

УДК 620.169.1:621.539

Эффективность применения антифрикционных твердосмазочных покрытий для пар трения «металл—полимер»

Н.В. Титов¹, И.С. Кузнецов², В.Н. Логачев¹, М.И. Прудников³, И.Н. Ковалева⁴

¹ФГБОУ ВО «Орловский Государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина»,
ул. Генерала Родина, д. 69, г. Орёл 302019, Россия

²Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Россия, улица 2-я Бауманская, 5, г. Москва 105005, Россия

³ООО «Моденжи»,
ул. О. Кошевого, стр. 34В, г. Брянск 241029, Россия

⁴ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии
наук Беларуси»
ул. Кирова, д. 32а, г. Гомель 246050, Беларусь

Поступила в редакцию 10.10.2023.

После доработки 26.03.2024.

Принята к публикации 17.04.2024.

Представлены результаты триботехнических испытаний антифрикционных твердосмазочных покрытий в паре трения «металл—полимер». Испытания проводились по стандарту ASTM G99 по схеме «сфера—диск» при скорости скольжения $V = 0,8$ м/с, нагрузке $F = 23$ Н, частоте вращения $n = 310$ мин⁻¹ и пути трения $L = 2880$ м. После испытаний измерялся линейный износ сферического контртела. Испытывались антифрикционные твердосмазочные покрытия на основе дисульфида молибдена и политетрафторэтилена, нанесённые на стальные образцы. В качестве контртела использовались сферы из полиоксиметилена диаметром 10 мм. Испытания проводились с использованием различных пластичных смазок на основе минерального и синтетического масел с комплексом антифрикционных присадок. Установлено, что применение антифрикционных твердосмазочных покрытий совместно с пластичными смазками позволяет снизить линейный износ контртел в 5,9—10,1 раза, а коэффициент трения в 1,5—2,3 раза в зависимости от марки используемого покрытия. Подбором оптимального сочетания антифрикционных твердосмазочных покрытий и пластичной смазки можно добиться снижения линейного износа контртел до 14,2 раза, а коэффициента трения — до 4,4 раза.

Ключевые слова: линейный износ, износостойкость, коэффициент трения, твердая смазка, антифрикционное покрытие, дисульфид молибдена, политетрафторэтилен.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-110-117

Адрес для переписки:

М.И. Прудников
ООО «Моденжи»,
ул. О. Кошевого, стр. 34В, г. Брянск 241029, Россия
e-mail: m.prudnikov@modengy.ru

Address for correspondence:

M.I. Prudnikov
«Modengy», LLC,
Oleg Koshevoy St., bldg. 34V, Bryansk 241029, Russia
e-mail: m.prudnikov@modengy.ru

Для цитирования:

Н.В. Титов, И.С. Кузнецов, В.Н. Логачев, М.И. Прудников,
И.Н. Ковалева
Эффективность применения антифрикционных твердосмазочных
покрытий для пар трения «металл—полимер».
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 2. — С. 110—117.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-110-117

For citation:

N.V. Titov, I.S. Kuznetsov, V.N. Logachev, M.I. Prudnikov, and
I.N. Kavaliova
[Efficiency of Antifricition Hard-Lubricating Coatings for “Metal—
Polymer” Friction Pairs].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 2, pp. 110—117 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-110-117

Efficiency of Antifriction Hard-Lubricating Coatings for “Metal–Polymer” Friction Pairs

N.V. Titov¹, I.S. Kuznetsov², V.N. Logachev¹, and M.I. Prudnikov³, I.N. Kavaliova⁴

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin»,
General Rodin St., 69, Orel 302019, Russia

²Bauman Moscow State Technical University,
2-nd Baumanskaya St., 5, Moscow 105005, Russia

³«Modengy», LLC,
Olega Koshevogo St., bldg. 34V, Bryansk 241029, Russia

⁴V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus

Received 10.10.2023.

Revised 12.02.2024.

Accepted 15.02.2024.

