

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-63-68>

УДК 677.494.6:678.82

ЗАМЕДЛЕНИЕ ГОРЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЕ ПЭТ НАНОЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА ТИТАНА

Н. Р. ПРОКОПЧУК¹, Л. А. ЛЕНАРТОВИЧ¹⁺, Т. А. ВИШНЕВСКАЯ¹, Ю. М. МОЖЕЙКО²

¹Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь

²ОАО «Могилевхимволокно», пр-т Шмидта, 300, 212035, г. Могилев, Беларусь

Цель работы — модифицировать полиэтилентерефталат (ПЭТ) на стадии его синтеза в лабораторных условиях наночастицами диоксида титана (TiO₂); сформовать мононити и осуществить термовытяжку методами, приближенными к промышленной технологии производства полиэфирных нитей на ОАО «Могилевхимволокно»; изучить их стойкость к горению и механические свойства; предложить гипотезу замедления горения и упрочнения ПЭТ при его модифицировании наночастицами TiO₂.

Авторами исследованы свойства ПЭТ мононитей, полученных при введении на стадии синтеза сверхмалых количеств TiO₂: 0,005 мас.%, 0,010 мас.%, 0,015 мас.% и 0,020 мас.%.

Устойчивость к горению образцов ПЭТ определяли согласно ГОСТ 28157 и ГОСТ 12.1.044. Энергию активации термоокислительной деструкции рассчитывали методом Бройдо по данным динамической термогравиметрии. Механические свойства мононитей ПЭТ, термовытянутых в 4,5 раза, оценивали тензометрическим методом.

Установлено оптимальное содержание вводимых при синтезе ПЭТ наночастиц TiO₂, равное 0,015 мас.%, при котором получили максимальные показатели наномодифицирования: рост энергии активации термоокислительной деструкции с 180 кДж/моль до 200 кДж/моль; снижение суммарного времени горения с 22 с до 1 с; увеличение прочности при разрыве с 26 сН/текс до 35 сН/текс и модуля упругости с 420 сН/текс до 570 сН/текс при практически неизменном относительном удлинении при разрыве.

Ключевые слова: полиэтилентерефталат, наночастицы диоксида титана, устойчивость к горению, прочность при разрыве, ПЭТ нити.

SLOWING COMBUSTION AND STRENGTHENING PET WITH TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES

N. R. PROKOPCHUK¹, L. A. LENARTOVICH¹⁺, T. A. VISHNEVSKAYA¹, YU. M. MOZHEYKO²

¹Belarusian State Technological University, Sverdlov St., 13a, 220006, Minsk, Belarus

²OJSC Mogilevkhimvolokno, Schmidt Ave., 300, 212035, Mogilev, Belarus

Main purpose of research is to modify polyethylene terephthalate (PET) at its synthesis stage in laboratory conditions by titanium dioxide nanoparticles (TiO₂); to form and to stretch thermally monofilament yarns by methods close to industrial technology of polyester threads manufacturing used at Open Joint Stock Company “Mogilevkhimvolokno”; to explore burning resistance and mechanical properties; to hypothesize that being modified by dioxide nanoparticle results in retardation of PET burning process as well as strengthening of PET structure.

Authors of the research explored the properties of PET monofilament yarns after they had been doped at their synthesis stage with super-small amounts of titanium dioxide nanoparticles: 0.005 wt.%, 0.010 wt.%, 0.015 wt.% and 0.020 wt.%.

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: liliya.popova@mail.ru

Burning resistance of PET specimens was specified according to GOST 28157 and GOST12.1.044. Thermal oxidative breakdown value was calculated using Broydo method based on dynamic thermogravimetry data. Mechanical properties of PET monofilament yarns, thermally stretched by 4.5 times, were evaluated using strain-measuring method.

