

УДК 621.03:620.179.16

## Сравнение влияния высокоэнергетических методов обработки поверхностей на трение и износ пары сталь 30ХГСН2А — сталь 30ХГСН2А

Л.И. Куксенова, Д.А. Козлов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН),  
Малый Харитоньевский переулок, 4, г. Москва 101000, Россия

Поступила в редакцию 01.11.2021.

После доработки 20.11.2022.

Принята к публикации 21.11.2022.

Представлены результаты оценки триботехнических характеристик пары сухого трения сталь 30ХГСН2А (CSN 16532) — сталь 30ХГСН2А (CSN 16532) при давлениях до 350 МПа на лабораторных машинах трения KE-4 и УМТ-1, а также на специальном стенде, имитирующем реальное шарнирно-болтовое соединение. Поверхность стальных валов обрабатывалась методами электроискрового легирования (создавали покрытия из бронз БрАЖМц10-3-1,5 и БрМцФ3) и ионной имплантации (использовали пучок ионов меди). Показано, что в паре с покрытием БрМцФ3-6 в условиях лабораторных испытаний минимальные значения коэффициента трения (~ 0,10) наблюдаются при давлении 150—200 МПа; для пары с покрытием БрАЖМц10-3-1,5 — (~ 0,13) при 200—250 МПа; износ понижается в 1,5—2 раза. В условиях стендовых испытаний получено, что повышение износостойкости стали составляет 1,5, 1,7 и 5,7 раз, а понижение коэффициента трения — в 1,3, 1,5 и 3,1 раза для пар трения с покрытием БрАЖМц10-3-1,5, БрМцФ3-6 и медь соответственно. Улучшение триботехнических показателей стальных пар трения во многом связано с эффектом «дальнодействия», проявляющимся при высокоэнергетических обработках.

**Ключевые слова:** износостойкость, электроискровое легирование, ионная имплантация, бронзы, поверхностные слои, стали.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-245-254

**Адрес для переписки:**

Л.И. Куксенова  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН),  
Малый Харитоньевский переулок, 4, г. Москва 101000, Россия  
e-mail: lkukc@mail.ru

**Для цитирования:**

Л.И. Куксенова, Д.А. Козлов.  
Сравнение влияния высокоэнергетических методов обработки поверхностей на трение и износ пары сталь 30ХГСН2А — сталь 30ХГСН2А.  
Трение и износ.  
2022. — Т. 43, № 3. — С. 245—254.  
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-245-254

**Address for correspondence:**

L.I. Kuksenova  
Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Mechanical Engineering named after A.A. Blagonravov Russian Academy of Sciences (IMASH RAN),  
Maly Kharitonsky lane, 4, Moscow 101000, Russia  
e-mail: lkukc@mail.ru

**For citation:**

L.I. Kuksenova and D.A. Kozlov.  
[Comparison of the Influence of High-Energy Surface Treatment Methods on Friction and Wear of a Pair of steel 30KhGSN2A (CSN 16532) — steel 30KhGSN2A (CSN 16532)].  
Trenie i Iznos.  
2022, vol. 43, no. 3, pp. 245—254 (in Russian).  
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-245-254

# Comparison of the Influence of High-Energy Surface Treatment Methods on Friction and Wear of a Pair of Steel 30KhGSN2A (CSN 16532) — Steel 30KhGSN2A (CSN 16532)

L.I. Kuksenova and D.A. Kozlov

Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Mechanical Engineering named after A.A. Blagonravov Russian Academy of Sciences (IMASH RAN),  
Maly Kharitonevsky lane, 4, Moscow 101000, Russia

Received 01.11.2021.

Revised 20.06.2022.

Accepted 21.06.2022.

## Abstract

The results of the evaluation of the tribotechnical characteristics of dry friction pair steel 30KhGSN2A (CSN 16532) — steel 30KhGSN2A (CSN 16532) at pressures up to 350 MPa on laboratory friction machines KE-4 and UMT-1, as well as on a special stand simulating a real hinge-bolted connection. The surface of the steel shafts was processed by the methods of electrospark alloying (coatings were made of bronzes BrA-ZhMts10-3-1.5 and BrMtsF3) and ion implantation (a copper ion beam was used). It is shown that for a pair with a BrMtsF3-6 coating under laboratory test conditions, the minimum values of the friction coefficient (~ 0.10) are observed at a pressure of 150—200 MPa; for a pair with a coating of BrAZhMts10-3-1.5 (~ 0.13) at 200—250 MPa; wear is reduced by 1.5—2 times. Under the conditions of bench tests, it was obtained that the increase in the wear resistance of steel is 1.5, 1.7 and 5.7 times, and the decrease in the friction coefficient is 1.3, 1.5 and 3.1 times for friction pairs with a coating of BrAZhMts10-3-1.5, BrMtsF3-6 and copper, respectively. Improvement of tribotechnical parameters of steel friction pairs is largely due to the effect of “long-range action”, which manifests itself during high-energy treatments.

