру в виде 4-х стренг, которые подвергались водяному охлаждению и гранулированию. Далее полученный гранулят высушивали в вакууме до остаточной влажности $\leq 0,05\%$ и использовали для анализа ПТР, получения экспериментальных образцов литьем под давлением на термопластавтомате «ЕН-30» (производство Тайвань, объем впрыска 30 см^3) при температуре $230 \text{ }^\circ\text{C}$.

Методы испытаний.

Показатели механических свойств определяли при испытаниях методами растяжения и ударного нагружения. Экспериментальные образцы представляли собой лопатки (тип 2, размер рабочей части $50 \times 10 \times 4 \text{ мм}$) для испытаний методом растяжения (ГОСТ 11262), а также бруски размером $80 \times 10 \times 4 \text{ мм}$ для определения ударной вязкости по Шарпи в соответствии с ГОСТ 4647, на образцах с острым надрезом и для измерения усадки по ГОСТ 18616. Испытания при растяжении производили на машине «Instron 5657» («ITW», Великобритания), а при ударе — на маятниковом копре «PIT 550J» («Shenzhen Wance Testing Machine Co. Ltd.», КНР) при температуре $23 \text{ }^\circ\text{C}$.

Реологическое поведение расплавов анализируемых материалов оценивали по значениям ПТР, определяемому на приборе «5MPCA» («RAY-RAN TEST EQUIPMENT Ltd», Великобритания) в соответствии с ГОСТ 11645 при температуре $220 \text{ }^\circ\text{C}$ и нагрузке $21,6 \text{ Н}$ (диаметр капилляра $2,095 \text{ мм}$, длительность выдержки расплава в плавильном цилиндре прибора 4 мин).

Исследования методом релаксационной спектроскопии (РС) проводили с использованием образцов в виде пластин размером $50 \times 4 \times 1 \text{ мм}$. Их изготавливали на лабораторной литьевой машине поршневого типа с объемом впрыска 5 см^3 при температуре расплава $240 \text{ }^\circ\text{C}$ и температуре формирующих элементов формы $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Динамические механические (релаксационные) свойства материалов изучали на основании анализа температурных зависимостей тангенса угла механических потерь ($tg \delta$) и динамического модуля сдвига (G') образцов. Испытания проводили при использовании обратного крутиль-

ного маятника конструкции ИММС НАН Беларуси при частоте 1 Гц ; точность измерений температуры составляла $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$, $tg \delta \pm 3\%$, $G' \pm 1\%$ [14].

Данные о температурных зависимостях G' отдельных полиэфиров и смесевых композитов на их основе использовали для расчета параметра zG_3 , который определяли по методике, предложенной Перепечко И. И. [15], по формуле:

$$zG_3 = G'_{см} - \varphi_1 \cdot G'_1 - \varphi_2 \cdot G'_2 \quad (1)$$

где φ_1 и φ_2 — объемные доли компонентов; $G'_{см}$, 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 — параметр, учитывающий отклонения динамического модуля сдвига от аддитивных значений.

В соответствии с [15] параметр zG_3 может служить критерием, учитывающим взаимодействие между компонентами смеси. Его отрицательное значение указывает на слабое взаимодействие между компонентами. Положительная величина — свидетельство сильных межфазных взаимодействий.

СЭМ анализ структурной морфологии смесей.

Морфологию композитов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии на приборе «Vega II LSH» («Tescan», Чехия). Анализируемые объекты — поверхности разрушения сколов образцов (средняя часть брусков, используемых для определения ударной вязкости) после их выдержки в течение 30 мин в жидком азоте.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Механические и технологические свойства материалов.

Первостепенный интерес представляет анализ влияния состава бинарных смесей АБС/ПЭТ-Г на показатели их механических и технологических свойств, характеризующих текучестью расплава и технологической усадкой. Соответствующие экспериментальные данные представлены в табл. 2 и на рис. 1.

Как видно из рис. 1, концентрационные зависимости σ_T и ε_p имеют неаддитивный характер. Причем, если для σ_T отклонение от аддитивности происходит в сторону больших значений данного показателя, то для ε_p , наоборот, отклонение обусловлено снижением истинных значений по сравнению с аддитивными. Причиной этому является, видимо, относительно интенсивные межфазные взаимодействия в смесях. При их наличии должна повышаться механическая прочность и жесткость материалов, что, как правило, сопровождается снижением их деформационной способности [1, 2].

