

УДК 620.178.16:620.181:620.187:621.791

Триботехнические характеристики композитов БрАМц9-2/W, полученных методом фрикционной перемешивающей обработки

А.М. Черемнов, Е.О. Княжев, В.Р. Утяганова, А.В. Чумаевский, А.П. Зыкова,
Н.Л. Савченко, С.Ю. Тарасов

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

Поступила в редакцию 14.11.2024.

После доработки 05.02.2025.

Принята к публикации 14.02.2025.

Изучена микроструктура, фазовый состав, механические и трибологические свойства композитов с матрицей из бронзы БрАМц9-2, армированной частицами вольфрама. Образцы с 0, 5, 10 и 15 об. % частиц W были получены методом фрикционной перемешивающей обработки (ФПО). Показано, что в результате многопроходной ФПО вольфрам-содержащих образцов формируется композиционная структура из многофазной бронзовой матрицы, состоящей из α -Cu твёрдого раствора, интерметаллидов β' -Cu₃Al, γ_2 -Al₄Cu₉ и равномерно распределённых в ней армирующих частиц вольфрама. При испытании на сухое трение скольжения по стальному контртелу все образцы продемонстрировали близкие значения коэффициента трения, лежащие в диапазоне 0,33—0,39. Значения интенсивности изнашивания у композитов, армированных W, были заметно меньше, чем у образцов без W. Минимальные значения интенсивности изнашивания были получены на образцах БрАМц9-2/5%W. Эффект трибоокисления в вольфрам-содержащих образцах сопровождался образованием κ -фазы Al₂O₃ за счёт окисления метастабильной фазы γ -Al₄Cu₉. Полученные композиты могут быть использованы для создания узлов трения машин и устройств, высоковольтных электрических контактов, теплоотводящих материалов и для ряда других практических применений.

Ключевые слова: фрикционная перемешивающая обработка, медный сплав, вольфрам, композиционный материал, износ, сухое скольжение, трибослой.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-1-58-65

Адрес для переписки:

А.М. Черемнов
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук,
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия
e-mail: amc@ispms.ru

Address for correspondence:

A.M. Chermnov
Institute of Strength Physics and Materials Science Siberian Branch of
Russian Academy of Sciences,
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia
e-mail: amc@ispms.ru

Для цитирования:

А.М. Черемнов, Е.О. Княжев, В.Р. Утяганова, А.В. Чумаевский,
А.П. Зыкова, Н.Л. Савченко, С.Ю. Тарасов.
Триботехнические характеристики композитов БрАМц9-2/W,
полученных методом фрикционной перемешивающей обработки.
Трение и износ.
2025. — Т. 46, № 1. — С. 58–65.
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-1-58-65

For citation:

A.M. Chermnov, E.O. Knyazhev, V.R. Utyaganova,
A.V. Chumaevskii, A.P. Zyкова, N.L. Savchenko, and S.Yu. Tarasov.
[Tribological Characteristics of BrAMts9-2/W Composites Prepared by
Friction Stir Processing].
Trenie i Iznos.
2025, vol. 46, no. 1, pp. 58–65 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-1-58-65

Tribological Characteristics of BrAMts9-2/W Composites Prepared by Friction Stir Processing

A.M. Cheremnov, E.O. Knyazhev, V.R. Utyaganova, A.V. Chumaevskii, A.P. Zykova, N.L. Savchenko, and S.Yu. Tarasov

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

Received 14.11.2024.

Revised 05.02.2024.

Accepted 14.02.2025.

Abstract

The microstructure, phase composition, mechanical and tribological properties of composites with a BrAMts9-2 bronze matrix, reinforced with tungsten particles have been studied. Samples with 0, 5, 10 and 15 vol. % of W particles were obtained by friction stir processing (FSP). It was shown that as a result of multi-pass FSP of tungsten-containing samples, a composite structure is formed from a multiphase bronze matrix consisting of α -Cu solid solution, intermetallic β' -Cu₃Al and γ_2 -Al₄Cu₉ as well as uniformly distributed reinforcement tungsten particles. During tribological tests, all samples demonstrated similar values of coefficient of friction in the range of 0.33—0.39. The wear rate values of composites reinforced with W were significantly lower than those of samples without W. The minimum wear intensity values were obtained on BrAMts9-2/5% W samples. The tribooxidation effect in tungsten-containing samples was accompanied by the formation of the κ -phase of Al₂O₃ due to the oxidation of the metastable phase γ -Al₄Cu₉. The resulting composites can be used to fabricate moving parts of machines and devices, high-voltage electrical contacts, heat-removal elements, and many other practical applications.

