

УДК 620.178.162.42; 620.178.167.3; 620.178.751

Износостойкость инструментальных сталей в условиях сухого трения скольжения

Д.И. Котов^{1,2}, А.А. Батаев², И.А. Батаев², К.М. Зубашевский², К.И. Эмурлаев²,
В.С. Шикалов³

¹Конструкторско-технологический филиал Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН (КТФ ИГиЛ СО РАН),
улица Терешковой, 29, г. Новосибирск 630090, Россия

²Новосибирский государственный технический университет,
проспект Карла Маркса, 20, г. Новосибирск 630073, Россия

³Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
улица Институтская, 4/1, г. Новосибирск 630090, Россия

Поступила в редакцию 19.08.2024.

После доработки 15.04.2025.

Принята к публикации 21.04.2025.

Проведены триботехнические исследования сталей марок 5ХНМ, 11Х4В2МФ3С2 и 95Х6М3Ф3СТ в условиях сухого трения скольжения в парах стальной диск-палец из твёрдого сплава ТТ10К8Б при давлении 40 МПа. Схема испытаний основана на возвратно-поступательном перемещении стального образца относительно твёрдосплавного контртела со скоростью 0,1 м/с. Время испытаний каждого из образцов составляло 10 часов. В качестве критерия стойкости в процессе трения скольжения использовали величину линейного износа элементов пар трения. Минимальный износ в условиях сухого трения скольжения в паре с индентором из твёрдого сплава ТТ10К8Б зафиксирован при испытании образцов из высокоуглеродистой инструментальной стали 11Х4В2МФ3С2 после закалки от 1060 °С и трёхкратного отпуска при 525 °С. Величина суммарного линейного износа в паре трения «сталь 11Х4В2МФ3С2 — твёрдый сплав ТТ10К8Б» в 4 раза меньше по сравнению с парой «сталь 5ХНМ — твёрдый сплав ТТ10К8Б».

Ключевые слова: инструментальные стали, износостойкость, сухое трение скольжения.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-2-136-147

Адрес для переписки:

Д.И. Котов
Конструкторско-технологический филиал Института
гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (КТФ ИГиЛ СО РАН),
улица Терешковой, 29, г. Новосибирск 630090, Россия;
Новосибирский государственный технический университет,
проспект Карла Маркса, 20, г. Новосибирск 630073, Россия
e-mail: lightstrikes@yandex.ru

Для цитирования:

Д.И. Котов, А.А. Батаев, И.А. Батаев, К.М. Зубашевский,
К.И. Эмурлаев, В.С. Шикалов.
Износостойкость инструментальных сталей в условиях сухого
трения скольжения.
Трение и износ.
2025. — Т. 46, № 2. — С. 136–147.
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-2-136-147

Address for correspondence:

D.I. Kotov
Design and technology branch of Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of
the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Tereshkovo st., 29, Novosibirsk 630090, Russia;
Novosibirsk state technical university,
K. Marx ave., 20, Novosibirsk 630073, Russia
e-mail: lightstrikes@yandex.ru

For citation:

D.I. Kotov, A.A. Bataev, I.A. Bataev, K.M. Zubashevskij,
K.I. Emurlaev, and V.S. Shikalov.
[Wear Resistance of Tool Steels During Dry Sliding Friction].
Trenie i Iznos.
2025, vol. 46, no. 2, pp. 136–147 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-2-136-147

Wear Resistance of Tool Steels During Dry Sliding Friction

D.I. Kotov^{1,2}, A.A. Bataev², I.A. Bataev², K.M. Zubashevskij², K.I. Emurlaev², and V.S. Shikalov³

¹Design and technology branch of Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Tereshkovo st., 29, Novosibirsk 630090, Russia

²Novosibirsk state technical university,
K. Marx ave., 20, Novosibirsk 630073, Russia

³Christianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Institutskaya st., 4/1, Novosibirsk 630090, Russia

Received 19.08.2024.

Revised 15.04.2025.

Accepted 21.04.2025.

