

DOI: 10.32864/polymmattech-2021-7-2-80-88

УДК 678.046.76:678.743.41:536.63

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ФТОРОПЛАСТОВЫХ КОМПОЗИТОВ

В. А. ШЕЛЕСТОВА¹⁺, Л. Е. ЕВСЕЕВА², В. Г. ЛЕЩЕНКО², К. В. НИКОЛАЕВА²,
С. М. ДАНИЛОВА-ТРЕТЬЯК², А. Л. БАШЛАКОВА¹, Л. Ф. ИВАНОВ¹

¹Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь

²Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, ул. П. Бровки, 15, 220072, г. Минск, Беларусь

Наиболее широко используемые износостойкие, выдерживающие высокие нагрузки антифрикционные фторопластовые композиты содержат в качестве наполнителей углеродные волокна (УВ) в количестве не менее 10 мас.%, а оптимально — 17–20 мас.%. Карбид кремния (SiC) является уникальным материалом благодаря сочетанию его теплофизических, механических и физико-химических свойств, которые достигают исключительных значений при уменьшении размеров частиц до наномасштабов. Цель работы — исследование влияния малых добавок карбида кремния на структуру и свойства фторопластовых композитов, содержащих УВ.

Проведенные сравнительные исследования комплекса теплофизических, триботехнических, механических свойств фторопластовых композитов, содержащих углеродные волокна, показали, что влияние ультрадисперсной добавки карбида кремния неоднозначно. Добавка SiC снижает коэффициент трения и температуру в зоне трения для фторопластовых композитов, содержащих УВ, что может быть обусловлено повышением теплофизических характеристик (теплопроводности, температуропроводности). Методом электронной микроскопии установлено, что участки полимерной матрицы на поверхности трения композита с карбидом кремния более структурированы. Методом ДСК показано, что частицы SiC не оказывают большого влияния на размеры и структуру кристаллитов, но способствуют повышению доли кристаллической фазы в полимере. Механические свойства изменились при добавлении SiC незначительно. Несколько снизилась прочность при растяжении, но модуль упругости повысился, что может быть связано с вкладом твердых частиц SiC, а также ростом степени кристалличности.

Ключевые слова: политетрафторэтилен, углеродные волокна, карбид кремния, фторопластовый композит, теплопроводность, теплоемкость, температура плавления, коэффициент трения.

INFLUENCE OF ULTRA DISPERSED SILICON CARBIDE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF FLUOROPLASTIC COMPOSITES

V. A. SHELESTOVA¹⁺, L. E. EVSEEVA², V. G. LESHCHENKO², K. V. NIKOLAYEVA²,
S. M. DANILOVA-TRETIYAK², A. L. BASHLAKOVA¹, L. F. IVANOV¹

¹V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

²A. V. Lykov Heat and Mass Transfer Institute, National Academy of Sciences of Belarus, P. Brovki St., 15, 220072, Minsk, Belarus

The most widely used wear-resistant, high-load antifriction fluoroplastic composites contain carbon fibers (CF) as fillers in an amount of at least 10 wt.%, and optimally — 17–20 wt.%. Silicon carbide (SiC) is a unique material due to the combination of its thermal, mechanical, and physicochemical properties, which reach exceptional values when the particle size is reduced to nanoscale. The aim of the work was to study the possibility of improving fluoroplastic composites with carbon fibers by adding small amounts of ultrafine silicon carbide.

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

A comparative study of the complex of properties (thermophysical, tribotechnical, mechanical) of fluoroplastic composites with the main filler - carbon fibers showed that the effect of an ultradispersed silicon carbide additive is ambiguous. The addition of SiC reduces the friction coefficient and temperature in the friction zone for fluoroplastic composites with hydrocarbons, which may be due to an increase in thermophysical characteristics (thermal conductivity, thermal diffusivity). Electron microscopy of the surface of the composites after friction showed that the regions of the polymer matrix on the friction surface of the composite with silicon carbide are more structured. It was shown by DSC that SiC particles have a small effect on the size and structure of crystallites, but contribute to an increase in the fraction of the crystalline phase in the polymer. The mechanical properties did not change significantly with the addition of SiC. The tensile strength slightly decreased, but the elastic modulus increased, which may be due to the contribution of solid SiC particles, as well as an increase in the degree of crystallinity.