Таблица 2 — Усадка, показатели механических и реологических свойств исследуемых материалов
 Table 2 — Shrinkage, mechanical and rheological properties of the materials studied

Материал*	ПТР, г/10 мин	σ_T , МПа	ε_p , %	K_c , %	a_v , кДж/м ²	S, %	
						S_{\perp}	S_{\parallel}
I	1,4	42,8	12,0	97,0	13,8	0,9	0,75
II	2,0	46,4	14,6	79,7	7,6	0,8	0,71
III	2,5	46,0	14,0	76,1	8,7	0,7	0,70
IV	3,5	47,8	28,6	66,9	9,9	0,6	0,70
V	4,1	49,7	64,7	93,0	10,3	0,5	0,46
VI	5,0	49,4	61,4	98,4	8,9	0,7	0,43
VII	5,7	49,6	80,2	100	8,4	0,6	0,21

*Здесь и далее обозначения материалов приняты в соответствии с табл. 1

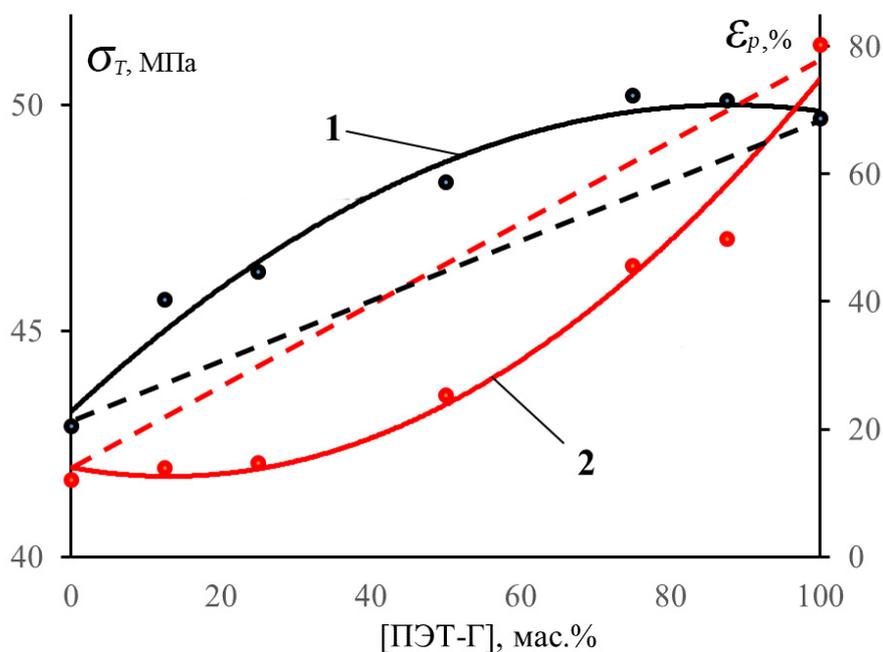


Рисунок 1 — Влияние концентрации ПЭТ-Г на значения предела текучести (1) и относительного удлинения при разрыве (2) материалов, пунктирные линии — аддитивные значения
 Fig. 1 — Effect of PET-G concentration on the yield stress (1) and relative elongation at break (2) of the materials, the dash lines indicate the additive values

Смешением АБС с ПЭТ-Г не удается получить материалы с высокой ударной вязкостью (табл. 2), что является еще одним подтверждением наличия интенсивных межфазных взаимодействий в смесях и, видимо, формирования в них, относительно однородной структурной морфологии, как правило, плохо диссипирующей энергию при ударном нагружении [16].

Продольная и поперечная усадки (S_{\parallel} , S_{\perp}) несколько снижаются по мере повышения концентрации ПЭТ-Г в смесях. Причиной этого может быть повышение степени уплотнения расплава в оформляющей полости литевой формы на стадии получения образцов вследствие роста текучести расплава (увеличения ПТР) и облегчения вследствие этого передачи давления литья (табл. 1). Данный факт

следует учитывать в реальных технологиях переработки смесей АБС/ПЭТ-Г.

Релаксационные свойства смесей по данным динамической механической спектроскопии

АБС и ПЭТ-Г имеют близкие значения параметров растворимости (расчетные значения по данным [17] $\delta_{АБС} = 19,3$ (Дж·см⁻³)^{0,5}, а $\delta_{ПЭТ-Г} = 19,9$ (Дж·см⁻³)^{0,5} в соответствии с [12]), что потенциально предопределяет возможности реализации их совместимости в бинарных смесях, формирования молекулярного контакта и реализации интенсивных взаимодействий.

