

УДК 62-592.112, 669.018.95

Механические свойства и триботехнические характеристики медноматричного композита, армированного TiC–Ti

А.С. Буяков^{1,2}, А.Г. Бурлаченко¹, Ю.А. Мировой^{1,2}, Е.В. Абдульменова¹, В.В. Шмаков¹, К.В. Круковский¹, С.П. Буякова^{1,2}

¹Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, пр. Ленина, 30, г. Томск 634050, Россия

Поступила в редакцию 26.08.2025.

В работе изучена микроструктура, фазовый состав, механические свойства и триботехнические характеристики медноматричных композитов системы Cu–Fe–FeCr–MoS₂–C, упрочнённых композиционными включениями TiC–Ti, размер которых составлял 100—140 мкм и 140—200 мкм. Исследуемые композиты получали методом спекания под давлением, а содержание армирующих включений TiC–Ti составляло 3 об. %, 5 об. %, 7 об. %, 9 об. % и 11 об. %. Показано, что твёрдость исследуемых композитов увеличивается при добавлении металлокерамических включений TiC–Ti до 15 HBW 10/250/30, что более чем на 40 % превосходит твёрдость матричного композита. Выявлено, что композиты, армированные включениями TiC–Ti, обладают большей стойкостью к изнашиванию, по сравнению с матричным композитом без введения упрочняющих включений. Установлено, что наибольшей стойкостью к изнашиванию обладает композит, содержащий 7 об. % включений TiC–Ti, размер которых составляет 100—140 мкм, а увеличение содержания включений до 9 об. % и 11 об. % приводит к увеличению интенсивности изнашивания композита. При введении более 7 об. % композиционных включений TiC–Ti, размер которых составляет 140—200 мкм, также происходит снижение стойкости к изнашиванию. Максимальный коэффициент трения демонстрирует композит, армированный 11 об. % включений TiC–Ti размером 100—140 мкм, который составляет $0,36 \pm 0,03$, а при увеличении размера включений до 140—200 мкм наибольший коэффициент трения наблюдается при введении 7 об. % TiC–Ti.

Ключевые слова: тормозные системы, железнодорожный транспорт, металломатричные композиты, износ поверхности, коэффициент трения.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-5-485-493

Адрес для переписки:

А.С. Буяков
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук,
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия;
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
пр. Ленина, 30, г. Томск 634050, Россия
e-mail: alesbuyakov@gmail.com

Address for correspondence:

A.S. Buyakov
Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Academicheskyy pr., 2/4, Tomsk 634055, Russia;
National Research Tomsk Polytechnic University,
Lenin pr., 30, Tomsk 634050, Russia
e-mail: alesbuyakov@gmail.com

Для цитирования:

А.С. Буяков, А.Г. Бурлаченко, Ю.А. Мировой, Е.В. Абдульменова, В.В. Шмаков, К.В. Круковский, С.П. Буякова.
Механические свойства и триботехнические характеристики медноматричного композита, армированного TiC–Ti.
Трение и износ.
2025. – Т. 46, № 5. – С. 485–493.
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-5-485-493

For citation:

A.S. Buyakov, A.G. Burlachenko, Yu.A. Mirovoy, E.V. Abdulmenova, V.V. Shmakov, K.V. Krukovsky, and S.P. Buyakova.
[Mechanical Properties and Tribological Characteristics of Copper Matrix Composite Reinforced with TiC–Ti].
Trenie i Iznos.
2025, vol. 46, no. 5, pp. 485–493 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-5-485-493

Mechanical Properties and Tribological Characteristics of Copper Matrix Composite Reinforced with TiC–Ti

A.S. Buyakov^{1,2}, A.G. Burlachenko¹, Yu.A. Mirovoy^{1,2}, E.V. Abdulmenova¹, V.V. Shmakov¹, K.V. Krukovsky¹, and S.P. Buyakova^{1,2}

¹*Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Academicheskyy pr., 2/4, Tomsk 634055, Russia*

²*National Research Tomsk Polytechnic University, Lenin pr., 30, Tomsk 634050, Russia*

Received 26.08.2025.

