

УДК 691.175.2

Триботехнические свойства композитов на основе СВМПЭ модифицированного борполимером

А.А. Охлопкова¹, С.Н. Данилова¹, А.А. Дьяконов^{1,2}, А.П. Васильев¹, А.Г. Тусов^{2,3},
А.К. Кычкин²

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
ул. Беллинского, 58, г. Якутск 677000, Россия

²Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН,
г. Якутск, Россия

³Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН»,
г. Якутск, Россия

Поступила в редакцию 19.07.2021.

После доработки 20.02.2022.

Принята к публикации 21.02.2022.

Приведены результаты исследования триботехнических свойств полимерных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), модифицированного борполимером (БП). Установлено, что введение борполимера в полимерную матрицу оказывает влияние на триботехнические свойства. Так, износостойкость композитов при содержании 3—5 % БП увеличилась в 2,4—6,0 раз по сравнению с исходным СВМПЭ. Коэффициент трения композитов при содержании 0,2—3,0 мас. % БП сохраняется на уровне исходного СВМПЭ. При содержании 5 мас. % борполимера в композите приводит к снижению коэффициента трения на 25 % относительно исходного полимера. Показано, что с увеличением содержания борполимера в полимерной матрице при трибоконтакте происходит структурная перестройка поверхностных слоёв с образованием более плотной вторичной структуры. Установлено, что при малом содержании БП преобладает адгезионный характер трения, что подтверждается наличием на поверхности трения наплывов и выступов. Исследование морфологии поверхности трения показало, что при образовании вторичных структур происходит сглаживание бороздок. Это свидетельствует об уменьшении абразивного действия стального контртела на полимер, что приводит к снижению коэффициента трения. Полученные результаты исследований могут быть использованы при разработке композиционных материалов на основе СВМПЭ триботехнического назначения, применяемых для узлов трения техники и технологического оборудования в качестве подшипников скольжения и уплотнительных шайб за счёт низкого коэффициента трения и отсутствия абразивного воздействия.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, борполимер, износостойкость.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-1-41-50

Адрес для переписки:

А.П. Васильев
Северо-Восточный федеральный университет
им. М.К. Аммосова,
ул. Беллинского, 58, г. Якутск 677000, Россия
e-mail: gtvap@mail.ru

Address for correspondence:

A.P. Vasilev
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,
Yakutsk 677000, Russia
e-mail: gtvap@mail.ru

Для цитирования:

А.А. Охлопкова, С.Н. Данилова, А.А. Дьяконов, А.П. Васильев,
А.Г. Тусов, А.К. Кычкин.

Триботехнические свойства композитов на основе СВМПЭ
модифицированного борполимером.

Трение и износ.

2022. — Т. 43, № 1. — С. 41—50.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-1-41-50

For citation:

A.A. Okhlopkova, S.N. Danilova, A.A. Dyakonov, A.P. Vasilev,
A.G. Tuisov, and A.K. Kychkin.

[Tribological Properties of a Composites Based on UHMWPE
Modified a Borpolymer].

Trenie i Iznos.

2022, vol. 43, no. 1, pp. 41—50 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-1-41-50

Tribological Properties of a Composites Based on UHMWPE Modified a Borpolymer

A.A. Okhlopkova¹, S.N. Danilova¹, A.A. Dyakonov^{1,2}, A.P. Vasilev¹, A.G. Tuisov^{2,3}, and A.K. Kychkin²

¹*M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,
Yakutsk 677000, Russia*

²*V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the RAS,
Yakutsk 677980, Russia*

³*Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS”,
Yakutsk 677000, Russia*

Received 19.07.2020.

Revised 20.02.2021.

Accepted 21.02.2021.