Метод динамической механической спектроскопии, основанный на анализе температурных зависимостей динамического модуля сдвига (G') и тангенса угла механических потерь ($tg\delta$) является одним из важ-

нейших при экспериментальной оценке совместимости компонентов в смесях. Наиболее однозначным критерием совместимости является наличие единой температуры стеклования смеси, промежуточной между T_c компонентов, что указывает на гомогенность материала на сегментальном уровне.

Релаксационные спектры АБС, ПЭТ-Г и смесей АБС/ПЭТ-Г приведены на рис. 2. В смесях АБС/ПЭТ-Г при отсутствии совместимости, [ПЭТ-Г] = 25% будет образовывать дисперсную фазу; при равном содержании должны сосуществовать непрерывные фазы обоих компонентов; при [ПЭТ-Г] = 75% дисперсионная среда должна быть образована АБС [18]. Данные численной обработки релаксационных спектров представлены в табл. 3.

На температурных зависимостях $tg\delta$ АБС и ПЭТ-Г фиксируется по два выраженных максимума, характерных для α -релаксационного процесса (стеклования) при $T_{c\text{ АБС}} = 107,7\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 2, кривая I), $T_{c\text{ ПЭТ-Г}} = 82,0\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 2, кривая VII) и β -релаксационного перехода при $T_{\beta\text{ АБС}} = -83,5\text{ }^\circ\text{C}$ (β -процесс в полиакрилонитрилбутадиенстироле определяется подвижностью фенильной (C_6H_5) и акрилонитрильной ($-CH_2-CH(CN)-$) групп и протекает, фактически, в одном температурном интервале со стеклованием фазы полибутадиена (ПБ) в данном сополимере [10]) и $T_{\beta\text{ ПЭТ-Г}} = -76,3\text{ }^\circ\text{C}$ (для ПЭТ-Г при этой температуре замораживается подвижность фениленовых фрагментов (C_6H_4) в мономерных звеньях [12]).

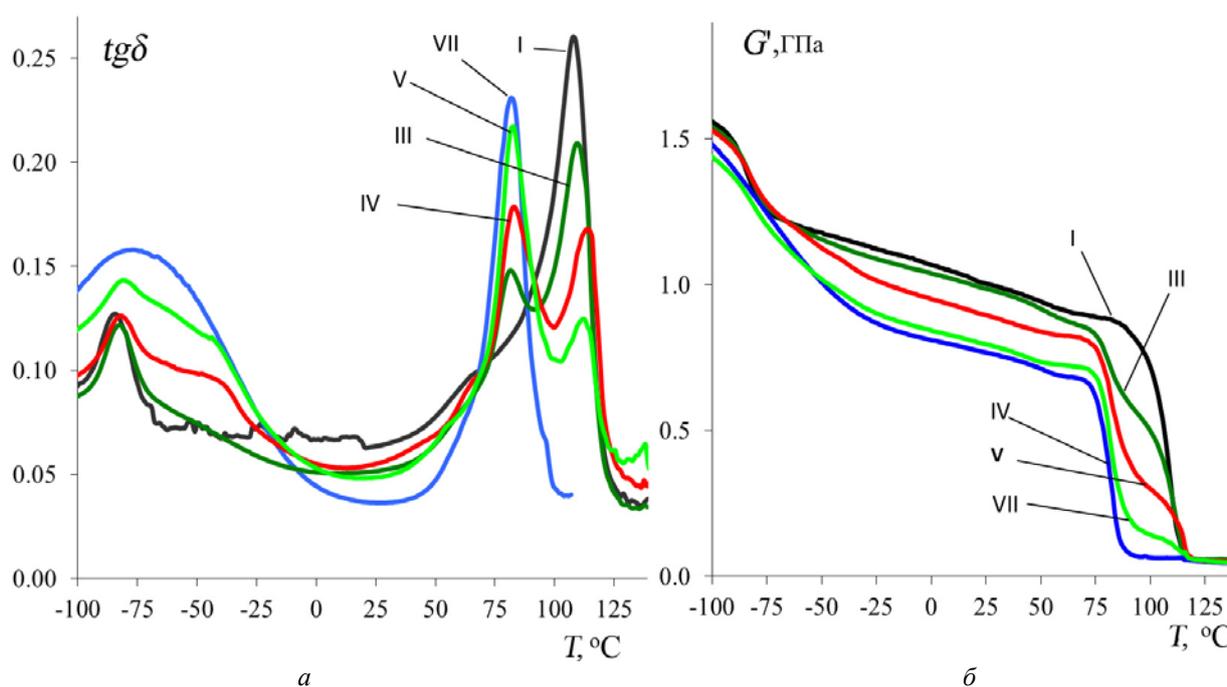


Рисунок 2 — Температурные зависимости: $a - tg\delta$, $b - G'$. АБС (I), ПЭТ-Г (VII) и смесевых материалов: АБС/ПЭТ-Г–25% (III), АБС/ПЭТ-Г–50% (IV), АБС/ПЭТ-Г–75% (V)

