

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-69-76>

УДК 541.64:678.742.2

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИОЛЕФИНОВ И БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ

Д. Л. ПОДОБЕД¹⁺, С. В. ЗОТОВ², В. М. ШАПОВАЛОВ²

¹Филиал «Институт профессионального образования» Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, проспект Речицкий, 35а, 246023, г. Гомель, Беларусь

²Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь

В работе проанализирована проблема переработки вторичных полиолефинов и отмечены закономерности снижения показателей их прочности с каждым новым этапом переработки. Особое внимание уделено возможности комбинации различных видов полиолефинов в композите с учетом их совместимости, технологичности и стоимостных показателей.

Цель работы — исследование комплекса свойств полимерных композитов на основе вторичных полиолефинов, а также их смесей и бентонитовой глины как перспективного структурообразующего наполнителя.

Установлено, что для смеси вторичных полиолефинов и диспергированного в планетарной мельнице бентонита, модифицированного кремнийорганической жидкостью и гудроном соапстока, разрушающее напряжение при растяжении, по сравнению с исходным композитом, увеличивается в 1,5–2,0 раза. Плато практически неизменных значений прочности композита находится в диапазоне содержания модифицированного бентонита 2,5–4,5 мас.%, что, вероятно, указывает на формирование в этих условиях более однородной структуры композиционной системы. Выдвинуто предположение о том, что при дисперсности менее 40 мкм до 42,5 мас.% частиц бентонита от общего количества введенного в композицию этого наполнителя активируется межмолекулярное взаимодействие на границе раздела «полимер–наполнитель». Рассмотрен механизм повышения прочностных характеристик композитов с модифицированным бентонитом, обусловленный комплексом адгезионных взаимодействий и физико-химических превращений на межфазных границах.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, вторичные полиолефины и их смеси, модифицирование, бентонитовая глина, прочностные свойства, рециклинг.

PHYSICAL AND MECHANICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES BASED ON SECONDARY POLYOLEFINS AND BENTONITE CLAY

D. L. PODOBED¹⁺, S. V. ZOTOV², V. M. SHAPOVALOV²

¹Institute of Professional Education of the University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Rechitsky Avenue, 35a, 246035, Gomel, Belarus

²V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

The paper analyzes the problem of processing waste polyolefins and notes the patterns of decreasing their strength with each new stage of processing. Special attention is paid to the possibility of combining different types of polyolefins in a composite, taking into account their compatibility, manufacturability and cost indicators.

The purpose of this work is to study the properties complex of polymer composites based on recycled

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

polyolefins, as well as their mixtures and bentonite clay as a promising structure-forming filler.

It is shown that for a mixture of secondary polyolefins and bentonite dispersed in a planetary mill, modified with organosilicon liquid and soapstock tar, the destructive tensile stress increases by 1.5–2.0 times compared to the initial composite. The plateau of practically unchanged composite strength values is in the range of modified bentonite content of 2.5–4.5 wt.%, which probably indicates the formation of a more homogeneous structure of the composite system under these conditions. It is assumed, that with a dispersion of less than 40 μm up to 42.5 wt.% of bentonite particles from the total amount of this filler introduced into composition, the intermolecular interaction activates at the polymer-filler interface. The mechanism of increasing the strength characteristics of composites with modified bentonite, which is caused by a complex of adhesive interactions and physico-chemical transformations at the interphase boundaries, is considered.

Keywords: polymer composite material, waste polyolefins and their mixtures, modification, bentonite clay, strength properties, recycling.

Поступила в редакцию 25.07.2022

© Д. Л. Подобед, С. В. Зотов, В. М. Шаповалов, 2022

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:

Подобед Д. Л., Зотов С. В., Шаповалов В. М. Физико-механические и технологические свойства полимерных композитов на основе вторичных полиолефинов и бентонитовой глины // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 4. С. 69–76. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-69-76>

Citation sample:

Podobed D. L., Zotov S. V., Shapovalov V. M. Fiziko-mekhanicheskie i tekhnologicheskie svoystva polimernykh kompozitov na osnove vtorychnykh poliolefinov i bentonitovoy gliny [Physical and mechanical and technological properties of polymer composites based on secondary polyolefins and bentonite clay]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2022, vol. 8, no. 4, pp. 69–76. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-69-76>

