

**С. С. Песецкий, Ю. М. Кривогуз, С. П. Богданович**

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

## **ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ДИСПЕРГИРОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО СЛОИСТОГО СИЛИКАТА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СМЕСЕВЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА И ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО ПОЛИОЛЕФИНА**

**Аннотация.** Изучены зависимости структуры и свойств смесей полиамида 6 (ПА6) с функционализированным полиолефином (фПО) от способа диспергирования органомодифицированной глины Cloisite 30B (C130B). Концентрация органоглины C130B в смесях ПА6/фПО была постоянной и составляла 3,0 мас.%, а содержание фПО варьировали от 10 до 50 мас.%. Компаундирование смесей осуществляли в расплаве при использовании двухшнекового экструзионного реактора-смесителя. Органоглину в состав смесей вводили двумя способами: одновременно со всеми полимерными компонентами (одностадийный процесс) и из предварительно полученного концентрата C130B в фПО (двухстадийный процесс). Установлено, что введение органоглины C130B в состав ПА6/фПО смеси по двухстадийной технологии дает возможность получать нанокomпозиты с повышенными пределом текучести (на 5–6 %), прочностью при разрыве (на 9–15 %) и относительным удлинением при разрыве (в 1,2–4 раза) по сравнению с нанокomпозитами, приготовленными по одностадийной технологии. В то же время нанокomпозиты, полученные по одностадийной технологии, в которых дисперсионную среду образует ПА6, независимо от типа надреза и способа испытаний обладают более высокой стойкостью к удару (до 1,2 раза), чем материалы, приготовленные двухстадийным способом. Это объясняется различиями в степени диспергирования нанонаполнителя и уровне межфазных взаимодействий между полимерными компонентами и наночастицами, вследствие чего изменяются кристалличность компонентов в смесях, а также комплекс их реологических и механических характеристик. Также показано, что добавки органоглины C130B независимо от способа ее введения увеличивают термостабильность ПА6/фПО смесей по сравнению с исходным ПА6. Полученные результаты могут быть использованы при разработке реальных нанокomпозитов технического назначения с улучшенными свойствами на базе ПА6 и фПО.

**Ключевые слова:** полиамид 6, функционализированный полиолефин, смесь полимеров, органоглина, межфазное взаимодействие, экструзионное компаундирование

**Для цитирования:** Песецкий, С. С. Влияние способа диспергирования модифицированного слоистого силиката на структуру и свойства смесевых композитов на основе полиамида и функционализированного полиолефина / С. С. Песецкий, Ю. М. Кривогуз, С. П. Богданович // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэх. навук. – 2020. – Т. 65, №2. – С. 177–184. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-2-177-184>

**Stepan S. Pesetskiĭ, Yuri M. Krivoguz, Sergei P. Bogdanovich**

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

## **INFLUENCE OF THE DISPERSION METHOD OF MODIFIED LAYERED SILICATE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF MIXED COMPOSITES BASED ON POLYAMIDE AND FUNCTIONALIZED POLYOLEFIN**

**Abstract.** The dependences of the structure and properties of polyamide 6 (PA6) with a functionalized polyolefin (FPO) mixtures on the dispersing method of organically modified clay Cloisite 30B (C130B) were studied. The concentration of C130B organoclay in PA6/fPO mixtures was constant and amounted to 3.0 wt.%, and the content of fPO varied from 10 to 50 wt.%. Compounding of the mixtures was carried out in the melt using a twin-screw extrusion reactor-mixer. Organoclay was introduced into the composition of the mixtures in two ways: simultaneously with all polymer components (one-stage process) and from the previously obtained C130B concentrate into fPO (two-stage process). It is established that the introduction of C130B organoclay into the composition of the PA6/fPO mixture using the two-stage technology makes it possible to obtain nanocomposites with increased yield strengths (5–6 %), tensile strength (9–15 %), and elongation at break (1.2–4 times) compared with nanocomposites prepared according to a single-stage technology. At the same time, nanocomposites obtained by a single-stage technology in which PA6 forms a dispersion medium, regardless of the type of incision and the test method, have higher impact resistance (up to 1.2 times) than materials prepared by the two-stage

method. This is explained by differences in the degree of dispersion of the nanofiller and the level of interphase interactions between the polymer components and nanoparticles, as a result of which the crystallinity of the components in the mixtures changes, as well as the complex of their rheological and mechanical characteristics. It was also shown that CI30B organoclay additives, irrespective to the method of its introduction, increase the thermal stability of PA 6/fPO mixtures in comparison with the initial PA6. The results can be used in the development of real technical nanocomposites with improved properties based on PA6 and fPO.

