

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-2-49-54>

УДК 678.046.76

УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА ИЗ ПОЛИОКСИДИАЗОЛА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ПТФЭ

В. А. ШЕЛЕСТОВА¹⁺, И. С. ШИЛЬКО¹, В. А. СТРАТАНОВИЧ¹, М. В. ПОЛХОВСКИЙ², А. А. САРЫЧЕВ², П. Н. ГРАКОВИЧ¹

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

²ОАО «СветлогорскХимволокно», ул. Заводская, 5, 247439, г. Светлогорск, Беларусь

Цель работы — изучение свойств углеродных волокон (УВ), полученных из полиоксидиазола (ПОД) при различных режимах, и возможности их использования для получения композиционных материалов на основе ПТФЭ.

Изучены характеристики УВ и тканей, полученных из ПОД и возможность их использования в качестве наполнителей политетрафторэтилена (ПТФЭ) для производства антифрикционных композитов. Повышение доли углерода в волокнах наиболее интенсивно происходит на стадии карбонизации (до 1500 °С), а затем стабилизируется на уровне около 99%. Отмечается более низкая прочность (в 2–2,5 раза) углеродных тканей на основе ПОД по сравнению с полученными из гидратцеллюлозы (ГЦ) при таких же режимах. Изучение поверхности УВ методом СЭМ показало, что на их поверхности имеется большое количество образований продолговатой формы похожих на стружку, которые исчезают при увеличении конечной температуры термообработки (КТТО) свыше 1500 °С и после плазменной обработки. Опытные образцы углеродных тканей, полученные из ПОД при различных КТТО и модифицированные в низкотемпературной плазме в среде фторсодержащих газов, служили в измельченном виде наполнителями ПТФЭ. Показано, что для получения композитов с удовлетворительными характеристиками можно использовать УВ на основе ПОД, полученными при КТТО 1200 °С и 1500 °С. Однако низкая прочность данных УВ по сравнению с произведенными из ГЦ свидетельствует о необходимости дальнейших исследований влияния УВ из ПОД на характеристики получаемых композитов.

Ключевые слова: углеродное волокно, углеродные ткани, конечная температура термообработки, полиоксидиазол, гидратцеллюлоза, наполнитель, антифрикционный композит, политетрафторэтилен, свойства.

CARBON FIBERS FROM POLYOXYDIAZOLE AND THEIR APPLICATION AS PTFE FILLERS

V. A. SHELESTOVA¹⁺, I. S. SHILKO¹, V. A. STRATANOVICH¹, M. V. POLCHOVSKY², A. A. SARYCHEV², P. N. GRAKOVICH¹

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

²OJSC SvetlogorskKhimvolokno, Zavodskaya St., 5, 247439, Svetlogorsk, Belarus

The purpose of the work is to study the properties of carbon fibers (CF) and cloths obtained from polyoxadiazole (POD) under various conditions, and the possibility of their use for the production of composite materials based on PTFE.

The characteristics of CF produced from (POD) and their potential as polytetrafluoroethylene (PTFE) fillers for antifriction composite production have been investigated. The increase in carbon content in the fi-

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

bers is most intense during the carbonation process (up to 1500 °C), after which it stabilizes at approximately 99%. Carbon cloths based on POD exhibit lower strength (2–2.5 times) compared to those derived from hydrated cellulose (HC), under the same conditions. SEM analysis of the CF surfaces revealed a high number of long-shaped formations, similar to chips. These formations disappear after increasing final heat treatment temperatures (FHTT) above 1500 °C and after plasma treatment. Experimental specimens of carbon cloths produced from polyoxadiazole at different FHTT and subjected to low-temperature plasma treatment using fluorinated gas were used as PTFE filler materials. It has been shown that, in order to produce composites with acceptable characteristics, it is possible to utilize CF based on POD at FHTT of 1200 °C and 1500 °C. However, the lower strength of these CFs compared to those derived from HC suggests the need for further investigation to develop composites with improved properties.

Keywords: carbon fiber, carbon cloths, final heat treatment temperature, polyoxadiazole, hydrated cellulose, filler, antifriction composite, polytetrafluoroethylene, properties.

Поступила в редакцию 27.03.2024

© В. А. Шелестова, И. С. Шилько, В. А. Стратанович, М. В. Полховский, А. А. Сарычев, П. Н. Гракович, 2024

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., Шилько И. С., Стратанович В. А., Полховский М. В., Сарычев А. А., Гракович П. Н. Углеродные волокна из полиоксидиазола и их применение в качестве наполнителей ПТФЭ // Полимерные материалы и технологии. 2023. Т. 10, № 2. С. 49–54. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-2-49-54>

Citation sample:

Shelestova V. A., Shil'ko I. S., Stratanovich V. A., Polkhovskiy M. V., Sarychev A. A., Grakovich P. N. Uglerodnye volokna iz polioksidiazola i ikh primeneniye v kachestve napolniteley PTFE [Carbon fibers from polyoxydiazole and their application as PTFE fillers]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2023, vol. 10, no. 2, pp. 49–54. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-2-49-54>