Keywords: polytetrafluoroethylene, carbon fibers, silicon carbide, fluoroplastic composite, thermal conductivity, heat capacity, melting point, coefficient of friction.

Поступила в редакцию 29.03.2021

© В. А. Шелестова, Л. Е. Евсеева, В. Г. Лещенко, К. В. Николаева, С. М. Данилова-Третьяк, А. Л. Башлакова, Л. Ф. Иванов, 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:

Шелестова В. А., Евсеева Л. Е., Лещенко В. Г., Николаева К. В., Данилова-Третьяк С. М., Башлакова А. Л., Иванов Л. Ф. Влияние ультрадисперсного карбида кремния на структуру и свойства фторопластовых композитов // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 2. С. 80–88. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-2-80-88>

Citation sample:

Shelestova V. A., Evseeva L. E., Leshchenko V. G., Nikolaeva K. V., Danilova-Tret'yak S. M., Bashlakova A. L., Ivanov L. F. Vliyanie ul'tradispersnogo karbida kremniya na strukturu i svoystva ftoroplastovykh kompozitov [Influence of ultra dispersed silicon carbide on the structure and properties of fluoroplastic composites]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 2, pp. 80–88. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-2-80-88>

Литература

1. Пугачев А. К., Росляков О. А. Переработка фторопластов в изделия. Технология и оборудование. Л. : Химия, 1987. 168 с.
2. Шелестова В. А., Гракович П. Н., Данченко С. Г., Смирнов В. А. Новые антифрикционные материалы группы Флувис на основе модифицированных углеродных волокон // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2006. № 11. С. 39–41.
3. Охлопкова А. А., Виноградов А. В., Пинчук Л. С. Пластики, наполненные ультрадисперсными неорганическими соединениями. Гомель : ИММС НАНБ, 1999. 162 с.
4. Машков Ю. К., Овчар З. Н., Суриков В. И., Калистратова Л. Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. М. : Машиностроение, 2005. 240 с.
5. Томас А. А., Будник А. Ф., Берладир К. В., Свицерский В. А. Антифрикционные фторопластовые композиты для работы во влажных средах // Полимерные композиты и трибология (Поликонтриб-2013) : тезисы докладов международной научно-технической конференции, Гомель, 24–27 июня 2013 г. Гомель : ИММС НАНБ, 2013. С. 273.
6. Писарев Н. В., Шабанова В. П., Каблов В. Ф. Модификация поверхности карбида кремния // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 7-2. С. 109–110.
7. Алексеева Е. В. Применение полимерного покрытия для повышения износостойкости упорных подшипников скольжения // Новые материалы и технологии в машиностроении : сборник материалов по итогам Международной научно-технологической конференции / под ред. Е.А. Панфилова. Брянск : БГИТА, 2006. Вып. 6. С. 41–45.

8. Лифанов В. С., Каблов В. Ф., Лапин С. В., Кочетков В. Г., Новополецкая О. М. Исследование эластомерных материалов с микродисперсными отходами карбида кремния // Научное обозрение. Технические науки. 2014. № 1. С. 232–233.
9. Егоров А. С. Разработка технологии новых композиционных материалов, модифицированных карбидом кремния и углеродными нанотрубками : дис. ... кандидата химических наук : 05.17.01. Москва, 2018. 200 с.
10. Вундерлих Б., Баур Г. Теплоемкость линейных полимеров / пер. с англ. и нем. Ю. К. Годовского. М. : Мир, 1972. 238 с.
11. Thermal application note. Polymer heats of fusion [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tainstruments.com/pdf/literature/TN048.pdf> (дата обращения: 30.04.2021)
12. Липатов Ю. С. Физическая химия наполненных полимеров. М. : Химия, 1977. 304 с.
13. Машков Ю. К., Кропотин О. В., Егорова В. А. Теплоемкость и термодинамические функции состояния системы политетрафторэтилен – углеродные модификаторы // Вестник Омского университета. 2012. № 4. С. 77–83.

