

УДК 621.793

## Триботехнические свойства антифрикционных газотермических покрытий Cu–Al в среде жидких и пластичных смазочных материалов

А.Н. Григорчик, В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский, А.В. Сосновский,  
Е.В. Астрашаб

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
ул. Академическая, 12, г. Минск 220012, Беларусь

Поступила в редакцию 19.06.2023.

После доработки 10.10.2023.

Принята к публикации 13.10.2023.

Исследовано структурно-фазовое состояние и триботехнические свойства антифрикционных газотермических покрытий из алюминиевого сплава АК12, сварочной бронзы БрКМц3-1, а также композиционного материала «БрКМц3-1 + АК12» и покрытия из бронзы БрОФ10-1, полученного центробежной индукционной наплавкой. Показано, что композиционные газотермические покрытия из «БрКМц3-1 + АК12» после напыления включают в себя фазы Cu, Al, Cu<sub>9</sub>Al<sub>4</sub>, CuAl<sub>2</sub>, Cu<sub>3</sub>Al, Si, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Матричная фаза бронзовых прослоек легирована алюминием, а Al прослоек — медью. Установлено, что отжиг покрытий «БрКМц3-1 + АК12» при температурах 175 °С и 225 °С в течение 2 часов приводит к выделению в них дополнительного количества интерметаллидных соединений и возрастанию их микротвёрдости. Показано, что композиционные газотермические покрытия имеют в ≈ 1,2—1,7 раза более высокую износостойкость в среде смазочных материалов И-20А и Литол-24 по сравнению с наплавленным покрытием из бронзы БрОФ10-1. Отжиг композиционных покрытий из «БрКМц3-1 + АК12» приводит к повышению их износостойкости в среде жидкого смазочного материала И-20А до 30 % и пластичной смазки Литол-24 до 20 % по сравнению исходным состоянием. Коэффициенты трения всех антифрикционных покрытий на базе меди в среде смазочного материала И-20А не превышали 0,08, а в среде смазочного материала Литол-24 — 0,10.

**Ключевые слова:** антифрикционные покрытия, газотермическое напыление, смазочные материалы, износостойкость, коэффициент трения.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-5-400-408

**Адрес для переписки:**

Е.В. Астрашаб  
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
ул. Академическая, 12, г. Минск 220072, Беларусь  
e-mail: astrashabev@mail.ru

**Address for correspondence:**

E.V. Astrashab  
Joint Institute of Mechanical Engineering, National Academy of  
Sciences of Belarus,  
Akademicheskaya Street, 12, Minsk 220072, Belarus  
e-mail: astrashabev@mail.ru

**Для цитирования:**

А.Н. Григорчик, В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский,  
А.В. Сосновский, Е.В. Астрашаб  
Триботехнические свойства антифрикционных газотермических  
покрытий Cu–Al в среде жидких и пластичных смазочных  
материалов.  
Трение и износ.  
2023. – Т. 44, № 5. – С. 400–408.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-5-400-408

**For citation:**

A.N. Grigorchik, V.A. Kukareko, M.A. Belotserkovsky,  
A.V. Sosnovskiy, and E.V. Astrashab  
[Tribotechnical Properties of Antifriction Gas Thermal Coatings Cu–Al  
in Liquid and Plastic Lubricants].  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 5, pp. 400–408 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-5-400-408

# Tribotechnical Properties of Antifriction Gas Thermal Coatings Cu–Al in Liquid and Grease Lubricants

A.N. Grigorichik, V.A. Kukareko, M.A. Belotserkovsky, A.V. Sosnovskiy, and E.V. Astrashab

Joint Institute of Mechanical Engineering, National Academy of Sciences of Belarus,  
Akademicheskaya Street, 12, Minsk 220012, Belarus

Received 19.06.2023.

Revised 10.10.2023.

Accepted 13.10.2023.

