

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-2-44-48>

УДК 678.743.41:539.1.04:620.17

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА С ЭТИЛЕНОМ И УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

В. П. СЕЛЬКИН[†]

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

Цель работы — исследование влияния ионизирующего излучения (потока ускоренных электронов) на механические характеристики в высокотемпературной области эксплуатации композитов на основе сополимера тетрафторэтилена с этиленом (ЭТФЭ), армированных углеродными волокнами (УВ).

Установлены зависимости предела прочности и предела текучести при растяжении и относительного удлинения при разрыве композитов на основе ЭТФЭ и УВ от поглощенной дозы. Показано, что после обработки композитов до поглощенной дозы 200 кГр при их растяжении в области температур, близких к максимальным температурам эксплуатации ЭТФЭ, наблюдается рост пределов прочности до 2,3 раз и предела текучести до 1,8 раз. Относительное удлинение при разрыве композитов при этом уменьшается. Повышение прочностных характеристик композитов на основе ЭТФЭ объясняется радиационным сшиванием полимерной матрицы, а снижение относительного удлинения при разрыве конкурирующими со сшиванием процессами деструкции. Отмечено, что наиболее эффективно модифицирование потоком ускоренных электронов ЭТФЭ, содержащего 5 мас.% УВ, которое позволяет получить материал, превосходящий по комплексу механических характеристик более высоконаполненные композиты. Показано, что при обработке потоком ускоренных электронов до поглощенной дозы 200 кГр данного композита предел прочности и предел текучести при растяжении при 200 °С достигают 5,5 МПа и 3,6 МПа соответственно. При этом сохраняются высокие значения относительного удлинения при разрыве более 200%.

Ключевые слова: композиты, радиационное сшивание, фторопласты, углеродные волокна, механические свойства.

INFLUENCE OF RADIATION MODIFICATION ON THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON ETHYLENE TETRAFLUOROETHYLENE AND CARBON FIBERS

V. P. SELKIN[†]

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

The aim of the work is to study the effect of ionizing radiation (accelerated electron flux) on the mechanical characteristics in the high-temperature operating area of composites reinforced with carbon fibers (CF) based on the ethylene tetrafluoroethylene (ETFE).

The dependences of tensile strength and yield strength and elongation at break of composites based on ETFE and CF on the absorbed dose have been established. It has been established that after radiation treatment of composites to an absorbed dose of 200 kGr, when they are stretched in the temperature range close

[†]E-mail: selkin_v@mail.ru

to the maximum operating temperatures of ETFE (200 °C), an increase in tensile strength (up to 2.3 times) and yield strength (up to 1.8 times) is observed. The relative elongation at break of the composites decreases in this case. The increase in the strength characteristics of PTFE-based composites is explained by radiation crosslinking of the polymer matrix, and the decrease in elongation at break by destruction processes competing with crosslinking. It is noted that the most effective modification by the flow of accelerated electrons is ETFE with 5 wt.% HC, which makes it possible to obtain a material superior to higher-filled composites in terms of a complex of mechanical characteristics. It is shown that when treated with a flow of accelerated electrons to an absorbed dose of 200 kGr of this composite its strength and yield strength at 200 °C reach 5.5 MPa and 3.6 MPa. At the same time, the composite retains sufficient values of elongation at break more than 200%.

Keywords: composites, radiation cross-linking, fluoropolymers, carbon fiber, mechanical properties.

Поступила в редакцию 20.04.2022

© В. П. Селькин, 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:

Селькин В. П. Влияние радиационного модифицирования на механические характеристики композиционных материалов на основе сополимера тетрафторэтилена с этиленом и углеродных волокон // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 2. С. 44–48. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-2-44-48>

Citation sample:

Sel'kin V. P. Vliyanie radiatsionnogo modifitsirovaniya na mekhanicheskie kharakteristiki kompozitsionnykh materialov na osnove sopolimera tetraftoretilena s etilenom i uglerodnykh volokon [Influence of radiation modification on the mechanical characteristics of composite materials based on ethylene tetrafluoroethylene and carbon fibers]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2022, vol. 8, no. 2, pp. 44–48. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-2-44-48>

Литература

1. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. СПб : Научные основы и технологии, 2008. 822 с.
2. Цвайфель Х., Маер Р. Д., Шиллер М. Добавки к полимерам : справочник. СПб : Профессия, 2010. 1144 с.
3. Markova M. A., Petrova P. N. Influence of Carbon Fibers and Composite Technologies on the Properties of PCM Based on Polytetrafluoroethylene // *Inorg. Mater. Appl. Res.*, 2021, no. 12, pp. 551–557. doi: 10.1134/S2075113321020362
4. Ebnesajjad Sina. Fluoroplastics : Vol. 2. Melt processible fluoropolymers : the definitive user's guide and data book. Amsterdam [et al.] : Elsevier, 2015. 766 p.
5. 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
6. 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
7. Fluon ETFE [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agc-chemicals.com/jp/en/fluorine/products/detail/index.html?pCode=JP-EN-F008> (дата обращения: 20.04.2022).
8. 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. doi: 10.32864/polymmattech-2021-7-2-89-93
9. Zhang X., Chen, F., Su, Z., Xie, T. Effect of Radiation-Induced Cross-Linking on Thermal Aging Properties of Ethylene-Tetrafluoroethylene for Aircraft Cable Materials // *Materials*, 2021, vol. 14, is. 2. doi: 10.3390/ma14020257

