

УДК 678.01:541.68

Физико-механические и термические свойства модифицированных диоксидом титана композитов на основе гидроксида алюминия и смеси полиэтиленов**Ф. А. Мустафаева, Н. Т. Кахраманов, И. А. Исмаилов**

Институт полимерных материалов Министерства науки и образования Азербайджанской Республики, AZ5004, Азербайджанская Республика, г. Сумгайыт, ул. С. Вургуна, 124

Аннотация. Приводятся результаты исследования физико-механических и термических свойств, модифицированных структурообразователем композитов на основе гидроксида алюминия и смеси полиэтилена высокой и низкой плотности. Изучены такие свойства полимерных композитов, как разрушающее напряжение, относительное удлинение, показатель текучести расплава, теплостойкость, термическая стабильность и термомеханика. Все композитные материалы были на основе модифицированных диоксидом титана (1 % масс.) смеси полиэтилена высокой и низкой плотности, взятых в соотношении 50/50. Количество гидроксида алюминия варьировали в пределах 1-30 % масс. На основе данных, полученных на приборе Канавца, построены кривые зависимости деформации от температуры, установлены закономерности изменения термомеханических кривых. Показано, что для всех изученных образцов с повышением температуры наблюдается переход из твердого в вязкотекучее состояние. Термическая стабильность оценивалась по данным термогравиметрического анализа.

Ключевые слова: полиэтилен низкой плотности, полиэтилен высокой плотности, полимерная смесь, структурообразователь, диоксид титана, гидроксид алюминия, антипирен.

✉ *Фатима Мустафаева, e-mail: mustafayevafatima@mail.ru*

Physical-Mechanical and Thermal Properties of Titanium Dioxide-Modified Composites Based on Aluminum Hydroxide and Polyethylene Mixture**Fatima A. Mustafayeva, Najaf T. Kakhramanov, Ismayil A. Ismayilov**

Institute of Polymer Materials of the Ministry of Science and Education, Republic of Azerbaijan (124, S. Vurgun St., Sumgait, AZ5004, Azerbaijan Republic)

Summary. The results of the study of the physical-mechanical and thermal properties of composites modified with a structure-forming agent based on aluminum hydroxide and a mixture of high and low density polyethylene are presented. The properties of polymer composites such as ultimate tensile strength, elongation at break, melt flow index, Vicat softening temperature, thermal stability and thermomechanics were studied. All composite materials were based on a 50/50 mixture of high and low density polyethylene modified with titanium dioxide (1 wt %). The amount of aluminum hydroxide varied within 1-30 wt %. On the basis of the data obtained on the Kanavets device, curves of the temperature-dependent deformation were constructed and the regularities of the changes in thermomechanical curves were established. It is shown that for all the studied samples, with increasing temperature, a transition from the solid to the viscous-flow state is observed. Thermal stability was evaluated according to thermogravimetric analysis.

Keywords: low density polyethylene, high density polyethylene, polymer blend, structure-forming agent, titanium dioxide, aluminum hydroxide, flame retardant.

✉ *Fatima Mustafayeva, e-mail: mustafayevafatima@mail.ru*

ВВЕДЕНИЕ

Воспламеняемость пластмасс представляет серьезную опасность для здоровья и безопасности человека [1, 2]. Воспламеняемость и дымообразование материала ограничивает возможности его использования в качестве строительных композитных материалов [2, 3]. Существует несколько методов снижения горючести полимерных материалов [4]: путем использования устойчивых к пламени материалов (огнезащитных покрытий); введением наполнителей, замедлителей горения или антипиренирующих составов; модификации полимерных материалов.

Антипирены – это химические соединения, вводимые в матрицу для удовлетворения широкого круга проблем по защите от возгорания. Неорганические гидроксиды составляют более 50 % антипиренов, реализуемых для этих целей [5]. Низкая токсичность и коррозия, а также слабое выделение дыма во время горения делают их привлекательной альтернативой к традиционным галогенсодержащим антипиренам для использования в огнезащитных полимерных материалах [6, 7]. Для разложения неорганических гидроксидов требуется значительное количество энергии (1.5 – 1.6 кДж/г) [5]. В процессе их разложения образуется большое количество воды, которая разбавляет концентрацию других газообразных продуктов разложения, снижает температуру пламени и тем самым уменьшает тепловой поток и разогрев субстрата.

