

УДК 620.178.162.42:669.715:621.791.9

Трение и износ композиционного материала на основе сплава Al–Mg, модифицированного порошком железа с помощью фрикционной перемешивающей обработки

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

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
просп. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия

Поступила в редакцию 05.08.2024.

После доработки 15.04.2025.

Принята к публикации 21.04.2025.

Работа посвящена изучению трибологических свойств композитных материалов, полученных фрикционной перемешивающей обработкой (ФПО) на основе алюминиево-магниевого сплава AA5056 с добавлением железа в процессе сухого трения скольжения. Для испытания были получены образцы методом ФПО, с содержанием порошка железа 0, 5, 10 и 15 об. %. Для каждого типа композита было проведено 4 прохода ФПО, для достижения однородного распределения частиц порошка железа по всему объёму зоны перемешивания. Трибологические испытания проводились по схеме палец–диск в паре с контртелом из нержавеющей жаропрочной стали с содержанием хрома 12—14 % (AISI 420). Повышение содержания Fe в сплаве приводит к уменьшению значений среднего коэффициента трения на ~ 10—15 %, а также и к снижению износа на ~ 20 %. Исследование изношенных поверхностей трения показало, что с ростом количества добавленного при ФПО железного порошка механизм изнашивания меняется от адгезионного к абразивному. Показано, что однородное распределение частиц интерметаллидных соединений (ИМС) типа Al_6Fe и $Al_{13}Fe_4$, in-situ синтезированных в процессе ФПО, позволило повысить износостойкость композитов по сравнению с базовым сплавом без добавок железа. Механически перемешанный слой, состоящий из деформированной матрицы с включениями фрагментированных и окисленных ИМС, образовывался на изношенных поверхностях всех изученных композитов, защищая их от адгезионного износа и выполняя функцию износостойкого антифрикционного покрытия.

Ключевые слова: фрикционная перемешивающая обработка, алюминиды железа, алюминиевый сплав, сухое скольжение, износостойкость, трибослой.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-2-157-164

Адрес для переписки:

Е.О. Княжев
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
просп. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия
e-mail: clothoid@ispms.ru

Address for correspondence:

E.O. Knyazhev
Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian
Branch of Russian Academy of Science,
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia
e-mail: clothoid@ispms.ru

Для цитирования:

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

Трение и износ композиционного материала на основе
сплава Al–Mg, модифицированного порошком железа
с помощью фрикционной перемешивающей обработки.
Трение и износ.

2025. — Т. 46, № 2. — С. 157—164.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-2-157-164

For citation:

E.O. Knyazhev, N.L. Savchenko, A.V. Chumaevskii,
V.R. Utyaganova, A.P. Zyкова, and S.Yu. Tarasov.
[Friction and Wear of Composite Material Based on Al–Mg Alloy
Modified by Iron Powder Via Friction Stir Processing].
Trenie i Iznos.

2025, vol. 46, no. 2, pp. 157—164 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-2-157-164

Friction and Wear of Composite Material Based on Al–Mg Alloy Modified by Iron Powder Via Friction Stir Processing

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

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

Received 05.08.2024.

Revised 15.04.2025.

Accepted 21.04.2025.

Abstract

This work is dedicated to the study of tribological behavior of composite materials obtained by friction stir processing (FSP) from aluminum-magnesium alloy AA5056 with addition of iron under dry sliding friction. For the tests, four different types of samples were obtained by FSP, differing in their iron powder content, namely 0, 5, 10, and 15 vol. %. For each type of composite, four passes of FSP were performed to achieve a uniform distribution of the iron powder throughout the stir zone. Sliding tests were conducted using the pin-on-disc method against a counter-body made of stainless steel containing 12—14 % chromium (AISI 420). Increasing the Fe powder content leads to a decrease in the average coefficient of friction by approximately 10—15 %, as well as a reduction in wear by approximately 20 %. The study of worn surfaces showed that with an increase in the amount of iron powder added during FSP, the wear mechanism changes from adhesive to abrasive. Homogeneous distribution of intermetallic compounds (IMCs) particles of the Al_6Fe and $Al_{13}Fe_4$ types in-situ synthesized during FSP made it possible to increase the wear resistance of the composites compared to the base alloy without iron additives. A mechanically mixed layer consisting of a deformed matrix mixed with fragmented and oxidized IMCs was formed on the worn surfaces of all the studied composites and served as protection against adhesive wear and performed the function of a wear-resistant antifriction coating.

