

УДК 620.178.16: 621.767

Комбинированные антифрикционные покрытия на основе нихрома и меди

И.С. Кузнецов¹, Н.С. Чернышов², В.Н. Логачев², Н.В. Титов², В.П. Лялякин³

¹Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, улица 2-я Бауманская, 7с1, г. Москва 105005, Россия

²ФГБОУ ВО «Орловский Государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина», ул. Генерала Родина, д. 69, г. Орёл 302019, Россия

³Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, г. Москва 109428, Россия

Поступила в редакцию 30.01.2024.

После доработки 15.06.2024.

Принята к публикации 18.06.2024.

Исследовались комбинированные антифрикционные покрытия, полученные электроискровой обработкой металлической подложки электродом из сплава Х20Н80 с последующим заполнением несплошностей, впадин и пор медным порошком. Медный порошок наносился с помощью сверхзвукового газодинамического напыления. Исследуемые комбинированные покрытия имели толщину 60—350 мкм. Получены зависимости коэффициентов трения для покрытий с различной поверхностной площадью электроискровой и медной составляющих. Величина коэффициента трения зависит от прикладываемой нагрузки. Установлено, что минимальный коэффициент трения для покрытий находился в пределах 0,077—0,142. Значения давлений появления пластического контакта для различных видов экспериментальных покрытий находится в интервале 178—241,5 МПа. Покрытия с большим процентным содержанием меди на поверхности, при прочих равных условиях, имеют меньшую температуру в зоне трения. Снижение площади электроискровой компоненты с 78 % до 4 % позволяет снизить температуру в зоне трения в 2,5 раза. При относительной скорости скольжения 55 м/мин наблюдается эффект самосмазывания — медь фрагментарно переносится во впадины шероховатостей электроискровой компоненты. В результате проведенных исследований, установлено что комбинированные антифрикционные покрытия с поверхностной площадью электроискровой компоненты менее 50 % рекомендуются к применению в узлах трения с контактным давлением до 240 МПа, в парах трения с контактным давлением ниже 170 МПа применимы покрытия с площадью электроискровой компоненты 4—30 %, имеющие низкий коэффициент трения.

Ключевые слова: износ, коэффициент трения, пластический контакт, электроискровая обработка, газодинамическое напыление, нихром, медь.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-253-261

Адрес для переписки:

И.С. Кузнецов
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, улица 2-я Бауманская, 7с1, г. Москва 105005, Россия
e-mail: Ivan-654@yandex.ru

Address for correspondence:

I.S. Kuznetsov
Bauman Moscow State Technical University, 2-nd Baumanskaya, 7, Moscow 105005, Russia
e-mail: Ivan-654@yandex.ru

Для цитирования:

И.С. Кузнецов, Н.С. Чернышов, В.Н. Логачев, Н.В. Титов, В.П. Лялякин.

Комбинированные антифрикционные покрытия на основе нихрома и меди.

Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 3. — С. 253—261.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-253-261

For citation:

I.S. Kuznetsov, N.S. Chernyshov, V.N. Logachev, N.V. Titov, and V.P. Lyalyakin.

[Combined Anti-Friction Coatings Based on Nichrome and Copper].

Trenie i Iznos, 2024, vol. 45, no. 3, pp. 253—261 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-253-261

Combined Anti-Friction Coatings Based on Nichrome and Copper

I.S. Kuznetsov¹, N.S. Chernyshov², V.N. Logachev², N.V. Titov², and V.P. Lyalyakin³

¹*Bauman Moscow State Technical University,
2-nd Baumanskaya, 7, Moscow 105005, Russia*

²*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Oryol State Agrarian University
named after N.V. Parakhin»,
General Rodin St. 69, Orel 302019, Russia*

³*Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM,
1st Institute passage, 5, Moscow 109428, Russia*

Received 30.01.2024.

Revised 15.06.2024.

Accepted 18.06.2024.

Abstract

This work examines combined antifriction coatings obtained by electric spark processing of a metal substrate with an electrode made of the X20N80 alloy, followed by filling discontinuities, depressions and pores with copper powder. Copper powder was applied using supersonic gas-dynamic spraying. The combined coatings under study had a thickness of 60—350 microns. The work also obtained the dependences of the friction coefficients for coatings with different surface areas of the electric spark and copper components. The magnitude of the friction coefficient depends on the applied load. It was found that the minimum friction coefficient for coatings was in the range of 0.077—0.142. The pressure values for the appearance of plastic contact for various types of experimental coatings are in the range of 178—241.5 MPa. Coatings with a higher percentage of copper on the surface, other things being equal, have a lower temperature in the friction zone. Reducing the area of the electric spark component from 78 % to 4 % makes it possible to reduce the temperature in the friction zone by 2.5 times. At a relative sliding speed of 55 m/min, a self-lubricating effect is observed. The quasi-liquid form of copper is fragmentarily transferred into the roughness cavities of the electric spark component. As a result of the research, combined antifriction coatings with a surface area of the electric spark component of less than 50 % are recommended for use in friction units with contact pressure up to 240 MPa; in thorn vapors with contact pressure below 170 MPa, coatings with an area of the electric spark component of 4—30 %, having low coefficient of friction.