Гидроксид алюминия является крупнейшим по объему антипиреном и остается таковым уже много лет. Его основное преимущество – нетоксичность. Он недорогой и прост в использовании антипирен, который используется в различных термопластах и терморезистивных материалах, включая ПЭ, ПВХ, ЭВА, ненасыщенные полиэфирные, акриловые, эпоксидные и фенольные смолы [8]. Однако для достижения адекватной огнестойкости требуется очень высокая загрузка (> 50 % масс.), что создает проблемы при их переработке и существенно снижает механические свойства композита [9, 10].

Ранее нами была установлена возможность улучшения физико-механических свойств композитов на основе смеси полиэтиленов, гидроксида алюминия и различных модифицирующих добавок [11, 12]. Целью данной работы являлось исследование влияния содержания структурообразователя – диоксида титана на основные физико-механические и термические свойства композитов на основе смеси полиэтиленов высокой и низкой плотности и гидроксида алюминия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов исследования были выбраны промышленный полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) и полиэтилен низкой плотности (ПЭНП). ПЭНП характеризуется следующими свойствами: разрушающее напряжение 15 МПа, относительное удлинение 764 %, показатель текучести расплава 8.9 г/10 мин. (при нагрузке 5 кг и температуре 190 °С). ПЭВП имеет следующие свойства: разрушающее напряжение 30 МПа, относительное удлинение 50 %, показатель текучести расплава 17.0 г/10 мин. (при нагрузке 5 кг и температуре 190 °С).

Наполнитель – $\text{Al}(\text{OH})_3$ гидроксид алюминия (ГОСТ 11841-76, ОКП 631887, перефасован ЗАО "ВЕКТОН"). Бесцветное твердое вещество, нерастворимое в воде, обладает амфотерными свойствами, входит в состав многих бокситов. Аморфный гидроксид алюминия имеет переменный состав $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. При нагревании выше 180 – 200 °С разлагается в зависимости от размера частиц.

В качестве структурообразователя использовали диоксид титана TiO_2 – амфотерный оксид четырехвалентного титана (ГОСТ 9808-84, ОКП 26 3421 2070 00, перефасован ЗАО "ВЕКТОН"). Неорганическое мелкодисперсное кристаллическое вещество с температурой плавления 1843 °С.

Композитные материалы на основе смеси ПЭНП/ПЭВП (50/50), с фиксированным количеством (1 % масс.) диоксида титана и 1, 3, 5, 10, 20, 30 % масс. содержанием гидроксида алюминия, получали смешиванием компонентов на лабораторных вальцах при температуре 150 °С в пределах 8 – 10 минут. Смешение компонентов на вальцах проводилось поэтапно. В расплав полимерной смеси добавляли структурообразователь, а после этого наполнитель. При температуре прессования, равном 160 – 170 °С, формовали пластины, из которых вырубали соответствующие образцы для проведения испытания. Выбор 50/50 соотношения полимерной смеси ПЭНП/ПЭВП был обусловлен тем, что именно при использовании равного количества компонентов смеси достигается их наилучшая технологическая смешиваемость и взаимная диспергируемость.

Разрушающее напряжение (σ_p , МПа) и относительное удлинение (ε , %) определяли в соответствии с ГОСТ 11262-80 (погрешность 5.0 отн. %).

Показатель текучести расплава исследуемых композитов определяли на капиллярном реометре марки MELT FLOW TESTER, CEAST MF50 (INSTRON, Италия) при температуре 190 °C и нагрузке 5 кг (погрешность 5.0 отн. %).

Температуру плавления и термическую стабильность определяли методом дифференциально-термического анализа (ДТА) и термогравиметрического анализа (ТГА) на дериватографе Q-1500 D фирмы MOM (Венгрия) системы Паулик, Паулик, и Эрдеи, в потоке воздуха (погрешность ± 0.5 °C). Скорость нагрева 5 °/мин. Навеска образцов 100 мг, чувствительность каналов TG-100, DTG-1mV, DTA-250 μ V, T/V-500/5, тигель Pt.

Термомеханические свойства определяли на приборе Канавца (погрешность 3.0 – 5.0 отн. %). Для проведения исследований в специальной пресс-форме прессовали таблетки диаметром 24 мм, высотой 6 мм, с гладкой поверхностью. Деформация измерялась при последовательно изменяющихся температурах (Т) при нагрузке 0.5 кг/см² и скорости нагрева 50 °C/час. На основе полученных экспериментальных данных были построены термомеханические кривые $\Delta = f(T)$ зависимости полимерных композитов.

