

УДК 620.178.162.42:620.187

Триботехнические характеристики композитов БрА7–W–WC, полученных методом электронно-лучевого аддитивного производства

Е.Н. Москвичев, Н.Н. Шамарин, Н.Л. Савченко

Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук,
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия

Поступила в редакцию 13.05.2025.

В работе представлено исследование по созданию и оценке трибологических характеристик металло-матричных композиционных материалов (ММК) на основе алюминиевой бронзы БрА7, армированных частицами вольфрама (W) и карбида вольфрама (WC), с использованием технологии электронно-лучевого аддитивного производства (ЭЛАП).

Цель работы — получение износостойких материалов на основе алюминиевой бронзы со сформированным приповерхностным композиционным слоем CuAl7–W–WC, изучение их триботехнических характеристик в условиях трения без смазочного материала при комнатных и повышенных температурах в воздушной среде.

Авторы применили комбинированный проволочно-порошковый метод подачи материала, что позволило получить композитные покрытия с равномерным распределением армирующей фазы. Были изготовлены образцы из чистой бронзы (CuAl7), и композиты, содержащие 10 об. % (CuAl7–W5–WC5) и 20 об. % (CuAl7–W10–WC10) армирующих частиц в составе. Установлено, что добавление W и WC существенно снижает интенсивность изнашивания по сравнению с чистой бронзой. В то же время коэффициенты трения композитов сопоставимы с таковыми у исходного материала.

Выявлен характер износа полученных ММК, который носит преимущественно окислительный характер с формированием многослойной трибоплёнки, содержащей оксиды меди и железа, действующей как сухая смазка. Присутствие армирующих частиц ограничивает контакт с контртелом и подавляет пластическую деформацию матрицы, что положительно сказывается на износостойкости материала. Работа демонстрирует потенциал ЭЛАП-технологий в прецизионной модификации поверхностных свойств изделий и расширяет представление о механизмах износа ММК при высокотемпературном трении. Полученные материалы могут быть использованы при изготовлении деталей с повышенными требованиями к износостойкости, например, в машиностроении и авиации.

Ключевые слова: металло-матричные композиты, электронно-лучевое аддитивное производство, износ, трение без смазочного материала, алюминиевая бронза.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-354-362

Адрес для переписки:

Е.Н. Москвичев
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук,
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия
e-mail: em_tsu@mail.ru

Для цитирования:

Е.Н. Москвичев, Н.Н. Шамарин, Н.Л. Савченко.
Триботехнические характеристики композитов БрА7–W–WC,
полученных методом электронно-лучевого аддитивного
производства.
Трение и износ.
2025. — Т. 46, № 4. — С. 354–362.
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-354-362

Address for correspondence:

E.N. Moskvichev
Institute of Strength Physics and Materials Science Siberian Branch of
Russian Academy of Sciences,
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia
e-mail: em_tsu@mail.ru

For citation:

E.N. Moskvichev, N.N. Shamarin, and N.L. Savchenko.
[Tribotechnical Characteristics of CuAl7–W–WC Composites
Fabricated by Electron Beam Additive Manufacturing].
Trenie i Iznos.
2025, vol. 46, no. 4, pp. 354–362 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-354-362

Tribotechnical Characteristics of CuAl7–W–WC Composites Fabricated by Electron Beam Additive Manufacturing

E.N. Moskvichev, N.N. Shamarin, and N.L. Savchenko

*Institute of Strength Physics and Materials Science Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia*

Received 13.05.2025.

Abstract

This work presents a study on the development and evaluation of the tribological characteristics of metal matrix composites (MMCs) based on aluminum bronze CuAl7, reinforced with tungsten (W) and tungsten carbide (WC) particles, produced using electron beam additive manufacturing (EBAM).

The aim of the study is to obtain wear-resistant materials based on aluminum bronze with a surface-engineered composite layer of CuAl7–W–WC and to investigate their tribological performance under dry sliding conditions at room and elevated temperatures in air.

The authors employed a combined wire–powder feed method, which enabled the fabrication of composite coatings with a uniform distribution of the reinforcing phase. Samples were produced from pure bronze (CuAl7), as well as composites containing 10 vol. % (CuAl7–W5–WC5) and 20 vol. % (CuAl7–W10–WC10) of reinforcing particles. It was established that the addition of W and WC significantly reduces the wear rate compared to pure bronze, while the friction coefficients of the composites remain comparable to those of the base material.

The wear mechanisms of the obtained MMCs were identified as predominantly oxidative, with the formation of a multilayered tribofilm containing copper and iron oxides, acting as a solid lubricant. The presence of reinforcing particles limits direct contact with the counterbody and suppresses plastic deformation of the matrix, thereby enhancing wear resistance. This study demonstrates the potential of EBAM technology for precise surface modification and provides new insights into the wear mechanisms of MMCs under high-temperature sliding conditions. The developed materials can be used in the manufacturing of components with enhanced wear resistance, such as those used in mechanical engineering and aerospace applications.