## Abstract

The study of the structural-phase state and tribotechnical properties of antifriction gas-thermal coatings made of aluminum alloy AlSi12, welding bronze CuSi3Mn1, as well as composite material «CuSi3Mn1+AlSi12» and a coating of bronze CuSn10P1 obtained by centrifugal induction surfacing was carried out. It is shown that composite gas-thermal coatings from «CuSi3Mn1+AlSi12» after spraying include the Cu, Al, Cu<sub>9</sub>Al<sub>4</sub>, CuAl<sub>2</sub>, Cu<sub>3</sub>Al, Si, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phases. The matrix phase of the bronze interlayers is doped with aluminum, while the Al interlayers are doped with copper. It has been established that annealing of coatings «CuSi3Mn1+AlSi12» at temperatures of 175 °C and 225 °C for 2 hours leads to the release of an additional amount of intermetallic compounds in them and an increase in their microhardness. It is shown that composite gas-thermal coatings have ≈ 1.2—1.7 times higher wear resistance in the environment of lubricants I-20A and Litol-24 compared coatings of bronze CuSn10P1. Annealing of composite coatings from «CuSi3Mn1+AlSi12» leads to an increase in their wear resistance in the environment of liquid lubricant I-20A up to 30 % and grease Litol-24 up to 20 % compared to the initial state. The coefficients of friction of all antifriction coatings based on copper in the environment of the I-20A lubricant did not exceed 0.08, and in the environment of the Litol-24 lubricant — 0.10.

**Keywords:** antifriction coatings, thermal spraying, lubricants, wear resistance, coefficient of friction.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-5-400-408

---

### Адрес для переписки:

Е.В. Астрашаб  
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
ул. Академическая, 12, г. Минск 220072, Беларусь  
e-mail: astrashabev@mail.ru

### Address for correspondence:

E.V. Astrashab  
Joint Institute of Mechanical Engineering, National Academy of  
Sciences of Belarus,  
Akademicheskaya Street, 12, Minsk 220072, Belarus  
e-mail: astrashabev@mail.ru

### Для цитирования:

А.Н. Григорчик, В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский,  
А.В. Сосновский, Е.В. Астрашаб  
Триботехнические свойства антифрикционных газотермических  
покрытий Cu–Al в среде жидких и пластичных смазочных  
материалов.  
Трение и износ.  
2023. – Т. 44, № 5. – С. 400–408.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-5-400-408

### For citation:

A.N. Grigorichik, V.A. Kukareko, M.A. Belotserkovsky,  
A.V. Sosnovskiy, and E.V. Astrashab  
[Tribotechnical Properties of Antifriction Gas Thermal Coatings Cu–Al  
in Liquid and Plastic Lubricants].  
*Trenie i Izнос*.  
2023, vol. 44, no. 5, pp. 400–408 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-5-400-408

## Список использованных источников

1. **Филиппов М.А., Шешуков О.Ю.** Трение и антифрикционные материалы: учебное пособие; М-во науки и высш. образования РФ. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. — 2021
2. **Кордикова Е.И.** Триботехника: конспект лекция (электронный вариант); Белорусский государственный технологический университет. — Минск: Изд-во БГТУ. — 2013
3. **Рыбакова Л.М., Куksenova Л.И.** Структура и износостойкость металла. — М.: Машиностроение. — 1982
4. **Столярова О.О. [и др.]**. Микроскопия в исследовании поверхности антифрикционных многокомпонентных алюминиевых сплавов // Физическая мехомеханика. — 2016 (19), № 5, 105—114
5. **Марукович Е.И., Кукареко В.А., Григорчик А.Н., Стеценко В.Ю.** Исследование триботехнических свойств антифрикционного силумина АК15М3 // Трение и износ. — 2020 (41), № 2, 131—138
6. **Белоцерковский М.А.** Технологии активированного газопламенного напыления антифрикционных покрытий. — Минск: Технопринт. — 2004
7. **Григорчик А.Н., Кукареко В.А., Астрашав Е.В., Белоцерковский М.А., Сосновский А.В.** Влияние алюминия на структурно-фазовое состояние, коррозионную стойкость и трибомеханические свойства композиционных покрытий, полученных высокоскоростной металлизацией // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2022 (18), № 1(205), 18—23
8. **Кукареко В.А., Белоцерковский М.А., Григорчик А.Н., Сосновский А.В.** Структура и триботехнические свойства покрытия Ti-TiN, полученного высокоскоростным напылением // Трение и износ. — 2022 (43), № 5, 458—465
9. **Григорчик А.Н., Астрашав Е.В., Белоцерковский М.А., Сосновский А.В., Кукареко В.А., Дудан А.Н.** Износостойкость газотермических покрытий из псевдосплавов на основе меди, полученных методом высокоскоростной металлизации // Вестник полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. Материаловедение. — 2019, № 11, 39—44
10. **Кононов А.Г., Кукареко В.А., Белый А.В., Шаркеев Ю.П.** Ионно-модифицированные субмикроструктурные титановые и циркониевые сплавы для медицины и механики // Механика машин, механизмов и материалов. — 2013, № 1(22), 47—53
11. **Гегузин Я.Е.** Диффузионная зона. — М.: Наука. — 1979
12. **Астрашав Е.В., Григорчик А.Н., Кукареко В.А., Белоцерковский М.А.** Влияние термической обработки на структуру, фазовый состав и износостойкость газотермических покрытий из

