

УДК 621.891: 621.897: 539.538: 539.621

Обобщенная оценка износостойкости полимерных материалов для металлополимерных подшипников скольжения

М. Чернец¹, С. Шилько², Ю. Чернец¹

¹Люблинский политехнический институт,
ул. Надбыстицкая, 38А, г. Люблин 20-618, Польша

²Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь

Поступила в редакцию 20.08.2024.

После доработки 30.11.2024.

Принята к публикации 10.12.2024.

С целью оптимального выбора антифрикционных полимерных материалов (ПМ) для металлополимерных подшипников скольжения рассмотрен метод системного трибоанализа, включающий проведение модельных трибоиспытаний ПМ и расчётное определение обобщённых характеристик износостойкости в зависимости от удельных сил трения. Метод использован для оценки износостойкости ряда существующих ПМ (полиамида, политетрафторэтилена, полиацеталя, полиэтилентерефталата и полиэфирэфиркетона) и композитов на их основе. Экспериментальные исследования выполнены с использованием трибометра, работающего по схеме торцевого трения. Получаемые характеристики износостойкости являются базовыми параметрами известной математической модели, описывающей кинетику изнашивания материалов при трении скольжения, и аналитического метода расчёта металлополимерных подшипников скольжения. Результаты исследований представлены в виде диаграмм, охватывающих широкий диапазон удельных сил трения, что позволяет наглядно сравнивать антифрикционные ПМ по износостойкости. Установлены закономерности трения ПМ в паре со сталью 45, проанализировано качественное и количественное влияние вида наполнителей на износостойкость указанных полимерных материалов. В каждой группе рассматриваемых ПМ найден материал, обладающий максимальной износостойкостью в сравнении с базовым (ненаполненным) полимером.

Ключевые слова: металлополимерные подшипники скольжения, антифрикционные полимерные материалы, сухое трение скольжения, трибоиспытания по схеме торцевого трения, индикаторы и характеристики износостойкости, диаграммы износостойкости.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-461-472

Адрес для переписки:

С. Шилько
Институт механики металлополимерных систем
имени В.А. Белого НАН Беларуси,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь
e-mail: shilko_mpri@mail.ru

Address for correspondence:

S. Shil'ko
V.A. Bely Metal-Polymer Research Institute of NAS Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus
e-mail: shilko_mpri@mail.ru

Для цитирования:

М. Чернец, С. Шилько, Ю. Чернец.
Обобщенная оценка износостойкости полимерных материалов для металлополимерных подшипников скольжения.
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 6. — С. 461—472.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-461-472

For citation:

M. Czerniec, S. Shil'ko, and J. Czerniec.
[Generalized Assess of Wear Resistance of Polymer Materials for Metal-Polymer Sliding Bearings].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 6, pp. 461—472 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-461-472

Generalized Assess of Wear Resistance of Polymer Materials for Metal-Polymer Sliding Bearings

M. Czerniec¹, S. Shil'ko², and J. Czerniec¹

¹Politechnika Lubelska,
ul. Nadbystrzycka, 38A, Lublin 20-618, Polska

²V.A. Bely Metal-Polymer Research Institute of NAS Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus

Received 20.08.2024.

Revised 30.11.2024.

Accepted 10.12.2024.

Abstract

The method of system triboanalysis is considered in order to select optimally antifrictional polymer materials (PMs) for metal-polymer plain bearings. It includes the model tribotesting of the PMs and calculation of generalized characteristics of their wear resistance depending on specific friction forces. The method is used to assess the wear resistance of a large number of existing PMs based on polyamide, polytetrafluoroethylene, polyacetal, polyethylene terephthalate and polyetheretherketone. Experimental studies of the specified PM groups were performed on a tribometer operating according to the “pin-on-disc” scheme. The obtained wear resistance characteristics are the basic parameters of a well-known mathematical model describing the kinetics of material wear during sliding friction and an analytical method for calculating metal-polymer plain bearings. The research results are presented in the form of diagrams covering a wide range of specific friction forces, which allows for a visual comparison of antifrictional PMs by wear resistance. The friction patterns of PM in a pair with steel 45 were established, the qualitative and quantitative influence of the type of fillers on the wear resistance of the polymeric materials was analyzed. In each group of PMs under consideration, a composite with maximum wear resistance is noted in comparison with the base (unfilled) polymer.