**Keywords:** polyamide 6, functionalized polyolefin, polymer mixture, organoclay, interphase interaction, extrusion compounding

**For citation:** Pesetskii S. S., Krivoguz Yu. M., Bogdanovich S. P. Influence of the dispersion method of modified layered silicate on the structure and properties of mixed composites based on polyamide and functionalized polyolefin. *Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2020, vol. 65, no. 2, pp. 177–184 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-2-177-184>

**Введение.** В последнее десятилетие ассортимент термопластичных композитов технического назначения, изготавливаемых из смесей промышленно важных полимеров, значительно расширился. Смешение двух и более термопластов стало эффективным способом получения новых материалов с требуемыми свойствами [1].

Для Республики Беларусь, располагающей собственными достаточно крупными производствами полиамида 6 (ПА6) и полиолефинов (ПО), особое значения представляют смесевые композиции из данных компонентов. Смесей ПА6/ПО обладают улучшенной технологичностью, повышенной морозостойкостью и ударопрочностью. Эффект действия ПО при совмещении с ПА6 значительно усиливается благодаря функционализации ПО путем прививки к их макромолекулам активных функциональных групп, которые способны к физико-химическому взаимодействию с функциональными (концевыми аминными, карбоксильными или внутрицепными амидными) группами ПА6 и формированию прочных связей на границе раздела фаз [2, 3]. Образование прочных связей функционализированных ПО (фПО) с ПА6 предотвращает расслоение этих двух компонентов и обеспечивает устойчивую морфологию смеси, в результате чего существенно возрастают ударная вязкость, в том числе при отрицательной температуре, и способность к деформациям. Полученные изделия из смесевых композитов ПА6/фПО более надежны в эксплуатации. Кроме этого, смеси ПА6/фПО характеризуются более высокой прочностью расплава и вязкостью, что позволяет перерабатывать их по нетрадиционным для ПА6 технологиям непрерывной экструзии и экструзии с раздувом [3].

Постоянно возрастающие требования со стороны производителей и потребителей стимулируют поиск новых подходов и приемов по совершенствованию ПА6/фПО смесей. Улучшить свойства данных смесей возможно введением в их состав нанонаполнителей. Как показано в [4], для модифицирования смесей ПА6/фПО эффективно применять в качестве нанонаполнителя органомодифицированные глинистые минералы, в частности монтмориллонит.

Принципиально возможно использование двух технологий получения полимерных нанокompозитов: одностадийной, основанной на прямом смешении всех компонентов в расплаве, и двухстадийной, базирующейся на использовании концентратов (мастер-батчэй) наноглин в одном или всех компонентах смеси [5]. Последовательность смешения в общем случае может сильно сказаться на микроструктуре в нанокompозитах и повлиять на их механические и другие свойства.

Поэтому накопление экспериментальных данных, связанных с анализом влияния способов смешения при получении полимерных нанокompозитов на их структуру и свойства, представляет большой научный и практический интерес.

*Целью настоящей работы* является изучение зависимости структуры и свойств смесей ПА6/фПО от способа диспергирования органомодифицированного Na<sup>+</sup>-монтмориллонита.

**Материалы и методы исследования.** В качестве полимерной матрицы для получения композитов использовали ПА6 (полиамид 6 для изделий, контактирующих с пищевыми продуктами, производства ОАО «Гродно Азот», ТУ РБ 500048054.037-2002). Для его модифицирования применяли фПО, представляющий собой смесь линейного полиэтилена низкой плотности с сополимером этилена и высшего олефина, функционализированную прививкой ненасыщенной дикарбоновой кислоты (производство Института механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, ТУ ВУ 400084698.170-2008), а также модифицированный

обработкой ПАВ Na<sup>+</sup>-монтмориллонит марки Cloisite 30B (Cl30B) производства Southern Clay Products Inc. (США). Свойства органоглины по данным производителя: средний размер частиц < 13 мкм, межплоскостное расстояние  $d_{001} = 1,84$  нм, концентрация воды [H<sub>2</sub>O] < 2 %, поверхностно-активных веществ [ПАВ] ≈ 30 %.

Обозначения композитов, соотношение компонентов в них и использованные технологии компаундирования приведены в табл. 1.

Как уже упоминалось, для получения композитов авторы использовали две технологии компаундирования: одностадийную и двухстадийную. Первую из них применяли для получения бинарных смесей ПА6/фПО (составы 1.2–1.4), а также однотипных составов 2.1–2.3 с добавкой 3,0 мас.% Cl30B.