Abstract

This paper presents the results of study of polymer composite materials based on ultra-high molecular weight polyethylene modified with borpolymer. It has been established that the introducing of a borpolymer into a polymer matrix affects the tribological properties. Thus, the wear resistance of composites with a content of 3—5 wt.% BP increased by 2.4—6.0 times compared with the original UHMWPE. The coefficient of friction of composites at a content of 0.2—3.0 wt. % BP remains at the level of the initial UHMWPE. When the content is 5 wt. % borpolymer in the composite leads to a decrease in the coefficient of friction by 25 % relative to the neat polymer. It was found that the introduction of borpolymer into the polymer matrix increases the wear resistance by a factor of 6 and reduces the friction coefficient by 25 % relative to the initial UHMWPE. It is shown that with an increase in the borpolymer content in the polymer matrix during tribocontact, a structural rearrangement of the surface layers occurs with the formation of a secondary structure. It has been established that at a low content of BP, the adhesive friction prevails, which is confirmed by the presence of sagging and protrusions on the friction surface. A study of the morphology of the friction surface showed that the formation of secondary structures results in smoothing the grooves. This indicates a decrease in the abrasive action of the steel counterbody on the polymer, which leads to a decrease in the friction coefficient. The obtained research results can be used in the development of composite materials based on UHMWPE for tribological purposes, used for friction units of machinery and process equipment as plain bearings and sealing washers due to the low friction coefficient and the absence of abrasive action.

Keywords: polymer composite materials, ultra-high molecular weight polyethylene, borpolymer, wear resistance.

DOI:10.32864/0202-4977-2022-43-1-41-50

Адрес для переписки:

А.П. Васильев
Северо-Восточный федеральный университет
им. М.К. Аммосова,
ул. Беллинского, 58, г. Якутск 677000, Россия
e-mail: gtvap@mail.ru

Address for correspondence:

A.P. Vasilev
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,
Yakutsk 677000, Russia
e-mail: gtvap@mail.ru

Для цитирования:

А.А. Охлопкова, С.Н. Данилова, А.А. Дьяконов, А.П. Васильев,
А.Г. Туйсов, А.К. Кычкин.

Триботехнические свойства композитов на основе СВМПЭ
модифицированного борполимером.

Трение и износ.

2022. — Т. 43, № 1. — С. 41—50.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-1-41-50

For citation:

A.A. Okhlopkova, S.N. Danilova, A.A. Dyakonov, A.P. Vasilev,
A.G. Tuisov, and A.K. Kychkin.

[Tribological Properties of a Composites Based on UHMWPE
Modified a Borpolymer].

Trenie i Iznos.

2022, vol. 43, no. 1, pp. 41—50 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-1-41-50

Список использованных источников

1. **Kurtz S. M.** UHMWPE Biomaterials Handbook: Ultra-High Molecular Weight Polyethylene in Total Joint Replacement and Medical Devices. — Academic Press. — 2009
2. **Panin S., Kornienko L., Thuc N.X., Ivanova L.R., and Shilko S.V.** Role of Micro- and Nanofillers in Abrasive Wear of Composites Based on Ultra-High Molecular Weight Polyethylene // *Advanced Materials Research*. — 2014 (**1040**), 148—154
3. **Abdul Samad M.** Recent Advances in UHMWPE/UHMWPE Nanocomposite/UHMWPE Hybrid Nanocomposite Polymer Coatings for Tribological Applications: A Comprehensive Review // *Polymers*. — 2021 (**13**), no. 4, 608
4. **Danilova S.N., Yarusova S.B., Kulchin Y.N., Zhevtun I.G., Buravlev I.Y., Okhlopko A.A., Gordienko P.S., and Subbotin E.P.** UHMWPE/CaSiO₃ Nanocomposite: Mechanical and Tribological Properties // *Polymers*. — 2021 (**13**), no. 4, 570
5. **Корабельников Д.В., Ленский М.А., Ожогин А.В., Горбунов А.В., Кельм Р.Р., Вашурин И.В., Скутару И.А.** Изучение возможности образования взаимопроникающих трехмерных сеток в композиционных материалах содержащих каучук, модифицированных добавками полиметилена-п-трифенилового эфира борной кислоты // *Ползуновский вестник*. — 2015 (**1**), no. 4-1, 154—157
6. **Тарасевич Б.Н.** ИК спектры основных классов органических соединений. — М.: МГУ. — 2012
7. **Машков Ю.К.** Трибофизика металлов и полимеров: монография — Омск: ОмГТУ. — 2013
8. **Wang J., Yan F., and Xue Q.** Friction and Wear behavior of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Sliding Against GCr15 Steel and Electroless Ni-P Alloy Coating under the Lubrication of Seawater // *Tribology Letters*. — 2009 (**35**), no. 2, 85—95
9. **Zum Gahr K.H.** Microstructure and wear of materials. — Elsevier. — 1987
10. **Бочкарева С.А., Панин С.В., Люкшин Б.А., Люкшин П.А., Гришаева Н.Ю., Матолыгина Н.Ю., Алексенко В.О.** Моделирование фрикционного износа полимерных композиционных материалов с учетом температуры контакта // *Физическая мезомеханика*. — 2019 (**22**), no. 1, 54—68
11. **Корнеев А. А., Любимова А. С., Шилов Н. В.** Исследование влияния шероховатости поверхности на прочность соединения, полученного с применением металлополимерных композиционных материалов // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. — 2012 (**8**), no. 2, 3