Abstract

The paper studies the microstructure, phase composition, mechanical properties and tribological characteristics of copper matrix composites of the Cu–Fe–FeCr–MoS₂–C system reinforced with TiC–Ti composite inclusions sized 100—140 and 140—200 μm. The composites under study were obtained by sintering under pressure, and the content of reinforcing TiC–Ti inclusions was 3 vol. %, 5 vol. %, 7 vol. %, 9 vol. % and 11 vol. %. It is shown that the hardness of the composites under study increases with the addition of metal-ceramic inclusions TiC–Ti increases to 15 HBW 10/250/30, which is more than 40 % higher than the hardness of the matrix composite. It is revealed that composites reinforced with TiC–Ti inclusions have greater wear resistance compared to the matrix composite without the introduction of reinforcing inclusions. It was found that the composite containing 7 vol. % TiC–Ti inclusions 100—140 μm in size has the highest wear resistance, and an increase in the inclusion content to 9 vol. % and 11 vol. % leads to an increase in the wear intensity of the composite. With the introduction of more than 7 vol. % TiC–Ti composite inclusions 140—200 μm in size, a decrease in wear resistance also occurs. The maximum friction coefficient is demonstrated by the composite reinforced with 11 vol. % TiC–Ti inclusions 100–140 μm in size, which is 0.36 ± 0.03, and with an increase in the inclusion size to 140—200 μm, the highest friction coefficient is observed with the introduction of 7 vol. % TiC–Ti.

Keywords: brake systems, rail transport, metal matrix composites, surface wear, friction coefficient.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-5-485-493

Адрес для переписки:

А.С. Буюков
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук,
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия;
Национальный исследовательский Томский политехнический
университет,
пр. Ленина, 30, г. Томск 634050, Россия
e-mail: alesbuyakov@gmail.com

Address for correspondence:

A.S. Buyakov
Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian
Branch of the Russian Academy of Sciences,
Academicheskyy pr., 2/4, Tomsk 634055, Russia;
National Research Tomsk Polytechnic University,
Lenin pr., 30, Tomsk 634050, Russia
e-mail: alesbuyakov@gmail.com

Для цитирования:

А.С. Буюков, А.Г. Бурлаченко, Ю.А. Мировой, Е.В. Абдульменова,
В.В. Шмаков, К.В. Круковский, С.П. Буюкова.

Механические свойства и триботехнические характеристики
медноматричного композита, армированного TiC–Ti.
Трение и износ.

2025. – Т. 46, № 5. – С. 485–493.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-5-485-493

For citation:

A.S. Buyakov, A.G. Burlachenko, Yu.A. Mirovoy, E.V. Abdulmenova,
V.V. Shmakov, K.V. Krukovsky, and S.P. Buyakova.

[Mechanical Properties and Tribological Characteristics of Copper
Matrix Composite Reinforced with TiC–Ti].

Trenie i Iznos.

2025, vol. 46, no. 5, pp. 485–493 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-5-485-493

Список использованных источников

1. **Xiao J. K., Xiao S.X., and Chen J.** Wear Mechanism of Cu-Based Brake Pad for High-Speed Train Braking at Speed of 380 km/h // Tribology International. — 2020 (150) no. 106357, 1—8
2. **Peng T., Yan Q., and Li G.** The Braking Behaviors of Cu-Based Metallic Brake Pad for High-Speed Train under Different Initial Braking Speed // Tribology letters. — 2017 (65), no. 4, 135—148
3. **Бодрова Л.Е., Мейлах А.Г., Пастухов Э.А.** Упрочнение меди металлизированными включениями карбидов хрома и ниобия // Физика и химия обработки материалов. — 2016, № 1, 68—75
4. **Фадин В.В., Колубаев А.В., Алеутдинова М.И.** Трение композитов на основе карбида титана, полученных методом технологического горения // Трение и износ. — 2011 (32), № 6, 608—613
5. **Шустер Л.Ш., Мамлеев Р., Камалетдинова Р.Р.** Износ трибосопряжений из керамико-металлического материала на основе карбида титана // Трение и износ. — 2016 (37), № 2, 214—218
6. **Еременко В.Н., Буянов Ю.И., Прима С.Б.** Строение диаграммы состояния системы титан-медь // Порошковая металлургия. — 1966, № 6, 77
7. **Шмаков В.В., Буяков А.С., Буякова С.П.** Фрактальный анализ эволюции топографии поверхности гомогенных и двойных композитов ZrB_2-TaB_2-SiC при абразивном изнашивании // Письма в Журнал технической физики. — 2024 (50), № 22, 11—15
8. **Fasihi P., Kendall O., and Abrahams R.** Effect of Graphite and MoS_2 Based Solid Lubricants for Application at Wheel-Rail Interface on the Wear Mechanism and Surface Morphology of Hypereutectoid Rails // Tribology International. — 2021 (157), no. 106886, 1—16
9. **Prabhu T.R., Arivarasu M., and Chodancar Y.** Tribological Behaviour of Graphite-Reinforced FeNiCrCuMo High-Entropy Alloy Self-Lubricating Composites for Aircraft Braking Energy Applications // Tribology Letters. — 2019 (67), no. 3, 78—93
10. **Dudina D.V., Ukhina A.V., and Bokhonov B.B.** The Influence of the Formation of Fe_3C on Graphitization in a Carbon-Rich Iron-Amorphous Carbon Mixture Processed by Spark Plasma Sintering and Annealing // Ceramics International. — 2017 (43), no. 15, 11902—11906
11. **Xiao Y., Zhang Z., and Yao P.** Mechanical and Tribological Behaviors of Copper Metal Matrix Composites for Brake Pads Used in High-Speed Trains // Tribology International. — 2018 (119), 585—592
12. **Bagheri G.H.A.** The Effect of Reinforcement Percentages on Properties of Copper Matrix Composites Reinforced with TiC Particles // Journal of Alloys and Compounds. — 2016 (676), 120—126