Двухстадийное компаундирование использовали для осуществления преимущественной локализации Cl30B в фазе фПО. Для этого на первой стадии компаундирования органоглину определенной концентрации вводили в фПО для получения концентрата. На второй стадии компаундирования к ПА6 добавляли концентрат Cl30B в фПО в количестве, требуемом для получения составов 3.1–3.3, и производили реакционное смешение компонентов в экструзионном реакторе-смесителе, как и в [6], на базе двухшнекового экструдера TSSK-35/40 с однонаправленным вращением шнеков.

Перед компаундированием гранулят ПА6 предварительно высушивали до остаточной влажности не более 0,1 %. Органоглину сушили в вакууме непосредственно перед компаундированием при температуре 110 °С в течение 2 ч во избежание сорбции воды из воздуха при ее хранении. Температура материального цилиндра экструдера в основных смесительных секциях (IV–VIII) составляла 250 °С. Полученные полиамидные композиты высушивали при температуре 100 °С до остаточной влажности ≤ 0,12 % и использовали для определения реологических характеристик, а также получения экспериментальных образцов литьем под давлением на термопластавтомате EN-30 (Тайвань, объем впрыска 30 см<sup>3</sup>). Температура литья составляла 245 °С, литьевой формы – 40 °С.

Реологическое поведение расплавов анализируемых материалов оценивали по значениям показателя текучести расплава (ПТР), определяемого на приборе 5MPCA фирмы RAY-RAN TEST EQUIPMENT Ltd (Великобритания) в соответствии с ГОСТ 11645-73 при температуре 250 °С и нагрузке 21,6 Н (диаметр капилляра 2,095 мм, длительность выдержки расплава в плавильном цилиндре прибора 4 мин).

Испытания методом растяжения проводили на универсальной машине Instron 5567 (Великобритания) при скорости нагружения 50 мм/мин. Образцы представляли собой лопатки типа 1BA с размером шейки 45 × 5 × 2 мм в соответствии с ГОСТ 11260-2017.

Для испытаний методом ударного разрушения по Шарпи (ГОСТ 4647–2015) использовали бруски размером 80 × 10 × 4 мм с нанесенными на них острым и прямоугольным плоскими надрезами. Те же бруски с боковым надрезом применяли для испытаний на удар по ISO 179-1/1eA. Испытания проводили на маятниковом копре PIT550J (Shenzhen Wance Testing Machine Co. Ltd., КНР).

Т а б л и ц а 1. Составы исследованных материалов и технология их компаундирования  
T a b l e 1. Compositions of the studied materials and their technology of compounding

Состав	Технология компаундирования, используемые компоненты и их концентрации
<i>I. Одностадийное компаундирование (без добавки Cl30B)</i>	
1.1.	ПА6
1.2.	ПА6/фПО – 10 %
1.3.	ПА6/фПО – 30 %
1.4.	ПА6/фПО – 50 %
<i>II. Одностадийное компаундирование (одновременное ведение всех компонентов)</i>	
2.1.	(ПА6/фПО – 10 %/Cl30B – 3,0 %)
2.2.	(ПА6/фПО – 30 %/Cl30B – 3,0 %)
2.3.	(ПА6/фПО – 50 %/Cl30B – 3,0 %)
<i>III. Двухстадийное компаундирование (на первой стадии получали концентрат Cl30B в фПО, на второй вводили все компоненты)</i>	
3.1.	ПА6/(фПО – 10 %/Cl30B – 3,0 %)
3.2.	ПА6/(фПО – 30 %/Cl30B – 3,0 %)
3.3.	ПА6/(фПО – 50 %/Cl30B – 3,0 %)

П р и м е ч а н и е. В табл. 2–5 обозначения составов приняты в соответствии с табл. 1.

Т а б л и ц а 2. Показатели реологических и механических свойств исследованных материалов

Table 2. Characteristics of rheological and mechanical properties of the investigated materials

Состав	ПТР, г/10 мин	$\sigma_t$ , МПа	$\sigma_p$ , МПа	$\varepsilon_p$ , %
1.1	13,51	49,0	61,0	280,0
1.2	6,96	59,4	43,5	167,5
1.3	1,94	43,0	49,3	215,3
1.4	0,23	27,7	36,8	272,5
2.1	3,58	64,8	47,4	34,6
2.2	0,55	47,0	46,2	198,7
2.3	0,14	28,8	29,0	58,0
3.1	4,10	68,0	47,0	55,4
3.2	0,2	50,0	51,0	234,0
3.3	0,07	29,4	33,4	214,0

Примечание.  $\sigma_t$ ,  $\sigma_p$ ,  $\varepsilon_p$  – соответственно верхний предел текучести, прочность при разрыве, относительное удлинение при разрыве, определенные при испытаниях лопаток методом растяжения.

