

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-3-80-87>

УДК 678.664:67.08

РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦЕЛЕВОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВТОРИЧНОГО ПОЛИУРЕТАНА

А. А. ТИМОФЕЕНКО⁺, В. М. ШАПОВАЛОВ

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

Вторичная переработка отходов полиуретанов является актуальной задачей, так как позволяет не только сократить загрязнение окружающей среды, но и увеличить коэффициент использования дорогостоящих и не производимых в Беларуси сырьевых ресурсов. Цель работы — исследование полимерных композиций на основе отходов полиуретана, полученных путем целевого модифицирования полимерной матрицы, с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками.

В работе представлена технологическая схема получения композиционных материалов на основе смеси отходов полиуретанов обувных предприятий и термопластичного полиуретана, содержащих технологические добавки и модификаторы: аэросил, отходы коврового производства, древесную муку, стеарат цинка, вазелиновое масло. Изучено реологическое поведение расплава полиуретанов, пористость композитов, их физико-механические характеристики, износостойкость.

Показано, что существует технологическая возможность получения композитов со стабильным уровнем свойств. Например, прочность при растяжении находится в диапазоне 6,0–7,5 МПа. При 3-кратной переработке уменьшается количество и размеры остаточных пор. Введение частиц аэросила позволяет повысить прочностные характеристики на 18–27%, твердость — на 5–8%, снизить абразивный износ в 2 раза. Однако, при этом наблюдается снижение величины относительного удлинения при разрыве на 17–30%. Установлено оптимальное содержание аэросила 0,2–0,5 мас.%. Добавка отходов коврового производства снижает стабильность физико-механических характеристик. Введение до 5% древесной муки позволяет улучшить прочностные свойства композиции, снизить абразивный износ на 20–40%. Таким образом показано, что модифицирование отходов полиуретанов, характеризующихся высокой степенью структурной дефектности, должно носить комплексный характер. Применяя комбинации целевых модифицирующих добавок, можно сохранить и улучшить качество готовых изделий на основе вторичных полиуретанов.

Ключевые слова: полиуретаны, отходы, рециклинг, композиционные материалы, целевые модифицирующие добавки.

THE RECIPE AND TECHNOLOGY ASPECTS OF THE TARGETED MODIFYING OF POLYURETHANE WASTE

A. A. TIMOFEENKO⁺, V. M. SHAPOVALOV

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

Recycling of polyurethane waste is an urgent task, as it allows not only to reduce environmental pollution, but also to increase the utilization rate of expensive and non-produced raw materials in Belarus. The aim of the work is to obtain and study polymer compositions with improved physical, mechanical and operational characteristics obtained on the polyurethane waste basis of by targeted modifying of the polymer matrix.

The paper presents a technological scheme for the production of composite materials based on a mix-

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: timoshenko13@gmail.com

ture of polyurethane waste from shoe enterprises and thermoplastic polyurethane containing technological additives and modifiers: aerosil, carpet production waste, wood flour, zinc stearate, vaseline oil. The rheological behavior of the polyurethane melt, the porosity of composites, their physical and mechanical characteristics, and wear resistance are studied.

It is shown that there is a technological possibility of composites obtaining with a stable level of properties. For example, the tensile strength is in the range of 6.0–7.5 MPa. With 3-fold processing, the number and size of residual pores decreases. The introduction of aerosil particles allows to increase the strength characteristics by 18–27%, hardness by 5–8%, reduce abrasive wear by 2 times. However, at the same time, there is a decrease in the value of the relative elongation by 17–30%. The optimal content of aerosil is 0.2–0.5 wt.%. The filling of carpet production waste reduces the stability of physical and mechanical characteristics. The filling up to 5% of wood flour allows you to preserve the strength properties of the composition and reduce abrasive wear by 20–40%. Thus, the modifying of polyurethane waste, characterized by a high degree of structural defects, should be comprehensive. It is possible to preserve and improve the quality of finished products based on secondary polyurethanes using combinations of target modifying additives.

Keywords: polyurethane, waste, recycling, composite materials, modifying additives.

Поступила в редакцию 07.07.2021

© А. А. Тимофеенко, В. М. Шаповалов, 2021

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:

Тимофеенко А. А., Шаповалов В. М. Рецептурно-технологические аспекты целевого модифицирования вторичного полиуретана // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 3. С. 80–87. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-3-80-87>

Citation sample:

Timofeenko A. A., Shapovalov V. M. Retsepturno-tekhnologicheskie aspekty tselevogo modifitsirovaniya vtovichnogo poliuretana [The recipe and technology aspects of the targeted modifying of polyurethane waste]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 3, pp. 80–87. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-3-80-87>

