

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-1-41-49>

УДК 678.743.41

УПОРЯДОЧЕНИЕ АМОРФНОЙ ФАЗЫ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ: СТРУКТУРНЫЕ И РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПОЛНЕННОГО ПТФЭ

Л. Ф. КАЛИСТРАТОВА⁺, В. К. ВОЛКОВА

Омский государственный технический университет, пр-т Мира, 11, 644050, г. Омск, Россия

В последнее десятилетие появилась новая концепция о существовании частичного упорядочения аморфной фазы аморфно-кристаллического полимера. На это указывает экспериментальный факт наличия участков аморфных гало на рентгенограммах таких полимеров. Авторами статьи обобщены результаты применения модели упорядочения аморфной фазы аморфно-кристаллических полимеров на примере чистого и наполненного ПТФЭ, как яркого представителя аморфно-кристаллических полимеров, к расчету рентгеновской плотности трёх структурных составляющих полимерной матрицы: кристаллической фазы, частично упорядоченной и полностью неупорядоченной аморфных фаз. Показано, что степень упорядочения аморфной фазы для ненаполненного ПТФЭ, составляет примерно 50% в объеме аморфной фазы. Наполнение ПТФЭ волокнистым наполнителем в виде углеродного волокна (УВ) до 30 мас.% приводит к систематическому снижению степени упорядочения аморфной фазы полимерной матрицы композиций. Наполнение дисперсным наполнителем в виде скрытокристаллического графита (СКГ) неоднозначно сказывается на степени упорядочения полимерной матрицы композиций в области малых и больших концентраций. Приведенные сравнительные результаты расчета плотностей кристаллической и аморфной фаз композиций ПТФЭ + УВ и ПТФЭ + СКГ позволили оценить значения линейного коэффициента поглощения рентгеновских лучей и толщины модифицированного поверхностного слоя композиций ПТФЭ, участвующего в процессе фрикционного взаимодействия. Результаты, основанные на модели упорядочения аморфной фазы, не противоречат ранее установленным типам I и II надмолекулярной структуры полимерной матрицы композитов ПТФЭ при незначительном и большом содержании УВ и СКГ наполнителей, имеющих различное влияние на структурные характеристики, плотность и, следовательно, на триботехнические характеристики полимерных композиционных материалов.

Ключевые слова: структура, фаза, плотность, степень кристаллизации, степень упорядочения, линейный коэффициент поглощения рентгеновских лучей, композит.

ORDERING OF THE AMORPHOUS PHASE OF A POLYMER MATRIX: STRUCTURAL AND X-RAY CHARACTERISTICS OF FILLED PTFE

L. F. KALISTRATOVA⁺, V. K. VOLKOVA

Omsk State Technical University, Mira Ave, 11, 644050, Omsk, Russia

There was a new concept on partial ordering of the amorphous phase of an amorphous-crystalline polymer last decade. This is indicated by the experiment that there are areas of amorphous halos in the X-ray diffraction patterns of such polymers. The authors of the article summarized the results of applying the model of ordering the amorphous phase of amorphous-crystalline polymers using pure and filled PTFE, as an ex-

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

ponent of amorphous-crystalline polymers, to the calculation of the X-ray density of three structural components of the polymer matrix: the crystalline phase, partially ordered and completely disordered amorphous phases. The degree of ordering the amorphous phase for unfilled PTFE is shown to be approximately 50% in the amorphous phase. Filling PTFE with fibrous filler in the carbon fiber (HC) form up to 30 wt.% leads to systematic decrease in the degree of ordering the amorphous phase of the polymer matrix of the composites, filling with a dispersed filler in the crypto-crystalline graphite (CCG) form — affects the degree of ordering the polymer matrix of compositions in the range of small and high concentrations. The presented comparative results of calculating the densities of the crystalline and amorphous phases of PTFE + HC and PTFE + CCG composites estimate the linear X-ray absorption coefficient and thickness of the modified surface layer of the PTFE composites in the process of frictional interaction. The results based on the model of ordering the amorphous phase do not contradict the established types of I and II supra-molecular structures of the polymer matrix of PTFE composites with low and high contents of fibrous and dispersed fillers which have different effects on the structural characteristics, density, and on the characteristics of polymer composites tribological properties.

Keywords: structure, phase, density, degree of crystallization, degree of ordering, linear coefficient of X-rays absorption, composite.

Поступила в редакцию 03.08.2020

© Л. Ф. Калистратова, В. К. Волкова, 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:

Калистратова Л. Ф., Волкова В. К. Упорядочение аморфной фазы полимерной матрицы: структурные и рентгенографические характеристики наполненного ПТФЭ // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 1. С. 41–49. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-1-41-49>

Citation sample:

Kalistratova L. F., Volkova V. K. Uporядochenie amorfnoy fazy polimernoy matritsy: strukturnye i rentgenograficheskie kharakteristiki napolnennogo PTFE [Ordering of the amorphous phase of a polymer matrix: structural and X-ray characteristics of filled PTFE]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 1, pp. 41–49. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-1-41-49>