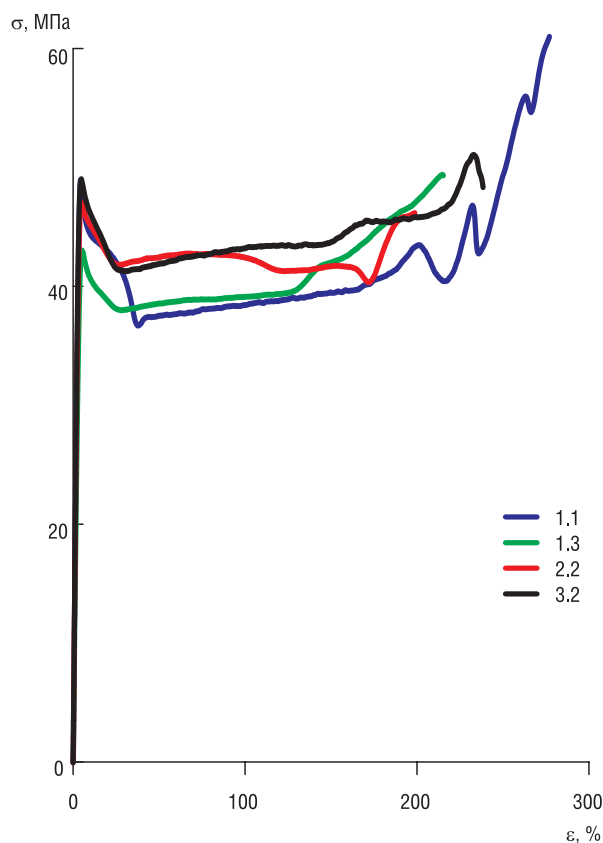


Рис. 1. Деформационные кривые исследуемых материалов (здесь и далее в рисунках обозначения кривых – составы согласно табл. 1)

Fig. 1. The deformation curves of the studied materials (hereinafter in the figures, curve designations – compositions according to table 1)

Рентгеноструктурный анализ (РСА) ПА6 композитов осуществляли на дифрактометре RDA-2000 (GNR Analytic Instruments, Италия) в интервале углов  $10\text{--}30^\circ$  (для анализа структуры ПА6 и фПО) при использовании  $\text{CuK}\alpha$ -излучения ( $\lambda = 0,154$  нм); шаг сканирования  $0,05^\circ$ ; время на точку 0,5 с; напряжение 40 кВ; ток 30 мА.

Для проведения термического анализа использовали синхронный термоанализатор STA 449 F3 Jupiter (NETZSCH-Gerätebau GmbH, Германия), совмещенный с ИК-Фурье спектрометром (BRUKER Optics, США). Термограммы снимали в токе азота при скорости нагрева  $4^\circ\text{C}/\text{мин}$ .

**Результаты и обсуждение.** В табл. 2 представлены данные о реологических характеристиках и механических свойствах исследуемых материалов, определенных при испытаниях лопаток методом растяжения. Уровень значений приведенных показателей свойств зависит от состава материалов и технологии их получения.

Следует отметить, что добавка  $\text{Si30B}$  в ПА6/фПО смеси снижает значения ПТР. Причем в случае двухстадийного компаундирования значения ПТР снижаются в большей степени, чем при одностадийном способе получения нанокompозитов. Одной из причин этого может быть интенсификация межфазных взаимодействий как между полимерными компонентами, так и нанонаполнителя с полимерными матрицами вследствие адсорбции макромолекул на наночастицах [7]. Кроме этого, можно предположить, что рост вязкости при двухстадийном компаундировании может быть связан с более активным протеканием процессов эксфолиации и интеркаляции, в результате чего улучшается степень распределения наночастиц слоистого силиката в объеме ПА6/фПО. Как известно [1, 8], уровень межфазных взаимодействий определяет свойства смесевых и наполненных композитов.

