

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-3-26-31>

УДК 620.22; 678.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИАМИДА 6, МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛИФАТИЧЕСКИМ ПОЛИКЕТОНОМ В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРУЗИОННОГО КОМПАУНДИРОВАНИЯ

Ю. М. КРИВОГУЗ⁺, В. Н. УСОВА

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

Цель статьи — анализ температурных зависимостей динамических механических свойств полиамида 6 (ПА6), модифицированного алифатическим поликетонном (АПК) в двухшнековом экструдере при разных частотах вращения шнеков ($v_{ш}$).

Модифицирование ПА6 добавкой АПК производилось в двухшнековом экструдере «TSSK-35/40». Температура в основных зонах смешения материального цилиндра экструдера составляла 225 °С. Частота вращения шнеков при этом изменялась в пределах от 150 мин⁻¹ до 550 мин⁻¹. Концентрация АПК в объеме ПА6 составляла 3,0 мас. %.

Показано, что введение АПК в количестве 3 мас. % в объем ПА6 приводит к существенному росту динамического модуля упругости (E') по сравнению с исходным ПА6 во всем исследуемом интервале температур от минус 150 °С до плюс 200 °С. Частота вращения шнеков оказывает заметное влияние на температурные зависимости динамического модуля упругости для модифицированного ПА6. Характер зависимостей изменяется в разных температурных интервалах на термограмме ДМА. В области отрицательных температур наиболее высокие значения E' характерны для ПА6, модифицированного 3 мас. % АПК при частоте вращения шнеков, равной 150 мин⁻¹, и при температуре минус 70 °С они стремятся к величине, равной 2,71 ГПа. В области положительных температур наиболее высокие значения E' характерны для ПА6, модифицированного АПК при $v_{ш} = 300$ мин⁻¹. Наблюдаемые изменения в характере температурных зависимостей динамического модуля упругости для модифицированного ПА6 от частоты вращения шнеков могут быть объяснены с позиций энергии межмолекулярного взаимодействия и структурной организации результирующих материалов. Влияние частоты вращения шнеков на интенсивность межмолекулярных взаимодействий и формирование структуры в модифицированном ПА6 подтверждается анализом температурных зависимостей тангенса угла механических потерь ($tg\delta$).

Ключевые слова: полиамид 6, алифатический поликетон, композит, динамический механический анализ, динамический модуль упругости, тангенс угла механических потерь.

STUDY OF DYNAMIC MECHANICAL PROPERTIES OF POLYAMIDE 6 MODIFIED WITH ALIPHATIC POLYKETONE DURING EXTRUSION COMPOUNDING

YU. M. KRIVOGUZ⁺, V. N. USOVA

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

The purpose of the article is to analyze the temperature dependences of the dynamic mechanical prop-

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: yurikriv@tut.by

erties of polyamide 6 (PA6) modified with aliphatic polyketone (APK) in a twin-screw extruder at different screw rotation frequencies (v_s).

Modification of PA6 with the addition of APK was carried out in a TSSK-35/40 twin-screw extruder. The temperature in the main mixing zones of the extruder material cylinder was 225 °C. The screw rotation speed v_s varied in the range from 150 rpm to 550 rpm. The concentration of APK in the volume of PA6 was 3.0 wt.%.

It has been shown that the introduction of APK in an amount of 3 wt.% into the volume of PA6 leads to a significant increase in the dynamic modulus of elasticity (E') compared to the original PA6 in the entire studied temperature range from –150 °C to +200 °C. The screw rotation speed has a significant impact on the temperature dependences of the dynamic modulus of elasticity for modified PA6. The nature of these dependences changes in different temperature intervals on the DMA thermogram. In the region of negative temperatures, the highest values of E' are characteristic of PA6 modified with 3 wt.% APK at a screw rotation speed of 150 min^{-1} , and at a temperature of –70 °C they tend to a value equal to 2.71 GPa. In the region of positive temperatures, the highest values of E' are characteristic of PA6 modified with 3 wt.% APK at $v_s = 300 \text{ min}^{-1}$. The observed changes in the nature of the temperature dependences of the dynamic modulus of elasticity for modified PA6 on the screw rotation speed can be explained from the standpoint of the energy of intermolecular interaction and the structural organization of the resulting materials. The influence of screw rotation speed on the intensity of intermolecular interactions and structure formation in modified PA6 is confirmed by analysis of the temperature dependences of the mechanical loss tangent ($\text{tg}\delta$).

Keywords: polyamide 6, aliphatic polyketone, composite, dynamic mechanical analysis, dynamic modulus of elasticity, mechanical loss tangent.