Литература

1. Липик В. Т., Прокопчук Н. Р. Технология сортировки бытовых полимерных отходов // Экология и промышленность России. 2005. № 4. С. 11–13.
2. Жантасов М. К., Орынбасаров А. К., Камалов Д., Калменов М. У. Технологические аспекты достижения совместимости компонент в композиционном материале // Научные труды ЮКГУ им. М. Ауэзова. 2017. № 1 (40). С. 34–39.
3. Подобед Д. Л., Шаповалов В. М. Улучшение эксплуатационных свойств композиционных материалов на основе вторичных полиолефинов с использованием дисперсных наполнителей и антипиреновых добавок // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2020. Т. 10, № 2. С. 6–13.
4. Ивановский С. К., Ишкватова А. Р., Трифонова К. В. Технологические и термодинамические аспекты получения молекулярных полимерных композиций // Успехи современного естествознания. 2014. № 12–2. С. 92–94.
5. Polymer composite materials: from macro, micro to nanoscale : selected, peer reviewed papers from the Conference on Multiphase Polymers and Polymer Composites Systems: Macro to Nano Scales, June 7-10, 2011, Paris, France / edited by Abderrahim Boudenne. Switzerland : Trans Tech Publications., 2012. 300 p.
6. Козлов Г. В. Структура и свойства дисперсно-наполненных полимерных нанокомпозитов // Успехи физических наук. 2015. Т. 185, № 1. С. 35–64. doi: 10.3367/UFNr.0185.201501c.0035
7. Липик В. Т., Прокопчук Н. Р. Выбор способа регенерации составляющих из сложных отходов поливинилхлорида // Экология и промышленность России. 2007. № 6. С. 8–10.
8. Ревяко М. М., Прокопчук Н. Р. Теоретические основы переработки полимеров. Минск : БГТУ, 2009. 305 с.
9. Песецкий С. С., Кривогуз Ю. М. Смеси алифатических полиамидов с функционализированными полиолефинами: межфазные взаимо-

- действия, особенности реологического поведения расплавов, структуры и механических свойств // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2018. Т. 62, № 4. С. 480–487. doi: 10.29235/1561-8323-2018-62-4-480-487
10. Заикин А. Е. Совместимость полимеров в присутствии нанонаполнителей // Вестник Технологического университета. 2020. Т. 23, № 3. С. 53–66.
 11. Лифшиц Е. М. Избранные труды / под ред. Л. П. Питаевского и Ю. Г. Рудого. М.: Физматлит, 2004. 648 с.
 12. Пинчук Л. С., Зотов С. А., Гольдаде В. А., Виноградов А. В., Охлопкова А. А., Слепцова С. А. Поляризационная модель упрочнения термопластов, содержащих ультрадисперсные неорганические наполнители // Журнал технической физики. 2000. Т. 70, вып. 2. С. 38–42.
 13. Песецкий С. С., Кривогуз Ю. М. Функционализация полиолефинов: тенденции и перспективы исследований // Полимерные материалы и технологии. 2018. Т. 4, № 2. С. 5.
 14. Песецкий С. С., Мышкин Н. К. Полимерные композиты многофункционального назначения: перспективы разработок и применения в Беларуси // Полимерные материалы и технологии. 2016. Т. 2, № 4. С. 6–29.
 15. Ольхов Ю. А., Новиков Г. Ф., Ольхова О. М., Песецкий С. С. Термомеханический анализ молекулярно-надмолекулярного строения полиэтиленовой матрицы в силикатсодержащем нанокompозите // Техника машиностроения. 2008. № 3(67). С. 31–47.
 16. Песецкий С. С. Гибридное микро- и нанонаполнение конструкционных пластиков: синергизм армирующего действия // Полимерные материалы и технологии. 2015. Т. 1, № 2. С. 5.
 17. Песецкий С. С., Богданович С. П., Мышкин Н. К. Нанокompозиты, получаемые диспергированием слоистых силикатов в расплавах полимеров (обзор) // Полимерные материалы и технологии. 2015. Т. 1, № 1. С. 7–37.
 18. Данилова С. Н., Охлопкова А. А., Песецкий С. С., Миронова С. Н., Саввинова О. Р., Спиридонов А. М. Исследование физико-механических и триботехнических свойств сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифицированного органоглиной // Полимерные материалы и технологии. 2018. Т. 4, № 3. С. 57–65.
 19. Песецкий С. С. Локализация наночастиц в смесях несовместимых полимеров // Полимерные материалы и технологии. 2019. Т. 5, № 3. С. 5. doi: 10.32864/polymmattech-2019-5-3-5-5
 20. Кахраманов Н. Т., Байрамова И. В., Аллахвердиева Х. В., Намазлы У. В., Песецкий С. С. Свойства и термомеханические характеристики нанокompозитов и их вулканизатов на основе сополимера этилена с бутиленом и природными минералами // Композиты и наноструктуры. 2020. Т. 12, № 3(47). С. 107–113. doi: 10.36236/1999-7590-2020-12-3-107-113
 21. Песецкий С. С., Богданович С. П., Кривогуз Ю. М., Кузнецова Ю. С. Влияние локализации органоглины на особенности структуры и свойства смесей полиамида 6 с функционализированными полиолефинами // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2020. Т. 64, № 3. С. 361–370. doi: 10.29235/1561-8323-2020-64-3-361-370.