Keywords: friction stir processing, copper alloy, tungsten, composite material, wear, dry sliding, tribolayers.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-1-58-65

Адрес для переписки:

А.М. Черемнов
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук,
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия
e-mail: amc@ispms.ru

Address for correspondence:

A.M. Cheremnov
Institute of Strength Physics and Materials Science Siberian Branch of
Russian Academy of Sciences,
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia
e-mail: amc@ispms.ru

Для цитирования:

А.М. Черемнов, Е.О. Князев, В.Р. Утяганова, А.В. Чумаевский,
А.П. Зыкова, Н.Л. Савченко, С.Ю. Тарасов.
Триботехнические характеристики композитов БрАМц9-2/W,
полученных методом фрикционной перемешивающей обработки.
Трение и износ.
2025. — Т. 46, № 1. — С. 58—65.
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-1-58-65

For citation:

A.M. Cheremnov, E.O. Knyazhev, V.R. Utyaganova,
A.V. Chumaevskii, A.P. Zykova, N.L. Savchenko, and S.Yu. Tarasov.
[Tribological Characteristics of BrAMts9-2/W Composites Prepared by
Friction Stir Processing].
Trenie i Iznos.
2025, vol. 46, no. 1, pp. 58—65 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-1-58-65

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / References

1. **Laghari R.A., Jamil M., Laghari A.A., and Khan A.M.** Material Characteristics and Machinability of Metal Matrix Composite Materials: A Critical Review on Recent Advances and Future Perspectives // Measurement. — 2025 (242, Part B), 115839
2. **Li Y., Hou C., Cao L., Liu C., Liang S., Tang F., Song X., and Nie Z.** Excellent Wear Resistance of Multicomponent Nanocrystalline W–Cu Based Composite // Journal of Alloys and Compounds. — 2021 (861), 158627
3. **Selvakumar N. and Vettivel S.C.** Thermal, Electrical and Wear Behavior of Sintered Cu–W Nanocomposite // Materials and Design. — 2013 (46), 16—25
4. **Huang Y., Zhou X., Hua N., Que W., and Chen W.** High Temperature Friction and Wear Behavior of Tungsten – Copper Alloys // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. — 2018 (77), 105—112
5. **Schell J., Heilmann P., and Rigney D.A.** Friction and Wear of Cu–Ni Alloys // Wear. — 1982 (75), 205—220
6. **Akbari M., Asadi P., and Sadowski T.** A Review on Friction Stir Welding/Processing: Numerical Modeling // Materials. — 2023 (16), 5890
7. **Chermnov A., Zykova A., Savchenko N., Knyazhev E., Semenchuk N., Gurianov D., Vorontsov A., Utyaganova V., Chumaevskii A., Kolubaev E., and Tarasov S.** Surface CuAl9Mn2/W Composites Prepared by Multipass Friction Stir Processing: Microstructures, Phases, and Mechanical and Tribological Properties // Journal of Materials Engineering and Performance. — 2024
8. **Ren F., Zhu W., Chu K., and Zhao C.** Tribological and Corrosion Behaviors of Bulk Cu–W Nanocomposites Fabricated by Mechanical Alloying and Warm Pressing // Journal of Alloys and Compounds. — 2016 (676), 164—172
9. **Schell J., Heilmann P., and Rigney D.A.** Friction and Wear of Cu–Ni Alloys // Wear. — 1982 (75), 205—220
10. **Kim Y.D., Oh N.L., Oh S.-T., and Moon I.-H.** Thermal Conductivity of W–Cu Composites at Various Temperatures // Materials Letters — 2001 (51), 420—424
11. **Moskvichev E., Shamarin N., and Savchenko N.** High Temperature Tribological Properties of Additively Manufactured WC Reinforced CuAl7–W Composites // Wear. — 2024 (556–557), 205535
12. **Zykova A., Panfilov A., Chumaevskii A., Vorontsov A., Moskvichev E., Nikonov S., Gurianov D., Savchenko N., Kolubaev E., and Tarasov S.** In-situ Dispersion Hardened Aluminum Bronze/Steel Composites Prepared Using a Double Wire Electron Beam Additive Manufacturing // Progress in Additive Manufacturing. — 2023 (8), 1067—1082
13. **Besson R., Avettand-Fenoel M.-N., Thuinet L., Kwon J., Addad A., Roussel P., and Legris A.** Mechanisms of Formation of Al₄Cu₉ during Mechanical Alloying: An Experimental Study // Acta Materialia. — 2015 (87), 216—224
14. **Kwarciak J., Bojarski Z., Morawiec H.** Phase transformation in martensite of Cu–12.4% Al // Journal of Materials Science — 1986 (21), 788—792
15. **Li Y., Fu H., Ma T., Wang K., Yang X., and Lin J.** Microstructure and Wear Resistance of AlCo–CrFeNi–WC/TiC Composite Coating by Laser Cladding // Materials Characterization. — 2022 (194), 112479

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