

УДК 544.032.2

## Трибоанализ антифрикционных материалов на основе полиамидов для металлополимерных подшипников скольжения

М. Чернец<sup>1,2</sup>, С. Шилько<sup>3</sup>, А. Корниенко<sup>1</sup>, М. Пашечко<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Национальный авиационный университет,  
проспект Любомира Гузара, 1, г. Киев 03056, Украина

<sup>2</sup>Полонийная академия,  
ул. Пуласкего, 4/6, г. Ченстохова 42-200, Польша

<sup>3</sup>Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,  
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь

<sup>4</sup>Люблинский политехнический институт,  
ул. Надбыстищца, 38, г. Люблин 20-618, Польша

Поступила в редакцию 03.03.2023.

После доработки 08.04.2023.

Принята к публикации 17.04.2023.

Для характеристики антифрикционных свойств полиамидов и композитов на их основе, используемых в самосмазываемых металлополимерных подшипниках скольжения, предложен экспериментально-теоретический метод трибоанализа. Экспериментально определены показатели (индикаторы) износостойкости исследованных материалов. Вычислены обобщённые характеристики математической модели изнашивания, используемой в расчёте металлополимерных подшипников. Получены зависимости (диаграммы) износостойкости ненаполненных полиамидов ПА6, ПА66 и полиамидных композитов ПА6 + 30СВ, ПА6 + 30УВ, ПА6 + MoS<sub>2</sub>, ПА6 + масло в паре со сталью 45 от удельной силы трения и дана сравнительная оценка их износостойкости в широком диапазоне удельных сил трения. Исследовано влияние контактного давления на коэффициент трения и показано значительное снижение последнего с ростом контактного давления. Установлено снижение микротвёрдости по Виккерсу и модуля упругости поверхностного слоя исследуемых материалов в процессе изнашивания — более выраженное для ПА66 (в 1,66 раза), ПА6 + 30УВ (в 1,5 раза), ПА6 + MoS<sub>2</sub> (в 1,41 раза) и менее заметное — для ПА6 + 30СВ и ПА6 + масло — в 1,21 и 1,09 раза соответственно, что следует учитывать в триботехнических расчётах. Практическая значимость результатов заключается в возможности их использования в триботехнике для прогнозирования срока службы металлополимерных подшипников скольжения и обосновании выбора антифрикционных материалов для их изготовления.

**Ключевые слова:** полиамиды и полиамидные композиты, сухое трение скольжения, коэффициент трения, трибоанализ, показатели и характеристики износостойкости, диаграммы износостойкости, металлополимерные подшипники скольжения.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-2-103-113

**Адрес для переписки:**  
М. Чернец  
Национальный авиационный университет,  
проспект Любомира Гузара, 1, г. Киев 03056, Украина  
e-mail: myron.czerniec@gmail.com

**Для цитирования:**  
М. Чернец, С. Шилько, А. Корниенко, М. Пашечко.  
Трибоанализ антифрикционных материалов на основе полиамидов для металлополимерных подшипников скольжения.  
Трение и износ.  
2023. — Т. 44, № 2. — С. 103–113.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-2-103-113

**Address for correspondence:**  
M. Chernets  
National Aviation University,  
Lubomir Huzar Avenue, 1, Kyiv 03056, Ukraine  
e-mail: myron.czerniec@gmail.com

**For citation:**  
M. Chernets, S. Shil'ko, A. Kornienko, and M. Pashechko.  
[Tribanalysis of Antifrictional Materials Based on Polyamides for Metal-Polymer Sliding Bearings].  
Trenie i Iznos.  
2023, vol. 44, no. 2, pp. 103–113 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-2-103-113

# Triboanalysis of Antifrictional Materials Based on Polyamides for Metal-Polymer Sliding Bearings

M. Chernets<sup>1,2</sup>, S. Shil'ko<sup>3</sup>, A. Kornienko<sup>1</sup>, and M. Pashechko<sup>4</sup>

<sup>1</sup>National Aviation University,  
Lubomir Huzar Avenue, 1, Kyiv 03056, Ukraine

<sup>2</sup>Polonia University,  
Pulaskiego Street, 4/6, 42-200 Czestochowa, Poland

<sup>3</sup>V.A. Bely Metal-Polymer Research Institute of NAS Belarus,  
Kirov Str., 32a, Gomel 246050, Belarus

<sup>4</sup>Lublin University of Technology,  
Nadbystrzycka Str., 38, Lublin 20-618, Poland

Received 03.03.2023.

