

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-1-64-69>

УДК 678.8:678.0

## ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ НАПОЛНЕНИЯ СТЕКЛОВОЛОКНОМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА

А. С. БРУНДУКОВ<sup>+</sup>, П. Н. ГРАКОВИЧ, И. С. ШИЛЬКО

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

*Цель работы — определение влияния степени наполнения стекловолокном на механические свойства композитов на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК), получаемых методом холодного прессования с последующим свободным спеканием.*

*Образцы композитов ПЭЭК получали методом холодного прессования с последующим спеканием в свободном состоянии (ХПСС). Степень наполнения композитов стекловолокном составляла 5–30 мас.%. Механические свойства композитов ПЭЭК определяли при статическом сжатии цилиндрических образцов при комнатной температуре и скорости деформирования 2 мм/мин согласно ГОСТ 4651. Плотность образцов определяли методом гидростатического взвешивания. Морфологию поверхностей разрушения композитов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).*

*Для композитов ПЭЭК, полученных методом ХПСС, характерна тенденция роста модуля упругости при статическом сжатии с увеличением концентрации стекловолокон. Модуль упругости при сжатии композитов ПЭЭК, наполненных стекловолокном в количестве 5 мас.%, 10 мас.% и 30 мас.%, составляет 2,9 ГПа, 3,3 ГПа и 3,8 ГПа соответственно. Механические свойства стеклонаполненных композитов ПЭЭК, изготовленных методом ХПСС, аналогичны свойствам композитов ПЭЭК, полученным методом экструзии.*

*Методом СЭМ установлено, что, ПЭЭК равномерно обволакивает поверхность стекловолокон без видимых дефектов, что свидетельствует о хорошей смачиваемости поверхности наполнителя.*

**Ключевые слова:** полиэфирэфиркетон, термопласт, свободное спекание, холодное прессование, механические свойства, стекловолокно.

## EFFECT OF GLASS FIBER FILLING DEGREE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON POLYETHERETHERKETONE

A. S. BRUNDUKOV<sup>+</sup>, P. N. GRAKOVICH, I. S. SHILKO

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

*The aim of this work was to determine the influence of the degree of glass fiber filling on the mechanical properties of polyetheretherketone (PEEK)-based composites obtained by cold pressing followed by free sintering.*

*Samples of PEEK composites were obtained by cold pressing followed by free-state sintering (CPFS). The degree of filling of the composites with glass fiber was 5–30 wt.%. The mechanical properties of PEEK composites were determined under static compression of cylindrical samples at room temperature and a deformation rate of 2 mm/min according to GOST 4651-2014. The density of the samples was determined by hydrostatic weighing. The morphology of the fracture surfaces of the composites was studied by scanning*

<sup>+</sup>Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: alexeybrundukov@gmail.com

electron microscopy (SEM).

PEEK composites obtained by the CPFS method are characterized by a tendency for the elastic modulus to increase under static compression with an increase in the concentration of glass fibers. The compression modulus of PEEK composites filled with glass fiber in the amount of 5 wt.%, 10 wt.% and 30 wt.% is 2.9 GPa, 3.3 GPa and 3.8 GPa, respectively. The mechanical properties of glass-filled PEEK composites manufactured by the CPFS method are similar to the properties of PEEK composites obtained by the extrusion method.

The SEM method showed that PEEK uniformly envelops the surface of glass fibers without visible defects, which indicates good wettability of the filler surface.

**Keywords:** polyetheretherketone, thermoplastic, free sintering, cold pressing, mechanical characteristics, glass fibers.

Поступила в редакцию 03.04.2024

© А. С. Брундуков, П. Н. Гракович, И. С. Шилько, 2025

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:

Брундуков А. С., Гракович П. Н., Шилько И. С. Влияние степени наполнения стекловолокном на механические свойства композитов на основе полиэфирэфиркетона // Полимерные материалы и технологии. 2025. Т. 11, № 1. С. 64–69. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-1-64-69>

#### Citation sample:

Brundukov A. S., Grakovich P. N., Shil'ko I. S. Vliyanie stepeni napolneniya steklovoloknom na mekhanicheskie svoystva kompozitov na osnove poliefirefirketona [Effect of glass fiber filling degree on the mechanical properties of composites based on polyetheretherketone]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2025, vol. 11, no. 1, pp. 64–69. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-1-64-69>