References

1. **Kurtz S.M.** UHMWPE Biomaterials Handbook: Ultra-High Molecular Weight Polyethylene in Total Joint Replacement and Medical Devices. — Academic Press. — 2009
2. **Panin S., Kornienko L., Thuc N.X., Ivanova L.R., and Shilko S.V.** Role of Micro- and Nanofillers in Abrasive Wear of Composites Based on Ultra-High Molecular Weight Polyethylene // *Advanced Materials Research*. — 2014 (**1040**), 148—154
3. **Abdul Samad M.** Recent Advances in UHMWPE/UHMWPE Nanocomposite/UHMWPE Hybrid Nanocomposite Polymer Coatings for Tribological Applications: A Comprehensive Review // *Polymers*. — 2021 (**13**), no. 4, 608
4. **Danilova S.N., Yarusova S.B., Kulchin Y.N., Zhevtun I.G., Buravlev I.Y., Okhlopko A.A., Gordienko P.S., and Subbotin E.P.** UHMWPE/CaSiO₃ Nanocomposite: Mechanical and Tribological Properties // *Polymers*. — 2021 (**13**), no. 4, 570
5. **Korabel'nikov D.V., Lenskij M.A., Ozhogin A.V., Gorbunov A.V., Kel'm R.R., Vashurin I.V., Skutaru I.A.** Izuchenie vozmozhnosti obrazovaniya vzaimopronikajushhix trehmerznyh setok v kompozicionnyh materialah soderzhashhix kauchuk, modifitsirovannyh dobavkami polime-tilen-p-trifenilovogo jefira bornoj kisloty (Study of the possibility of formation of interpenetrating three-dimensional networks in composite materials containing rubber, modified with the addition of polymethylene-p-triphenyl ether of boric acid) // *Polzunovskij vestnik*. — 2015 (**1**), no. 4-1, 154—157 (in Russian)
6. **Tarasevich B.N.** IK spektry osnovnyh klassov organicheskix soedinenij. (IR spectra of the main classes of organic compounds) — М.: MGU. — 2012 (in Russian)
7. **Mashkov Ju.K.** Tribofizika metallov i polimerov: monografija (Tribophysics of metals and polymers: monograph) — Омск: ОмГТУ. — 2013 (in Russian)
8. **Wang J., Yan F., and Xue Q.** Friction and Wear behavior of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Sliding Against GCr15 Steel and Electroless Ni-P Alloy Coating under the Lubrication of Seawater // *Tribology Letters*. — 2009 (**35**), no. 2, 85—95
9. **Zum Gahr K.H.** Microstructure and Wear of Materials. — Elsevier. — 1987
10. **Bochkareva S.A., Panin S.V., Ljukshin B.A., Ljukshin P.A., Grishaeva N.Ju., Matolygina N.Ju., Aleksenko V.O.** Modelirovanie frikcionnogo iznosa polimernyh kompozicionnyh materialov s uchetom temperatury kontakta (Modeling of frictional wear of polymer composites with account for contact temperature) // *Fizicheskaja mezomehanika*. — 2019 (**22**), no. 1, 54—68 (in Russian)
11. **Korneev A.A., Ljubimova A.S., Shilov N.V.** Issledovanie vlijaniya sherohovatosti poverhnosti na

prochnost' soedinenija, poluchennogo s primenieniem metalopolimernyh kompozicionnyh materialov (Investigation of the effect of surface roughness on the strength of a joint obtained with the use of

metal-polymer composite materials) // *Jel-ektrotehicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy*. — 2012 (8), no. 2, 3 (in Russian)

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11
Full text of articles can be purchased from the editorial office.
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11
E-mail: FWJ@tut.by