Теплостойкость определяли на аппарате фирмы VEB Thüringer Industriewerk Rauenstein по методу Вика в соответствии с ГОСТ 15088-83 (погрешность ± 0.5 °C).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приводится зависимость разрушающего напряжения, относительного удлинения и ПТР композитов на основе ПЭНП/ПЭВП от количества TiO₂. Анализ данных показывает, что введение структурообразователя приводит к увеличению текучести расплава полимерной смеси. Введение 1.0 % масс TiO₂ является наиболее оптимальным количеством, так как способствует одновременному улучшению разрушающего напряжения и относительного удлинения образцов. Такое заметное возрастание этих показателей свидетельствует в пользу того, что введение структурообразователя – диоксида титана способствует формированию гетерогенных центров зародышеобразования.

Таблица 1. Влияние количества структурообразователя – диоксида титана на физико-механические свойства композитов на основе ПЭНП/ПЭВП

Table 1. Influence of structure-forming agent – titanium dioxide amount on the physical-mechanical properties of composites based on LDPE/HDPE

№	Состав композитов, % масс. Composition of composites, % wt.	Разрушающее напряжение, МПа Ultimate Tensile Strength, MPa	Относительное удлинение, % Elongation at break, %	ПТР, г/10 мин. MFR, g/10 min.
1	ПЭНП/ПЭВП	22	56	11.784
2	ПЭНП/ПЭВП + 0.2 % TiO ₂	16	24	13.360
3	ПЭНП/ПЭВП + 0.5 % TiO ₂	20	32	15.138
4	ПЭНП/ПЭВП + 1 % TiO ₂	24	73	12.654
5	ПЭНП/ПЭВП + 2 % TiO ₂	17	31	13.811

Одновременный рост кристаллических образований в процессе кристаллизации на гомогенных и гетерогенных центрах зародышеобразования способствует получению мелкосферолитных образований, которые, как известно, способствуют улучшению деформационно-прочностных свойств композиционных материалов [13, 14]. Мелкосферолитовая морфология может демонстрировать более высокую прочность и удлинение при разрыве, чем крупносферолитовая морфология [15]. Это объясняется структурной лабильностью мелких сферолитов, успевающих перестраиваться во время одноосной деформации, тогда как крупносферолитные образования имеют более дефектную структуру и начинают разрушаться под действием нагрузки [16, 17].

В табл. 2 представлены результаты исследования влияния количества вводимого гидроксида алюминия на физико-механические свойства композитов на основе ПЭНП/ПЭВП+1 % TiO₂. При относительно больших количествах наполнителя агломерация частиц в межсферолитных областях привело к ухудшению физико-механических свойств композитов. Введение 5 – 20 % масс. гидроксида алюминия увеличивает ПТР композита, что позволяет проводить переработку в более мягком режиме. При этом не исключается проявление синергического эффекта, сопровождающееся увеличением ПТР композитов.

Таблица 2. Влияние количества гидроксида алюминия на физико-механические свойства композитов на основе ПЭНП/ПЭВП+1 % TiO₂+Al(OH)₃

Table 2. Influence of aluminum hydroxide amount on the physical-mechanical properties of composites based on LDPE/HDPE +1 % TiO₂+Al(OH)₃

№	Состав композитов, % масс. Composition of composites, % wt.	Разрушающее напряжение, МПа, Ultimate Tensile Strength, MPa	Относительное удлинение, %, Elongation at break, %	ПТР, г/10 мин. MFR, g/10 min.
1	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO ₂	24	73	12.654
2	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO ₂ +1% Al(OH) ₃	20	40	10.888
3	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO ₂ +3% Al(OH) ₃	20	40	10.430
4	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO ₂ +5% Al(OH) ₃	17	28	13.357
5	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO ₂ +10% Al(OH) ₃	17	27	13.888
6	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO ₂ +20% Al(OH) ₃	14	26	13.690
7	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO ₂ +30% Al(OH) ₃	14	24	10.570

Результаты дифференциального термического анализа (ДТА) композитов независимо от содержания наполнителя показали один пик плавления (рис. 1). Исключение составляли образцы с содержанием ПЭНП/ПЭВП+1 % TiO₂+30 % Al(OH)₃. Согласно данным, приведенным в табл. 3, введение диоксида титана способствует повышению теплостойкости по Вика, что, по видимости, может быть связано с образованием гетерогенных центров зародышеобразования. Кроме того, сам наполнитель (Al(OH)₃) оказывает влияние на повышение теплостойкости образцов.