Fig. 2 — Temperature dependences: $a - tg\delta$, $b - G'$. ABS (I), PET-G (VII) and their blends ABS/PET-G–25% (III), ABS/PET-G–50% (IV), ABS/PET-G–75% (V)

Таблица 3 — Влияние состава на параметры, характеризующие релаксационные свойства материалов
Table 3 — Effect of the composition on the parameters of the materials' relaxation properties

Обозначение материала согласно табл. 1	$T_{c\text{ АБС}}$, $^\circ\text{C}$	$T_{c\text{ ПЭТ-Г}}$, $^\circ\text{C}$	ΔT_c , $^\circ\text{C}$	$T_{\beta\text{ АБС}}$, $^\circ\text{C}$	$T_{\beta\text{ ПЭТ-Г}}$, $^\circ\text{C}$	G' , МПа		
						23 $^\circ\text{C}$	90 $^\circ\text{C}$	125 $^\circ\text{C}$
I	107,7	–	25,7	–83,5	–	1046	–	51
II	109,5	82,0	27,5	–81,5	–	1004	698	56
III	109,6	81,5	28,1	–82,6	–	997	597	58
IV	115,2	82,9	32,3	–81,8	–42,9 (перегиб)	906	400	53
V	112,7	82,7	30,0	–81,0	–42,7 (перегиб)	805	203	54
VI	112,8	83,6	28,9	–79,1	–73,2	811	137	58
VII	–	82,0	25,7	–	–76,3	776	81	51

При смешении компонентов, вопреки ожиданию, четко фиксируются их пики стеклования, что указывает на отсутствие их термодинамической совместимости [10]. Однако температурные сдвиги максимумов пиков, по которым определяются значения температур T_c и T_β , несомненно, являются следствием специфических взаимодействий в смесях АБС/ПЭТ-Г, что требует отдельного рассмотрения. При этом еще раз следует отметить, что стеклование фазы ПБ в АБС происходит в области β -процесса релаксации ПЭТ-Г.

Во-первых, необходимо указать, что в смесях с ПЭТ-Г $T_{c\text{ АБС}}$ имеет более высокие значения, чем в исходном полимере (табл. 3). Причем, с повышением [ПЭТ-Г] сдвиг $T_{c\text{ АБС}}$ в высокотемпературную область увеличивается, достигая 5,1 °С для состава АБС/ПЭТ-Г–87,5%. Значения $T_{c\text{ ПЭТ-Г}}$ в смесях также несколько превышают таковую для исходного полиэфира (табл. 3). Вследствие высокотемпературного сдвига T_c компонентов разность температур стеклования (ΔT_c) между ними в смесях заметно превышает таковую для исходных материалов (табл. 3).

Причиной высокотемпературного сдвига T_c обоих компонентов может быть ограничение их молекулярной (сегментальной) подвижности в смесях. Последнее возможно при формировании молекулярного контакта, что вполне вероятно вследствие близких значений параметров растворимости АБС и ПЭТ-Г и реализации интенсивных межфазных взаимодействий.

Однозначный вывод о возможности реализации совместимости компонентов на уровне мономерных звеньев по характеру изменения и температурному положению их пика β -процесса релаксации затруднен, поскольку в этой температурной области протекает ряд упомянутых налагающихся процессов, что

проявляется в уширении пика β -процесса релаксации и появлением на нем перегибов (рис. 2, кривые III-V, табл. 3, составы IV, V).

Подтверждением реализации интенсивных межфазных взаимодействий в смесях являются данные о температурной зависимости параметра zG_3 (рис. 3). Как видно из рис. 3, смеси независимо от их фазовой структуры характеризуются положительной величиной zG_3 (рис. 3) в широком интервале температур, что указывает на наличие сильных взаимодействий.