During the research it was determined that 0.015 wt.% is optimal content value for titanium dioxide nanoparticles doped in course of PET synthesis. This value enables to obtain maximum nanomodification performance: increase of thermal oxidative breakdown value from 180 kJ/mole to 200 kJ/mole, reduction of overall burning time from 22 s to 1 s, increase of breaking strength from 26 cN/tex to 35 cN/tex and elasticity coefficient from 420 cN/tex to 570 cN/tex at practically unchanged breaking elongation value.

Keywords: polyethylene-terephthalate, titanium dioxide nanoparticles, the fire resistance, tensile stress at break, PET filaments.

Поступила в редакцию 12.10.2022

© Н. Р. Прокопчук, Л. А. Ленартович, Т. А. Вишневецкая, Ю. М. Можейко, 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:

Прокопчук Н. Р., Ленартович Л. А., Вишневецкая Т. А., Можейко Ю. М. Замедление горения и упрочнение ПЭТ наночастицами диоксида титана // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 4. С. 63–68. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-63-68>

Citation sample:

Prokopchuk N. R., Lenartovich L. A., Vishnevskaya T. A., Mozheyko Yu. M. Zamedlenie gorenija i uprochnenie PET nanochastitsami dioksida titana [Slowing combustion and strengthening PET with titanium dioxide nanoparticles]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2022, vol. 8, no. 4, pp. 63–68. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-63-68>

Литература

1. Рева О. В., Назарович А. Н., Богданова В. В. Закрепление нетоксичных антипиренов на поверхности полиэфирных волокон // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, 2019, Т. 3, № 2. С. 107–116.
2. Jiyeon Oh, Sam Soo Kim, Jaewoong Lee, Chankyu Kang. Supercritical fluid flame-retardant processing of polyethylene terephthalate (PET) fiber treated with 9, 10-dihydro-9-oxa-10-phosphaphenanthrene-10-oxide (DOPO): Changes in physical properties and flame-retardant performance // *Journal of CO₂ Utilization*, 2021, vol. 54. doi: 10.1016/j.jcou.2021.101761
3. Carosio F., Alongi J., Frache A. Influence of surface activation by plasma and nanoparticle adsorption on the morphology, thermal stability and combustion behavior of PET fabrics // *European Polymer Journal*, 2011, vol. 47, is. 5, pp. 893–902. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2011.01.009
4. Fang Ding, Shumin Zhang, Xiaoyan Chen, Rong Li, Xuehong Ren. PET fabric treated with environmental-friendly phosphorus-based compounds for enhanced flame retardancy, thermal stability and anti-dripping performance // *Composites Part B: Engineering*, 2022, vol. 235. doi: 10.1016/j.compositesb.2022.109791
5. Chenxi Zhang, Chao Zhang, Jiewen Hu, Zhiming Jiang, Ping Zhu. Flame-retardant and anti-dripping coating for PET fabric with hydroxyl-containing cyclic phosphoramidate // *Polymer Degradation and Stability*, 2021, vol. 192. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2021.109699
6. Прокопчук Н. Р., Любимов А. Г., Вишневецкая Т. А., Можейко Ю. М., Крауклис А. В. Упрочнение ПЭТФ нитей многостенными углеродными нанотрубками // Полимерные материалы и технологии, 2020, Т. 6, № 4, С. 30–36. doi: 10.32864/polymmattech-2020-6-4-30-36
7. Серцова А. А., Юргов Е. В. Наночастицы соединений металлов — замедлители горения для полимерных композиционных материалов // Получение и модифицирование синтетических волокон и нитей для инновационных материалов, композитов и изделий:

- тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции, 2–5 сентября 2015 г., г. Плес Ивановской обл. Иваново : Иваново, 2015. С. 21.
8. Rashid M. M., Simončič B., Tomšič B. Recent advances in TiO₂-functionalized textile surfaces // *Surface and Interfaces*, 2021, vol. 22. doi: 10.1016/j.surfin.2020.100890
 9. Прокопчук Н. Р., Ленартович Л. А., Вишневецкая Т. А., Можейко Ю. М. Наномодификация полиэтилентерефталата // *Нефтехимия-2021 : материалы IV международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке*, Минск, 22–24 ноября 2021. Минск : БГТУ, 2021. С. 104–106.
 10. Регель В. Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э. Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М. : Наука, 1974. 560 с.