Таблица 3. Влияние количества гидроксида алюминия на термические показатели композитов на основе ПЭНП/ПЭВП+1 % TiO₂+Al(OH)₃

Table 3. Influence of aluminum hydroxide amount on the thermal performance of composites based on LDPE / HDPE +1% TiO₂+Al(OH)₃

№	Состав композитов, % масс. Composition of composites, % wt.	Теплостойкость, °С Heat resistance, °С	Температура плавления, °С Melting point, °С
1	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO ₂ +1% Al(OH) ₃	122	125
2	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO ₂ +3% Al(OH) ₃	122	125
3	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO ₂ +5% Al(OH) ₃	123	125
4	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO ₂ +10% Al(OH) ₃	124	125
5	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO ₂ +20% Al(OH) ₃	124	125
6	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO ₂ +30% Al(OH) ₃	127	129

Как видно из табл. 3 в образце с 30%-ным содержанием гидроксида алюминия теплостойкость и температура плавления самые высокие и соответственно равны 127 и 129 °С. Сдвиг температуры в область более высоких значений теплостойкости и температуры плавления можно объяснить с упрочнением надмолекулярной структуры композитов и формированием в присутствии TiO₂ межсферолитных образований.

Для определения термической стабильности был проведен термогравиметрический анализ (ТГА) композитов, по результату которого были найдены температуры T₁₀, T₂₀, T₅₀, при которых образцы теряют соответственно 10, 20, 50 % массы. Согласно данным табл. 4 термическое разложение композитов повышается с ростом содержания гидроксида

алюминия. Например, все данные по термодеструкции композита ПЭНП/ПЭВП+1 % TiO_2 +20 % $\text{Al}(\text{OH})_3$ (рис. 1, *b*) ниже, чем у образца с 1 % масс. содержанием $\text{Al}(\text{OH})_3$ (рис. 1, *a*) в составе смеси. Это указывает на то, что в присутствии гидроксида алюминия заметно ускоряется процесс термического разложения композита, который ускоряется с ростом его количества. Следовательно, показатели термического разложения композитов смещаются в сторону более низких температур. Интерпретируется это тем, что гидроксид алюминия имеет сравнительно низкую термическую стабильность, которая при указанной температуре и выше способствует увеличению скорости потери массы.

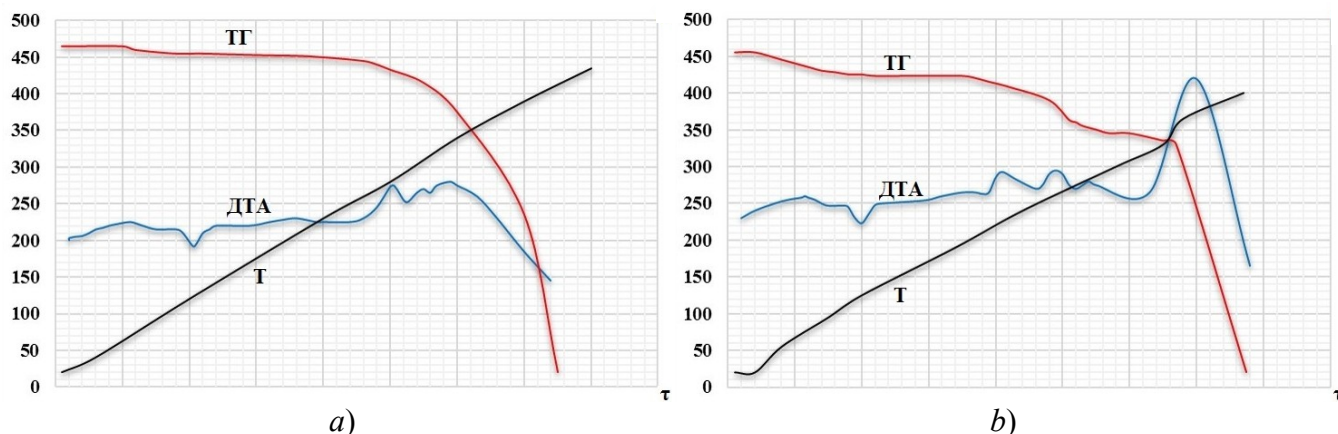


Рис. 1. Дериватографический анализ композитов на основе ПЭНП/ПЭВП+1% масс. TiO_2 +1% масс. $\text{Al}(\text{OH})_3$ (*a*) и ПЭНП/ПЭВП+1% масс. TiO_2 +20% масс. $\text{Al}(\text{OH})_3$ (*b*)