Литература

1. Будник О. А., Бурмистр М. В. Особенности технологии подготовки углеволокнистого наполнителя для композита на основе фторопласта-4 // Вопросы химии и химической технологии. 2009. № 4. С. 80–85.
2. Yi Jun Shi, Xin Feng, Huai Yuan Wang, Xiao Hua Lu. Tribological and Mechanical Properties of PTFE Composites Filled with the Combination of Short Carbon Fiber and Carbon Nanofiber // *Key Engineering Materials*, 2007, vol. 334-335, pp. 689–692. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.334-335.689
3. Гракович П. Н., Шелестова В. А., Жандаров С. Ф., Иванов Л. Ф., Данченко С. Г., Беляцкий В. Н., Смирнов В. А., Лыбенко В. А. Белорусские композиты на основе фторопласта-4. Проблемы создания и применения // *Вестник Белнефтехима*. 2011. № 1. С. 48–53.
4. Молчанов Б. И., Чукаловский П. А., Варшавский В. Я. Углепластики. Москва : Химия, 1985. 207 с.
5. Симамура С., Синдо А., Коцука К., Цутияма Н., Сато Т., Ито Ё., Икэгами К., Ямада К., Сакамото А., Ватанабэ Ё., Такэда Х., Исикава Т., Сасаки В., Абэ Я. Углеродные волокна : пер. с яп. / под ред. С. Симамуры. Москва : Мир, 1987. 304 с.
6. Мелешко А. И., Половников С. П. Углерод. Углеродные волокна. Углеродные композиты. Москва : Сайнс-Пресс, 2007. 192 с.
7. Крисковец М. В. Разработка и исследование углеродных волокон с низким удельным объемным электрическим сопротивлением на основе полиоксидиазола : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.17.06. Санкт-Петербург, 2021. 16 с.
8. Шелестова В. А., Гракович П. Н., Шилько И. С., Иванов Л. Ф., Стратанович В. А. Влияние температуры термообработки углеродных волокон на формирование фторполимерного покрытия и свойства фторопластовых композитов // *Полимерные материалы и технологии*. 2020. Т. 6, № 4. С. 80–85.
9. Шелестова В. А. Плазменное нанесение фторполимерного покрытия на углеродные волокна для улучшения свойств фторопласто-

ВЫХ КОМПОЗИТОВ (ОБЗОР) // Материалы, технологии, инструменты. 2010. Т. 15, № 3. С. 39–51.

References

1. Budnik O. A., Burmistr M. V. Osobennosti tekhnologii podgotovki uglevoloknistogo napolnitelya dlya kompozita na osnove ftoroplasta-4 [Features of the technology for preparing carbon fiber filler for a composite based on fluoroplastic-4]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Questions of chemistry and chemical technology], 2009, no. 4, pp. 80–85.
 2. Yi Jun Shi, Xin Feng, Huai Yuan Wang, Xiao Hua Lu. Tribological and Mechanical Properties of PTFE Composites Filled with the Combination of Short Carbon Fiber and Carbon Nanofiber. *Key Engineering Materials*, 2007, vol. 334-335, pp. 689–692. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.334-335.689
 3. Grakovich P. N., Shelestova V. A., Zhandarov S. F., Ivanov L. F., Danchenko S. G., Belyatskiy V. N., Smirnov V. A., Lybenko V. A. Belorusskie kompozity na osnove ftoroplasta-4. Problemy sozdaniya i primeneniya [Belarusian composites based on fluoroplastic-4. Problems of creation and application]. *Vestnik Belneftekhima* [Belneftekhim Bulletin], 2011, no. 1, pp. 48–53.
 4. Molchanov B. I., Chukalovskiy P. A., Varshavskiy V. Ya. *Ugleplastiki* [Carbon fiber reinforced plastics]. Moscow : Khimiya Publ., 1985. 207 p.
 5. Simamura S., Sindo A., Kotsuka K., Tsutiyama N., Sato T., Ito E., Ikegami K., Yamada K., Sakamoto A., Vatanabe E., Takeda Kh., Isikava T., Sasaki V., Abe Ya. *Uglerodnye volokna* [Carbon fibers]. Ed. S. Simamury. Moscow : Mir Publ., 1987. 304 p.
 6. Meleshko A. I., Polovnikov S. P. *Uglerod. Uglerodnye volokna. Uglerodnye kompozity* [Carbon. Carbon fibers. Carbon composites]. Moscow : Sayns-Press Publ., 2007. 192 p.
 7. Kriskovets M. V. Razrabotka i issledovanie uglerodnykh volokon s nizkim udel'nym ob"emnym elektricheskim soprotivleniem na osnove polioksadiazola. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Development and research of carbon fibers with low volumetric electrical resistivity based on polyoxadiazole]. Saint-Petersburg, 2021. 16 p.
 8. Shelestova V. A., Grakovich P. N., Shil'ko I. S., Ivanov L. F., Stratanovich V. A. Vliyanie temperatury termoobrabotki uglerodnykh volokon na formirovanie ftoropolimernogo pokrytiya i svoystva ftoroplastovyykh kompozitov [The influence of the heat treatment temperature of carbon fibers on the formation of a fluoropolymer coating and the properties of fluoroplastic composites]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2020, vol. 6, no. 4, pp. 80–85.
 9. Shelestova V. A. Plazmennoe nanesenie ftoropolimernogo pokrytiya na uglerodnye volokna dlya uluchsheniya svoystv ftoroplastovyykh kompozitov (obzor) [Plasma application of fluoropolymer coating on carbon fibers to improve the properties of fluoroplastic composites (review)]. *Materialy, tekhnologii, instrumenty* [Materials, technologies, tools], 2010, vol. 15, no. 3, pp. 39–51.
-