Revised 08.04.2023.

Accepted 17.04.2023.

## Abstract

An experimental and theoretical method of triboanalysis is proposed to characterize the antifriction properties of polyamides and composites based on them, used in self-lubricated metal-polymer sliding bearings. The indicators of wear resistance of the materials are determined experimentally. The generalized parameters of the mathematical model of wear used in the design of metal-polymer bearings are calculated. The dependencies (diagrams) of wear resistance of unfilled polyamides PA6, PA66 and polyamide composites PA6 + 30GF, PA6 + 30CF, PA6 + MoS<sub>2</sub>, PA6 + oil paired with steel 45 on specific friction force are obtained and a comparative assessment of the wear resistance is given. The influence of contact pressure on the friction coefficient is studied and a significant decrease in the latter with increasing contact pressure is shown. A decrease in the Vickers hardness and elastic modulus of the surface layer of the studied materials during wear is also established. It is more significant for unfilled polyamide PA66 (by 1.66 times), PA6 + 30CF (by 1.5 times), PA6 + MoS<sub>2</sub> (by 1.41 times) and less noticeable for polymer composites PA6 + 30GF and PA6 + oil by 1.21 and 1.09 times, respectively. The fact should be taken into account in tribological calculations of metal-polymer sliding bearings. The research results are presented in the form of diagrams which allow one to compare the wear resistance of the investigated materials in a wide range of specific friction forces. Thus, the practical significance of the results lies in the possibility of their use in tribological engineering to predict the service life of metal-polymer plain bearings and validate the choice of antifriction materials for their manufacture.

**Keywords:** polyamides and polyamide composites, dry sliding friction, coefficient of friction, triboanalysis, indicators and characteristics of wear resistance, wear resistance diagrams, metal-polymer sliding bearings.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-2-103-113

---

### Адрес для переписки:

М. Чернец  
Национальный авиационный университет,  
проспект Любомира Гузара, 1, г. Киев 03056, Украина  
e-mail: myron.czerniec@gmail.com

### Для цитирования:

М. Чернец, С. Шилько, А. Корниенко, М. Пашечко.  
Трибоанализ антифрикционных материалов на основе полиамидов  
для металлополимерных подшипников скольжения.  
Трение и износ.  
2023. — Т. 44, № 2. — С. 103–113.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-2-103-113

---

### Address for correspondence:

M. Chernets  
National Aviation University,  
Lubomir Huzar Avenue, 1, Kyiv 03056, Ukraine  
e-mail: myron.czerniec@gmail.com

### For citation:

M. Chernets, S. Shil'ko, A. Kornienko, and M. Pashechko.  
[Triboanalysis of Antifrictional Materials Based on Polyamides for  
Metal-Polymer Sliding Bearings].  
Trenie i Iznos.  
2023, vol. 44, no. 2, pp. 103–113 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-2-103-113