псевдосплав «08Г2С+АК12» // Трение и износ. — 2020 (41), № 1, 12—18

## References

1. **Filippov M.A., Sheshukov O.Ju.** Trenie i antifrikcionnye materialy: uchebnoe posobie; M-vo nauki i vyssh. obrazovanija RF. — Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta. — 2021 (in Russian)
2. **Kordikova E.I.** Tribotehnika : konspekt lekcija (jel-ektronnyj variant); Belorusskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet. — Minsk: Izd-vo BGTU. — 2013 (in Russian)
3. **Rybakova L.M., Kuksenova L.I.** Struktura i iznosostojkost' metalla. — M.: Mashinostroenie. — 1982 (in Russian)
4. **Stoljarova O.O. [i dr.]**. Mikroskopija v issledovanii poverhnosti antifrikcionnyh mnogokomponentnyh aljuminievych splavov // Fizicheskaja meho-mehanika. — 2016 (19), № 5, 105—114 (in Russian)
5. **Marukovich E.I., Stetsenko V.Y., Kukareko V.A., and Grigorich A.N.** Tribotechnical study of antifriction Silumin AlSi15Cu3 // Journal of Friction and Wear. — 2020 (41), no. 2, 95—101
6. **Belocerkovskij M.A.** Tehnologii aktivirovannogo gazoplamnogo napylenija antifrikcionnyh pokrytij. — Minsk: Tehnoprint. — 2004 (in Russian)
7. **Grigorich A.N., Kukareko V.A., Astrashab E.V., Belocerkovskij M.A., Sosnovskij A.V.** Vlijanie aljuminija na strukturno-fazovoe sostojanie, korrozionnuju stojkost' i tribomehanicheskie svojstva kompozicionnyh pokrytij, poluchennyh vysokoskorostnoj metallizaciej // Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija. — 2022 (18), № 1(205), 18—23 (in Russian)
8. **Kukareko V.A., Belotserkovskii M.A., Grigorich A.N., and Sosnovskii A.V.** Structure and Tribological Properties of a Ti-TiN Coating Obtained by Hypersonic Metallization // Journal of Friction and Wear. — 2022 (43), no. 5, 300—304
9. **Grigorich A.N., Astrashab E.V., Belocerkovskij M.A., Sosnovskij A.V., Kukareko V.A., Dudan A.N.** Iznosostojkost' gazotermicheskikh pokrytij iz psevdospлавov na osnove medi, poluchennyh metodom vysokoskorostnoj metallizacii // Vestnik polockogo gosudarstvennogo universiteta. Serija V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki. Materialovedenie. — 2019, № 11, 39—44 (in Russian)
10. **Kononov A.G., Kukareko V.A., Belyj A.V., Sharkeev Ju.P.** Ionno-modificirovannye submikrokrystallicheskie titanovye i cirkonievye splavy dlja mediciny i mehaniki // Mehanika mashin, mehanizmov i materialov. — 2013, № 1(22), 47—53 (in Russian)
11. **Geguzin Ja.E.** Diffuzionnaja zona. — M.: Nauka. — 1979 (in Russian)
12. **Astrashab E.V., Grigorich A.N., Kukareko V.A., and Belotserovskii M.A.** Effect of Heat

Treatment on the Structure, Phase Composition, and  
Wear Resistance of Thermal Spray Coatings of the

Pseudoalloy «08G2S+AK12» // Journal of Friction  
and Wear. — 2020 (41), no. 1, 6—11

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)