

УДК 678.073:661.481

## АНТИФРИКЦИОННЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА

С. В. ПАНИН<sup>а,б+</sup>, НГУЕН ДЫК АНЬ<sup>б</sup>, Л. А. КОРНИЕНКО<sup>а</sup>, В. О. АЛЕКСЕНКО<sup>а,б</sup>, Д. Г. БУСЛОВИЧ<sup>а,б</sup>, С. В. ШИЛЬКО<sup>б</sup>

Исследована структура и проведены механические и трибологические испытания композитов на основе термопластичной матрицы полиэфирэфиркетона (ПЭЭК), наполненного углеродными волокнами различного (нано-, микро- и миллиметрового) размера. Решалась задача разработки композитов, пригодных для эксплуатации в условиях металлополимерных и керамополимерных трибосопряжений, включая эндопротезы. Показано, что приповерхностный слой ПЭЭК-композита, модифицированного углеродными нановолокнами, в процессе трения может выполнять демпфирующую роль, повышая износостойкость в 1,5—2 раза. Углеволокна микронной и миллиметровой длины являются преимущественно армирующими наполнителями, повышая износостойкость ПЭЭК-композита до 7 раз в металлополимерном сопряжении, однако снижают её до 16 раз в керамополимерном варианте. Показано, что выбором типа и содержания наполнителей в ПЭЭК (углеродных нано/микро/миллиметровых волокон) можно целенаправленно изменять трибомеханические свойства, определять и расширять области и номенклатуру изделий для узлов трения в машиностроении и медицине, в том числе формируемых с применением аддитивных технологий.

**Ключевые слова:** металлополимерные и керамополимерные трибосопряжения, эндопротезы, антифрикционные композиты, полиэфирэфиркетон, надмолекулярная структура, углеродные волокна, износостойкость, механические свойства.

DOI: 10.32864/0202-4977-2020-41-4-427-435

### Литература

1. **Walter R., Friedrich K., and Gurka M.** Characterization of Mechanical Properties of Additively Manufactured Polymers and Composites // AIP Conference Proceedings 1981. — 2018 (020033); <https://doi.org/10.1063/1.5045895>.
2. **Brenken B., et al.** Fused Filament Fabrication of Fiber-Reinforced Polymers: A Review. Additive Manufacturing. — 2018 (21), 1—16. ISSN 2214—8604, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.01.002>.
3. **Duty C., et al.** What Makes a Material Printable? A Viscoelastic Model for Extrusion-Based 3D Printing of Polymers // Journal of Manufacturing Processes. — 2018 (35), 526—537, ISSN 1526—6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.08.008>.
4. **Kumar D., et al.** Wear Behavior of PEEK Matrix Composites: A Review // Materials Today: Proceedings. — 2018 (5), 14583—14589
5. **Werner Ph. et al.** Tribological Behavior of Carbon Nanofiber Reinforced PolyEtherEtherKetone // Wear. — 2004 (257), 1006—1014
6. **Zhang G.** Structures and Tribological Performances of PEEK (Polyether-Ether-Ketone)-Based Coatings Designed for Tribological Application // Prog. Org. Coat. — 2007 (60), no. 1, 39—44
7. **Panin S.V., et al.** Wear-Resistant Polyetheretherketone Composites with Carbon Nano- and Microfibers // Materials Today: Proceedings 5. — 2018, 25976—25982
8. **Choi H., Shil'ko S., Gubicza J. and Choe H.** Study of the Compression and Wear—Resistance Properties of Freeze—Cast Ti and Ti—5W Alloy Foams for Biomedical Applications // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. — 2017 (72), 66—73

а Институт физики прочности и материаловедения СО РАН. Россия, 634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4.

б Томский политехнический университет. Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30.

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

+ Автор, с которым следует вести переписку. e-mail: [svp@ispms.tsc.ru](mailto:svp@ispms.tsc.ru).

9. Шилько С. В., Гавриленко С. Л., Панин С. В. Анализ вязкоупругих свойств полиэфирэфиркетона и дисперсно-наполненных композитов на его основе по данным ускоренных релаксационных испытаний // Акт. вопросы машиноведения: Сб. науч. тр. ОИМ. — Минск. — 2019, № 8, 401—404
10. Панин С. В., и др. Износостойкость композитов на гибридной матрице СВМПЭ—ПТФЭ. Механические и триботехнические свойства матрицы // Трение и износ. — 2015 (36), № 3, 325—333
11. Kumar D., Rajmohan T., and Venkatachalapathi S. Wear Behavior of PEEK Matrix Composites: A Review // Materials Today: Proceedings. — 2018, no. 5, 14583—14589

Поступила в редакцию 11.07.19.

После доработки 13.04.20.

Принята к публикации 29.04.20.

Panin S. V., Nguyen Duc Anh, Kornienko L. A., Alexenko V. O., Buslovich D. G., and Shil'ko S. V. **Antifricition and Mechanical Properties of Thermoplastic Matrix of Polyetheretherketone Composites Based.**

The structure, mechanical and tribological properties of composites based on a thermoplastic matrix of polyetheretherketone (PEEK) loaded with carbon fibers of various (nano-, micro- and millimeter) sizes were studied. The research is aimed at developing composites applicable for the use both in metal-polymer and ceramic-polymer tribojoints, including endoprostheses. It is shown that the surface layer of the PEEK composite loaded with carbon nanofibers can play a damping role in the friction process. This ensures increasing wear resistance by 1.5–2 times. Carbon fibers of micron and millimeter length play reinforcing role. In doing so, wear resistance of the PEEK composites can be increased up to 7 times in metal-polymer tribojoints, while it is reduced by 16 times in the ceramic-polymer tribojoints. It is shown that by choosing the type and weight fraction of fiber like fillers (carbon nano / micro / millimeter fibers) in PEEK matrix, tribological and mechanical properties can be purposefully enlarged. This allows one to expand application areas and product range for tribojoints in mechanical engineering and medicine, including those formed with the use of additive technologies.

**Keywords:** metal-polymer tribojoints, ceramic-polymer tribojoints, endoprosthesis, antifricitional composites, polyetheretherketone, per-molecular structure, carbon fibers, wear resistance, mechanical properties.

**Образец цитирования:** Панин С. В., Нгуен Дык Ань, Корниенко Л. А., Алексенко В. О., Буслович Д. Г., Шилько С. В. Антифрикционные и механические свойства термопластичных углеродных композитов на основе полиэфирэфиркетона // Трение и износ. 2020. Т. 41. №4. С. 427–435.

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.

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

*Full text of articles can be purchased from the editorial office.*

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

E-mail: [FWJ@tut.by](mailto:FWJ@tut.by)

Web: <https://mpri.org.by/izdaniya/trenie-i-iznos/>