Литература

1. Мирный М. Мировой рынок полиуретана составит \$74 млрд к 2022 году // MPlast.by: информационно-аналитический портал. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://mplast.by/novosti/2016-02-22-mirovoy-rynok-poliuretana-sostavit-74-mlrd-k-2022-godu/> (дата обращения: 21.08.2019).
2. Шаповалов В. М., Гольдаде В. А., Зотов С. В., Овчинников К. В., Буркин А. Н., Соколова Н. М., Борозна В. Д., Радюк А. Н. Перспективные материалы для деталей низа обуви // Тезисы докладов Международной научной конференции «Полимерные композиты и трибология (ПОЛИКОМТРИБ-2017)». Гомель : ИММС НАН Беларуси, 2017. С. 106.
3. Базунова М. В., Прочухан Ю. А. Способы утилизации отходов полимеров // Вестник Башкирского университета. 2008. Т. 13, № 4. С. 875–885.
4. Зайнуллин Х. Н., Абдрахманов Р. Ф., Ибатуллин У. Г., Миниғазимов И. Н., Миниғазимов Н. С. Обращение с отходами производства и потребления. Уфа : Диалог, 2005. 292 с.
5. Латыш Е. Статистика мирового производства и потребления полимеров по данным ЕЭК. 2015 // MPlast.by: информационно-аналитический портал. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://mplast.by/novosti/2015-08-11-statistika-mirovogo-proizvodstva-i-potrebleniya-polimerov-po-dannym-eek/> (дата обращения: 02.11.2020).
6. Авиллов А. К. Анализ роста полимерных отходов в республике Беларусь и странах мира // 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР : тезисы докладов, Минск, 22–26 апреля 2019 г. Минск, 2019. С. 406.

7. Володина Д. А., Азарова С. В., Перегудина Е. В. Рециклинг отходов пластмасс // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 535–537.
8. Ивановский С. К., Бахаева А. Н., Жерякова К. В., Ишкватова А. Р. К вопросу переработки полимерных композиционных материалов // Успехи современного естествознания. 2014. № 12-5. С. 592–595.
9. Тимофеев А. А., Радюк А. Н., Шаповалов В. М., Буркин А. Н., Зотов С. В. Отходы полиуретанов: проблемы и перспективы рециклинга // Нефтехимия-2019 : материалы II Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 16–18 сентября 2019 г. Минск : БГТУ, 2019. С. 172–175.
10. Буркин А. Н., Матвеев К. С., Смелков В. К., Солтовец Г. Н. Обувные материалы из отходов пенополиуретанов. Витебск : ВГТУ, 2001. 173 с.
11. Simon D., Borreguero A.M., de Lucas A., Gutierrez C., Rodriguez J. F. Sustainable polyurethanes: chemical. Recycling to get it // Environmental chemistry of pollutants and wastes / eds.: Jiménez E., Cabanas B., Lefebvre G. Berlin : Springer, 2015, pp. 229–260.
12. Datta J., Wloch M. Recycling of polyurethanes // Polyurethane Polymers: Blends and Interpenetrating Polymer Networks / eds.: Thomas S., Datta J., Reghunathan A., Haponiuk J. Amsterdam : Elsevier, 2017, pp. 323–358.
13. Тимошенко В. В., Шаповалов В. М., Таврогинская М. Г. Дисперсные наполнители для термопластов (обзор) // Материалы, технологии, инструменты. 2007. Т. 12, № 3. С. 16–26.
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. Ершова О. В., Ивановский С. К., Чупрова Л. В., Бахаева А. Н. Современные композиционные материалы на основе полимерной матрицы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 4-1. С. 14–18.
16. Кочнев А. М., Галибеев С. С. Модификация полимеров. Казань, 2008. 533 с.
17. Ксенофонтов М. А., Островская Л. Е., Бобкова Е. Ю., Васильева В. С., Павлюкевич Т. Г. Межфазные взаимодействия пенополиуретановых систем с неорганическими наполнителями // Полимерные материалы и технологии. 2016. Т. 2, № 2. С. 49–53.