**Keywords:** wear resistance, electrospark alloying, ion implantation, hardening electrodes, surface layers, steels.

DOI:10.32864/0202-4977-2022-43-3-245-254

---

### Адрес для переписки:

Л.И. Куксенова  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской  
академии наук (ИМАШ РАН),  
Малый Харитоньевский переулок, 4, г. Москва 101000, Россия  
e-mail: lkuc@mail.ru

### Для цитирования:

Л.И. Куксенова, Д.А. Козлов.  
Сравнение влияния высокоэнергетических методов обработки  
поверхностей на трение и износ пары сталь 30ХГСН2А — сталь  
30ХГСН2А.  
Трение и износ.  
2022. – Т. 43, № 3. – С. 245–254.  
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-245-254

---

### Address for correspondence:

L.I. Kuksenova  
Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Mechanical  
Engineering named after A.A. Blagonravov Russian Academy of  
Sciences (IMASH RAN),  
Maly Kharitonevsky lane, 4, Moscow 101000, Russia  
e-mail: lkuc@mail.ru

### For citation:

L.I. Kuksenova and D.A. Kozlov.  
[Comparison of the Influence of High-Energy Surface Treatment  
Methods on Friction and Wear of a Pair of steel 30KhGSN2A  
(CSN 16532) — steel 30KhGSN2A (CSN 16532)].  
*Trenie i Iznos*.  
2022, vol. 43, no. 3, pp. 245–254 (in Russian).  
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-245-254

## Список использованных источников

1. **Овчаренко П.Г., Лещев А.Ю., Тарасов В.Г.** Сравнительная характеристика износостойкости поверхностных слоев, полученных электроискровым легированием // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2018 (14), № 1, 27—29
2. **Корешков А.В., Бойцов А.Г., Амуи А.М.** Электроискровое легирование авиационных двигателей из титановых сплавов // Тез. докл. 19-ой Международной конф. «Авиация и космонавтика». — М.: Перо. — 2020, 272—273
3. **Иванов В.И.** Электроискровое легирование кузнечного производства: Элементы технологии // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. — 2015, № 9, 23—26
4. **Иванов В.И., Денисов В.А., Иганьков Д.А.** Использование современных ресурсосберегающих методов при изготовлении и ремонте деталей на примере электроискрового легирования // Известия Юго-Западного государственного университета. — 2019, № 23(6), 8—20
5. **Ягодкин Ю.Д.** Ионно-лучевая обработка металлов и сплавов // Итоги науки и техники. Серия Металловедение и термическая обработка. — 1990 (24), 167—221
6. **Ягодкин Ю.Д., Сулима А.М., Шулов В.А.** Влияние ионного легирования на жаростойкость сплавов на основе Ni и Ti // МиТОМ. — 1989, № 10, 37—43
7. **Singh A., Knystautas E., and Elboujdaine M.** Electrochemical behaviour of Nitrogen-Implanted 4145 Steel // Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res. B/ — 1988, nos. 3-4, 495—499
8. **Ma E., Li J.J., and Li H.D.** Abrasive Wear Studies of Nitrogen Implanted Aluminium and Titanium // Surf. and Coat. Technol. — 1989, no. 1, 31—36
9. **Белый А.В., Кукареко В.А., Патеев А.** Триботехнические свойства интерметаллического сплава Fe<sub>3</sub>Al, обработанного интенсивными потоками ионов азота // Трение и износ. — 2007, № 6, 575—581
10. **Белый А.В., Артемчик А.Г., Колесникова А.А.** Ионно-лучевая обработка и триботехнические свойства аустенитных хромовых сталей // Материалы Всероссийской научно-практической конф. «Новые технологии высшей школы. Наука, техника, педагогика». — М.: Изд-во ФГБОУ высшего образования «Московский политехнический университет». — 2020, 145—150
11. **Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбаров В.С.** Основы расчетов на трение и износ. — М.: Машиностроение. — 1977
12. **Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения** / под ред. Д.Н. Гаркунова. — М.: Машиностроение. — 1982
13. **Овчинников В.В., Козлов Д.А.** Влияние марки бронзы на свойства стали 30ХГСН2А при электроискровом легировании // Машиностроение и инженерное образование. — 2008, № 1, 33—40