Keywords: metal matrix composites, electron beam additive manufacturing, wear, dry friction, aluminum bronze.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-354-362

Адрес для переписки:

Е.Н. Москвичев
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук,
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия
e-mail: em_tsu@mail.ru

Для цитирования:

Е.Н. Москвичев, Н.Н. Шамарин, Н.Л. Савченко.
Триботехнические характеристики композитов БрА7–W–WC,
полученных методом электронно-лучевого аддитивного
производства.
Трение и износ.
2025. — Т. 46, № 4. — С. 354–362.
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-354-362

Address for correspondence:

E.N. Moskvichev
Institute of Strength Physics and Materials Science Siberian Branch of
Russian Academy of Sciences,
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia
e-mail: em_tsu@mail.ru

For citation:

E.N. Moskvichev, N.N. Shamarin, and N.L. Savchenko.
[Tribotechnical Characteristics of CuAl7–W–WC Composites
Fabricated by Electron Beam Additive Manufacturing].
Trenie i Iznos.
2025, vol. 46, no. 4, pp. 354–362 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-354-362

Список использованных источников / References

1. **Sadeghi B., Cavaliere P., and Shabani A.** Design Strategies for Enhancing Strength and Toughness in High Performance Metal Matrix Composites: A Review // *Materials Today Communications*. — 2023 (37) 107535
2. **Xu D., Wei B., Chen R., Zhou R., Yang J., Chen P., and Cheng J.** A Novel Approach to Fabricate WC Reinforced W–Cu Composites via MSC and Infiltration Method // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. — 2023 (111), 106100
3. **Filippov A., Shamarin N., Moskvichev E., Savchenko N., Kolubaev E., Khoroshko E., and Tarasov S.** The Effect of Heat Input, Annealing, and Deformation Treatment on Structure and Mechanical Properties of Electron Beam Additive Manufactured (EBAM) Silicon Bronze // *Materials*. — 2022 (15), 3209
4. **Osipovich K., Kalashnikov K., Chumaevskii A., Gurianov D., Kalashnikova T., Vorontsov A., Zykova A., Utyaganova V., Panfilov A., Nikolaeva A., Dobrovolskii A., Rubtsov V., and Kolubaev E.** Wire-Feed Electron Beam Additive Manufacturing: A Review // *Metals* — 2023 (13), 279
5. **Blau P.J.** On the Nature of Running-in // *Tribology International*. — 2005 (38), nos. 11–12, 1007—1012
6. **Schell J., Heilmann P., and Rigney D.A.** Friction and Wear of Cu–Ni Alloys // *Wear*. — 1982 (75), 205—220
7. **Venkataraman B. and Sundararajan G.** The Sliding Wear Behaviour of Al–SiC Particulate Composites. II. The Characterization of Subsurface Deformation and Correlation with Wear Behavior // *Acta Mater.* — 1996 (44), 461—473
8. **Czupryk W.** Frictional Transfer of Iron in Oxidative Wear Conditions During Lubricated Sliding // *Wear*. — 2000 (237), 288—294
9. **Cai W. and Bellon P.** Subsurface Microstructure Evolution and Deformation Mechanism of Ag–Cu Eutectic Alloy after Dry Sliding Wear // *Wear*. — 2013 (303), 602—610
10. **Savchenko N., Fedin E., Sevostyanova I., Moskvichev E., Vorontsov A., and Tarasov S.** Evidence of Tribological Adaptation Controlled by Tribosynthesis of FeWO₄ on an WC-Reinforced Electron Beam M2 Steel Coating Rubbed against a HSS Disk in a Range of Sliding Speeds // *Materials*. — 2023 (16), 1013
11. **Lontin K., Khan M., and Alharbi B.** Investigation of the Effect of Temperature on the Wear Rate and Airborne Noise in Sliding Wear // *Materials*. — 2022 (15), 812
12. **Pan L., Han J., Yang Z., Wang J., Li X., Li Z., and Li W.** Temperature Effects on the Friction and Wear Behaviors of SiCp/A356 Composite against Semimetallic Materials // *Adv. Mater. Sci. Eng.* — 2017, 1824080
13. **Pearson S.R., Shipway P.H., Abere J.O., and Hewitt R.A.A.** The Effect of Temperature on Wear and Friction of a High Strength Steel in Fretting // *Wear*. — 2013 (303), 622—631
14. **Attia M.H., de Pannemaecker A., and Williams G.** Effect of Temperature on Tribo-Oxide Formation and the Fretting Wear and Friction Behavior of Zirconium and Nickel-Based Alloys // *Wear*. — 2021 (476), 203722
15. **Savchenko N.L., Korolev P.V., Melnikov A.G., Tarasov S.Yu., and Kulkov S.N.** Wear and Friction of Transformation-Toughened CMC and MMC // *Wear*. — 2002 (249), 892—900

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