

# Техническая информация

DOI: 10.32864/polymmattech-2021-7-2-89-93

УДК 678.743.41:620.172.2

## ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫМИ ВОЛОКНАМИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОПОЛИМЕРА ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И ЭТИЛЕНА

В. П. СЕЛЬКИН<sup>1+</sup>, С. В. КОПЫЛОВ<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Московский политехнический университет, ул. Б. Семеновская, 38, 107023, г. Москва, Россия

*Исследованы зависимости механических характеристик (предел прочности и предел текучести при растяжении, относительное удлинение при разрыве) сополимера тетрафторэтилена и этилена от концентрации углеродных ПАН-волокон. Механические испытания осуществляли как при комнатной температуре, так и при растяжении в области максимальных температур эксплуатации композитов типа «ЭТФЭ + углеродное волокно» (+200 °С). Показано, что зависимости прочности при растяжении и предела текучести при растяжении при небольших концентрациях углеродных волокон носят различный характер. На начальном этапе с увеличением концентрации углеродных волокон предел прочности в зависимости от температуры испытания не изменяется или снижается, то для предела текучести отмечается интенсивный рост. При содержании волокон 15 мас.% значения предела текучести достигают значений предела прочности. Особенно значительный рост предела текучести, по сравнению с неармированным ЭТФЭ, отмечается при +200 °С — в 3 раза при содержании волокон 15 мас.%. Однако, высокая концентрация наполнителя приводит к падению относительного удлинения при разрыве. В то же время выдвинуто предположение, что при ультранизких температурах углеродные волокна, выполняя роль каркаса в полимерной матрице, могут препятствовать ее хрупкому разрушению. Таким образом, при армировании ЭТФЭ углеродными волокнами в зависимости от эксплуатационного назначения композита необходимо учитывать различный характер рассмотренных зависимостей. Выбор оптимальной степени наполнения позволит получать материалы, необходимые для конкретных условий применения.*

**Ключевые слова:** композиты, экстремальные условия эксплуатации, сополимер тетрафторэтилена и этилена, углеродное волокно, механические характеристики.

## THE EFFECT OF CARBON FIBER REINFORCEMENT ON THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ETHYLENE-TETRAFLUOROETHYLENE COPOLYMER

V. P. SELKIN<sup>1+</sup>, S. V. KOPYLOV<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Moscow Polytechnic University, Bolshaya Semyonovskaya St., 38, 107023, Moscow, Russia

*The dependences of the mechanical characteristics (tensile strength and yield strength, elongation at break) of the tetrafluoroethylene and ethylene copolymer on carbon PAN fibers concentration have been investigated. Mechanical tests were carried out both at room temperature and under tension in the region of maximum operating temperatures for composites of the “ETFE + carbon fiber” type (+200 °C). It is shown that the dependences of the tensile strength and the tensile yield strength at small s concentration are differ-*

<sup>+</sup> Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: selkin\_v@mail.ru

ent. At the initial stage with an increase of carbon fibers concentration, the tensile strength does not change or decreases depending on the test temperature, then an intensive increase is observed for the yield strength. At 15 wt.% fiber concentration yield strength values reach the ultimate strength values. A particularly significant increase in the yield strength compared to non-reinforced ETFE is observed at 200 °C (3 times with the fiber content of 15 wt.%). However high concentration of filling leads to a drop in the elongation at break. It is concluded that, perhaps, at ultra-low temperatures, carbon fibers, acting as a framework in the polymer matrix, can prevent its brittle destruction. Thus it is necessary to take into account the different nature of the considered dependences when reinforcing ETFE with carbon fibers, depending on the operational purpose of the composite. The choice of the optimal degree of filling will make it possible to obtain the materials required for specific conditions of use.

**Keywords:** composites, extreme operating conditions, ethylene-tetrafluoroethylene copolymer, carbon fiber, mechanical characteristics.

Поступила в редакцию 27.04.2021

© В. П. Селькин, С. В. Копылов, 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](mailto:polmattex@gmail.com)  
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

#### Образец цитирования:

Селькин В. П., Копылов С. В. Влияние армирования углеродными волокнами на механические характеристики сополимера тетрафторэтилена и этилена // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 2. С. 89–93. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-2-89-93>

#### Citation sample:

Sel'kin V. P., Kopylov S. V. Vliyanie armirovaniya uglerodnymi voloknami na mekhanicheskie kharakteristiki sopolimera tetraftoretilena i etilena [The effect of carbon fiber reinforcement on the mechanical characteristics of ethylene-tetrafluoroethylene copolymer]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 2 pp. 89–93. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-2-89-93>