Keywords: friction stir processing, iron aluminides, aluminum alloy, dry sliding, wear resistance, tribolayer.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-2-157-164

Адрес для переписки:

Е.О. Княжев
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
просп. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия
e-mail: clothoid@ispms.ru

Address for correspondence:

E.O. Knyazhev
Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian
Branch of Russian Academy of Science,
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia
e-mail: clothoid@ispms.ru

Для цитирования:

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

Трение и износ композиционного материала на основе
сплава Al–Mg, модифицированного порошком железа
с помощью фрикционной перемешивающей обработки.
Трение и износ.

2025. — Т. 46, № 2. — С. 157–164.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-2-157-164

For citation:

E.O. Knyazhev, N.L. Savchenko, A.V. Chumaevskii,
V.R. Utyaganova, A.P. Zykova, and S.Yu. Tarasov.
[Friction and Wear of Composite Material Based on Al–Mg Alloy
Modified by Iron Powder Via Friction Stir Processing].
Trenie i Iznos.

2025, vol. 46, no. 2, pp. 157–164 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-2-157-164

Список использованных источников / References

1. **Abouei V., Saghafian H., Shabestari S.G., and Zarghami M.** Effect of Fe-Rich Intermetallics on the Wear Behavior of Eutectic Al-Si Piston Alloy (LM13) // *Materials & Design*. — 2010 (**31**), 3518—3524
2. **Canakci A., Ozkaya S., Erdemir F., Karabacak A.H., and Celebi M.** Effects of Fe-Al Intermetallic Compounds on the Wear and Corrosion Performances of AA2024/316L SS Metal/Metal Composites // *Journal of Alloys and Compounds*. — 2020 (**845**), 156236
3. **Sarkari Khorrami M., Samadi S., Janghorban Z., and Movahedi M.** In-situ Aluminum Matrix Composite Produced by Friction Stir Processing Using FE Particles // *Materials Science and Engineering: A*. — 2015 (**641**), 380—390
4. **Lee I.S., Kao P.W., and Ho N.J.** Microstructure and Mechanical Properties of Al-Fe in situ Nanocomposite Produced by Friction Stir Processing // *Intermetallics*. — 2008 (**16**), 1104—1108
5. **Roy D., Basu B., Mallick A. B., Manoj Kumar B.V., and Ghosh S.** Understanding the Unlubricated Friction and Wear Behavior of Fe-Aluminate Reinforced Al-Based in-situ Metal-Matrix Composite // *Composites: Part A*. — 2006 (**37**), 1464—1472
6. **Knyazhev E., Nikolaeva A., Chumaevskii A., Cheremnov A., Zyкова A., Gurianov D., Utyaganova V., Moskvichev E., Savchenko N., and Tarasov S.** Iron-Added Aluminum Matrix Composites Prepared by Friction Stir Processing: Structure, Mechanical and Tribological Properties // *Metallography, Microstructure, and Analysis*. — 2024.
7. **Zykova A., Vorontsov A., Chumaevskii A., Gurianov D., Savchenko N., Gusarova A., Kolu-baev E., and Tarasov S.** In Situ Intermetallics-Reinforced Composite Prepared Using Multi-Pass Friction Stir Processing of Copper Powder on a Ti6Al4V Alloy // *Materials*. — 2022 (**15**), 2428
8. **Wang T., Gwalani B., Shukla S., Frank M., and Mishra R.S.** Development of in Situ Composites via Reactive Friction Stir Processing of Ti-B₄C System // *Composites Part B: Engineering*. — 2019 (**172**), 54—60
9. **Zhang W., Ding H., Cai M., Yang W., and Li J.** Ultra-Grain Refinement and Enhanced Low-Temperature Superplasticity in a Friction Stir-Processed Ti-6Al-4V Alloy // *Materials Science and Engineering: A*. — 2018 (**727**), 90—96

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