Fig. 1. Derivatographic analysis of composites based on LDPE/HDPE+1 wt. % TiO_2 +1 wt. % $\text{Al}(\text{OH})_3$ (*a*) and LDPE/HDPE+1 wt. % TiO_2 +20 wt. % $\text{Al}(\text{OH})_3$ (*b*)

Таблица 4. Влияние количества гидроксида алюминия на термостойкость композитов на основе ПЭНП/ПЭВП+1% TiO_2 + $\text{Al}(\text{OH})_3$

Table 4. Influence of aluminum hydroxide amount on the thermal stability of composites based on LDPE/HDPE+1% TiO_2 + $\text{Al}(\text{OH})_3$

№	Состав композитов, % масс. Composition of composites, % wt.	T_{10} , °C	T_{20} , °C	T_{50} , °C
1	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO_2 +1% $\text{Al}(\text{OH})_3$	305	340	395
2	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO_2 +3% $\text{Al}(\text{OH})_3$	310	345	395
3	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO_2 +5% $\text{Al}(\text{OH})_3$	290	330	390
4	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO_2 +10% $\text{Al}(\text{OH})_3$	265	315	390
5	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO_2 +20% $\text{Al}(\text{OH})_3$	225	270	380
6	ПЭНП/ПЭВП+1% TiO_2 +30% $\text{Al}(\text{OH})_3$	245	275	375

Термомеханические свойства рассматриваемых полимерных материалов исследовали на приборе Канавца. На рис. 2 приведены кривые зависимости деформации от температуры и количества (% масс.) TiO_2 в композитах на основе полимерной смеси ПЭНП/ПЭВП. Выше температур размягчения наблюдается интенсивное протекание деформации образца. Для всех изученных образцов с повышением температуры наблюдается переход из твердого в вязкотекучее состояние, проявляющийся в виде излома на термомеханической кривой.

Согласно кривым, приведенным на рис. 2, фазовый переход первого рода происходит в узком температурном пространстве. Как видно из рис. 2, разница в значениях температуры размягчения композитов в сравнении с исходной полимерной смесью и модифицированными композитами монотонно возрастает с увеличением количества TiO_2 . При добавлении TiO_2 температура перехода в вязкотекучее состояние смещается в сторону относительно более низких температур по сравнению с исходной ПЭНП/ПЭВП полимерной смесью.

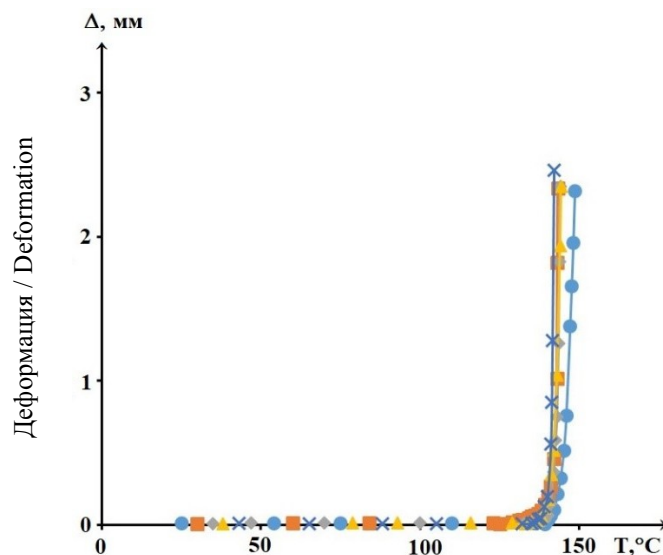


Рис. 2. Влияние концентрации (% масс.) TiO_2 на характер изменения термомеханических кривых композиций на основе ПЭВП/ПЭНП+ TiO_2 : ● исходный ПЭНП/ПЭВП; ■ 0.2 %; ◆ 0.5 %; ▲ 1 %; × 2 %

Fig. 2. Effect of TiO_2 amount (wt. %) on the behavior of thermomechanical curves of compositions based on HDPE/LDPE+ TiO_2 : ● initial HDPE/LDPE; ■ 0.2 %; ◆ 0.5 %; ▲ 1 %; × 2 %