Abstract

In this work tribotechnical tests of antifriction hard-lubricating coatings in a friction pair “metal—polymer” are presented. The tests were carried out according to ASTM G99 standard on a friction machine working on the scheme “sphere—disk” at sliding velocity $V = 0.8$ m/s, load $F = 23$ H and rotational speed $n = 310$ min^{−1}. During the tests, the value of sliding friction force was continuously recorded and the value of friction coefficient was automatically calculated. The tests were carried out until the specified friction path was accumulated $L = 2880$ m. After the tests the linear wear of the spherical counter body was measured. Antifriction hard-lubricating coatings based on molybdenum disulfide and polytetrafluoroethylene applied on steel samples were tested. Polyoxymethylene spheres with a diameter of 10 mm were used as a counter body. The tests were carried out with the use of various greases based on mineral and synthetic oils with a complex of antifriction additives. It is established that the use of antifriction hard-lubricating coatings together with greases allows to reduce linear wear of counter bodies in 5,9—10,1 times, and friction coefficient in 1,5—2,3 times depending on the brand of the used coating. By selection of an optimum combination of antifriction hard-lubricating coatings and plastic grease it is possible to achieve reduction of linear wear of the counter bodies up to 14.2 times, and friction coefficient — up to 4.4 times.

Keywords: linear wear, wear resistance, friction coefficient, solid lubricant, antifriction coating, molybdenum disulfide, polytetrafluoroethylene.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-110-117

Адрес для переписки:

М.И. Прудников
ООО «Моденджи»,
ул. О. Кошевого, стр. 34В, г. Брянск 241029, Россия
e-mail: m.prudnikov@modengy.ru

Для цитирования:

Н.В. Титов, И.С. Кузнецов, В.Н. Логачев, М.И. Прудников, И.Н. Ковалева
Эффективность применения антифрикционных твердосмазочных покрытий для пар трения «металл–полимер».
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 2. — С. 110—117.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-110-117

Address for correspondence:

M.I. Prudnikov
«Modengy», LLC,
Olega Koshevogo St., bldg. 34V, Bryansk 241029, Russia
e-mail: m.prudnikov@modengy.ru

For citation:

N.V. Titov, I.S. Kuznetsov, V.N. Logachev, M.I. Prudnikov, and I.N. Kavaliova
[Efficiency of Antifriction Hard-Lubricating Coatings for “Metal–Polymer” Friction Pairs].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 2, pp. 110—117 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-110-117

Список использованных источников

1. **Панин С.В., Буслович Д.Г., Ц. Ло [и др.]** Трибологические характеристики трехкомпонентных твердосмазочных композитов на основе полиэфиримида в условиях точечного и линейного трибоконтактов // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. — 2022 (19), № 3, 402—410. DOI 10.25712/ASTU.1811-1416.2022.03.013
2. **Прожега М.В., Решиков Е.О., Константинов Е.О. [и др.]** Трибологические свойства антифрикционных покрытий на основе дисульфида молибдена в экстремальных условиях // *Трение и износ*. — 2022 (43), № 6, 640—650. DOI 10.32864/0202-4977-2022-43-6-640-650
3. **Прожега М.В., Константинов Е.О.** Исследования антифрикционных покрытий MODENGY на основе дисульфида молибдена в экстремальных условиях эксплуатации // *Трубопроводная арматура и оборудование*. — 2022, № 5(122), 62—63
4. **Scharf T.W. and Prasad S.V.** Solid Lubricants: A Review // *J. Mater. Sci.* — 2013 (48), 511—531. DOI: 10.1007/s10853-012-7038-2
5. **Moumita Sarkar and Nilrudra Mandal.** Solid Lubricant Materials for High Temperature Application: A Review // *Materials Today: Proceedings*. — 2022. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.06.030
6. **Vazirisereshk M.R., Martini A., Strubbe D.A., and Baykara M.Z.** Solid Lubrication with MoS₂: A Review // *Lubricants*. — 2019, no. 7, 57. DOI: 10.3390/lubricants7070057
7. **Хопин П.Н.** Комплексная оценка триботехнических показателей сопряжений с твердосмазочными покрытиями: дис. ... д-ра техн. наук. — Москва. — 2018
8. **Yang J.F., Jiang Y., Hardell J. et al.** Influence of Service Temperature on Tribological Characteristics of Self-Lubricant Coatings: A Review // *Front. Mater. Sci.* — 2013, no. 7, 28—39. DOI: 10.1007/s11706-013-0190-z
9. **Прудников М.И.** Антифрикционные твердосмазочные покрытия modengy - от идеи до реализации на практике // *Главный механик*. — 2018, № 1-2, 56—60
10. **Jia Yu., Liu Zh., Wang X. [et al.]** Synthesis of Microspherical Molybdenum Disulfide and Its Improvement on Tribological Properties of Bismaleimides // *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. — 2020 (30), no. 10, 3933—3939. DOI 10.1007/s10904-020-01533-6
11. **Liu C., Chen L., Zhou J. [et al.]** Tribological Properties of Adaptive Phosphate Composite Coatings with Addition of Silver and Molybdenum Disulfide // *Applied Surface Science*. — 2014 (300), 111—116. — DOI 10.1016/j.apsusc.2014.02.015
12. **Гаврилов К.В., Морозов А.В., Селезнев М.В. [и др.]** Оценка антифрикционных свойств твердосмазочных покрытий для юбки поршня высокофорсированного дизеля // *Трение и износ*. —