## 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. **Palabiyik M. and Bahadur S.** Tribological Studies of Polyamide 6 and High-Density Polyethylene Blends Filled with PTFE and Copper Oxide and Reinforced with Short Glass Fibers // *Wear*. — 2002 (253), 369—376
3. **Kalácska 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
4. **Kulkarni M.V., Elagovan K., Hemachandra R., 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
5. **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
6. **De Almeida Rosa A.G., Moreto J.A., Manfrinato M.D., and Rossino L.S.** Study on Friction and Wear Behavior of SAE 1045 Steel, Reinforced Nylon 6.6 and NBR Rubber Used in Clutch Disks // *Materials Research*. — 2014 (17), no. 6, 1397—1403
7. **Vinayagamoorthy R.** Friction and Wear Characteristics of Fibre Reinforced Plastic Composites // *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. — 2018 (33), no. 6, 1—23
8. **Petre I.C., Stojan E.V., and Enescu M.C.** Studies Regarding the Tribological Behavior of Two Polymeric Materials // *Materiale Plastice*. — 2020 (57), no. 4, 202—208
9. **Mastan V., Raja Kiran Kumar V., Kiran Kumar Ch.** Study of Friction and Wear on Journal Bearings // *International Refereed Journal of Engineering and Science*. — 2012 (1), no. 4, 63—70
10. **Chernets M.V., Gonchakivskii I.N., and Skvarok Yu.Yu.** Solution of a Contact Problem for Cylindrical Bodies with Faceted Configuration and with Internal Contact // *Strength of Materials*. — 1987 (19), no. 6, 847—851
11. **Chernets M. and Chernets Ju.** Generalized Method for Calculating the Durability of Sliding Bearings with Technological Out-of-Roundness of Details // *Proc. IMechE. Part J: Journal of Engineering Tribology*. — 2015 (229), no. 2, 216—226
12. **Чернец М.В., Шилько С.В., Пашечко М.И., Барш М.** Износостойкость стекло- и угленаполненных полиамидных композитов для металлополимерных зубчатых передач // *Трение и износ*. — 2018 (39), № 5, 457—461
13. **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

14. **Wielieba W.** Bezobsługowe łożyska ślizgowe z polimerów termoplastycznych. — Wrocław: Wyd. Politechniki Wrocławskiej. — 2013 (in Polish)
15. **Myshkin N.K., Pesetskii S.S., and Grigoriev A.Ya.** Polymer Tribology: Current State and Applications // *Tribology in Industry*. — 2015 (37), no. 3, 284—290

## 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. **Palabiyik, M. and Bahadur S.** Tribological Studies of Polyamide 6 and High-Density Polyethylene Blends Filled with PTFE and Copper Oxide and Reinforced with Short Glass Fibers // *Wear*. — 2002 (253), 369—376
3. **Kalácska 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
4. **Kulkarni M.V., Elagovan K., Hemachandra R., 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
5. **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
6. **De Almeida Rosa A.G., Moreto J.A., Manfrinato M.D., and Rossino L.S.** Study on Friction and Wear Behavior of SAE 1045 Steel, Reinforced Nylon 6.6 and NBR Rubber Used in Clutch Disks // *Materials Research*. — 2014 (17), no. 6, 1397—1403
7. **Vinayagamoorthy R.** Friction and Wear Characteristics of Fibre Reinforced Plastic Composites // *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. — 2018 (33), no. 6, 1—23
8. **Petre I.C., Stojan E.V., and Enescu M.C.** Studies Regarding the Tribological Behavior of Two Polymeric Materials // *Materiale Plastice*. — 2020 (57), no. 4, 202—208
9. **Mastan V., Raja Kiran Kumar V., Kiran Kumar Ch.** Study of Friction and Wear on Journal Bearings // *International Refereed Journal of Engineering and Science*. — 2012 (1), no. 4, 63—70
10. **Chernets M.V., Gonchakivskii I.N., and Skvarok Yu.Yu.** Solution of a Contact Problem for Cylindrical Bodies with Faceted Configuration and with Internal Contact // *Strength of Materials*. — 1987 (19), no. 6, 847—851

11. **Chernets M. and Chernets Ju.** Generalized Method for Calculating the Durability of Sliding Bearings with Technological Out-of-Roundness of Details // Proc. IMechE. Part J: Journal of Engineering Tribology. — 2015 (229), no. 2, 216—226
12. **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 (33), no. 5, 361—364
13. **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
14. **Wielieba W.** Bezobsługowe łożyska ślizgowe z polimerów termoplastycznych. — Wrocław: Wyd. Politechniki Wrocławskiej. — 2013 (in Polish)
15. **Myshkin N.K., Pesetskii S.S., and Grigoriev A.Ya.** Polymer Tribology: Current State and Applications // Tribology in Industry. — 2015 (37), no. 3, 284—290

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](mailto:FWJ@tut.by)