

УДК 621.893

Триботехнические свойства керамических антифрикционных покрытий на основе оксида железа и оксида бора

А.Г. Ипатов, Е.В. Харанжевский, С.Н. Шмыков, К.Г. Волков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Удмуртский государственный аграрный университет»,
ул. Студенческая, 9, г. Ижевск 426069, Россия

Поступила в редакцию 28.06.2023.

После доработки 10.10.2023.

Принята к публикации 13.10.2023.

Исследованы триботехнические свойства функциональных покрытий на основе оксидной матрицы FeO, дополнительно легированные оксидом бора B₂O₃ и диоксидом циркония ZrO₂. Покрытия получены высококонцентрированной короткоимпульсной лазерной обработкой порошковых композиций, предварительно нанесённых на металлических поверхностях. Полученные покрытия подвержены износным испытаниям в условиях сухого трения скольжения с фиксацией коэффициента трения, в зависимости от прикладываемой нагрузки и состава порошковой композиции. Полученные результаты дают представление о степени изменения коэффициента трения покрытий от состава порошковых композиций, а также их легирования. Подтверждено, что дополнительное легирование оксидом бора положительно влияет на трибологические показатели покрытия, в частности, введение 4 % оксида бора снижает коэффициент сухого трения скольжения до уникальных 0,09—0,10. При этом наблюдается более устойчивая задиростойкость поверхностей трения, подтверждённая исследованиями шероховатости поверхностей после испытаний. Особенностью трибологического поведения исследуемых покрытий является чрезмерно высокий температурный фон испытаний, достигающий 300 °С. Высокая температура и наличие оксидных структур являются катализатором для формирования устойчивых трибоструктур между трущимися поверхностями. Природа трибоструктур имеет самоорганизующийся характер по типу «глазури» и обладает свойством самовосстановления в условиях трения. После формирования трибоструктур в зоне трения наблюдается значительное снижение температуры и скачкообразное снижение коэффициента трения. С повышением количества оксида бора коэффициент трения снижается не столь значительно и минимальное значение сухого коэффициента трения соответствует 0,14—0,15, что вызвано снижением когезионной прочности покрытия.

Ключевые слова: керамические покрытия, оксид железа, трибослой, коэффициент трения, короткоимпульсная лазерная обработка.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-5-427-434

Адрес для переписки:

А.Г. Ипатов
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет»,
ул. Студенческая, 9, г. Ижевск 426069, Россия
e-mail: Ipatow.al@yandex.ru

Address for correspondence:

A.G. Ipatov
Federal State Budget Education Institution for Higher Education
“Udmurt State Agricultural University”,
Studencheskaya St., 9, Izhevsk 426069, Russia
e-mail: Ipatow.al@yandex.ru

Для цитирования:

А.Г. Ипатов, Е.В. Харанжевский, С.Н. Шмыков, К.Г. Волков
Триботехнические свойства керамических антифрикционных покрытий на основе оксида железа и оксида бора.
Трение и износ.
2023. — Т. 44, № 5. — С. 427—434.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-5-427-434

For citation:

A.G. Ipatov, E.V. Kharanzhevskiy, S.N. Shmykov, and K.G. Volkov
[Tribotechnical Properties of Ceramic Antifricition Coatings Based on Iron Oxide and Boron Oxide].
Trenie i Iznos.
2023, vol. 44, no. 5, pp. 427—434 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-5-427-434

Tribotechnical Properties of Ceramic Antifriction Coatings Based on Iron Oxide and Boron Oxide

A.G. Ipatov, E.V. Kharanzhevskiy, S.N. Shmykov, and K.G. Volkov

Federal State Budget Education Institution for Higher Education “Udmurt State Agricultural University”,
Studencheskaya St., 9, Izhevsk 426069, Russia

Received 28.06.2023.

Revised 10.10.2023.

Accepted 13.10.2023.

