

УДК 621.891

## Триботехнические характеристики покрытий на основе бронзы БрА7Н6Ф после оплавления оптоволоконным лазером

О.Г. Девойно<sup>1</sup>, Е.Э. Фельдштейн<sup>2</sup>, А.Я. Григорьев<sup>3</sup>, В.Л. Басинюк<sup>4</sup>, М.А. Кардаполова<sup>1</sup>, И.М. Косякова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>БНТУ,

пр-т Независимости, 65, г. Минск 220013, Беларусь

<sup>2</sup>Зеленогурский университет,

ул. проф. З. Шафрана, 4, г. Зелена Гура 65-516, Польша

<sup>3</sup>ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси»,  
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь

<sup>4</sup>Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси  
ул. Академическая улица, 12, г. Минск 220072, Беларусь

Поступила в редакцию 04.01.2023.

После доработки 13.02.2023.

Принята к публикации 20.02.2023.

Изучены триботехнические характеристики покрытий на основе бронзы БрА7Н6Ф после оплавления оптоволоконным лазером. Рассмотрены изменения мгновенного коэффициента трения, температуры в зоне трения, интенсивности изнашивания в зависимости от технологии и условий нанесения покрытий. Исследования выполнялись на триботестере А-135 по схеме ролик—колодка в условиях концентрированного контакта и высоких нагрузок. Анализ характера изнашивания и топографии поверхности трения выполняли методами электронной микроскопии. Лазерное оплавление обеспечило повышение износостойкости покрытий в 1,5—2 раза по сравнению с плазменным напылением; при увеличении силы нагружения в 2 раза износ трущейся поверхности покрытия увеличивается в 1,3—5 раз. Показано, что в случаях плазменного напыления и лазерного оплавления с высокой плотностью энергии лазерного луча на поверхности трения возникает губчато-капиллярный эффект. В условиях низкой плотности энергии упомянутый эффект исчезает, и на изношенной поверхности наблюдается пластическое течение и адгезионное схватывание бронзы с материалом контртела (закалённая сталь 45).

**Ключевые слова:** бронза, покрытие, лазерное оплавление, технологические параметры, коэффициент трения, интенсивность изнашивания.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-12-19

**Адрес для переписки:**

О.Г. Девойно

БНТУ,

пр-т Независимости, 65, г. Минск 220013, Беларусь

e-mail: [plazteh@bntu.by](mailto:plazteh@bntu.by)

**Address for correspondence:**

O.G. Devoino

BNTU,

Nezavisimosti Ave., 65, Minsk 220013, Belarus

e-mail: [plazteh@bntu.by](mailto:plazteh@bntu.by)

**Для цитирования:**

О.Г. Девойно, Е.Э. Фельдштейн, А.Я. Григорьев, В.Л. Басинюк, М.А. Кардаполова, И.М. Косякова

Триботехнические характеристики покрытий на основе бронзы БрА7Н6Ф после оплавления оптоволоконным лазером.

Трение и износ.

2023. — Т. 44, № 1. — С. 12—19.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-12-19

**For citation:**

O.G. Devoino, E.E. Feldstein, A.Y. Grigoriev, V.L. Basinyuk, M.A. Kardapolova, and I.M. Kosyakova

[Tribotechnical Characteristics of Coatings Based on Bronze БРА7Н6Ф after Melting by Fiber Laser].

*Trenie i Iznos.*

2023, vol. 44, no. 1, pp. 12–19 (in Russian).

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-12-19

# Tribotechnical Characteristics of Coatings Based on Bronze BrA7H6Ф after Melting by Fiber Laser

O.G. Devoino<sup>1</sup>, E.E. Feldstein<sup>2</sup>, A.Y. Grigoriev<sup>3</sup>, V.L. Basinyuk<sup>4</sup>, M.A. Kardapolova<sup>1</sup>, and  
I.M. Kosyakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>BNTU,  
Nezavisimosti Ave., 65, Minsk 220013, Belarus

<sup>2</sup>Zelenogursky University,  
Prof. Z. Shafran str., 4, Zelena Gura 65-516, Poland

<sup>3</sup>Metal-Polymer Research Institute of Belarus National Academy of Sciences,  
Kirov street, 32a, Gomel 246050, Belarus

<sup>4</sup>United Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Akademicheskaya str., 12, Minsk 220072, Belarus

Received 04.01.2023.