#### Литература

1. Doumeng M., Makhlof L., Berthet F., Marsan O., Delbé K., Denape J., Chabert F. A comparative study of the crystallinity of polyetheretherketone by using density, DSC, XRD, and Raman spectroscopy techniques // *Polymer Testing*, 2021, vol. 93. doi: 10.1016/j.polymertesting.2020.106878
2. Lyu H., Jiang N., Li Y., Zhang D. Enhancing CF/PEEK interfacial adhesion by modified PEEK grafted with carbon nanotubes // *Composites Science and Technology*, 2021, vol. 210. doi: 10.1016/j.compscitech.2021.108831
3. Wang T., Jiao Y., Mi Z., Wang C., Wang D., Zhao X., Zhou H., Chen C. Improving the Interfacial Adhesion of Carbon Fiber/Polyether Ether Ketone Composites by Polyimide Coating // *ChemistrySelect*, 2020, vol. 5, is. 19, pp. 5507–5514. doi: 10.1002/slct.202001232
4. Tatsumi G., Ratoi M., Shitara Y., Sakamoto K., Mellor B.G. Effect of organic friction modifiers on lubrication of PEEK-steel contact // *Tribology International*, 2020, vol. 151. doi: 10.1016/j.triboint.2020.106513
5. Zhu S., Qian Y., Hassan E. A. M., Shi R., Yang L., Cao H., Zhou J., Ge D., Yu M. Enhanced interfacial interactions by PEEK-grafting and coupling of acylated CNT for GF/PEEK composites // *Composites Communications*, 2020, vol. 18, pp. 43–48. doi: 10.1016/j.coco.2020.01.008
6. Хараев А. М., Бажева Р. Ч. Полиэфирэфиркетоны: синтез, свойства, применение (обзор) // *Пластические массы*. 2018. № 7-8. С. 15–23.
7. Брундуков А. С., Шилько И. С., Иванов Л. Ф. Современные полимерные композиционные материалы на основе полиэфирэфиркетона и технология их переработки // *Актуальные вопросы физики и техники* [Электронный ресурс] : X Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апреля 2021 года) : сборник материалов : в 2 ч. Ч. 1 / редкол.: Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2021. С. 38–41. 1 CD-ROM.
8. Брундуков А. С. Разработка технологической оснастки для переработки полимерных композиционных материалов на основе полиэфирэфиркетона методом горячего прессования // *Молодежь в науке - 2021 : тезисы докладов XVIII Международной научной*

- конференции молодых ученых (Минск, 27–30 сентября 2021 г.) : в 2 ч. Ч. 2 / редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. Минск : Белорусская наука, 2021. С. 220–222.
9. Wu W., Geng P., Li G., Zhao D., Zhang H., Zhao J. Influence of layer thickness and raster angle on the mechanical properties of 3D-printed PEEK and a comparative mechanical study between PEEK and ABS // *Materials*, 2015, vol. 8, no. 9, pp.5834–5846. doi: 10.3390/ma8095271
  10. Брундуков А. С., Гракович П. Н., Шилько И. С. Сравнение механических характеристик полиэфирэфиркетона и стеклонаполненных композитов на его основе при статическом сжатии // *Полимерные материалы и технологии*. 2024. Т. 10, № 2. С. 83–88.
  11. Киринов Б. С., Кузнецова К. Р., Петрова Г. Н., Сорокин А. Е. Сравнительный анализ свойств полиэфирэфиркетонотов отечественного и зарубежного производства // *Труды ВИАМ*. 2018. № 5 (65). С. 34–43. doi: 10.18577/2307-6046-2018-0-5-34-43
  12. Бондалетова Л. И., Бондалетов В. Г. Полимерные композиционные материалы : учебное пособие. Томск : ТПУ, 2020. Ч. 2. 130 с.
  13. Витюнин М. А., Чикова О. А. Сопrotivление материалов : учеб. пособие для студентов. Екатеринбург : УрГПУ, 2014. 136 с.
  14. Tung C. M., Dynes P. J. Morphological characterization of polyetheretherketone-carbon fiber composites // *Journal of applied polymer science*, 1987, vol. 33, is. 2, pp. 505–520. doi: 10.1002/app.1987.070330218
  15. Bas C., Battesti P., Alb  rola N. D. Crystallization and melting behaviors of poly (aryletheretherketone)(PEEK) on origin of double melting peaks // *Journal of applied polymer science*, 1994, vol. 53, is. 13, pp. 1745–1757. doi: 10.1002/app.1994.070531305
  16. Bas C., Grillet A. C., Thimon F., Alb  rola N. D. Crystallization kinetics of poly (aryl ether ether ketone): time-temperature-transformation and continuous-cooling-transformation diagrams // *European Polymer Journal*, 1995, vol. 31, no. 10, pp. 911–921. doi: 10.1016/0014-3057(95)00060-7