Влияние количества гидроксида алюминия на деформируемость модифицированных TiO_2 композитов на основе смеси полиэтиленов показано на рис. 3. Небольшая деформация в наполненных гидроксидом алюминия композитах начинает проявляться примерно после температуры, равном $138\text{ }^\circ\text{C}$. Деформирование происходит более интенсивно при переходе рассматриваемых композитов в вязкотекучее состояние. Из термомеханических кривых композитов на основе $\text{Al}(\text{OH})_3$ видно, что в температурном интервале $140\text{--}148\text{ }^\circ\text{C}$ происходит размягчение образца с возрастанием деформации приблизительно на 10 %.

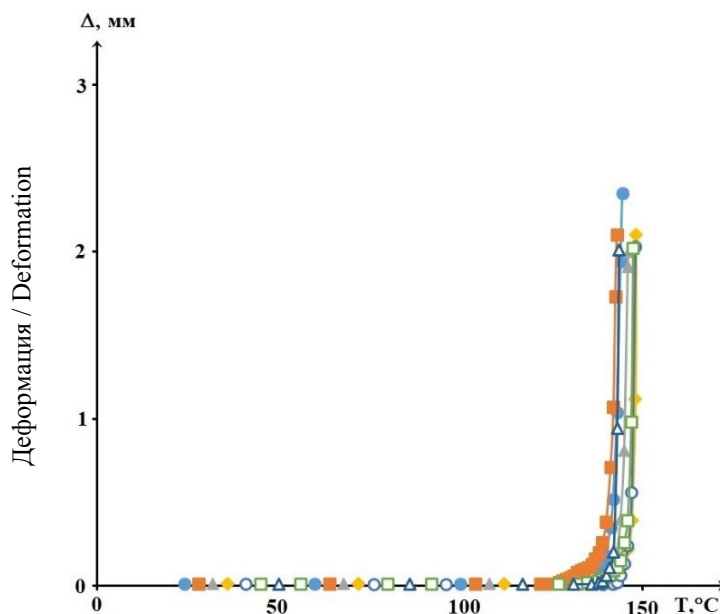


Рис. 3. Влияние содержания гидроксида алюминия (% масс.) на характер изменения термомеханических кривых композиций на основе ПЭНП/ПЭВП+1% TiO_2 :

● исходный ПЭНП/ПЭВП+1 % TiO_2 ; ■ 1 %; ▲ 3 %; ◆ 5 %; ○ 10 %; □ 20 %; Δ 30 %

Fig. 3. Influence of aluminum hydroxide content (% wt.) on the nature of the change in thermomechanical curves of compositions based on LDPE/HDPE +1% TiO_2 :

● initial LDPE/HDPE+1 % TiO_2 ; ■ 1 %; ▲ 3 %; ◆ 5 %; ○ 10 %; □ 20 %; Δ 30 %

Анализ кривых показывает, что наибольший рост температуры размягчения композитов происходит в образцах, содержащих до 10 % масс. гидроксида алюминия. Снижение температур размягчения при относительно высоких концентрациях гидроксида алюминия обусловлено повышением пористости полимерной композиции и плохим адгезионным взаимодействием полимера с поверхностью гидроксида алюминия. Также фиксируемое изменение деформации отчасти может быть обусловлено выделением воды, что согласуется с результатами ТГ анализа (рис. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании выше изложенного можно прийти к следующему выводу:

1. Введение диоксида титана способствует изменению структуры матрицы (ПЭНП/ПЭВП), сопровождающееся значительным улучшением комплекса их физико-механических свойств.