References

1. Pugachev A. K., Roslyakov O. A. *Pererabotka fluoroplastov v izdeliya. Tekhnologiya i oborudovanie* [Processing of fluoroplastics into products]. Leningrad : Khimiya Publ., 1987. 168 p.
2. Shelestova V. A., Grakovich P. N., Danchenko S. G., Smirnov V. A. Novye antifriktsionnye ma-terialy gruppy Fluvis na osnove modifitsirovannykh ugleodnykh volokon [New antifriction materials of the Fluvis group based on modified carbon fibers]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie* [Chemical and petroleum engineering], 2006, no. 11, pp. 39–41.
3. Okhlopova A. A., Vinogradov A. V., Pinchuk L. S. *Plastiki, napolnennye ul'tradispersnymi neor-ganicheskimi soedineniyami* [Plastics filled with ultradispersed inorganic compounds]. Gomel' : IMMS NANB Publ., 1999. 162 p.
4. Mashkov Yu. K., Ovchar Z. N., Surikov V. I., Kalistratova L. F. *Kompozitsionnye materialy na osno-ve politetraftoretilena* [Composite materials based on polytetrafluoroethylene]. Moscow : Mashinostroenie Publ., 2005. 240 p.
5. Tomas A. A., Budnik A. F., Berladir K. V., Sviderskiy V. A. Antifriktsionnye ftoroplastovye kompozity dlya raboty vo vlazhnykh sredakh [Antifriction fluoroplastic composites for work in humid environments]. *Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Polimernye kompozity i tribologiya (Polikomtrib-2013)»* [Abstracts of Int. scientific and technical conf. "Polymer composites and tribology"]. Gomel' : IMMS NANB Publ., 2013, pp. 273.
6. Pisarev N. V., Shabanova V. P., Kablov V. F. Modifiatsiya poverkhnosti karbida kremniya [Silicon carbide surface modification]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high technologies], 2014, no. 7-2, pp. 109–110.
7. Alekseeva E. V. Primenenie polimernogo pokrytiya dlya povysheniya iznosostoykosti upornykh podshipnikov skol'zheniya [The use of a polymer coating to improve the wear resistance of thrust bearings]. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii : sbornik nauchnykh trudov* [New materials and technologies in mechanical engineering: a collection of materials based on the results of the International Scientific and Technological Conference]. Bryansk : BGITA Publ., 2006, is. 6, pp. 41–45.
8. Lifanov V. S., Kablov V. F., Lapin S. V., Kochetkov V. G., Novopol'tseva O. M. Issledovanie elasto-mernykh materialov s mikrodispersnymi otkhodami karbida kremniya [Investigation of elastomeric materials with microdispersed silicon carbide wastes]. *Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki* [Scientific Review. Technical science], 2014, no. 1, pp. 232–233.
9. Egorov A. S. *Razrabotka tekhnologii novykh kompozitsionnykh materialov, modifitsirovannykh karbidom kremniya i ugleodnymi nanotrubkami*. Diss. kand. khim. nauk [Development of technology for new comp. mat., modified with silicon carbide and carbon nanotubes. PhD chem. sci. diss.]. Moscow, 2018. 200 p.
10. Vunderlikh B., Baur G. *Teploemkost' lineynykh polimerov* [Heat capacity of linear polymers]. Moscow : Mir Publ., 1972. 238 p.
11. Thermal application note. Polymer heats of fusion. Available at: <http://www.tainstruments.com/pdf/literature/TN048.pdf> (accessed 30.03.2021)
12. Lipatov Yu. S. *Fizicheskaya khimiya napolnennykh polimerov* [Physical chemistry of filled polymers]. Moscow : Khimiya Publ., 1977. 304 p.
13. Mashkov Yu. K., Kropotin O. V., Egorova V. A. Teploemkost' i termodinamicheskie funktsii sostoyaniya sistemy politetraftoretilen – ugleodnye modifikatory [Heat capacity and thermodynamic functions of the state of the system polytetrafluoroethylene – carbon modifiers]. *Vestnik Omskogo uni-versiteta* [Bulletin of Omsk University], 2012, no. 4, pp. 77–83.