References

1. Lipik V. T., Prokopchuk N. R. Tekhnologiya sortirovki byto-vykh polimernykh otkhodov [Technology of sorting of household polymer waste]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2005, no. 4, pp. 11–13.
2. Zhantasov M. K., Orynbasarov A. K., Kamalov D., Kalmenov M. U. Tekhnologicheskie aspekty dostizheniya sovmestimosti komponent v kompozitsionnom materiale [Technological aspects of achieving component compatibility in a composite material]. *Nauchnye trudy YuKGU im. M. Auezova* [Transactions of M. Auezov SKSU], 2017, no. 1 (40), pp. 34–39.
3. Podobed D. L., Shapovalov V. M. Uluchshenie ekspluatatsi-onnykh svoystv kompozitsionnykh materialov na osnove vto-richnykh poliolefinov s ispol'zovaniem dispersnykh napolniteley i antipirenykh dobavok [Improving the performance properties of composite materials based on secondary polyolefins using dispersed fillers and flame retardants]. *Vestnik Grodnenskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Yanki Kupaly. Seriya 6. Tekhnika* [Bulletin of the Yanka Kupala State University of Grodno. Ser. 6. Technics], 2020, vol. 10, no. 2, pp. 6–13.
4. Ivanovskiy S. K., Ishkuvatova A. R., Trifonova K. V. Tekhnologicheskie i termodinamicheskie aspekty polucheniya mo-lekulyarnykh polimernykh kompozitsiy [Technological and thermodynamic aspects of obtaining molecular polymer compositions]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2014, no. 12-2, pp. 92–94.
5. *Polymer composite materials: from macro, micro to nanoscale : selected, peer reviewed papers from the Conference on Multi-phase Polymers and Polymer Composites Systems: Macro to Nano Scales, June 7-10, 2011, Paris, France*. Edited by Abderrahim Boudenne. Switzerland : Trans Tech Publications., 2012. 300 p.
6. Kozlov G. V. Struktura i svoystva dispersno-napolnennykh polimernykh nanokompозитов [Structure and properties of dispersed-filled polymer nanocomposites]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)], 2015, vol. 185, no. 1, pp. 35–64. doi: 10.3367/UFNr.0185.201501c.0035
7. Lipik V. T., Prokopchuk N. R. Vybora sposoba regeneratsii sostavlyayushchikh iz slozhnykh otkhodov polivinilkhlорida [Technology of sorting of household polymer waste]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2007, no. 6, pp. 8–10.
8. Revyako M. M., Prokopchuk N. R. *Teoreticheskie osnovy pererabotki polimerov* [Theoretical foundations of polymer processing]. Minsk : BGTU Publ., 2009. 305 p.
9. Pesetskiy S. S., Krivoguz Yu. M. Smesi alifaticeskikh poliamidov s funktsionalizirovannymi poliolefinami: mezhfaznye vzaimodeystviya, osobennosti reologicheskogo povedeniya rasplavov, struktury i mekhanicheskikh svoystv [Mixtures of aliphatic polyamides with functionalized polyolefins: interphase interactions, features of rheological behavior of melts, structure and mechanical properties]. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2018, vol. 62, no. 4, pp. 480–487. doi: 10.29235/1561-8323-2018-62-4-480-487
10. Zaikin A. E. Sovmestimost' polimerov v prisutstvii nano-napolniteley [Compatibility of polymers in the presence of nanofillers]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2020, vol. 23, no. 3, pp. 53–66.
11. Lifshits E. M. *Izbrannye trudy* [Selected works]. Eds. L. P. Pitaevskiy, Yu. G. Rudoy. Moscow : Fizmatlit Publ., 2004. 648 p.
12. Pинчук Л. С., Зотов С. А., Гольдаде В. А., Виноградов А. В., Охлопкова А. А., Слепцова С. А. Поляризационная модель упрочнения термопластов, содержащих ультрадисперсные неорганические наполнители [Polarization model of hardening of thermoplastics containing ultrafine inorganic fillers]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki* [Journal of Applied Physics], 2000, vol. 70, is. 2, pp. 38–42.
13. Pesetskiy S. S., Krivoguz Yu. M. Funktsionalizatsiya poliolefinov: tendentsii i perspektivy issledovaniya [Functionalization of polyolefins: trends and prospects of research]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2018, vol. 4, no. 2, pp. 5.
14. Pesetskiy S. S., Myshkin N. K. Polimernye kompozity mnogofunktsional'nogo naznacheniya: perspektivy razrabotok i primeneniya v Belarusi [Multifunctional polymer composites: prospects for development and application in Belarus]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2016, vol. 2, no. 4, pp. 6–29.
15. Ol'khov Yu. A., Novikov G. F., Ol'khova O. M., Pesetskiy S. S. Termomekhanicheskiy analiz molekulyarno-nadmolekulyarnogo stroeniya polietilenovoy matritsy v selikatsoderzhashchem nanokompозите [Thermomechanical analysis of the molecular-supramolecular structure of a polyethylene matrix in a silicate-containing nanocomposite]. *Tekhnika mashinostroeniya* [Machinery engineering], 2008, no. 3(67), pp. 31–47.
16. Pesetskiy S. S. Gибридное микро- и нанонаполнение кон-струкционныkh plastikov: sinergizm armiruyushchego deystviya [Hybrid micro- and