10. Radiation Technology for Advanced Materials. From Basic to Modern Applications / Edited by: Guozhong Wu, Maolin Zhai and Mozhen Wang. UK : Academic Press, 2018. 340 p.
11. Экструдруемые фторполимеры и фторэластомеры компании AGC Chemicals [Электронный ресурс]. URL: <https://www.plastics.ru/pdf/replast/2019/AGC.pdf> (дата обращения: 20.04.2022).
12. Selkin V., Pleskachevsky Yu., Smirnov V., Gochaliev G., Rubin B. A Polyolefin Dosimeter System // International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry, 1990, vol. 35, no. 4–6, 750–753. doi: 10.1016/1359-0197(90)90309-6
13. Лямкин Д. И., Романов Б. С., Лебедев В. Н., Степин Я. Г. Влияние дозы радиационного облучения на эксплуатационные свойства фторопластовых композиций Тэфзел и Ф-40КС для кабельной техники при повышенных температурах // Пластические массы. 2016. № 5-6. С. 51–52. doi: 10.35164/0554-2901-2016-5-6-51-52
14. Forsythe J. S., Hill D. J. T. The radiation chemistry of fluoropolymers // Progress in Polymer Science, 2000, vol. 25, no. 1, pp. 101–136. doi: 10.1016/S0079-6700(00)00008-3

References

1. Mikhaylin Yu. A. *Konstruksionnye polimernye kompozitsionnye materialy* [Structural polymer composite materials]. Saint-Peterburg : Nauchnye osnovy i tekhnologii Publ., 2008. 822 p.
2. Tsvayfel' Kh., Maer R. D., Shiller M. *Dobavki k polimeram* [Additives to polymers]. Saint-Peterburg : Professiya Publ., 2010. 1144 s.
3. Markova M. A., Petrova P. N. Influence of Carbon Fibers and Composite Technologies on the Properties of PCM Based on Polytetrafluoroethylene. *Inorg. Mater. Appl. Res.*, 2021, no. 12, pp. 551–557. doi: 10.1134/S2075113321020362
4. Ebnesajjad Sina. Fluoroplastics : Vol. 2. Melt processible fluoropolymers : the definitive user's guide and data book. Amsterdam [et al.] : Elsevier, 2015. 766 p.
5. 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
6. 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
7. Fluon ETFE. Available at: <https://www.agc-chemicals.com/jp/en/fluorine/products/detail/index.html?pCode=JP-EN-F008> (accessed 20.04.2022).
8. 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]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2021, vol. 7, no. 2, pp. 89–93. doi: 10.32864/polymmattech-2021-7-2-89-93.
9. Zhang X., Chen, F., Su, Z., Xie, T. Effect of Radiation-Induced Cross-Linking on Thermal Aging Properties of Ethylene-Tetrafluoroethylene for Aircraft Cable Materials. *Materials*, 2021, vol. 14, is. 2. doi: 10.3390/ma14020257
10. Radiation Technology for Advanced Materials. From Basic to Modern Applications. Edited by: Guozhong Wu, Maolin Zhai and Mozhen Wang. UK : Academic Press, 2018. 340 p.
11. Экструдруемые фторполимеры и фторэластомеры компании AGC Chemicals [AGC Chemicals extrudable fluoropolymers and fluoroelastomers]. Available at: <https://www.plastics.ru/pdf/replast/2019/AGC.pdf> (accessed 20.04.2022).
12. Selkin V., Pleskachevsky Yu., Smirnov V., Gochaliev G., Rubin B. A Polyolefin Dosimeter System. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry*, 1990, vol. 35, no. 4–6, 750–753. doi: 10.1016/1359-0197(90)90309-6
13. Lyamkin D. I., Romanov B. S., Lebedev V. N., Stepin Ya. G. Vliyanie dozy radiatsionnogo oblucheniya na ekspluatatsionnye svoystva ftoroplastovykh kompozitsiy Tefzel i F-40KS dlya kabel'noy tekhniki pri povyshennykh temperaturakh [Influence of irradiation dose on exploitation properties of fluoroplastic compounds Tefzel and F-40KS for cable technology at the increased temperatures]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2016, no. 5-6, pp. 51–52. doi: 10.35164/0554-2901-2016-5-6-51-52
14. Forsythe J. S., Hill D. J. T. The radiation chemistry of fluoropolymers. *Progress in Polymer Science*, 2000, vol. 25, no. 1, pp. 101–136. doi: 10.1016/S0079-6700(00)00008-3