2. Исследовано влияние структурообразователя на термомеханические свойства полиэтиленовой смеси. Показано, что модификация полимерной смеси диоксидом титана приводит к повышению деформируемости композиционного материала под действием температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shrivastava A. 4 - Additives for Plastics // Introduction to Plastics Engineering, 2018, pp. 111-141. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39500-7.00004-6>
2. Hwang E.-H., Choi D.-M. Experimental study on smoke production and smoke generation in thermoplastic resins based on PP, PMMA, and PVC // Fire Science and Engineering, 2020, vol. 34(3), pp. 1-7. <https://doi.org/10.7731/KIFSE.e530b3a2>
3. Fan M., Naughton A., Bregulla J. 14 - Fire performance of natural fibre composites in construction // Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction, 2017, pp. 375-404. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00014-5>
4. Кодолов В. И. Замедлители горения полимерных материалов. М.: Химия, 1980. 274 с.
5. Janssens M. L. Chapter 13 - Material Flammability // Handbook of Environmental Degradation of Materials (Third Edition), 2018, pp. 255-272. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52472-8.00013-7>
6. Fu S., Song P., Liu X. 19 - Thermal and flame retardancy properties of thermoplastics/natural fiber biocomposites // Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction, 2017, pp. 479-508. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00019-4>
7. Shen J., Liang J., Lin X., Lin H., Yu J., Wang S. The flame-retardant mechanisms and preparation of polymer composites and their potential application in construction engineering // Polymers, 2021, vol. 14(1), 82. <https://doi.org/10.3390/polym14010082>
8. Innes A., Innes J. 10 - Flame Retardants // Handbook of Environmental Degradation of Materials (Second Edition), 2012, pp. 309-335. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-3455-3.00010-9>
9. Ratna D. 3 - Thermal properties of thermosets // Thermosets, 2012, pp. 62-91. <https://doi.org/10.1533/9780857097637.1.62>

REFERENCES

1. Shrivastava A. 4 - Additives for Plastics. *Introduction to Plastics Engineering*, 2018, pp. 111-141. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39500-7.00004-6>
2. Hwang E.-H., Choi D.-M. Experimental study on smoke production and smoke generation in thermoplastic resins based on PP, PMMA, and PVC. *Fire Science and Engineering*, 2020, vol. 34(3), pp. 1-7. <https://doi.org/10.7731/KIFSE.e530b3a2>
3. Fan M., Naughton A., Bregulla J. 14 - Fire performance of natural fibre composites in construction. *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction*, 2017, pp. 375-404. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00014-5>
4. Kodolov V. I. *Zamedliteli gorenija polimernykh materialov* [Flame retardants for polymeric materials]. Moscow: Khimiya Publ., 1980. 274 p.
5. Janssens M. L. Chapter 13 - Material Flammability. *Handbook of Environmental Degradation of Materials (Third Edition)*, 2018, pp. 255-272. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52472-8.00013-7>
6. Fu S., Song P., Liu X. 19 - Thermal and flame retardancy properties of thermoplastics/natural fiber biocomposites. *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction*, 2017, pp. 479-508. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00019-4>
7. Shen J., Liang J., Lin X., Lin H., Yu J., Wang S. The flame-retardant mechanisms and preparation of polymer composites and their potential application in construction engineering. *Polymers*, 2021, vol. 14(1), 82. <https://doi.org/10.3390/polym14010082>
8. Innes A., Innes J. 10 - Flame Retardants. *Handbook of Environmental Degradation of Materials (Second Edition)*, 2012, pp. 309-335. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-3455-3.00010-9>
9. Ratna D. 3 - Thermal properties of thermosets. *Thermosets*, 2012, pp. 62-91. <https://doi.org/10.1533/9780857097637.1.62>