Отрицательная величина zG_3 , характеризующая слабое межфазное взаимодействие, в смесях характерна только для состава АБС/ПЭТ-Г–25% в интервале температур стеклования компонентов. Видимо, в этом температурном интервале молекулярная подвижность АБС в форме вращательной диффузии и диффузионное вращение сегментов ПЭТ-Г оказываются несогласованными (энергия сегментального движения ПЭТ-Г в расстеклованном состоянии значительно выше, чем сегментов АБС, находящихся в застеклованном состоянии) и значения zG_3 в этом интервале температур принимают отрицательную величину.

При высокой концентрации ПЭТ-Г в смесях zG_3 имеет положительную и более высокую величину и в области температур стеклования компонентов, что может быть следствием сильных взаимодействий и ограничения сегментальной подвижности компонентов вследствие этого.

Морфология смесей

Анализ топографии сколов в жидком азоте образцов исходных компонентов и смесей свидетельствует о формировании в смесях квазиоднородной структуры без наличия видимых структурных неоднородностей независимо от их фазовой структуры (рис. 4).

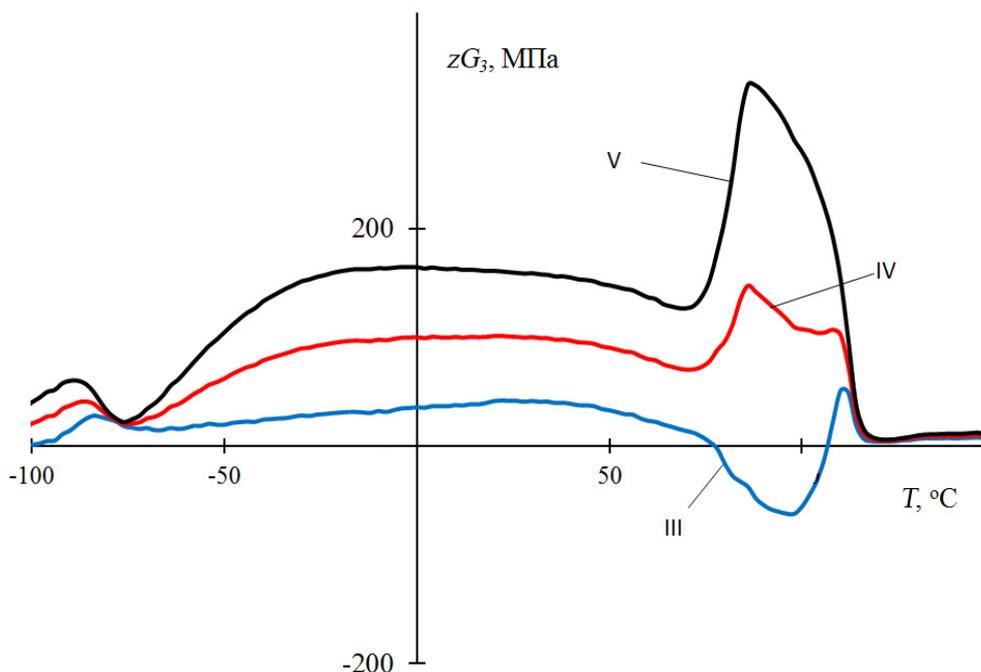


Рисунок 3 — Температурные зависимости параметра zG_3 смесей АБС/ПЭТ-Г
Fig. 3 — Temperature dependence of zG_3 parameter of ABS/PET-G blends