Revised 13.02.2023.

Accepted 20.02.2023.

## Abstract

The tribotechnical characteristics of coatings based on BrA7H6F bronze after melting with a fiber laser have been studied. Changes of instant friction coefficient, temperature in friction zone, wear intensity depending on technology and conditions of coating deposition are considered. Researches were carried out on tribotester A-135 under the scheme of a roller—cradle under the conditions of the concentrated contact and high loads. Analysis of wear character and friction surface topography was carried out by electronic microstamping methods. Laser melting provided increase in wear resistance of coatings in 1.5—2 times in comparison with plasma spraying; wear of rubbing surface of coatings increases in 1.3—5 times at increase of force of loading in 2 times. It is shown that in cases of plasma spraying and laser melting with high energy density of the laser beam on the friction surface the sponge-capillary effect occurs. In conditions of low energy density the mentioned effect disappears, and plastic flow and adhesive bonding of bronze with the counter-body material (hardened steel 45) is observed on the worn surface.

**Keywords:** bronze, coating, laser melting, technological parameters, friction coefficient, wear intensity.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-12-19

---

### Адрес для переписки:

О.Г. Девойно  
БНТУ,  
пр-т Независимости, 65, г. Минск 220013, Беларусь  
e-mail: plazteh@bntu.by

### Для цитирования:

О.Г. Девойно, Е.Э. Фельдштейн, А.Я. Григорьев, В.Л. Басинюк,  
М.А. Кардаполова, И.М. Косякова

Триботехнические характеристики покрытий на основе бронзы  
BrA7H6Ф после оплавления оптоволоконным лазером.

Трение и износ.

2023. — Т. 44, № 1. — С. 12—19.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-12-19

---

### Address for correspondence:

O.G. Devoino  
BNTU,  
Nezavisimosti Ave., 65, Minsk 220013, Belarus  
e-mail: plazteh@bntu.by

### For citation:

O.G. Devoino, E.E. Feldstein, A.Y. Grigoriev, V.L. Basinyuk,  
M.A. Kardapolova, and I.M. Kosyakova

[Tribotechnical Characteristics of Coatings Based on Bronze  
BrA7H6Ф after Melting by Fiber Laser].

*Trenie i Iznos.*

2023, vol. 44, no. 1, pp. 12—19 (in Russian).

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-12-19

## Список использованных источников

1. **Смуров И., Дубенская М., Григорьев С.Н., Котобан Д.В., Подрабинник П.А.** Применение методов лазерной инженерии поверхности для решения трибологических проблем // Трение и износ. — 2014 (35), № 6, 682—690
2. **Тарасова Т.В., Гвоздева Г.О.** Износостойкость в условиях абразивного изнашивания и фреттинга образцов из алюминиевых сплавов, полученных методом микролазерной наплавки // Трение и износ. — 2017 (38), № 3, 255—262
3. **Юсубов Ф.Ф.** Влияние структуры поверхности спеченных композиций с частицами меди-графита на их триботехнические свойства // Трение и износ. — 2020 (41), № 2, 167—172
4. **Цуканов И.Ю., ЩербакOVA О.О., Мезрин А.М., Шкалей И.В., Муравьева Т.И.** Трибологические характеристики и микрогеометрия поверхностей антифрикционных сплавов в период приработки // Трение и износ. — 2020 (41), № 1, 19—26
5. **Дьячкова Л.Н.** Трибологические характеристики и особенности изнашивания порошковой оловянистой бронзы с добавкой ультрадисперсных оксидов // Трение и износ. — 2020 (41), № 4, 409—414
6. **Qin Z., Xia D.-H., Zhang Y., Wu Z., Liu L., Ly Y., Liu Y., and Hu W.** Microstructure Modification and Improving Corrosion Resistance of Laser Surface Quenched Nickel–Aluminum Bronze Alloy // Corrosion Science. — 2020 (174), 108744.
7. **Öztürk S., Sünbül S.E., Metoğlu A., and İçin K.** Improvement of Microstructure, Tribology and Corrosion Characteristics of Nickel–Aluminum Bronze by P/M Method // Tribology International. — 2020 (151), 106519
8. **Jiang J., Wan S., Yi G., Wang J., Chang J., Jin W., Lei J., Lu B., and Qu F.** A Case Study on the Wear Mechanism and Stress Evolution of Graphite Plugged Bronze Wear Plate from the Field Trial // Engineering Failure Analysis. — 2022 (131), 105836
9. **Susilowati S.E., Fudholi A., and Sumardiyanto D.** Mechanical and Microstructural Characteristics of Cu–Sn–Zn/Gr Metal Matrix Composites Processed by Powder Metallurgy for Bearing Materials // Results in Engineering. — 2022 (14), 100377
10. **Feldshtein E.E., Vitjaz P.A., and Leksycki K.** Tribotechnical Characteristics of Ti6Al4V Titanium Alloy–Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene Friction Pairs // Journal of Friction and Wear. — 2020 (41), no. 5, 399—404
11. **Feldshtein E.E. and Dyachkova L.N.** Wear Minimization for Highly Loaded Iron-Based MMCs due to the Formation of Spongy-Capillary Texture on the Friction Surface // Wear. — 2020 (444–445), 203161