- nano-filling of structural plastics: synergism of reinforcing action]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2015, vol. 1, no. 2, pp. 5.
17. Pesetskiy S. S., Bogdanovich S. P., Myshkin N. K. Nanokom-pozity, poluchaemye dispergirovaniem sloistyykh silikatov v rasplavakh polimerov (obzor) [Nanocomposites obtained by dispersion of layered silicates in polymer melts (review)]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2015, vol. 1, no 1, pp. 7–37.
 18. Danilova S. N., Okhlopkova A. A., Pesetskiy S. S., Mironova S. N., Savvinova O. R., Spiridonov A. M. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh i tribotekhnicheskikh svoystv sverkhvy-sokomolekulyarnogo polietilena, modifitsirovannogo orga-noglinoy [Investigation of physico-mechanical and tribotechnical properties of ultrahigh molecular weight polyethylene modified with organogline]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2018, vol. 4, no. 3, pp. 57–65.
 19. Pesetskiy S. S. Lokalizatsiya nanochastits v smesyakh nesovmestimyykh polimerov [Localization of nanoparticles in mixtures of incompatible polymers]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2019, vol. 5, no. 3, pp. 5. doi: 10.32864/polymmattech-2019-5-3-5-5.
 20. Kakhramanov N. T., Bayramova I. V., Allakhverdieva Kh. V., Namazly U. V., Pesetskiy S. S. Svoystva i termodeforma-tsionnye kharakteristiki nanokompozitov i ikh vulkanizatsiy na osnove sopolimera etilena s butilenom i prirodnyimi mineralami [Properties and thermal deformation characteristics of nanocomposites and their vulcanizates based on ethylene copolymer with butylene and natural minerals]. *Kompozity i nanostrukturny* [Composites and nanostructures], 2020, vol. 12, no. 3(47), pp. 107–113. doi: 10.36236/1999-7590-2020-12-3-107-113
 21. Pesetskiy S. S., Bogdanovich S. P., Krivoguz Yu. M., Kuzne-tsova Yu. S. Vliyanie lokalizatsii organogliny na osobennosti struktury i svoystva smesey poliamida 6 s funktsiona-lizirovannymi poliolefinami [The effect of organoglycan localization on the structure and properties of mixtures of polyamide 6 with functionalized polyolefins]. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus], 2020, vol. 64, no. 3, pp. 361–370. doi: 10.29235/1561-8323-2020-64-3-361-370
-