14. **Алексеев Н.М., Богданов Р.И., Буше Н.А., Мелашенко А.И., Нагорных С.Н., Транковская Г.Р.** Новое о структурных особенностях трения твердых тел // Трение и износ. — 1988 (9), № 6, 965—974
15. **Куксенова Л.И., Козлов Д.А., Алексеева М.С.** Исследование эксплуатационных свойств стальных пар трения с антифрикционными покрытиями из медных сплавов, полученных методом электроискрового легирования // Физика и химия обработки материалов. — 2021, № 4, 31—41

## References

1. **Ovcharenko P.G., Leshchev A.Yu., Tarasov V.G.** Sravnitel'naya harakteristika iznosostojkosti poverhnostnyh sloev, poluchennyh elektroiskrovym legirovaniem // Upochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya. — 2018 (14), № 1, 27—29 (in Russian)
2. **Koreshkov A.V., Bojcov A.G., Amui A.M.** Elektroiskrovoe legirovanie aviacionnyh dvigatelej iz titanovyh splavov // Tezisy dokladov 19-oy Mezhdunarodnoj konferencii «Aviatsiya i kosmonavtika». — M.: Pero. — 2020, 272—273 (in Russian)
3. **Ivanov V.I.** Elektroiskrovoe legirovanie kuznechnogo proizvodstva: Elementy tekhnologii // Sel'skhozajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. — 2015, № 9, 23—26 (in Russian)
4. **Ivanov V.I., Denisov V.A., Igan'kov D.A.** Ispol'zovanie sovremennyh resursosberegayushchih metodov pri izgotovlenii i remonte detalej na primere elektroiskrovogo legirovaniya // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. — 2019, № 23(6), 8—20 (in Russian)
5. **Yagodkin Yu.D.** Ionno-luchevaya obrabotka metallov i splavov // Itogi nauki i tekhniki. Seriya Metallovedenie i termicheskaya obrabotka. — 1990 (24), 167—221 (in Russian)
6. **Yagodkin Yu.D., Sulima A.M., Shulov V.A.** Vliyaniye ionnogo legirovaniya na zharostojkost' splavov na osnove Ni i Ti // MiTOM. — 1989, № 10, 37—43 (in Russian)
7. **Singh A., Knystautas E., and Elboujdaine M.** Electrochemical behaviour of Nitrogen-Implanted 4145 Steel // Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res. B/ — 1988, nos. 3-4, 495—499
8. **Ma E., Li J.J., and Li H.D.** Abrasive Wear Studies of Nitrogen Implanted Aluminium and Titanium // Surf. and Coat. Technol. — 1989, no. 1, 31—36
9. **Belyj A.V., Kukareko V.A., Pateyuk A.** Tribotekhnicheskie svojstva intermetallicheskogo splava Fe<sub>3</sub>Al, obrabotannogo intensivnymi potokami ionov azota // Trenie i iznos. — 2007, № 6, 575—581 (in Russian)
10. **Belyj A.V., Artemchik A.G., Kolesnikova A.A.** Ionno-luchevaya obrabotka i tribotekhnicheskie svojstva austenitnyh hromovyh stalej // Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Novye tekhnologii vysshej shkoly. Nauka,

- tekhnika, pedagogika». — М.: Izd-vo FGBOU vysshego obrazovaniya «Moskovskij politekhnicheskij universitet». — 2020, 145—150 (in Russian)
11. **Kragel'skij I.V., Dobychin M.N., Kombalov V.S.** Osnovy raschetov na trenie i iznos. — М.: Mashinostroenie. — 1977 (in Russian)
  12. **Izbitatel'nyj perenos v tyazhelonagruzennyh uzlah treniya** / pod red. D.N. Garkunova. — М.: Mashinostroenie. — 1982 (in Russian)
  13. **Ovchinnikov V.V., Kozlov D.A.** Vliyanie marki bronzy na svoystva stali 30HGSN2A pri elektroiskrovom legirovanii // Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie. — 2008, № 1, 33—40 (in Russian)
  14. **Alekseev N.M., Bogdanov R.I., Bushe N.A., Melashenko A.I., Nagornyh S.N., Trankovskaya G.R.** Novoe o strukturnyh osobennostyah treniya tverdyh tel // Trenie i iznos. — 1988 (9), № 6, 965—974 (in Russian)
  15. **Kuksenova L.I., Kozlov D.A., Alekseeva M.S.** Issledovanie ekspluatatsionnyh svoystv stal'nyh par treniya s antifrikcionnymi pokrytiyami iz mednyh splavov, poluchennyh metodom elektroiskrovogo legirovaniya // Fizika i himiya obrabotki materialov. — 2021, № 4, 31—41 (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](mailto:FWJ@tut.by)