Abstract

The work is devoted to the study of the tribological properties of functional coatings based on the oxide matrix FeO, additionally doped with boron oxide B₂O₃ and zirconium dioxide ZrO₂. The coatings are obtained by highly concentrated short-pulse laser processing of powder compositions previously applied to metal surfaces. The resulting coatings are subject to wear tests under conditions of dry sliding friction with fixation of the friction coefficient, depending on the applied load and the composition of the powder composition. The results obtained give an idea of the degree of change in the coefficient of friction of coatings depending on the composition of the powder compositions, as well as their alloying. It has been confirmed that additional alloying with boron oxide has a positive effect on the tribological performance of the coating; in particular, the introduction of 4 % boron oxide reduces the coefficient of dry sliding friction to a unique 0.09–0.10. At the same time, a more stable scuffing resistance of friction surfaces is observed, confirmed by studies of surface roughness after testing. A feature of the tribological behavior of the coatings under study is the excessively high temperature background of the tests, reaching 300 °C. High temperature and the presence of oxide structures are a catalyst for the formation of stable tribological structures between the rubbing surfaces. The nature of the tribostructures is self-organizing in a “glaze” type and has the property of recovery under friction conditions. After the formation of tribostructures in the friction zone, a significant decrease in temperature and an abrupt decrease in the friction coefficient are observed. With an increase in the amount of boron oxide, the friction coefficient does not decrease so significantly and the minimum value of the dry friction coefficient corresponds to 0.14–0.15, which is caused by a decrease in the cohesive strength of the coating.

Keywords: ceramic coatings, iron oxide, tribolayer, coefficient of friction, short-pulse laser processing.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-5-427-434

Адрес для переписки:

А.Г. Ипатов
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Удмуртский государственный
аграрный университет»,
ул. Студенческая, 9, г. Ижевск 426069, Россия
e-mail: Ipatow.al@yandex.ru

Для цитирования:

А.Г. Ипатов, Е.В. Харанжевский, С.Н. Шмыков, К.Г. Волков
Триботехнические свойства керамических антифрикционных
покрытий на основе оксида железа и оксида бора.
Трение и износ.
2023. – Т. 44, № 5. – С. 427–434.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-5-427-434

Address for correspondence:

A.G. Ipatov
Federal State Budget Education Institution for Higher Education
“Udmurt State Agricultural University”,
Studencheskaya St., 9, Izhevsk 426069, Russia
e-mail: Ipatow.al@yandex.ru

For citation:

A.G. Ipatov, E.V. Kharanzhevskiy, S.N. Shmykov, and K.G. Volkov
[Tribotechnical Properties of Ceramic Antifriction Coatings Based on
Iron Oxide and Boron Oxide].
Trenie i Iznos.
2023, vol. 44, no. 5, pp. 427–434 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-5-427-434

Список использованных источников

1. Колесников И.В., Мотренко П.Д., Колесников В.И., Мантуров Д.С. Повышение износостойкости металлических и металлополимерных трибосистем путём формирования структуры и свойств их поверхностного слоя. — М.: ВИНТИ РАН. — 2021
2. Чернышев С.Л., Колесников В.И., Верескун В.Д., Колесников И.В., Мантуров Д.С., Озябкин А.Л. Упруго-диссипативные характеристики тяжело-нагруженных модифицированных пар трения // Трение и износ. — 2023 (44), № 1, 58—67. DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-1-58-67
3. Gök M.S., Küçük Y., Erdoğan A., Öge M., Kanca E., and Günen A. Dry Sliding Wear Behavior of Borided Hot-Work Tool Steel at Elevated Temperatures // Surface & Coatings Technology. — 2017 (328), 54—62. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.08.008>
4. Kharanzhevskiy E.V., Ipatov A.G., Krivilyov M.D., Makarov A.V., Gil'mutdinov F.Z., Volkova E.G. Ultralow Friction Behaviour of B4C-BN-MeO Composite Ceramic Coatings Deposited on Steel // Surface and Coatings Technology. — 2020 (390), 125664 <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125664>
5. Dreano A., Fouvry S., Sao-Joao S., Galipaud J., and Guillonnet G. The Formation of a Cobalt-Based Glaze Layer at High Temperature: A Layered Structure // Wear. — 2019, 440—441. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203101>
6. Dreano A., Fouvry S., and Guillonnet G. Understanding and Formalization of the Fretting-Wear Behavior of a Cobalt-Based Alloy at High Temperature // Wear. — 2020, 452—453. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203297>
7. Dreano A., Baydoun S., Fouvry S., Nar S., and Alvarez P. Influence of a Pre-Existing Glaze Layer on the Fretting-Wear Response of HS25 Cobalt-Based Alloy Subjected to Various Temperature Conditions // Wear. — 2022, 488—489. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204144>
8. Rosenkranz A., Costa H.L., Baykara M.Z., and Martini A. Synergetic Effects of Surface Texturing and Solid Lubricants to Tailor Friction and Wear – A Review // Tribology International. — 2021 (155), 106792. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106792>
9. Sassatelli P., Bolelli G., Gualtieri M. L., Heinonen E., Honkanen M., Lusvardi L., Manfredini T., Rigon R., Vippola M. Properties of HVOF-Sprayed Stellite-6 Coatings // Surface & Coatings Technology. — 2017 (338), 45—62. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.01.078>
10. Ипатов А. Г., Харанжевский Е. В. Триботехнические свойства сверхтвёрдых функциональных покрытий на основе карбида и нитрида бора // Трение и износ. — 2019 (40), № 6, 776—782
11. Kharanzhevskiy E.V., Ipatov A.G., Makarov A.V., Gil'mutdinov F.Z., Soboleva N.N., Krivilyov M.D. Tribological Performance of Boron-Based Superhard Coatings Sliding Against Different Materials // Wear. — 2021 (477), 203835. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203835>
12. Kharanzhevskiy E.V., Ipatov A.G., Makarov A.V., Gil'mutdinov F.Z., Soboleva N.N., and Krivilyov M.D. Effect of Oxygen in Surface Layers Formed During Sliding Wear of Ni-ZrO₂ Coatings // Surface & Coatings Technology. — 2022 (434), 128174. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128174>