Abstract

Tribotechnical investigations of steels of the grades 5XHM, 11X4B2MΦ3C2 and 95X6M3Φ3CT were conducted under conditions of dry sliding friction in pairs with cylindrical indenters fabricated from hard alloy TT10K8Б at a load of 40 MPa. The test scheme is based on the reciprocating movement of a steel sample relative to a carbide counterbody at a speed of 0.1 m/s. The test time for each of the samples was 10 hours. The amount linear wear of the friction pair elements was used as a criterion of resistance during sliding friction. Minimal wear under conditions of dry sliding friction paired with a TT10K8Б hard alloy indenter was recorded when testing samples of 11X4B2MΦ3C2 high carbon tool steel after quenching at 1060 °C and triple tempering at 525 °C. The amount of total linear wear in the friction pair “steel 11X4B2MΦ3C2 — hard alloy TT10K8Б” is 4 times less than that of the pair “steel 5XHM — hard alloy TT10K8Б”.

Keywords: tool steels, friction wear, dry sliding friction.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-2-136-147

Адрес для переписки:

Д.И. Котов
Конструкторско-технологический филиал Института
гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (КТФ ИГиЛ СО РАН),
улица Терешковой, 29, г. Новосибирск 630090, Россия;
Новосибирский государственный технический университет,
проспект Карла Маркса, 20, г. Новосибирск 630073, Россия
e-mail: lightstrikes@yandex.ru

Для цитирования:

Д.И. Котов, А.А. Батаев, И.А. Батаев, К.М. Зубашевский,
К.И. Эмурлаев, В.С. Шикалов.
Износостойкость инструментальных сталей в условиях сухого
трения скольжения.
Трение и износ.
2025. — Т. 46, № 2. — С. 136—147.
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-2-136-147

Address for correspondence:

D.I. Kotov
Design and technology branch of Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of
the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Tereshkovo st., 29, Novosibirsk 630090, Russia;
Novosibirsk state technical university,
K. Marx ave., 20, Novosibirsk 630073, Russia
e-mail: lightstrikes@yandex.ru

For citation:

D.I. Kotov, A.A. Bataev, I.A. Bataev, K.M. Zubashevskij,
K.I. Emurlaev, and V.S. Shikalov.
[Wear Resistance of Tool Steels During Dry Sliding Friction].
Trenie i Iznos.
2025, vol. 46, no. 2, pp. 136—147 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-2-136-147

Список использованных источников

1. Установка для испытания пары сухого трения на износ при возвратно-поступательном движении: патент № 2745799 РФ, МПК G01N 3/56.: № 2020120734; Заявл. 16.06.2020; Опубл. 01.04.2021, Бюл. № 10 / О.И. Стояновский, В.Г. Галуцкий, А.Ф. Черендин
2. Тихонович В.В. Влияние легирования хромистых сталей молибденом на формирование износостойких сверхмелкозернистых покрытий при работе узлов трения в разных технологических средах // Металлофизика и новейшие технологии. — 2019, № 9, 1231—1260
3. Крутский Ю.Л., Гудыма Т.С., Кучумова И.Д., Хабиров Р.Р., Антропова К.А. Карбиды некоторых переходных металлов. Свойства, области применения, методы получения. Часть 1. Карбиды титана и ванадия (обзор) // Известия вузов. Черная металлургия. — 2022 (65), № 5, 305—322
4. Гольдштейн М.И., Литвинов В.С., Бронфин Б.М. Металлофизика высокопрочных сплавов. — М.: Металлургия. — 1986
5. Uğur Arabacı. The Effects of Oil-Quenching and Over-Tempering Heat Treatments on the Dry Sliding Wear Behaviours of 25CrMo4 Steel. Review article // Heliyon. — 2024 (10), no. 3, e25589
6. Kalandyk Barbara, Zapala Renata, Madej Monika, Kasińska Justyna, and Piotrowska Katarzyna. Influence of Pre-Hardened GX120Mn13 Cast Steel on the Tribological Properties under Technically Dry Friction // Tribologia. — 2022 (301), no. 3, 17—24
7. Гольдштейн М.И., Фарбер В.М. Дисперсионное упрочнение стали. — М.: Металлургия. — 1979
8. Коршунов Л.Г., Черненко Н.Л. Структурные превращения и трибологические эффекты в поверхностном слое аустенитной хромоникелевой стали, инициированные наноструктурированием и оксидированием // Поверхность. Синхротронные и нейтронные исследования. — 2020, № 6, 95—101
9. Fadin V.V., Aleutdinova M.I., Potekaev A.I., and Kulikova O.A. The Surface Layer States in Metallic Materials Subjected to Dry Sliding and Electric Current // Russian Physics Journal. — 2017 (60), no. 5, 908—914
10. Колубаев А.В., Тарасов С.Ю., Сизова О.В. и др. Эволюция структуры поверхностного слоя металлов в условиях трения скольжения // Трение и износ. — 2007 (28), № 6, 582—590
11. Stechishyn M.S., Skyba M.Ye., Martynyuk A.V., and Zdorenko D.V. Wear Resistance of Structural Steels Nitrided in a Cyclically Switched Discharge with Dry Friction // Problems of Tribology. — 2023 (28), no. 1/107, 20—24
12. Hurey Ihor, Maruschak Pavlo, Augousti Andy, Flowers Alan, Gurey Volodymyr, Dzyura Volodymyr, and Prentkovskis Olegas. Resistance to