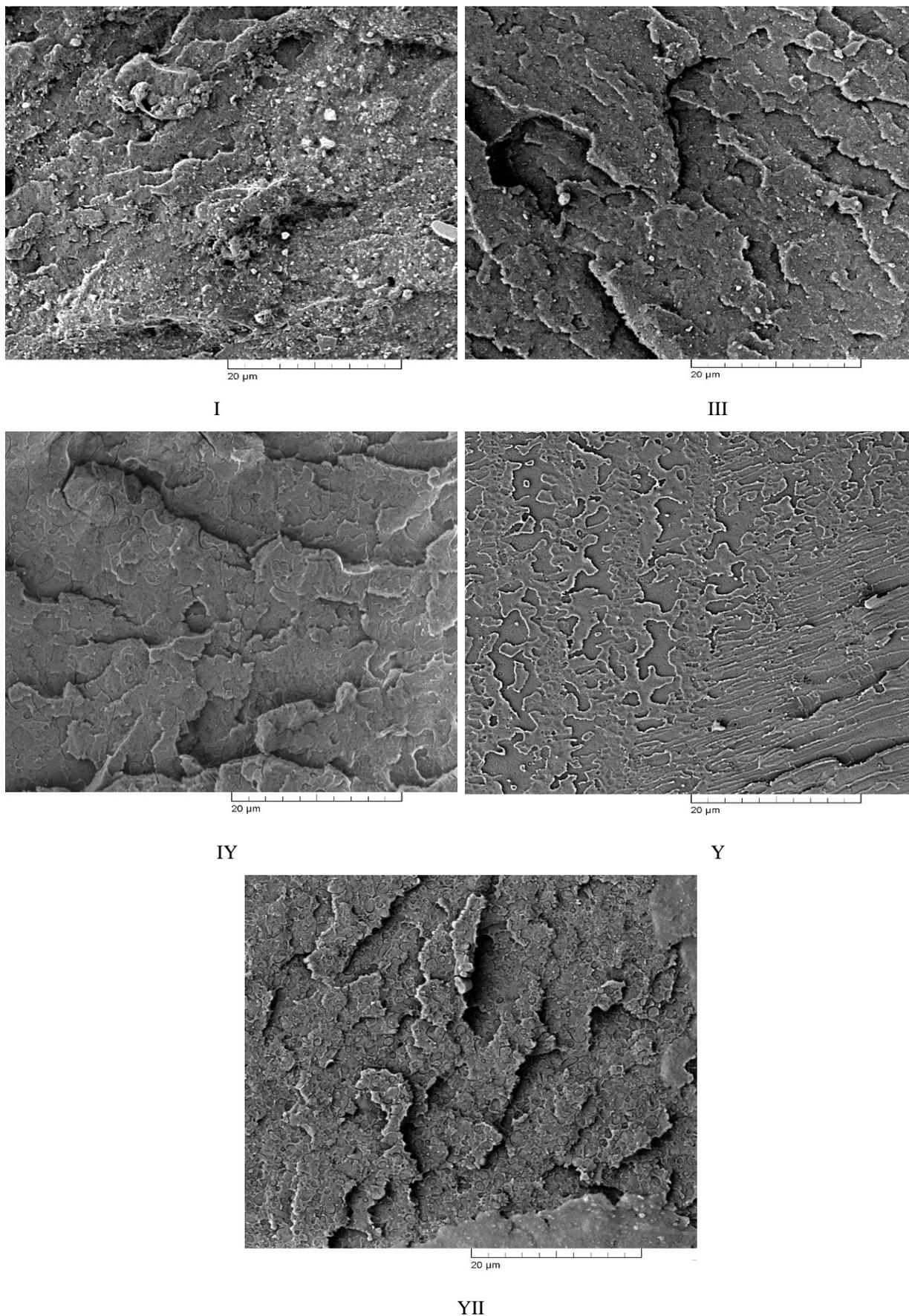


Рисунок 4 — СЭМ-изображения поверхностей сколов образцов материалов
Fig. 4 — SEM images of the fracture surfaces of the materials

На поверхности сколов образцов из АБС и смеси с малой (25%) концентрацией ПЭТ-Г фиксируются вкрапления фазы ПБ в АСБ в виде частиц с максимальным размером до ≈ 4 мкм, а также складки, проявляющиеся вследствие разрушения материала по механизму сдвигового течения при его препарировании (рис. 3, изображения I, III). Образование квазиоднородной структуры в смесях термодинамически несовместимых компонентов однозначно указывает на реализацию в них интенсивных межфазных взаимодействий [18]. Подобная морфология не способна диссипировать энергию при воздействии ударных нагрузок [17, 18], что объясняет невозможность заметного повышения ударной вязкости смесей АБС/ПЭТ-Г по сравнению с исходными компонентами.

Выводы

Экспериментально установлено отсутствие термодинамической совместимости компонентов в смесях АБС/ПЭТ-Г.

По данным релаксационной спектроскопии в смесях АБС/ПЭТ-Г, независимо от их фазовой структуры, реализуются сильные межфазные взаимодействия, интенсифицирующиеся при повышении концентрации ПЭТ-Г.

Смеси АБС/ПЭТ-Г имеют квазиоднородную структурную морфологию независимо от их фазовой структуры.

Повышение содержания добавок ПЭТ-Г в смесях способствует росту их механической прочности, а также деформационной способности и прочности спаев потоков расплава при переработке материалов из расплава.

Добавки ПЭТ-Г повышают текучесть расплава смесей, что обеспечивает возможность управления их формуемостью при переработке.