References

1. Reva O. V., Nazarovich A. N., Bogdanova V. V. Zakreplenie netoksichnykh antipirenov na poverkhnosti poliefirnykh volokon [Fixation of nontoxic antipirens on the surface of polyester fibers]. *Vestnik Universiteta grazhdanskoj zashchity MChS Belarusi* [Journal of Civil Protection], 2019, vol. 3, no. 2, pp. 107–116.
2. Jiyeon Oh, Sam Soo Kim, Jaewoong Lee, Chankyu Kang. Supercritical fluid flame-retardant processing of polyethylene terephthalate (PET) fiber treated with 9, 10-dihydro-9-oxa-10-phosphaphenanthrene-10-oxide (DOPO): Changes in physical properties and flame-retardant performance. *Journal of CO₂ Utilization*, 2021, vol. 54. doi: 10.1016/j.jcou.2021.101761
3. Carosio F., Alongi J., Frache A. Influence of surface activation by plasma and nanoparticle adsorption on the morphology, thermal stability and combustion behavior of PET fabrics. *European Polymer Journal*, 2011, vol. 47, is. 5, pp. 893–902. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2011.01.009
4. Fang Ding, Shumin Zhang, Xiaoyan Chen, Rong Li, Xuehong Ren. PET fabric treated with environmental-friendly phosphorus-based compounds for enhanced flame re-tardancy, thermal stability and anti-dripping performance. *Composites Part B: Engineering*, 2022, vol. 235. doi: 10.1016/j.compositesb.2022.109791
5. Chenxi Zhang, Chao Zhang, Jiewen Hu, Zhiming Jiang, Ping Zhu. Flame-retardant and anti-dripping coating for PET fabric with hydroxyl-containing cyclic phosphoramidate. *Polymer Degradation and Stability*, 2021, vol. 192. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2021.109699
6. Prokopchuk N. R., Lyubimov A. G., Vishnevskaya T. A., Mozheyko Yu. M., Krauklis A. V. Uprochnenie PETF nitey mnogostennymi uglerodnymi nanotrubkami [Strengthening PET filaments with multi-walled carbon nanotubes]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2020, vol. 6, no. 4, pp. 30–36. doi: 10.32864/polymmattech-2020-6-4-30-36
7. Sertsova A. A., Yurtov E. V. Nanochastitsy soedineniy metallov — zamedliteli gorenija dlya polimernykh kompozitsionnykh materialov [Nanoparticles of metal compounds – flame retardants for polymer composite materials]. *Tezisy dokladov Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoj konferentsii «Poluchenie i modifitsirovanie sinteticheskikh volokon i nitey dlya innovatsionnykh materialov, kompozitov i izdelij»* [Abstracts of the All-Russian Scientific and Practical Conference “Obtaining and modified synthetic fibers and threads for innovative materials, composites and products”]. Ivanovo : Ivanovo Publ., 2015, pp. 21.
8. Rashid M. M., Simončič B., Tomšič B. Recent advances in TiO₂-functionalized textile surfaces. *Surface and Interfaces*, 2021, vol. 22. doi: 10.1016/j.surfin.2020.100890
9. Prokopchuk N. R., Lenartovich L. A., Vishnevskaya T. A., Mozheyko Yu. M. Nanomodifikatsiya polietilentereftalata [Nanomodification of polyethylene terephthalate]. *Materialy IV mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo foruma po khimicheskim tekhnologiyam i neftegazopererabotke «Neftekhimiya-2021»* [Materials of the IV International Scientific and Technical Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Processing “Petrochemistry-2021”]. Minsk : BGTU Publ., 2021, pp. 104–106.
10. Regel' V. R., Slutsker A. I., Tomashevskiy E. E. *Kineticheskaya priroda prochnosti tverdykh tel* [Kinetic nature of the strength of solids]. Moscow : Nauka Publ., 1974. 560 p.