Wear during Friction without Lubrication of Steel-Cast Iron Pairing with Nanocrystalline Structure-Reinforced Surface Layers // Lubricants. — 2023 (11), no. 10, 418

13. Deng S.Q., Godfrey A., Liu W., and Zhang C.L. Microstructural Evolution of Pure Copper Subjected to Friction Sliding Deformation at Room Temperature // Material Science and Engineering: A. — 2015 (639), 448—455

References

1. Installation for testing dry friction pairs for wear during reciprocating motion: Patent № 2745799 RF, MPK G01N 3/56. № 2020120734; Stat. 16.06.2020; Publ. 01.04.2021, Bull. № 10 / O.I. Stojanovski, V.G. Galutski, A.F. Cherendin (in Russian)
2. Tikhonovich V.V. The effect of alloying chromium steels with molybdenum on the formation of wear-resistant ultrafine-grained coatings during the operation of friction units in different technological environments // Metallofizika i noveishie. — 2019, № 9, 1231—1260 (in Russian)
3. Krutskii Yu.L., Gudyma T.S., Kuchumova I.D., Khabirov R.R., Antropova K.A. Carbides of transition metals: Properties, application and production. Review. Part 1. Titanium and vanadium carbides // Izvestiya. Ferrous Metallurgy. — 2022 (65), no. 5, 305—322 (in Russian)
4. Goldstein M.I., Litvinov V.S., Bronfin B.M. Metallophysics of high-strength alloys. — M.: Metallurgia. — 1986 (in Russian)
5. Uğur Arabacı. The Effects of Oil-Quenching and Over-Tempering Heat Treatments on the Dry Sliding Wear Behaviours of 25CrMo4 Steel. Review article // Heliyon. — 2024 (10), no. 3, e25589
6. Kalandyk Barbara, Zapala Renata, Madej Monika, Kasińska Justyna, and Piotrowska Katarzyna. Influence of Pre-Hardened GX120Mn13 Cast Steel on the Tribological Properties under Technically Dry Friction // Tribologia. — 2022 (301), no. 3, 17—24
7. Goldstein M.I., Farber V.M. Dispersion hardening of steel. — M.: Metallurgia. — 1979 (in Russian)
8. Korshunov L.G., Chernenko N.L. Structural transformations and tribological effects in the surface layer of austenitic chromium-nickel steel initiated by nanostructuring and oxidation // Poverkhnost. Sinkhrotronnye I neytronnye issledovaniya. — 2020, № 6, 95—101 (in Russian)
9. Fadin V.V., Aleutdinova M.I., Potekaev A.I., and Kulikova O.A. The Surface Layer States in Metallic Materials Subjected to Dry Sliding and Electric Current // Russian Physics Journal. — 2017 (60), no. 5, 908—914
10. Kolubaev A.V., Tarasov S.Y., Sizova O.V. and others. Evolution of the structure of the surface layer of metals under conditions of sliding friction //

- Trenie i iznos. — 2007 (28), № 6, 582—590 (in Russian)
11. **Stechishyn M.S., Skyba M.Ye., Martynyuk A.V., and Zdorenko D.V.** Wear Resistance of Structural Steels Nitrided in a Cyclically Switched Discharge with Dry Friction // Problems of Tribology. — 2023 (28), no. 1/107, 20—24
 12. **Hurey Ihor, Maruschak Pavlo, Augousti Andy, Flowers Alan, Gurey Volodymyr, Dzyura Volodymyr, and Prentkovskis Olegas.** Resistance to Wear during Friction without Lubrication of Steel-Cast Iron Pairing with Nanocrystalline Structure-Reinforced Surface Layers // Lubricants. — 2023 (11), no. 10, 418
 13. **Deng S.Q., Godfrey A., Liu W., and Zhang C.L.** Microstructural Evolution of Pure Copper Subjected to Friction Sliding Deformation at Room Temperature // Material Science and Engineering: A. — 2015 (639), 448—455

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