Обозначения

АБС — акрилонитрилбутадиенстирол; ПТР — показатель текучести расплава; ПЭТ — полиэтилентерефталат; ПЭТ-Г — полиэтилентерефталат гликоль; СЭМ — сканирующая электронная микроскопия; ЦГДМ — циклогександиметанол; T_c , °C — температура стеклования.

Литература

- Nadkarni V. M., Rath A. K. Blends of Thermoplastic polyesters // *Handbook of thermoplastic polyesters. Homopolymers, copolymers, blends and composites* / ed. S. Fakirov. Germany: Wiley-VCH, 2002, pp. 835–893.
- Karger-Kocsis J. Recycling options for postconsumer PET and PET-containing wastes by melt blending // *Handbook of thermoplastic polyesters. Homopolymers, copolymers, blends and composites* / ed. S. Fakirov. Germany: Wiley-VCH, 2002, pp. 1291–1318.
- Cook W. D., Chong T., Moad G., Deipen G. V., Cser F., Fox B., M. O'Shea Morphology-property relationships in ABS/PET blends. I. Composition effects // *Journal of Applied Polymer Science*, 1996, vol. 62, pp. 1699–1708.
- Cook W. D., Moad G., Fox B., Deipen G. V., Zhang T., Cser F., McCarthy L. Morphology-property relationships in ABS/PET blends. II. Influence of processing conditions on structure and properties // *Journal of Applied Polymer Science*, 1996, vol. 62, pp. 1709–1714.
- Kalfoglou N. K., Skafidas D. S., Kalitsis J. K. Blends of poly(ethylene terephthalate) with unmodified and maleic anhydride grafted acrylonitrile-butadienestyrene terpolymer // *Polymer*, 1996, vol. 37, pp. 3387–3395.
- Utracki L. A. ABS/PET blends // *Chapman and Hall. London: Commercial Polymer blends*, 1998, pp. 170–172.
- Patent 5115018A US. Vanbushirk B. High-impact, styrenic polymer/thermoplastic polymer grafted blends / Akkapeddi M. K., Kraft T. J.; to Allied-Signal Inc., 1992.
- Patent 388388Bt EP. Impact resistant polyester blends / Udi-pi K.; to Monsanto, 1994.
- Patent 56243 EP. Impact-resistant poly(alkylene terephthalates / Binsack R., Rempel D., Bier P., Zinder G.; to Bayer AG, 1982.
- Коваль В. Н., Филимонов О. В., Соловей Н. Ф., Песецкий С. С. Смеси ПЭТ/АБС: особенности структуры, механических и релаксационных свойств // *Материалы, технологии, инструменты*. 2011. Т. 16, № 2. С. 61–68.
- Шевлик Н. В., Строгонова С. С., Тычинская Л. Ю., Коваль В. Н., Щербина Л. А. Синтез и свойства аморфного светопрозрачного с-ПЭТ // *Полимерные материалы и технологии*. 2016. Т. 2, № 3. С. 35–46.
- Строгонова С. С., Коваль В. Н., Шевченко В. В., Щербина Л. А., Песецкий С. С. Смеси ПЭТ и полиэтилентерефталатгликоля: особенности структуры, совместимость компонентов, механические и реологические свойства // *Полимерные материалы и технологии*. 2017. Т. 3, № 2. С. 18–27.
- 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. doi: 10.1002/APP.45711
- 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 // *Journal of Applied Polymer Science*, 2011, vol. 119, no. 1, pp. 225–234.
- Перепечко И. И. Влияние взаимодействия между компонентами на динамические вязкоупругие свойства двухкомпонентных полимерных систем // *Доклады Академии Наук СССР*. 1986. Т. 291, № 1. С. 147–149.
- Pesetskii S. S., Jurkowski B., Koval V. N. Polycarbonate/polyalkyleneterephthalate blends: interphase interaction and impact strength // *Journal Applied Polymer Science*, 2002, vol. 84, no. 6, pp. 1277–1285.
- Коваль В. Н. Смесевые ударопрочные материалы на основе поликарбоната: дисс. канд. техн. наук: 05.02.01. Гомель, 1999. 206 с.
- Поль Д., Ньюмен К. Полимерные смеси. Т. 1. М.: Мир, 1981. 541 с.