Keywords: metal-polymer sliding bearings, antifrictional polymer materials, dry sliding friction, “pin-on-disk” tribotests, indicators and characteristics of wear resistance, wear resistance diagrams.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-461-472

Адрес для переписки:

С. Шилько
Институт механики металлополимерных систем
имени В.А. Белого НАН Беларуси,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь
e-mail: shilko_mpri@mail.ru

Address for correspondence:

S. Shil'ko
V.A. Bely Metal-Polymer Research Institute of NAS Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus
e-mail: shilko_mpri@mail.ru

Для цитирования:

М. Чернец, С. Шилько, Ю. Чернец.
Обобщенная оценка износостойкости полимерных материалов для металлополимерных подшипников скольжения.
Трение и износ.
2024. – Т. 45, № 6. – С. 461–472.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-461-472

For citation:

M. Czerniec, S. Shil'ko, and J. Czerniec.
[Generalized Assess of Wear Resistance of Polymer Materials for Metal-Polymer Sliding Bearings].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 6, pp. 461–472 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-461-472

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **International Standard ISO 7148-2.** Plain Bearings – Testing of the Tribological Behaviour of Bearings Materials. Part 2. Testing of Polymer – Based Bearing Materials. 10.01.2012
2. **Kalacska G.** An Engineering Approach to Dry Friction Behaviour of Numerous Engineering Plastics with Respect to the Mechanical Properties // *eXPRESS Polymer Letters*. — 2013 (7), no. 2, 199—210. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2013.18>
3. **Kulkarni M.V., Elangovan K., Reddy Hemachandra K., and Basappa S.J.** Tribological Behaviours of ABs and PA6 Polymer Metal Sliding Combinations under Dry Friction, Water Absorbed and Electroplated Conditions // *Journal of Engineering Science and Technology*. — 2016 (11), no. 1, 68—84
4. **Pogačnik, A., Kupec A., and Kalin M.** Tribological Properties of Polyamide (PA6) in Self-Mated Contacts and against Steel as a Stationary and Moving Body // *Wear*. — 2017 (378—379), 17—26. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.118>
5. **Zsidai L., De Baets P., Samyn P., Kalacska G., Van Peteghem A.P., and Van Parrys F.** The Tribological Behaviour of Engineering Plastics during Sliding Friction Investigated with Small Scale Specimens // *Wear*. — 2002 (253), 673—688
6. **Seabra C.L. and Baptista M.A.** Tribological Behaviour of Food Grade Polymers against Stainless Steel in Dry Sliding and with Sugar // *Wear*. — 2002 (253), 394—402
7. **Unal H., Mimaroglu A., Kadýoglu U., and Ekiz H.** Sliding Friction and Wear Behaviour of Polytetrafluoroethylene and Its Composites under Dry Conditions // *Materials and Design*. — 2004 (25), 239—245
8. **Mens J.W.M. and de Gee A.W.J.** Friction and Wear Behaviour of 18 Polymers in Contact with Steel in Environments of Air and Water // *Wear*. — 1991 (149), 255—268
9. **Siddiqui M.S.N., Pogacnik A., and Kalin M.** Influence of Load, Sliding Speed and Heat-Sink Volume on the Tribological Behaviour of Polyoxymethylene (POM) Sliding against Steel // *Tribology International*. — 2023 (178), Part A, 108029. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.108029>
10. **Pei X.Q. and Friedrich F.** Sliding Wear Properties of PEEK, PBI and PPP // *Wear*. — 2012 (274—275), 452—455. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2011.09.009>
11. **Wielieba W.** Bezobsługowe Łożyska Ślizgowe z Polimerów Termoplastycznych. — Wrocław: Wyd. Politechniki Wrocławskiej. — 2013 (in Polish)
12. **Rodriguez V., Sukumaran J., Schlarb A.K., and De Baets P.** Influence of Solid Lubricants on Tribological Properties of Polyetheretherketone (PEEK) // *Tribology International*. — 2016 (103), 45—57. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.06.037>
13. **Панин С.В., Ань Нгуен Дык, Корниенко Л.А., Алексенко В.О., Буслович Д.Г., Шилько С.В.** Антифрикционные и механические свойства

термопластичных углеродных композитов на основе полиэфирэфиркетона // *Трение и износ*. — 2020 (41), № 4, 427—435. <https://doi.org/10.3103/S1068366620040091>

14. **Чернец М.В., Шилько С.В., Пашечко М.И., Барц М.** Износостойкость стекло- и угленаполненных полиамидных композитов для металлополимерных зубчатых передач // *Трение и износ*. — 2018 (39), № 5, 457—461. <https://doi.org/10.3103/S1068366618050069>
15. **Chernets M., Chernets J., Kindrachuk M., and Kornienko A.** Methodology of Calculation of Metal-Polymer Sliding Bearings for Contact Strength, Durability and Wear // *Tribology in Industry*. — 2020 (42), no. 4, 572—581. <https://doi.org/10.24874/ti.900.06.20.10>
16. **Чернец М., Шилько С., Корниенко А., Пашечко М.** Трибологическое поведение полиамидов для металлополимерных подшипников сухого трения // *Трение и износ*. — 2023 (44), № 2, 103—113. <https://doi.org/10.32864/0202-4977-2023-44-2-103-113>