Согласно данным табл. 2 и рис. 1, компаундирование по двухстадийной технологии, предопределяющей преимущественную локализацию  $\text{Si30B}$  в фазе фПО, приводит, по сравнению с одностадийным методом, к росту значений предела текучести ( $\sigma_t$ ) и прочности при разрыве при равных соотношениях компонентов. Одновременно с этим составы, полученные по двухстадийной технологии,



обладают более высоким уровнем значений относительного удлинения при разрыве ( $\epsilon_p$ ) по сравнению с материалами, приготовленными одностадийным методом. Особенно выражен эффект роста данного показателя для материалов, полученных по двухстадийной технологии при содержании полиолефиновой фазы в диапазоне 30–50 мас.%. Так, для составов 3.2 и 3.3 значения  $\epsilon_p$  составляют 234 % и 214 % соответственно и приближаются к величине  $\epsilon_p$ , характерной для исходного ПА6.

Сравнение значений ударной вязкости исследуемых материалов, представленных в табл. 3, показало, что композиты, изготовленные по одностадийной технологии, в которых дисперсионную среду образует ПА6, независимо от типа надреза и способа испытаний обладают более высокой стойкостью к удару.

Лишь при повышении содержания фПО до 50 мас.%, когда в смесях ПА6/фПО происходит инверсия фаз, можно наблюдать более высокие значения ударной вязкости для состава, приготовленного по двухстадийной технологии (см. табл. 3). Видимо, при одностадийной технологии получения нанокомпозитов с преобладанием полиамидной фазы в смесях снижение интенсивности межфазных взаимодействий и степень диспергирования органоглины благоприятно сказывается на образовании и стабилизации менее однородной структурной морфологии смесей, обеспечивающей обычно более эффективное диссипирование энергии при ударном разрушении образцов [8].

Определенный интерес представляет анализ влияния последовательности введения органоглины в объем смесового композита ПА6/фПО на изменения его кристаллической структуры.

Как видно из рис. 2 и табл. 4, дифрактограммы исходного ПА6 характеризуются наличием интенсивного максимума при  $2\theta = 21,4^\circ$ .

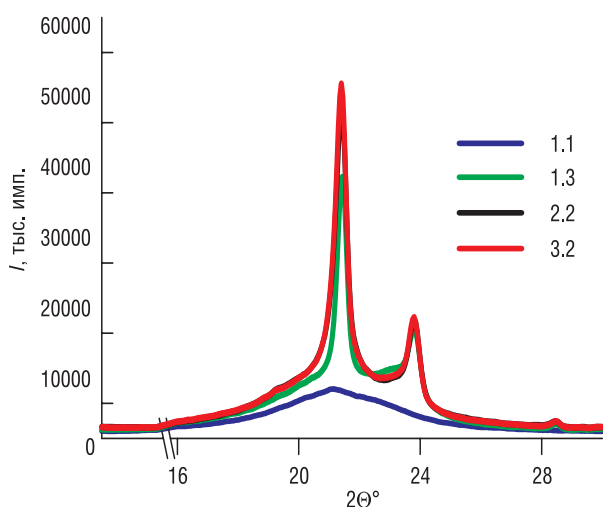


Рис. 2. Дифракционные кривые исходного ПА6 (1.1), а также смесовых композитов 1.3, 2.2 и 3.2

Fig. 2. Diffraction curves of the initial PA6 (1.1), as well as mixed composites 1.3, 2.2, and 3.2

Т а б л и ц а 3. Показатели ударопрочных свойств исследованных материалов

Table 3. Indicators of impact-resistant properties of the investigated materials

Состав	$a_{ш}$ , кДж/м <sup>2</sup>		$a_{ISO}$ , кДж/м <sup>2</sup>	$a_{ш}$ , кДж/м <sup>2</sup> , при -40 °С
	ОН	ПН		ОН
1.1	9,88	5,7	3,4	5,3
1.2	17,3	18,73	10,6	13,9
1.3	41,6	60,6	86,0	25,4
1.4	45,1	42,2	93,5	33,5
2.1.	12,9	11,03	4,4	8,6
2.2.	21,0	22,3	21,7	13,4
2.3.	39,4	43,0	69,6	8,1
3.1.	12,8	10,85	4,0	6,7
3.2.	17,4	17,9	11,4	12,0
3.3.	40,0	45,5	73,9	9,6

Примечание.  $a_{ш}$  – Ударная вязкость по Шарпи, ПН и ОН – соответственно прямоугольный и острый надрезы,  $a_{ISO}$  – ударная вязкость по ISO на образцах с боковым надрезом.