## References

1. Doumeng M., Makhlof L., Berthet F., Marsan O., Delb   K., Denape J., Chabert F. A comparative study of the crystallinity of polyetheretherketone by using density, DSC, XRD, and Raman spectroscopy techniques. *Polymer Testing*, 2021, vol. 93. doi: 10.1016/j.polymertesting.2020.106878
2. Lyu H., Jiang N., Li Y., Zhang D. Enhancing CF/PEEK interfacial adhesion by modified PEEK grafted with carbon nanotubes. *Composites Science and Technology*, 2021, vol. 210. doi: 10.1016/j.compscitech.2021.108831
3. Wang T., Jiao Y., Mi Z., Wang C., Wang D., Zhao X., Zhou H., Chen C. Improving the Interfacial Adhesion of Carbon Fiber/Polyether Ether Ketone Composites by Polyimide Coating. *ChemistrySelect*, 2020, vol. 5, is. 19, pp. 5507–5514. doi: 10.1002/slct.202001232
4. Tatsumi G., Ratoi M., Shitara Y., Sakamoto K., Mellor B.G. Effect of organic friction modifiers on lubrication of PEEK-steel contact. *Tribology International*, 2020, vol. 151. doi: 10.1016/j.triboint.2020.106513
5. Zhu S., Qian Y., Hassan E. A. M., Shi R., Yang L., Cao H., Zhou J., Ge D., Yu M. Enhanced interfacial interactions by PEEK-grafting and coupling of acylated CNT for GF/PEEK composites. *Composites Communications*, 2020, vol. 18, pp. 43–48. doi: 10.1016/j.coco.2020.01.008
6. Kharaev A. M., Bazheva R. Ch. Poliefirefirketony: sintez, svoystva, primeneniye (obzor) [Polyetheretherketones: synthesis, properties, application (review)]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2018, no. 7-8, pp. 15–23.
7. Brundukov A. S., Shil'ko I. S., Ivanov L. F. Sovremennyye polimernyye kompozitsionnyye materialy na osnove poliefir-firketona i tekhnologiya ikh pererabotki [Modern polymer composite materials based on polyester-etherketone and the technology of their processing]. *X Respublikanskaya nauchnaya konferentsiya studentov, magistrantov i aspirantov «Aktual'nye voprosy fiziki i tekhniki»* [X Republican Scientific Conference of Students, Masters and Postgraduate Students "Topical issues of physics and technology"]. Gomel' : GGU im. F. Skoriny Publ., 2021, part. 1, pp. 38–41. 1 CD-ROM.
8. Brundukov A. S. Razrabotka tekhnologicheskoy osnastki dlya pererabotki polimernyykh kompozitsionnykh materialov na osnove poliefir-firketona metodom goryachego pressovaniya [Development of technological equipment for processing polymer composite materials based on polyether ether ketone by hot pressing]. *Tezisy dokladov XVIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchennykh «Molodezh' v nauke-2021»* [Abstracts of reports of the XVIII International Scientific Conference of Young Scientists, "Youth in Science-2021"]. Minsk : Belorusskaya nauka Publ., 2021, part 2, pp. 220–222.
9. Wu W., Geng P., Li G., Zhao D., Zhang H., Zhao J. Influence of layer thickness and raster angle on the mechanical properties of 3D-printed PEEK and a comparative mechanical study between PEEK and ABS. *Materials*, 2015, vol. 8, no. 9, pp.5834–5846. doi: 10.3390/ma8095271
10. Brundukov A. S., Grakovich P. N., Shil'ko I. S. Sravneniye mekhanicheskikh kharakteristik poliefir-firketona i steklonapopolnennykh kompozitov na ego osnove pri staticheskom szhatii [Comparison of mechanical properties of polyetheretherketone and glass-filled composites based on it under static compression]. *Polimernyye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2024, vol. 10, no. 2, pp. 83–88.
11. Kirin B. S., Kuznetsova K. R., Petrova G. N., Sorokin A. E. Sravnitel'nyy analiz svoystv poliefir-firketonov otechestvennogo i zarubezhnogo proizvodstva [Comparative analysis of the properties of polyetheretherketones of domestic and foreign production]. *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM], 2018, no. 5 (65), pp. 34–43. doi: 10.18577/2307-6046-2018-0-5-34-43
12. Bondaletova L. I., Bondaletov V. G. *Polimernyye kompozitsionnyye materialy* [Polymer composite materials]. Tomsk : TPU Publ., 2020, part. 2. 130 p.
13. Vityunin M. A., Chikova O. A. *Soprotivleniye materialov* [Strength of materials]. Ekaterinburg : UrGPU Publ., 2014. 136 p.
14. Tung C. M., Dynes P. J. Morphological characterization of polyetheretherketone-carbon fiber composites. *Journal of applied polymer science*, 1987, vol. 33, is. 2, pp. 505–520. doi: 10.1002/app.1987.070330218
15. Bas C., Battesti P., Alb  rola N. D. Crystallization and melting behaviors of poly (aryletheretherketone)(PEEK) on origin of double melting peaks. *Journal of applied polymer science*, 1994, vol. 53, is. 13, pp. 1745–1757. doi: 10.1002/app.1994.070531305
16. Bas C., Grillet A. C., Thimon F., Alb  rola N. D. Crystallization kinetics of poly (aryl ether ether ketone): time-temperature-transformation and continuous-cooling-transformation diagrams. *European Polymer Journal*, 1995, vol. 31, no. 10, pp. 911–921. doi: 10.1016/0014-3057(95)00060-7