10. Tang T. T., Liu X. Y., Hao S. X. Mechanism and preparation methods of inorganic fire-retardant // *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 785-786, pp. 757-760. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.785-786.757>
11. Mustafayeva F. A., Kakhramanov N. T., Koseva N. S. Physicomechanical properties of composites based on the mixture of polyethylenes and the system multi-functional modifier-flame retardant // *New Materials, Compounds and Applications*, 2020, vol. 4, no. 1, pp. 28-37.
12. Mustafayeva F. A., Kakhramanov N. T., Ismailov I. A. The effect of compatibilizer on the properties of a highly filled composite based on aluminium hydroxide and a mixture of high- and low- density polyethylenes // *Inorganic Materials: Applied Research*, 2022, vol. 13, no. 1, pp. 225-230. <https://doi.org/10.1134/S2075113322010282>
13. Allahverdiyeva Kh. V. Kinetic regularities of crystallization of copper-containing composites based on high density polyethylene and the graft copolymer // *Processes of Petrochemistry and Oil Refining (PPOR)*, 2021, vol. 22, no. 3, pp. 392-398.
14. Gasimova G. Sh. Some features of research the structure and properties of polymer composite materials // *Processes of Petrochemistry and Oil Refining (PPOR)*, 2020, vol. 21, no. 1, pp. 60-70. <https://www.ppor.az/jpdf/7-Gasimova-1-2020.pdf>
15. Fischer C., Drummer D. Crystallization and mechanical properties of polypropylene under processing-relevant cooling conditions with respect to isothermal holding time // *International Journal of Polymer Science*, 2016, vol. 2016, 5450708. <https://doi.org/10.1155/2016/5450708>
16. Сутягин В. М., Бондалетова Л. И. Химия и физика полимеров: Учебное пособие. Томск: ТПУ, 2003, 208 с.
17. Данилова С. Н., Абакунова Е. В., Слепцова С. А., Иванов А. Н., Чо Д.-Х. Полимерные композиционные материалы на основе СВМПЭ, наполненные модифицированным монтмориллонитом // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2019, Т. 24, № 2. С. 126-132. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-12>
10. Tang T. T., Liu X. Y., Hao S. X. Mechanism and preparation methods of inorganic fire-retardant. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 785-786, pp. 757-760. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.785-786.757>
11. Mustafayeva F. A., Kakhramanov N. T., Koseva N. S. Physicomechanical properties of composites based on the mixture of polyethylenes and the system multi-functional modifier-flame retardant. *New Materials, Compounds and Applications*, 2020, vol. 4, no. 1, pp. 28-37.
12. Mustafayeva F. A., Kakhramanov N. T., Ismailov I. A. The effect of compatibilizer on the properties of a highly filled composite based on aluminium hydroxide and a mixture of high- and low- density polyethylenes. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2022, vol. 13, no. 1, pp. 225-230. <https://doi.org/10.1134/S2075113322010282>
13. Allahverdiyeva Kh. V. Kinetic regularities of crystallization of copper-containing composites based on high density polyethylene and the graft copolymer. *Processes of Petrochemistry and Oil Refining (PPOR)*, 2021, vol. 22, no. 3, pp. 392-398.
14. Gasimova G. Sh. Some features of research the structure and properties of polymer composite materials. *Processes of Petrochemistry and Oil Refining (PPOR)*, 2020, vol. 21, no. 1, pp. 60-70. <https://www.ppor.az/jpdf/7-Gasimova-1-2020.pdf>
15. Fischer C., Drummer D. Crystallization and mechanical properties of polypropylene under processing-relevant cooling conditions with respect to isothermal holding time. *International Journal of Polymer Science*, 2016, vol. 2016, 5450708. <https://doi.org/10.1155/2016/5450708>
16. Sutyagin V. M., Bondaletova L. I. *Himiya i fizika polimerov* [Chemistry and Physics of Polymers]. *Uchebnoe posobie*. Tomsk: TPU Publ., 2003. 208 p.
17. Danilova S. N., Abakunova E. V., Slepцова S. A., Ivanov A. N., Cho D.-Kh. Polimernye kompozitsionnye materialy na osnove SVMPE, napolnennye modifitsirovannym montmorillonitom [Polymer composite materials based on UHMWPE filled with modified montmorillonite]. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktika* [Natural Resources of the Arctic and Subarctic], 2019, vol. 24, no. 2, pp. 126-132. (In Russian) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-12>

Поступила 16.01.2023; после доработки 30.01.2023; принята к опубликованию 10.02.2023
Received 16 January 16, 2023; received in revised form January 30, 2023; accepted February 10, 2023

Информация об авторах

Мустафаева Фатима Алимурза кызы, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, Институт полимерных материалов МНУ АР, Сумгайыт, Азербайджанская Республика, e-mail: mustafayevafatima@mail.ru

Какхраманов Наджаф Тофик оглы, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией, Институт полимерных материалов МНУ АР, Сумгайыт, Азербайджанская Республика

Исмаилов Исмаил Алиш оглы, кандидат химических наук, доцент, заведующий структурным подразделением, Институт полимерных материалов МНУ АР, Сумгайыт, Азербайджанская Республика

Information about the authors

Fatima Alimirza gizi Mustafayeva, Cand. Sci. (Chem.), Leading Researcher, Institute of Polymer Materials of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Sumgait, Azerbaijan Republic, e-mail: mustafayevafatima@mail.ru

Kakhramanov Najaf Tofig oglu, Doct. Sci. (Chem.), Professor, Head of Laboratory, Institute of Polymer Materials of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Sumgait, Azerbaijan Republic

Ismayilov Ismayil Alish oglu, Cand. Sci. (Chem.), Assistant Professor, Head of Department, Institute of Polymer Materials of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Sumgait, Azerbaijan Republic