Т а б л и ц а 4. Интенсивность дифракционных максимумов на рентгенограммах ПА6 и смесовых композитов

Table 4. Intensity of the diffraction peaks on X-ray curves of PA6 and blend composites

Состав	Интенсивность пика (имп.) при угле дифракции $2\theta$	
	21,4°	23,8°
1.1.	7061	–
1.2.	14416	(перегиб) 6120,7
1.3.	37286	(перегиб) 15728
1.4.	70298	25097
2.1.	24038	4953
2.2.	47206	16890
2.3.	48868	15734
3.1.	32606	6194
3.2.	50551	17290
3.3.	57632	18597

При введении фПО в ПА6 на рентгенограммах фиксируется два четких узких пика при  $2\theta = 21,4^\circ$  и  $2\theta = 23,8^\circ$ . Причем интенсивность пика  $2\theta = 21,4^\circ$ , который характеризует  $\gamma$ -формы кристаллической модификации [11], в смесях ПА6/фПО гораздо выше, чем у исходного ПА6. Важно отметить, что в связи с наложением дифракционных пиков при  $2\theta = 21,4^\circ$  ПА6 и фПО можно судить лишь о суммарной кристалличности обеих фаз в смесях ПА6/фПО.

Интенсивности обоих пиков при  $2\theta = 21,4^\circ$  и  $23,8^\circ$  для смесей с равными соотношениями компонентов также сильно зависят от наличия органоглины и способа ее введения в объем ПА6/фПО смеси. Для всех композиций, полученных по двухстадийной технологии, интенсивности обоих пиков при  $2\theta = 21,4^\circ$  и  $23,8^\circ$  выше, чем для однотипных композитов, приготовленных одностадийным способом.

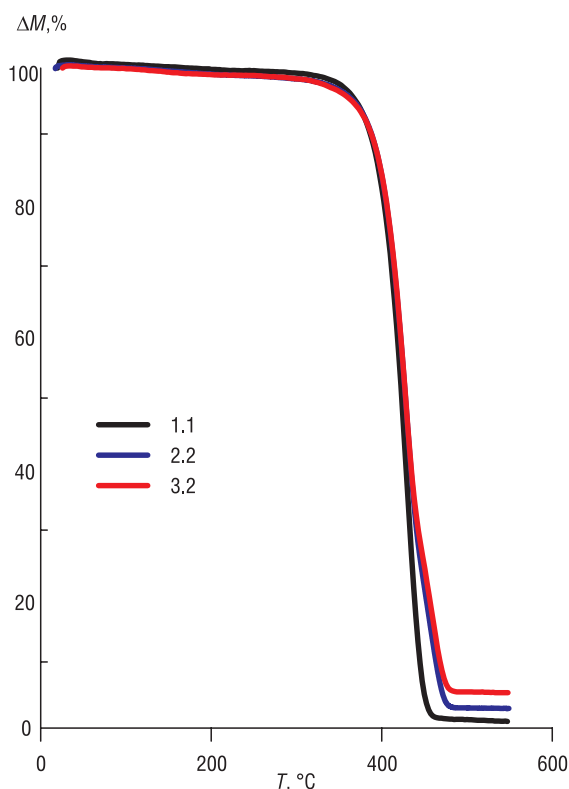


Рис. 3. ТГА кривые ПА6 (1.1) и смесевых композитов 2.2 и 3.2, содержащих органоглину С130В

Fig. 3. TGA curves of PA6 (1.1) and mixed composites 2.2 and 3.2 containing organoclay C130B

Т а б л и ц а 5. Данные дифференциально-термического анализа ПА6 и смесевых композитов, содержащих органоглину С130В

Table 5. Data of differential thermal analysis of PA6 and mixed composites containing organoclay C130B

Состав	$T_{нд}$ , °C	$T_5\%$ , °C	$T_{10\%}$ , °C	$T_{50\%}$ , °C	$T_{од}$ , °C	$\Delta M$ , %
1.1	373,3	369,5	386,6	423,0	457,0	99,72
2.2	383,5	367,0	383,5	427,8	473,3	97,00
3.2	379,1	365,1	387,8	428,0	478,0	94,97

П р и м е ч а н и е.  $T_{нд}$ ,  $T_5\%$ ,  $T_{10\%}$ ,  $T_{50\%}$ ,  $T_{од}$  – соответственно температура начала деструкции, потери 5%, 10%, 50% массы и окончания деструкции,  $\Delta M$  – потеря массы

Видимо, добавка С130В из концентрата при двухстадийном компаундировании повышает кристалличность как полиамидной, так и полиолефиновой фазы в смесях. Интересно, что во всех композитах, в которых присутствует органоглина и ПА6 образует дисперсную среду (содержание фПО  $\leq 30$  мас.%), величины пиков при  $2\theta = 21,4^\circ$  и  $23,8^\circ$  выше, чем для исходных ПА6/фПО смесей. Повышение содержания фПО до 50 мас.% приводит к снижению интенсивности дифракционных пиков при  $2\theta = 21,4^\circ$  и  $23,8^\circ$  в нанокompозитах по сравнению со смесью ПА6/фПО аналогичного состава, но не содержащую органоглину. Это может происходить вследствие более высокой вязкости расплава, характерной для составов 2.3, 3.3, чем для состава 1.3, интенсификации межфазных взаимодействий и кинетических затруднений при последующей кристаллизации [9].