References

1. **Xiao J. K., Xiao S.X., and Chen J.** Wear Mechanism of Cu-Based Brake Pad for High-Speed Train Braking at Speed of 380 km/h // Tribology International. — 2020 (150) no. 106357, 1—8
2. **Peng T., Yan Q., and Li G.** The Braking Behaviors of Cu-Based Metallic Brake Pad for High-Speed Train under Different Initial Braking Speed // Tribology letters. — 2017 (65), no. 4, 135—148
3. **Bodrova L.E., Mejlah A.G., Pastuhov E.A.** Uprochnenie medi metallizovannymi vklyuchenyami karbidov hroma i niobiya // Fizika i himiya obrabotki materialov. — 2016, № 1, 68—75 (in Russian)
4. **Fadin V.V., Kolubaev A.V., Aleutdinova M.I.** Trenie kompozitov na osnove karbida titana, poluchennyh metodom tekhnologicheskogo gorenija // Trenie i iznos. — 2011 (32), № 6, 608—613 (in Russian)
5. **Shuster L.Sh., Mamleev R., Kamaletdinova R.R.** Iznos tribosopryazhenij iz keramiko-metallicheskogo materiala na osnove karbida titana // Trenie i iznos. — 2016 (37), № 2, 214—218 (in Russian)
6. **Eremenko V.N., Buyanov Yu. I., Prima S.B.** Stroenie diagrammy sostoyaniya sistemy titan-med' // Poroshkovaya metallurgiya. — 1966, № 6, 77 (in Russian)
7. **Shmakov V.V., Buyakov A.S., Buyakova S.P.** Fraktal'nyj analiz evolyucii topografii poverhnosti gomogennyh i dvojnyh kompozitov ZrB_2-TaB_2-SiC pri abrazivnom iznashivanii // Pis'ma v Zhurnal tekhnicheskoy fiziki. — 2024 (50), № 22, 11—15 (in Russian)
8. **Fasihi P., Kendall O., and Abrahams R.** Effect of Graphite and MoS_2 Based Solid Lubricants for Application at Wheel-Rail Interface on the Wear Mechanism and Surface Morphology of Hypereutectoid Rails // Tribology International. — 2021 (157), no. 106886, 1—16
9. **Prabhu T.R., Arivarasu M., and Chodancar Y.** Tribological Behaviour of Graphite-Reinforced FeNiCrCuMo High-Entropy Alloy Self-Lubricating Composites for Aircraft Braking Energy Applications // Tribology Letters. — 2019 (67), no. 3, 78—93
10. **Dudina D.V., Ukhina A.V., and Bokhonov B.B.** The Influence of the Formation of Fe_3C on Graphitization in a Carbon-Rich Iron-Amorphous Carbon Mixture Processed by Spark Plasma Sintering and Annealing // Ceramics International. — 2017 (43), no. 15, 11902—11906
11. **Xiao Y., Zhang Z., and Yao P.** Mechanical and Tribological Behaviors of Copper Metal Matrix Composites for Brake Pads Used in High-Speed Trains // Tribology International. — 2018 (119), 585—592
12. **Bagheri G.H.A.** The Effect of Reinforcement Percentages on Properties of Copper Matrix Composites Reinforced with TiC Particles // Journal of Alloys and Compounds. — 2016 (676), 120—126

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