References

- Nadkarni V. M., Rath A. K. Blends of Thermoplastic polyesters. *Handbook of thermoplastic polyesters. Homopolymers, copolymers, blends and composites* / ed. S. Fakirov. Germany: Wiley-VCH, 2002, pp. 835–893.
- Karger-Kocsis J. Recycling options for postconsumer PET and PET-containing wastes by melt blending. *Handbook of thermoplastic polyesters. Homopolymers, copolymers, blends and composites* / ed. S. Fakirov. Germany: Wiley-VCH, 2002, pp. 1291–1318.
- Cook W. D., Chong T., Moad G., Deipen G. V., Cser F., Fox B., M. O'Shea Morphology-property relationships in ABS/PET blends. I. Composition effects. *Journal of Applied Polymer Science*, 1996, vol. 62, pp. 1699–1708.
- Cook W. D., Moad G., Fox B., Deipen G. V., Zhang T., Cser F., McCarthy L. Morphology-property relationships in ABS/PET blends. II. Influence of processing conditions on structure and properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 1996, vol. 62, pp. 1709–1714.
- Kalfoglou N. K., Skafidas D. S., Kalitsis J. K. Blends of poly(ethylene terephthalate) with unmodified and maleic anhydride grafted acrylonitrile-butadienestyrene terpolymer. *Polymer*, 1996, vol. 37, pp. 3387–3395.
- Utracki L. A. ABS/PET blends. *Chapman and Hall. London: Commercial Polymer blends*, 1998, pp. 170–172.

7. Akkapeddi M. K., Kraft T. J., Vanbushirk B. High-impact, styrenic polymer/thermoplastic polymer grafted blends. Patent US, no. 5115018A (to Allied-Signal Inc.), 1992.
8. Udipi K. Impact resistant polyester blends. Patent EP, no. 388388Bt (to Monsanto), 1994.
9. Binsack R., Rempel D., Bier P., Zinder G. Impact-resistant poly(alkylene terephthalates). Patent EP, no. 56243 (to Bayer AG), 1982.
10. Koval' V. N., Filimonov O. V., Solovej N. F., Peseckij S. S. Smesi PJeT/ABS: osobennosti struktury, mehanicheskikh i relaksacionnykh svojstv [PET/ABS blends: structure, mechanical and relaxation properties]. *Materialy, tehnologii, instrumenty* [Materials, technologies, tools], 2011, vol. 16, no. 2, pp. 61–68.
11. Shevlik N. V., Strogonova S. S., Tychinskaja L. Ju., Koval' V. N., Shherbina L. A. Sintez i svojstva amornogo svetoprozrachnogo s-PJeT [Sintez and properties of amorphous light-transparent c-PET]. *Polimernye materialy i tehnologii* [Polymer materials and technologies], 2016, vol. 2, no. 3, pp. 35–46.
12. Strogonova S. S., Koval' V. N., Shevchenko V. V., Shherbina L. A., Peseckij S. S. Smesi PJeT i polijetilen-tereftalatglikolja: osobennosti struktury, sovmestimost' komponentov, mehanicheskie i reologicheskie svojstva [Mixtures of PET and polyethylene tereft-latglycol: structural features, compatibility of components, mechanical and rheological properties]. *Polimernye materialy i tehnologii* [Polymer materials and technologies], 2017, vol. 3, no. 2, pp. 18–27.
13. 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. doi: 10.1002/APP.45711
14. 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. *Journal of Applied Polymer Science*, 2011, vol. 119, no. 1, pp. 225–234.
15. Perepechko I. I. Vlijanie vzaimodejstvija mezhdru komponentami na dinamicheskie vjazkouprugie svojstva dvuhkomponentnykh polimernykh sistem [Influence of interaction between components on the dynamic viscoelastic properties of two-component polymer systems]. *Doklady Akademii Nauk SSSR* [Reports of the Academy of Sciences of the USSR], 1986, vol. 291, no. 1, pp. 147–149.
16. Pesetskii S. S., Jurkowski B., Koval' V. N. Polycarbonate/polyalkyleneterephthalate blends: interphase interaction and impact strength. *Journal Applied Polymer Science*, 2002, vol. 84, no. 6, pp. 1277–1285.
17. Koval' V. N. Smesevye udaroprochnye materialy na osnove polikarbonata. Diss. kand. tehn. nauk [Mixed impact-resistant materials based on polycarbonate: Dr. tech. sci. diss.]. Gomel, 1999. 206 p.
18. Pol D, N'jumen K. *Polimernye smesi. T. 1.* [Polymer blends. Vol. 1]. Moscow: Mir Publ., 1981. 541 p.

Поступила в редакцию 27.11.2018

© В. Н. Коваль, С. С. Строгонова, С. С. Песецкий, 2018