References

1. **International Standard ISO 7148-2.** Plain Bearings – Testing of the Tribological Behaviour of Bearings Materials. Part 2. Testing of Polymer – Based Bearing Materials. 10.01.2012
2. **Kalacska G.** An Engineering Approach to Dry Friction Behaviour of Numerous Engineering Plastics with Respect to the Mechanical Properties // *eXPRESS Polymer Letters*. — 2013 (7), no. 2, 199—210. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2013.18>
3. **Kulkarni M.V., Elangovan K., Reddy Hemachandra K., and Basappa S.J.** Tribological Behaviours of ABs and PA6 Polymer Metal Sliding Combinations under Dry Friction, Water Absorbed and Electroplated Conditions // *Journal of Engineering Science and Technology*. — 2016 (11), no. 1, 68—84
4. **Pogačnik, A., Kupec A., and Kalin M.** Tribological Properties of Polyamide (PA6) in Self-Mated Contacts and against Steel as a Stationary and Moving Body // *Wear*. — 2017 (378—379), 17—26. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.118>
5. **Zsidai L., De Baets P., Samyn P., Kalacska G., Van Peteghem A.P., and Van Parrys F.** The Tribological Behaviour of Engineering Plastics during Sliding Friction Investigated with Small Scale Specimens // *Wear*. — 2002 (253), 673—688
6. **Seabra C.L. and Baptista M.A.** Tribological Behaviour of Food Grade Polymers against Stainless Steel in Dry Sliding and with Sugar // *Wear*. — 2002 (253), 394—402
7. **Unal H., Mimaroglu A., Kadýoglu U., and Ekiz H.** Sliding Friction and Wear Behaviour of Polytetrafluoroethylene and Its Composites under Dry Conditions // *Materials and Design*. — 2004 (25), 239—245
8. **Mens J.W.M. and de Gee A.W.J.** Friction and

- Wear Behaviour of 18 Polymers in Contact with Steel in Environments of Air and Water // *Wear*. — 1991 (**149**), 255—268
9. **Siddiqui M.S.N., Pogacnik A., and Kalin M.** Influence of Load, Sliding Speed and Heat-Sink Volume on the Tribological Behaviour of Polyoxymethylene (POM) Sliding against Steel // *Tribology International*. — 2023 (**178**), Part A, 108029. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.108029>
 10. **Pei X.Q. and Friedrich F.** Sliding Wear Properties of PEEK, PBI and PPP // *Wear*. — 2012 (**274—275**), 452—455. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2011.09.009>
 11. **Wielieba W.** Bezobsługowe Łożyska Ślizgowe z Polimerów Termoplastycznych. — Wrocław: Wyd. Politechniki Wrocławskiej. — 2013 (in Polish)
 12. **Rodriguez V., Sukumaran J., Schlarb A.K., and De Baets P.** Influence of Solid Lubricants on Tribological Properties of Polyetheretherketone (PEEK) // *Tribology International*. — 2016 (**103**), 45—57. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.06.037>
 13. **Panin S.V., Anh N.D., Kornienko L.A., Alexenko V.O., Buslovich D.G., and Shil'ko S.V.** Antifriction and Mechanical Properties of the Thermoplastic Matrix of Polyetheretherketone-Based Composites // *Journal of Friction and Wear*. — 2020 (**41**), no. 4, 310—317. <https://doi.org/10.3103/S1068366620040091>
 14. **Chernets M.V., Shil'ko S.V., Pashechko M.I., and Barshch M.** Wear Resistance of Glass- and Carbon-Filled Polyamide Composites for Metal-Polymer Gears // *Journal of Friction and Wear*. — 2018 (**39**), 361—364. <https://doi.org/10.3103/S1068366618050069>
 15. **Chernets M., Chernets J., Kindrachuk M., and Kornienko A.** Methodology of Calculation of Metal-Polymer Sliding Bearings for Contact Strength, Durability and Wear // *Tribology in Industry*. — 2020 (**42**), no. 4, 572—581. <https://doi.org/10.24874/ti.900.06.20.10>
 16. **Chernets M., Shil'ko S., Kornienko A., and Pashechko M.** Triboanalysis of Antifrictional Materials Based on Polyamides for Metal-Polymer Sliding Bearings // *Journal of Friction and Wear*. — 2023 (**44**), no. 2, 63—70. <https://doi.org/10.3103/S1068366623020034>

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