Литература

1. Машков Ю. К., Овчар З. Н., Суриков В. И., Калистратова Л. Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация : монография. М. : Машиностроение. 2005. 240 с.
2. Машков Ю. К., Калистратова Л. Ф. Методологические аспекты теории синтеза и эволюции структуры ПТФЭ-композитов // Материаловедение. 2016. № 4. С. 39–44.
3. Лебедев Ю. А., Королев Ю. М., Поликарпов В. М., Игнатъева Л. Н. Рентгенографический фазовый анализ политетрафторэтилена // Кристаллография. 2010. Т. 55, № 4. С. 651–656.
4. Поликарпов В. М., Лазарев С. И., Головин Ю. М., Лазарев Д. С. Метод исследования некристаллических фаз полимерных систем и их мембран // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. 2015. Т. 20, № 4. С. 910–915.
5. Kalistratova L. F., Mashkov Y. K., Egorova V. A. Calculation of X-ray Density of Amorphous–Crystalline Polymer Taking into Account Degree of Ordering of Amorphous Phase // *Inorganic Materials Applied Research*, 2018, vol. 9, no. 4, pp. 687–692. doi: 10.1134/S2075113318040147

6. Калистратова Л. Ф., Киреев А. П., Саранский А. В. Программное обеспечение «Расчет плотности аморфно-кристаллических полимеров» // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование». 2018. № 4 (107). doi: 10.12731/ofernio.2018.23548
7. Kalistratova L. F., Egorova B. A. Ordering of the Amorphous Phase as One of the Characteristics of Supramolecular structure of Amorphous-Crystalline Polymer // *Inorganic Materials: Applied Research*, 2019, vol. 10, no. 4, pp. 933–938. doi: 10.1134/S2075113319040208
8. Миркин Л. И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М. : Физматлит, 1961. 863 с.
9. Кропотин О. В., Машков Ю. К., Егорова В. А., Кургузова О. А. Разработка полимерных композитов триботехнического назначения с микроразмерными модификаторами // Омский научный вестник. 2013. № 2 (120). С. 91–94.

References

1. Mashkov Yu. K., Ovchar Z. N., Surikov V. I., Kalistratova L. F. *Kompozitsionnye materialy na osnove politetrafluoretilena. Strukturnaya modifikatsiya* [Composite materials based on polytetrafluoroethylene. structural modification]. Moscow : Mashinostroenie Publ., 2005. 240p.
2. Mashkov Yu. K., Kalistratova L. F. Metodologicheskie aspekty teorii sinteza i evolyutsii struktury PTFE-kompozitov [Methodological aspects of the theory of synthesis and evolution of the structure of PTFE-composites]. *Materialovedenie* [Inorganic Materials: Applied Research], 2016, no. 4, pp. 39–44.
3. Lebedev Yu. A., Korolev Yu. M., Polikarpov V. M., Ignat'eva L. N. Rentgenograficheskiy fazovyy analiz politetrafluoretilena [X-ray phase analysis of polytetrafluoroethylene]. *Kristallografiya* [Crystallography Reports], 2010, vol. 55, no. 4, pp. 651–656.
4. Polikarpov V. M., Lazarev S. I., Golovin Yu. M., Lazarev D. S. Metod issledovaniya nekrystallicheskiykh faz polimernykh sistem i ikh membran [Method for studying non-crystalline phases of polymer systems and their membranes]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences], 2015, vol. 20, no. 4, pp. 910–915.
5. Kalistratova L. F., Mashkov Y. K., Egorova V. A. Calculation of X-ray Density of Amorphous–Crystalline Polymer Taking into Account Degree of Ordering of Amorphous Phase. *Inorganic Materials Applied Research*, 2018, vol. 9, no. 4, pp. 687–692. doi: 10.1134/S2075113318040147
6. Kalistratova L. F., Kireev A. P., Saranskiy A. V. Pro-grammnoe obespechenie «Raschet plotnosti amorfno-kristallicheskiykh polimerov» [Software “Calculation of the density of amorphous crystalline polymers”]. *Khroniki ob"edinennogo fonda elektronnykh resursov «Nauka i obrazovanie»* [Chronicles of the joint fund of electronic resources “Science and Education”], 2018, no. 4 (107). doi: 10.12731/ofernio.2018.23548
7. Kalistratova L. F., Egorova B. A. Ordering of the Amorphous Phase as One of the Characteristics of Supramolecular structure of Amorphous-Crystalline Polymer. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2019, vol. 10, no. 4, pp. 933–938. doi: 10.1134/S2075113319040208
8. Mirkin L. I. *Spravochnik po rentgenostrukturnomu analizu polikristallov* [Handbook on X-ray structural analysis of polycrystals]. Moscow : Fizmatlit Publ., 1961. 863 p.
9. Kropotin O. V., Mashkov Yu. K., Egorova V. A., Kurguzova O. A. Razrabotka polimernykh kompozitov tribotekhnicheskogo naznacheniya s mikrorazmernymi modifikatorami [Development of polymer composites for tribotechnical purposes with microsized modifiers]. *Omskiy nauchnyy vestnik* [Omsk Scientific Bulletin], 2013, no. 2 (120), pp. 91–94.