Keywords: wear, friction coefficient, plastic contact, electric spark treatment, gas dynamic spraying, nichrome, copper.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-253-261

Адрес для переписки:

И.С. Кузнецов
Московский государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана,
улица 2-я Бауманская, 7с1, г. Москва 105005, Россия
e-mail: Ivan-654@yandex.ru

Address for correspondence:

I.S. Kuznetsov
Bauman Moscow State Technical University,
2-nd Baumanskaya, 7, Moscow 105005, Russia
e-mail: Ivan-654@yandex.ru

Для цитирования:

И.С. Кузнецов, Н.С. Чернышов, В.Н. Логачев, Н.В. Титов,
В.П. Лялякин.
Комбинированные антифрикционные покрытия на основе
нихрома и меди.
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 3. — С. 253—261.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-253-261

For citation:

I.S. Kuznetsov, N.S. Chernyshov, V.N. Logachev, N.V. Titov, and
V.P. Lyalyakin.
[Combined Anti-Friction Coatings Based on Nichrome and Copper].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 3, pp. 253—261 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-253-261

Список использованных источников

1. **Ivanov V.I.** Reasons for Restricting the Thickness of Electrospark Coatings and Methods for Increasing Their Thickness // *Welding International*. — 2018 (32), no. 1, 40—45. DOI 10.1080/09507116.2017.1369071
2. **Коломейченко А.В., Кузнецов И.С., Трусов И.Н.** Влияние технологических режимов процесса электроискровой обработки на толщину покрытий // *Иновации в АПК: проблемы и перспективы*. — 2020, № 4(28), 59—63
3. **Коломейченко А.В., Кузнецов И.С., Трусов И.Н.** Зависимость толщины электроискрового покрытия из электрода марки X20H40 от технологических режима процесса // *Современные проблемы и направления развития металлургии и термической обработки металлов и сплавов: сборник научных статей Международной научно-технической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения академика А.А. Байкова, Курск, 18 сентября 2020 года*. — Курск: Юго-Западный государственный университет. — 2020, 83—86.
4. **Burumkulov F.K., Denisov V.A., Kostyukov A.Y. [et al.]** Adherence Strength of Electrospark and Gas-Dynamic Coatings // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. — 2011 (47), no. 2, 120—125. DOI 10.3103/S1068375511020037
5. **Felix L.M., Kwan C.C.F., and Zhou N.Y.** The Effect of Pulse Energy on the Defects and Microstructure of Electro-Spark-Deposited Inconel 718 // *Metall. Mater. Trans. A*. — 2019 (50), no. 7, 4223—4231. DOI 10.1007/s11661-019-05332-8.
6. **Velichko S.A., Martynov A.V., Chumakov P.V., and Kravchenko I.N.** Improving the Wear Resistance of Frictional Pairs with Nanostructured Electrospark Coatings // *Russian Engineering Research*. — 2021 (41), no. 7, 661—664. DOI 10.3103/S1068798X2107025X
7. **Enrique P.D., Zhou N.Y., Toyserkani E., and Jiao Z.** Effect of Microstructure on Tensile Properties of Electrospark Deposition Repaired Ni-Superalloy // *Materials Science and Engineering: A*. — 2018 (729), 268—275. DOI 10.1016/j.msea.2018.05.049
8. **Enrique P.D., Jiao Zh., and Zhou N.Y.** Effect of Direct Aging on Heat-Affected Zone and Tensile Properties of Electrospark-Deposited Alloy 718 // *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*. — 2019 (50), no. 1, 285—294. DOI 10.1007/s11661-018-4997-1
9. **Yan J., Enrique P.D., Chan K., and Scotchmer N.** Repair of Additive Manufactured Thin-Wall Geometry Using Electrospark Deposition // *Journal of Remanufacturing*. — 2023 (13), no. 3, 333—353. DOI 10.1007/s13243-023-00133-0
10. **Enrique P.D., Peterkin S., and Zhou N.Y.** Parametric Study of Automated Electrospark Deposition for Ni-Based Superalloys // *Welding Journal*. — 2021 (100), no. 7, 239—248. DOI 10.29391/2021.100.021
11. **Kolomeichenko A.V. and Kuznetsov I.S.** Tribotechnical Properties of Electrospark Coatings of Amorphous and Nanocrystalline Iron Alloys // *Journal of Friction and Wear*. — 2014 (35), no. 6, 501—504. DOI 10.3103/S1068366614060087
12. **Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S., Izmaylov A.Y. [et al.]** Investigation of Finemet Nanocrystalline Alloy Coating Obtained by the Electric Spark Method // *International Journal of Nanotechnology*. — 2018 (15), no. 4-5, 380—387. DOI 10.1504/IJNT.2018.094794
13. **Kravchenko I.N., Velichko S.A., Kuznetsov Yu.A. [et al.]** Technique for Comprehensive Assessment of the Quality of Coatings Synthesized by Electrospark Deposition Technique // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2023 (64), no. 2, 188—193. DOI 10.1007/s11148-023-00824-y
14. **Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., and Zuevskiy V.A.** The Tribotechnical Properties of Electrosparks with a Secondary Bronze Coating // *Coatings*. — 2022 (12), no. 3, 312. <https://doi.org/10.3390/coatings12030312/>
15. **Velichko S.A., Kravchenko I.N., Chumakov P.V. [et al.]** Determining the Young Modulus of Electrospark Coatings by Instrumental Indentation // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. — 2022 (51), no. 7, 613—618. DOI 10.3103/S1052618822070184