## References

1. **Smurov I., Dubenskaya M., Grigoryev S.N., Kotoban D.V., Podrabinnik P.A.** Primeneniye metodov lazernoy inzhenerii poverkhnosti dlya resheniya tribologicheskikh problem // Treniye i iznos. — 2014 (35), № 6, 682—690 (in Russian)
2. **Tarasova T.V., Gvozdeva G.O.** Iznosostoykost v usloviyakh abrazivnogo iznashivaniya i frettinga obraztsov iz alyuminiyevykh splavov. Poluchen-nykh metodom mikrolazernoy naplavki // Treniye i iznos. — 2017 (38), № 3, 255—262 (in Russian)
3. **Yusubov F.F.** Vliyaniye struktury poverkhnosti spechennykh kompozitsiy s chastitsami medi-grafita na ikh tribotekhnicheskiye svoystva // Treniye i iznos. — 2020 (41), № 2. S. 167—172 (in Russian)
4. **Tsukanov I.Yu., Shcherbakova O.O., Mezrin A.M., Shkaley I.V., Muravyeva T.I.** Tribologicheskkiye kharakteristiki i mikrogeometriya poverkhnostey antifriktsionnykh splavov v period prirabotki // Treniye i iznos. — 2020 (41), № 1, 19—26 (in Russian)
5. **Diachkova L.N.** Tribologicheskkiye kharakteristiki i osobennosti iznashivaniya poroshkovoy olovyanistoy bronzy s dobavkoy ultradispersnykh oksidov // Treniye i iznos. — 2020 (41), № 4, 409—414 (in Russian)
6. **Qin Z., Xia D.-H., Zhang Y., Wu Z., Liu L., Ly Y., Liu Y., Hu W.** Microstructure modification and improving corrosion resistance of laser surface quenched nickel–aluminum bronze alloy // Corrosion Science 2020, V. 174. P. 108744.
7. **Öztürk S., Sünbül S.E., Metoğlu A., and İçin K.** Improvement of Microstructure, Tribology and Corrosion Characteristics of Nickel–Aluminum Bronze by P/M Method // Tribology International. — 2020 (151), 106519
8. **Jiang J., Wan S., Yi G., Wang J., Chang J., Jin W., Lei J., Lu B., and Qu F.** A Case Study on the Wear Mechanism and Stress Evolution of Graphite Plugged Bronze Wear Plate from the Field Trial // Engineering Failure Analysis. — 2022 (131), 105836
9. **Susilowati S.E., Fudholi A., and Sumardiyanto D.** Mechanical and Microstructural Characteristics of Cu–Sn–Zn/Gr Metal Matrix Composites Processed by Powder Metallurgy for Bearing Materials // Results in Engineering. — 2022 (14), 100377
10. **Feldshtein E.E., Vitjaz P.A., and Leksycki K.** Tribotechnical Characteristics of Ti6Al4V Titanium Alloy–Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene Friction Pairs // Journal of Friction and Wear. — 2020 (41), no. 5, 399—404
11. **Feldshtein E.E. and Dyachkova L.N.** Wear Minimization for Highly Loaded Iron-Based MMCs due to the Formation of Spongy-Capillary Texture on the Friction Surface // Wear. — 2020 (444–445), 203161

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)