References

1. Mirnyy M. Mirovoy rynek poliuretana sostavit \$74 mlrd k 2022 godu [The global polyurethane market will be \$ 74 billion by 2022] (2016). Available at: <https://mplast.by/novosti/2016-02-22-mirovoy-rynok-poliuretana-sostavit-74-mlrd-k-2022-godu/> (accessed 21.08.2019).
2. Shapovalov V. M., Gol'dade V. A., Zotov S. V., Ovchinnikov K. V., Burkin A. N., Sokolova N. M., Borozna V. D., Radyuk A. N. Perspektivnye materialy dlya detaley niza obuvi [Promising materials for shoe bottom details]. *Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Polimernye kompozity i tribologiya (POLIKOMTRIB-2017)»* [Abstracts of the International Scientific Conference “Polymer Composites and Tribology (POLYKOMTRIB-2017)”]. Gomel' : IMMS NAN Belarusi Publ., 2017, pp. 106.
3. Bazunova M. V., Prochukhan Yu. A. Sposoby utilizatsii otkhodov polimerov [Methods for recycling waste polymers]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir University], 2008, vol. 13, no. 4, pp. 875–885.
4. Zaynullin Kh. N., Abdrakhmanov R. F., Ibatullin U. G., Minigazimov I. N., Minigazimov N. S. *Obrashchenie s otkhodami proizvodstva i potrebleniya* [Production and consumption waste management]. Ufa : Dialog Publ., 2005. 292 p.
5. Latsysh E. Statistika mirovogo proizvodstva i potrebleniya polimerov po dannym EEK [Statistics of world production and consumption of polymers according to the EEC] (2015). Available at: <https://mplast.by/novosti/2015-08-11-statistika-mirovogo-proizvodstva-i-potrebleniya-polimerov-po-dannym-EEK/> (accessed 02.11.2020).
6. Avilov A. K. Analiz rosta polimernykh otkhodov v respublike Belarus' i stranakh mira [Analysis of the growth of polymer waste in the Republic of Belarus and the countries of the world]. *Tezisy dokladov 55-y yubileynoy konferentsii aspirantov, magistrantov i studentov BGUIR* [Abstracts of the 55th anniversary conference of graduate students, undergraduates and students of the educational institution “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”]. Minsk, 2019, pp. 406.
7. Volodina D. A., Azarova S. V., Peregudina E. V. Retsikling otkhodov plastmass [Recycling of waste plastics]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2015, no. 11 (91), pp. 535–537.
8. Ivanovskiy S. K., Bakhaeva A. N., Zheryakova K. V., Ishkvatova A. R. K voprosu pererabotki polimernykh kompozitsionnykh materialov [On the issue of processing polymer composite materials]. *Uspexi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2014, no. 12-5, pp. 592–595.
9. Timofeev A. A., Radyuk A. N., Shapovalov V. M., Burkin A. N., Zotov S. V. Otkhody poliuretanov: problemy i perspektivy retsiklinga [Waste polyurethanes: problems and prospects for recycling]. *Materialy II Mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo i investitsionnogo foruma po khimicheskim tekhnologiyam i neftegazoperabotke «Neftekhimiya-2019»* [Materials II International Scientific and Technical and Investment Forum on Chemical technologies and oil and gas processing “Petrochemistry-2019”]. Minsk, 2019, pp. 172–175.
10. Burkin A. N., Matveev K. S., Smelkov V. K., Soltovetov G. N. *Obuvnye materialy iz otkhodov penopoliiuretanov* [Shoe materials from waste polyurethane foam]. Vitebsk : VGTU Publ., 2001, 173 p.
11. Simon D., Borreguero A.M., de Lucas A., Gutierrez C., Rodriguez J. F. Sustainable polyurethanes: chemical. Recycling to get it. *Environmental chemistry of pollutants and wastes*. Eds. Jiménez E., Cabanas B., Lefebvre G. Berlin : Springer, 2015, pp. 229–260.
12. Datta J., Wloch M. Recycling of polyurethanes. *Polyurethane Polymers: Blends and Interpenetrating Polymer Networks*. Eds.: Thomas S., Datta J., Reghunathan A., Haponiuk J. Amsterdam : Elsevier, 2017, pp. 323–358.
13. Timoshenko V. V., Shapovalov V. M., Tavroginskaya M. G. Dispersnye napolnители dlya termoplastov (obzor) [Dispersed fillers for thermoplastics (review)]. *Materialy, tekhnologii, instrumenty* [Materials. Technologies. Tools], 2007, vol. 12, no. 3, pp. 16–26.
14. Pesetskiy S. S., Myshkin N. K. Polimernye kompozity mnogofunktsional'nogo naznacheniya: perspektivy razrabotok i primeneniya v Belarusi [Polymer composites for multifunctional purposes: prospects for development and application in Belarus]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies.], 2016, vol. 2, no. 4, pp. 6–29.
15. Ershova O. V., Ivanovskiy S. K., Chuprova L. V., Bakhaeva A. N. Sovremennye kompozitsionnye materialy na osnove polimernoy matritsy [Modern composite materials on the basis of the polymeric matrix]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2015, no. 4-1, pp. 14–18.
16. Kochnev A. M., Galibeev S. S. *Modifikatsiya polimerov* [Modification of polymers]. Kazan', 2008, 533 p.
17. Ksenofontov M. A., Ostrovskaya L. E., Bobkova E. Yu., Vasil'eva V. S., Pavlyukevich T. G. Mezhfaznye vzaimodeystviya penopoliiuretanovykh sistem s neorganicheskimi napolnitelyami [Interfacial interactions of polyurethane foam systems with inorganic fillers]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2016, vol. 2, no. 2, pp. 49–53.