References

1. **Ivanov V.I.** Reasons for Restricting the Thickness of Electrospark Coatings and Methods for Increasing Their Thickness // *Welding International*. — 2018 (32), no. 1, 40—45. DOI 10.1080/09507116.2017.1369071
2. **Kolomeychenko A.V., Kuznetsov I.S., Trusov I.N.** Vliyaniye tekhnologicheskikh rezhimov protsessa elektroiskrovoy obrabotki na tolschchinu pokrytiy // *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*. — 2020, № 4(28), 59—63 (in Russian)
3. **Kolomeychenko A.V., Kuznetsov I.S., Trusov I.N.** Zavisimost' tolschchiny elektroiskrovogo pokrytiya iz elektroda marki X20H40 ot tekhnologicheskikh rezhima protsessa // *Sovremennyye problemy i napravleniya razvitiya metallovedeniya i termicheskoy obrabotki metallov i splavov: sbornik nauchnykh statey Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya akademika A.A. Baykova, Kursk, 18 sentyabrya 2020 goda*. — Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. — 2020, 83—86 (in Russian)
4. **Burumkulov F.K., Denisov V.A., Kostyukov A.Y. [et al.]** Adherence Strength of Electrospark and Gas-Dynamic Coatings // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. — 2011 (47), no. 2, 120—125. DOI 10.3103/S1068375511020037.
5. **Felix L.M., Kwan C.C.F., and Zhou N.Y.** The Effect of Pulse Energy on the Defects and Microstructure of Electro-Spark-Deposited Inconel 718 // *Metall. Mater. Trans. A*. — 2019 (50), no. 7, 4223—

4231. DOI 10.1007/s11661-019-05332-8.
6. **Velichko S.A., Martynov A.V., Chumakov P.V., and Kravchenko I.N.** Improving the Wear Resistance of Frictional Pairs with Nanostructured Electrospark Coatings // Russian Engineering Research. — 2021 (41), no. 7, 661—664. DOI 10.3103/S1068798X2107025X
 7. **Enrique P.D., Zhou N.Y., Toyserkani E., and Jiao Z.** Effect of Microstructure on Tensile Properties of Electrospark Deposition Repaired Ni-Super-alloy // Materials Science and Engineering: A. — 2018 (729), 268—275. DOI 10.1016/j.msea.2018.05.049
 8. **Enrique P.D., Jiao Zh., and Zhou N.Y.** Effect of Direct Aging on Heat-Affected Zone and Tensile Properties of Electrospark-Deposited Alloy 718 // Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science. — 2019 (50), no. 1, 285—294. DOI 10.1007/s11661-018-4997-1
 9. **Yan J., Enrique P.D., Chan K., and Scotchmer N.** Repair of Additive Manufactured Thin-Wall Geometry Using Electrospark Deposition // Journal of Remanufacturing. — 2023 (13), no. 3, 333—353. DOI 10.1007/s13243-023-00133-0
 10. **Enrique P.D., Peterkin S., and Zhou N.Y.** Parametric Study of Automated Electrospark Deposition for Ni-Based Superalloys // Welding Journal. — 2021 (100), no. 7, 239—248. DOI 10.29391/2021.100.021
 11. **Kolomeichenko A.V. and Kuznetsov I.S.** Tribotechnical Properties of Electrospark Coatings of Amorphous and Nanocrystalline Iron Alloys // Journal of Friction and Wear. — 2014 (35), no. 6, 501—504. DOI 10.3103/S1068366614060087
 12. **Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S., Izmaylov A.Y. [et al.]** Investigation of Finemet Nanocrystalline Alloy Coating Obtained by the Electric Spark Method // International Journal of Nanotechnology. — 2018 (15), no. 4-5, 380—387. DOI 10.1504/IJNT.2018.094794
 13. **Kravchenko I.N., Velichko S.A., Kuznetsov Yu.A. [et al.]** Technique for Comprehensive Assessment of the Quality of Coatings Synthesized by Electrospark Deposition Technique // Refractories and Industrial Ceramics. — 2023 (64), no. 2, 188—193. DOI 10.1007/s11148-023-00824-y
 14. **Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., and Zuevskiy V.A.** The Tribotechnical Properties of Electrosparks with a Secondary Bronze Coating // Coatings. — 2022 (12), no. 3, 312. <https://doi.org/10.3390/coatings12030312/>
 15. **Velichko S.A., Kravchenko I.N., Chumakov P.V. [et al.]** Determining the Young Modulus of Electrospark Coatings by Instrumental Indentation // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. — 2022 (51), no. 7, 613—618. DOI 10.3103/S1052618822070184

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