Поступила в редакцию 25.07.2024

© Ю. М. Кривогуз, В. Н. Усова, 2024

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: polmattex@gmail.com
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Образец цитирования:

Кривогуз Ю. М., Усова В. Н. Исследование динамических механических свойств полиамида 6, модифицированного алифатическим поликетонном в процессе экструзионного компаундирования // Полимерные материалы и технологии. 2024. Т. 10, № 3. С. 26–31. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-3-26-31>

Citation sample:

Krivoгуз Yu. M., Usova V. N. Issledovanie dinamicheskikh mekhanicheskikh svoystv poliamida 6, modifitsirovanogo alifaticheskim poliketonom v protsesse ekstruzionnogo kompaundirovaniya [Study of dynamic mechanical properties of polyamide 6 modified with aliphatic polyketone during extrusion compounding]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2024, vol. 10, no. 3, pp. 26–31. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-3-26-31>

Литература

1. Page I. B. Polyamides as engineering thermoplastic materials. Shawbury : Rapra Technology, 2000. 144 p.
2. Tuna B., Benkreira H. Chain extension of recycled PA6 // Polym. Eng. Sci., 2018, vol. 58, is. 7, pp. 1037–1042. doi: 10.1002/pen.24663
3. Песецкий С. С., Богославский А. А. Смесевые полиамидные композиции и технологии их получения (обзор) // Материалы. Технологии. Инструменты. 1999. № 2. С. 27–38.
4. Белов Г. П., Новикова Е. В. Поликетоны – чередующиеся сополимеры монооксида // Успехи химии. 2004. Т. 73, № 3. С. 292–319.
5. Hong Gu Kwon, Jungyeon Park, Namho Kim, Shichoon Lee, Jaeyoon Shim, Mincheol Lee, Younggon Son. High impact strength of ali-

- phatic polyketone/polyamide 6 blends induced by a chemical reaction // *Journal of Elastomers and Plastics*, 2023, vol. 55, no. 4. doi: 10.1177/00952443231158781
6. Кривогуз Ю. М., Усова В. Н., Коваль В. Н. Бинарные смеси полиамида 6 с алифатическим поликетонам: анализ совместимости полимерных компонентов // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2024. Т. 68, № 2. С. 170–176. doi: 10.29235/1561-8323-2024-68-2-170-176
 7. Кривогуз Ю. М., Усова В. Н. Влияние технологических факторов на реологические и теплофизические свойства полиамида 6, модифицированного добавкой алифатического поликетона // Полимерные материалы и технологии. 2024. Т. 10, № 1, С. 80–85. doi: 10.32864/polymmattech-2024-10-1-80-85
 8. Бартнев Г. М., Бартнева А. Б. Релаксационная спектроскопия полимеров. Москва : Химия, 1992. 383 с.
 9. 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.
 10. Кочергин Ю. С., Попова О. С., Григоренко Т. И. Влияние дисперсных минеральных наполнителей на динамические механические свойства эпоксидных композиционных материалов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 8. С. 20–29. doi: 10.12737/article_5968b44f84dbf3.04058283

References

1. Page I. B. *Polyamides as engineering thermoplastic materials*. Shawbury : Rapra Technology, 2000. 144 p.
2. Tuna B., Benkreira H. Chain extension of recycled PA6. *Polym. Eng. Sci.*, 2018, vol. 58, is. 7, pp. 1037–1042. doi: 10.1002/pen.24663
3. Pesetskiy C. C., Bogoslavskiy A. A. Smesevye poliamidnye kompozitsii i tekhnologii ikh polucheniya (obzor) [Blended polyamide compositions and technologies for their production (review)]. *Materialy. Tekhnologii. Instrumenty* [Materials. Technologies. Tools], 1999, no. 2, pp. 27–38.
4. Belov G. P., Novikova E. V. Poliketony – chereduyushchiesya sopolimery monooksida [Polyketones – alternating copolymers of monoxide]. *Uspekhi khimii* [Russian Chemical Reviews], 2004, vol. 73, no. 3, pp. 292–319.
5. Hong Gu Kwon, Jungyeon Park, Namho Kim, Shichoon Lee, Jaeyoon Shim, Mincheol Lee, Younggon Son. High impact strength of aliphatic polyketone/polyamide 6 blends induced by a chemical reaction. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2023, vol. 55, no. 4. doi: 10.1177/00952443231158781
6. Krivoguz Yu. M., Usova V. N., Koval' V. N. Binarnye smesi poliamida 6 s alifaticeskim poliketonom: analiz sovmestimosti polimernykh komponentov [Binary blends of polyamide 6 with aliphatic polyketone: the compatibility analysis of polymer components]. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2024, vol. 68, no. 2, pp. 170–176. doi: 10.29235/1561-8323-2024-68-2-170-176
7. Krivoguz Yu. M., Usova V. N. Vliyaniye tekhnologicheskikh faktorov na reologicheskie i teplofizicheskie svoystva poliamida 6, modifitsirovannogo dobavkoy alifaticeskogo poliketona [The influence of technological factors on the rheological and thermophysical properties of polyamide 6 modified with the addition of aliphatic polyketone]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2024, vol. 10, no. 1, pp. 80–85. doi: 10.32864/polymmattech-2024-10-1-80-85
8. Bartnev G. M., Bartneva A. B. *Relaksatsionnaya spektroskopiya polimerov* [Relaxation spectroscopy of polymers]. Moscow : Khimiya Publ., 1992. 383 p.
9. Perepetchko I. I. Vliyaniye vzaimodeystviya mezhdu komponentami na dinamicheskie vyazko-uprugie svoystva dvukhkomponentnykh 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.
10. Kochergin Yu. S., Popova O. S., Grigorenko T. I. Vliyaniye dispersnykh mineral'nykh napolniteley na dinamicheskie mekhanicheskie svoystva epoksidnykh kompozitsionnykh materialov [Influence of disperse mineral fillers on dynamic mechanical properties of epoxy composite materials]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova* [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov], 2017, no. 8, pp. 20–29. doi: 10.12737/article_5968b44f84dbf3.04058283