Таким образом, рентгеноструктурный анализ подтверждает тот факт, что структура и комплекс технических характеристик ПА6/фПО композиций, в которых присутствует органоглина С130В, зависит от способа компаундирования.

На рис. 3 и в табл. 5 представлены данные дифференциально-термического анализа исходного ПА6 и ПА6/фПО композиций, содержащих органоглину С130В. Сопоставление кривых термогравиметрического анализа показало, что добавки С130В увеличивают термостабильность ПА6/фПО смеси по сравнению с исходным ПА6.

В отличие от ПА6 нанокompозиты деформируются с образованием коксового остатка. Причиной этого может быть то, что органоглина сама по себе обладает повышенной термостойкостью и способна создавать теплоизоляционный эффект [5].

**Заклучение.** Проведенные исследования показали, что одним из факторов, влияющих на структуру и свойства накомпозитов на основе ПА6/фПО смеси, является способ их получения. Введение органоглины С130В в состав ПА6/фПО смеси по двухстадийной технологии, базирующейся на использовании концентрата С130В в фПО, дает возможность получать накомпозиты с улучшенным сочетанием деформационно-прочностных свойств по сравнению с накомпозитами, приготовленными по одностадийной технологии. В то же время накомпозиты, полученные по одностадийной технологии, в которых дисперсионную среду образует ПА6, независимо от типа надреза и способа испытаний обладают более высокой стойкостью к удару, чем материалы, приготовленные двухстадийным способом. Это объясняется различиями в степени диспергирования нанонаполнителя и уровне межфазных взаимодействий между полимерными компонентами и наночастицами, вследствие чего изменяются кристалличность компонентов в смесях, а также комплекс их реологических и механических характеристик. Показано, что добавки органоглины С130В, независимо от способа ее введения, увеличивают термостабильность ПА6/фПО смесей по сравнению с исходным ПА6. Полученные результаты необходимо учитывать при реализации реальных технологий компаундирования при производстве накомпозитов.

### Список использованных источников

1. Utracki, L. A. History of commercial polymer alloys and blends (from a perspective of the patent literature) / L. A. Utracki // *Polym. Eng. Sci.* – 1995. – Vol. 35, № 1. – P. 2–17. <https://doi.org/10.1002/pen.760350103>
2. Песецкий, С.С. Смесевые полиамидные композиции и технологии их получения (обзор) / С.С. Песецкий, А.А. Богославский // *Материалы. Технологии. Инструменты.* – 1999. – № 2. – С. 27–38.
3. Jurkowski, B. Functionalized polyolefins and aliphatic polyamide blends: interphase interactions, rheology, and high elastic properties of melts / B. Jurkowski, S. S. Pesetskii // *Polyolefin Blends* / ed. D. Nwabunma and T. Kyu. – Wiley and Sons Inc. Hoboken, New Jersey, 2008. – Ch.18. – P. 527–555. <https://doi.org/10.1002/9780470199008.ch18>
4. Pesetskii, S. S. Polymer/Clay Nanocomposites Produced by Dispersing Layered Silicates in Thermoplastic Melts / S. S. Pesetskii, S. P. Bogdanovich, V. N. Aderikha // *Polymer Nanocomposites for Advanced Engineering and Military Applications* / ed. N. Ramdani. – IGI Global, USA, 2019. – Ch. 3. – P. 66–94. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7838-3.ch003>
5. Песецкий, С.С. Нанокompозиты, получаемые диспергированием слоистых силикатов в расплавах полимеров (обзор) / С.С. Песецкий, С.П. Богданович, Н.К. Мышкин // *Полимер. материалы и технологии.* – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 7–37.
6. Песецкий, С.С. Смесии алифатических полиамидов с функционализированными полиолефинами: межфазные взаимодействия, особенности реологического поведения расплавов, структуры и механических свойств / С.С. Песецкий, Ю.М. Кривогуз // *Докл. Нац. акад. наук Беларусии.* – 2018. – Т. 62, №4. – С. 480–487. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-4-480-487>
7. White, J.L. Rheological behavior of molten polymer blends and particle-filled melts / J.L. White // *Polymer Compatibility and Incompatibility: Principles and Practices* / ed. K. Sols. – New York: Harwood Academic Publishers, 1982. – 464 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-9213-0>
8. *Полимерные смеси* / под ред. Д. Пола, С. Ньюмена. – М.: Мир, 1981. – Т. 2. – 461 с.
9. Fornes, T.D. Crystallization behavior of nylon 6 nanocomposites / T.D. Fornes, D.R. Paul // *Polymer.* – 2003. – Vol. 44. – P. 3945–3961. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(03\)00344-6](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(03)00344-6)