2020 (41), № 5, 647—654. DOI 10.32864/0202-4977-2020-41-5-647-654

References

1. **Panin S.V., Buslovich D.G., Lo Ts. [i dr.]** Tribologicheskiye kharakteristiki trekhkomponentnykh tverdosmazochnykh kompozitov na osnove poliefirimida v usloviyakh tochechnogo i lineynogo tribokontaktov [Tribological characteristics of three-component solid lubricant composites based on polyetherimide under conditions of point and linear tribocontacts] // *Fundamental'nyye problemy sovremennogo materialovedeniya*. — 2022 (19), № 3, 402—410. DOI 10.25712/ASTU.1811-1416.2022.03.013 (in Russian)
2. **Prozhega M.V., Reshchikov Ye.O., Konstantinov Ye.O. [i dr.]** Tribologicheskiye svoystva antifriktsionnykh pokrytiy na osnove disul'fida molibdena v ekstremal'nykh usloviyakh [Tribological properties of antifriction coatings based on molybdenum disulfide under extreme conditions] // *Treniye i iznos*. — 2022 (43), № 6, 640—650. DOI 10.32864/0202-4977-2022-43-6-640-650 (in Russian)
3. **Prozhega M.V., Konstantinov Ye.O.** Issledovaniya antifriktsionnykh pokrytiy MODENGY na osnove disul'fida molibdena v ekstremal'nykh usloviyakh ekspluatatsii [Research of MODENGY antifriction coatings based on molybdenum disulfide under extreme operating conditions] // *Truboprovodnaya armatura i oborudovaniye*. — 2022, № 5(122), 62—63 (in Russian)
4. **Scharf T.W. and Prasad S.V.** Solid Lubricants: a Review // *J. Mater. Sci.* — 2013 (48), 511—531. DOI: 10.1007/s10853-012-7038-2
5. **Moumita Sarkar and Nilrudra Mandal.** Solid Lubricant Materials for High Temperature Application: A Review // *Materials Today: Proceedings*. — 2022. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.06.030
6. **Vazirisereshk M.R., Martini A., Strubbe D.A., and Baykara M.Z.** Solid Lubrication with MoS₂: A Review // *Lubricants*. — 2019, no. 7, 57. DOI: 10.3390/lubricants7070057
7. **Hopin P.N.** Comprehensive assessment of tribotechnical indicators of interfaces with solid-lubricating coatings: dissertation ... Dr. Tech. Sci. — Moscow. — 2018
8. **Yang J.F., Jiang Y., Hardell J. et al.** Influence of Service Temperature on Tribological Characteristics of Self-Lubricant Coatings: A Review // *Front. Mater. Sci.* — 2013, no. 7, 28—39. DOI: 10.1007/s11706-013-0190-z
9. **Prudnikov M.I.** Anti-friction solid-lubricating coatings modengy - from idea to implementation in practice // *Chief Mechanic*. — 2018, no. 1-2, 56—60
10. **Jia Yu., Liu Zh., Wang X. [et al.]** Synthesis of Microspherical Molybdenum Disulfide and Its Improvement on Tribological Properties of Bismaleimides //

- Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials. — 2020 (**30**), no. 10, 3933—3939. DOI 10.1007/s10904-020-01533-6
11. **Liu C., Chen L., Zhou J. [et al.]** Tribological Properties of Adaptive Phosphate Composite Coatings with Addition of Silver and Molybdenum Disulfide // Applied Surface Science. — 2014 (**300**), 111—116. DOI 10.1016/j.apsusc.2014.02.015
12. **Gavrilov K.V., Morozov A.V., Seleznev M.V. [и др.]** Otsenka antifriktsionnykh svoystv tverdosmazochnykh pokrytiy dlya yubki porshnya vysokoforsirovannogo dizelya [Evaluation of the antifric-tion properties of solid lubricant coatings for the piston skirt of a high-performance diesel engine] // Treniye i iznos. — 2020 (**41**), № 5, 647—654. DOI 10.32864/0202-4977-2020-41-5-647-654 (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