References

1. Kolesnikov I.V., Motrenko P.D., Kolesnikov V.I., Manturov D.S. Povyshenie iznosostojkosti metallicheskih i metallopolimernyh tribosistem putyom formirovaniya struktury i svojstv ih poverhnostnogo sloya. — M.: VINITI RAN. — 2021 (in Russian)
2. Chernyshev S.L., Kolesnikov V.I., Vereskun V.D., Kolesnikov I.V., Manturov D.S., Ozyabkin A.L. Elastic-Dissipative Properties of Heavy-Loaded Modified Friction Pairs // Journal of Friction and Wear. — 2023 (44), no. 1, 34—41. DOI:<https://doi.org/10.3103/S1068366623010026>
3. Gök M.S., Küçük Y., Erdoğan A., Öge M., Kanca E., and Günen A. Dry Sliding Wear Behavior of Borided Hot-Work Tool Steel at Elevated Temperatures // Surface & Coatings Technology. — 2017 (328), 54—62. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.08.008>
4. Kharanzhevskiy E.V., Ipatov A.G., Krivilyov M.D., Makarov A.V., Gil'mutdinov F.Z., and Volkova E.G. Ultralow Friction Behaviour of B4C-BN-MeO Composite Ceramic Coatings Deposited on Steel // Surface and Coatings Technology. — 2020 (390), 125664 <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125664>
5. Dreano A., Fouvry S., Sao-Joao S., Galipaud J., and Guillonnet G. The Formation of a Cobalt-Based Glaze Layer at High Temperature: A Layered Structure // Wear. — 2019, 440—441. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203101>
6. Dreano A., Fouvry S., and Guillonnet G. Understanding and Formalization of the Fretting-Wear Behavior of a Cobalt-Based Alloy at High Temperature // Wear. — 2020, 452—453. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203297>
7. Dreano A., Baydoun S., Fouvry S., Nar S., and Alvarez P. Influence of a Pre-Existing Glaze Layer on the Fretting-Wear Response of HS25 Cobalt-Based Alloy Subjected to Various Temperature Conditions // Wear. — 2022, 488—489. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204144>
8. Rosenkranz A., Costa H.L., Baykara M. Z., and Martini A. Synergetic Effects of Surface Texturing and Solid Lubricants to Tailor Friction and Wear – A Review // Tribology International. — 2021 (155),

106792. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106792>
9. **Sassatelli P., Bolelli G., Gualtieri M. L., Heinonen E., Honkanen M., Lusvarghi L., Manfredini T., Rigon R., and Vippola M.** Properties of HVOF-Sprayed Stellite-6 Coatings // *Surface & Coatings Technology*. — 2017 (338), 45—62. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.01.078>
10. **Ipatov A.G. and Kharanzhevskiy E.V.** The Tribological Properties of Superhard and Functional Coatings Based on Carbide and Boron Nitride // *Journal of Friction and Wear*. — 2019 (40), no. 6, 588—592. <https://doi.org/10.3103/S1068366619060114>
11. **Kharanzhevskiy E.V., Ipatov A.G., Makarov A.V., Gil'mutdinov F.Z., Soboleva N.N., Krivilyov M.D.** Tribological Performance of Boron-Based Superhard Coatings Sliding Against Different Materials // *Wear*. — 2021 (477), 203835. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203835>
12. **Kharanzhevskiy E.V., Ipatov A.G., Makarov A.V., Gil'mutdinov F.Z., Soboleva N.N., Krivilyov M.D.** Effect of Oxygen in Surface Layers Formed During Sliding Wear of Ni-ZrO₂ Coatings // *Surface & Coatings Technology*. — 2022 (434), 128174. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128174>

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