### References

1. Utracki L. A. History of Commercial Polymer Alloys and Blends (From Perspective of the Patent Literature). *Polymer Engineering & Science*, 1995, vol. 35, no. 1, pp. 2–17. <https://doi.org/10.1002/pen.760350103>
2. Pesetskiy S. S., Bogoslavskiy A. A. Blended polyamide compositions and technologies for their production (review). *Materialy. Tekhnologii. Instrumenty* [Materials. Technologies. Tools], 1999, no. 2, pp. 27–38 (in Russian).
3. Jurkowski B., Pesetskii S.S. Functionalized polyolefins and aliphatic polyamide blends: interphase interactions, rheology, and high elastic properties of melts. Nwabunma D., Kyu T. (eds.). *Polyolefin Blends*. New Jersey, Wiley and Sons Inc. Hoboken, 2008, ch.18, pp. 527–555. <https://doi.org/10.1002/9780470199008.ch18>
4. Pesetskii S. S., Bogdanovich S. P., Aderikha V. N. Polymer/Clay Nanocomposites Produced by Dispersing Layered Silicates in Thermo-Plastic Melts. Ramdani N. (ed.). *Polymer Nanocomposites for Advanced Engineering and Military Applications*. IGI Global, USA, 2019, ch. 3, pp. 66–94. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7838-3.ch003>
5. Pesetskii S. S., Bogdanovich S. P., Myshkin N. K. Nanocomposites prepared by dispersing layered silicates in polymer melt (review). *Polimernye materialy i tehnologii* [Polymeric Materials and Technology], 2015, vol. 1, no. 1, pp. 7–37 (in Russian).
6. Pesetskii S. S., Krivoguz Yu. M. Blends of aliphatic polyamides with functionalized polyolefins: interphase interactions, features of the rheological behavior of melts, structure and mechanical properties. *Doklady Natsional'noi akademii*

*nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2018, vol. 62, no. 4, pp. 480–487 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-4-480-487>

7. White J. L. Rheological behavior of molten polymer blends and particle-filled melts. Sols K. (ed.) *Polymer Compatibility and Incompatibility: Principles and Practices*. Harword Academic Publishers. New York, 1982, pp. 413–441.

8. Paul D., Newman S. *Polymer blends. Vol. 2*. NY, Academic Press, 1978. 454 p.

9. Fornes T. D., Paul D. R. Crystallization behavior of nylon 6 nanocomposites. *Polymer*, 2003, vol. 44, pp. 3945–3961. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(03\)00344-6](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(03)00344-6)

### Информация об авторах

*Песецкий Степан Степанович* – член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом, Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси (ул. Кирова, 32а, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: [otdel5mpri@tut.by](mailto:otdel5mpri@tut.by). <https://orcid.org/0000-0001-6540-9526>

*Кривогуз Юрий Михайлович* – кандидат технических наук, доцент, заведующий сектором, Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси (ул. Кирова, 32а, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: [yurikriv@tut.by](mailto:yurikriv@tut.by). <https://orcid.org/0000-0002-1182-6938>

*Богданович Сергей Павлович* – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси (ул. Кирова, 32а, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: [sergiy@bk.ru](mailto:sergiy@bk.ru)

### Information about the authors

*Stepan S. Pesetskii* – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Engineering), Professor, Head of the Department, V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus (32a, Kirov Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: [otdel5mpri@tut.by](mailto:otdel5mpri@tut.by). <https://orcid.org/0000-0001-6540-9526>

*Yuri M. Krivoguz* – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Head of the Sector, V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus (32a, Kirov Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: [yurikriv@tut.by](mailto:yurikriv@tut.by). <https://orcid.org/0000-0002-1182-6938>

*Sergei P. Bogdanovich* – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher, V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus (32a, Kirov Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: [sergiy@bk.ru](mailto:sergiy@bk.ru)