#### Литература

1. Мэттьюс Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология : пер. с англ. М. : Техносфера, 2004. 407 с.
2. Баженов С. Л., Берлин А. А., Кульков А. А., Ошмян В. Г. Полимерные композиционные материалы. Прочность и технологии. М. : Интеллект, 2010. 352 с.
3. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. СПб : Научные основы и технологии, 2008. 822 с.
4. Цвайфель Х., Маер Р. Д., Шиллер М. Добавки к полимерам : справочник. СПб : Профессия, 2010. 1144 с.
5. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics. Volume 2: Melt processible fluoropolymers : the definitive user's guide and data book. Amsterdam [et al.] : Elsevier, 2015. 766 p.
6. Selkin V. P., Makarenko A. V., Kopylov S. V. The Effect of the Carbon-Fiber Reinforcement of Thermoplastic Fluoropolymers on Their Wear under Heavy Loads // *Journal of Friction and Wear*, 2018, vol. 39, no. 2, pp. 99–102. doi: 10.3103/S1068366618020150
7. Selkin V. P., Kopylov S. V. Improving the Wear Resistance of Carbon Fiber Reinforced Polyvinylidene Fluoride by the Method of Radiation Modification // *Journal of Friction and Wear*, 2019, vol. 40, no. 2, pp. 116–119. doi: 10.3103/S1068366619020119
8. Solef-PVDF-Design and Processing Guide [Электронный ресурс]. URL: [https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-08/Solef-PVDF-Design-and-Processing-Guide\\_EN-v2.7\\_0.pdf](https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-08/Solef-PVDF-Design-and-Processing-Guide_EN-v2.7_0.pdf) (дата обращения: 15.04.2021).
9. Fluon ETFE [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agc-chemicals.com/jp/en/fluorine/products/detail/index.html?pCode=JP-EN-F008> (дата обращения: 15.04.2021).
10. Селькин В. П., Копылов С. В., Шилько И. С. Исследование высокотемпературного предела текучести армированного углеродными волокнами сополимера тетрафторэтилена с гексафторпропиленом // Полимерные материалы и технологии. 2019. Т. 5, № 3. С. 37–41. doi:

---

10.32864/polymmattech-2019-5-3-37-41

## References

1. Mett'yuz F., Rolings R. *Kompozitnye materialy. Mekhanika i tekhnologiya* [Composite materials. Mechanics and Technology]. Moscow : Tekhnosfera Publ., 2004. 407 p.
  2. Bazhenov S. L., Berlin A. A., Kul'kov A. A., Oshmyan V. G. *Polimernye kompozitsionnye materialy. Prochnost' i tekhnologii* [Polymer composite materials. Strength and technology]. Moscow : Intellekt Publ., 2010. 352 p.
  3. Mikhaylin Yu. A. *Konstruksionnye polimernye kompozitsionnye materialy* [Construction polymer composite materials]. Saint-Petersburg : Nauchnye osnovy i tekhnologii Publ., 2008. 822 p.
  4. Tsvayfel' Kh., Maer R. D., Shiller M. *Dobavki k polimeram* [Additives for polymers]. Saint-Petersburg : Professiya Publ., 2010. 1144 p.
  5. Sina Ebnesajjad. *Fluoroplastics. Volume 2: Melt processible fluoropolymers : the definitive user's guide and data book*. Amsterdam [et al.] : Elsevier, 2015. 766 p.
  6. Selkin V. P., Makarenko A. V., Kopylov S. V. The Effect of the Carbon-Fiber Reinforcement of Thermoplastic Fluoropolymers on Their Wear under Heavy Loads. *Journal of Friction and Wear*, 2018, vol. 39, no. 2, pp. 99–102. doi: 10.3103/S1068366618020150
  7. Selkin V. P., Kopylov S. V. Improving the Wear Resistance of Carbon Fiber Reinforced Polyvinylidene Fluoride by the Method of Radiation Modification. *Journal of Friction and Wear*, 2019, vol. 40, no. 2, pp. 116–119. doi: 10.3103/S1068366619020119
  8. Solef® PVDF Design & Processing Guide. Available at: [https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-08/Solef-PVDF-Design-and-Processing-Guide\\_EN-v2.7\\_0.pdf](https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-08/Solef-PVDF-Design-and-Processing-Guide_EN-v2.7_0.pdf) (accessed 15.04.2021).
  9. Fluon ETFE. Available at: <https://www.agc-chemicals.com/jp/en/fluorine/products/detail/index.html?pCode=JP-EN-F008> (accessed 15.04.2021).
  10. Sel'kin V. P., Kopylov S. V., Shil'ko I. S. Issledovanie vysokotemperaturnogo predela tekuchesti armirovannogo uglerodnymi voloknami sopolimera tetraftoretilena s geksaftorpropilenom [Investigation of high-temperature yield stress carbon-fiber-reinforced copolymer of hexafluoropropylene and tetrafluoroethylene]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2019, vol. 5, no. 3, pp. 37–41. doi: 10.32864/polymmattech-2019-5-3-37-41
-