

УДК 669.018.24; 620.178.162.42

Влияние железа на триботехнические свойства спечённых сплавов Al–Sn

Н.М. Русин, А.Л. Скоренцев, И.В. Власов

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

Поступила в редакцию 25.08.2022.

После доработки 17.10.2022.

Принята к публикации 18.10.2022.

Исследуемые материалы были получены путём спекания смеси элементарных порошков Al, Sn и Fe в вакууме в течение 1 часа при температуре 710 °С и последующего их доуплотнения в закрытом штампе под давлением около 300 МПа и температуре 250 °С. Структура полученных композитов Al–Fe–Sn представляла собой алюминиевую матрицу с включениями агломератов из частиц FeAl₃, связанных оловянными прослойками. Затем полученные материалы были испытаны на износостойкость при сухом трении по вращающемуся диску из закалённой стали марки 40X. Испытания проводили по схеме «палец—диск» на триботестере фирмы «Tribotechnic» (France). Прилагаемое давление менялось от 1 до 5 МПа, а скорость скольжения контртела составляла 0,6 м/с. Было установлено, что введение в сплав Al–Sn железа существенно снижает интенсивность изнашивания стального контртела, но менее значительно влияет на износостойкость образцов с алюминиевой матрицей. Наилучшей износостойкостью обладал композит состава Al–9Fe–13Sn (ат. %), содержащий около 31 % FeAl₃ и 20 % Sn (об.). Увеличение или понижение концентрации олова по сравнению с указанным приводило к ухудшению износостойкости испытываемого материала. Аналогичный эффект вызывало и изменение в большую или меньшую сторону концентрации железа. Обнаружено, что в процессе сухого трения на поверхности образцов Al–Fe–Sn формируется тонкий сильнодеформированный слой, состоящий фактически из оксидов, включая оксиды перенесённого с контртела железа. Лежащие под верхним оксидным слоем зёрна матрицы и оловянные прослойки плющатся и вытягиваются в направлении скольжения. Часть образующихся на поверхности образца частиц износа прилипает к поверхности контртела в виде твёрдых наростов, которые затем интенсивно деформируют поверхность образца. Обсуждается механизм изнашивания алюмоматричных композитов с большим содержанием железосодержащей и оловянной фаз.

Ключевые слова: алюмоматричный композит, спекание, структура, сухое трение, изнашивание.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-502-514

Адрес для переписки:

А.Л. Скоренцев
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН),
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия
e-mail: skoralexan@mail.ru

Address for correspondence:

A.L. Skorentsev
Institute of Strength Physics and Materials Science, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences,
Tomsk 634055, Russia
e-mail: skoralexan@mail.ru

Для цитирования:

Н.М. Русин, А.Л. Скоренцев, И.В. Власов.
Влияние железа на триботехнические свойства спечённых
сплавов Al–Sn.
Трение и износ.
2022. – Т. 43, № 5. – С. 502–514.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-502-514

For citation:

N.M. Rusin, A.L. Skorentsev, and I.V. Vlasov.
[Effect of Iron on Tribotechnical Properties of Sintered Al–Sn Alloys].
Trenie i Izнос.
2022, vol. 43, no. 5, pp. 502–514 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-502-514

Effect of Iron on Tribotechnical Properties of Sintered Al–Sn Alloys

N.M. Rusin, A.L. Skorentsev, and I.V. Vlasov

*Institute of Strength Physics and Materials Science, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Tomsk 634055, Russia*

Received 25.08.2022.

Revised 17.10.2022.

Accepted 18.10.2022.

Abstract

The investigated materials were prepared by sintering a mixture of Al, Sn, and Fe elemental powders in vacuum for 1 hour at a temperature of 710 °C and subsequent compaction in a closed press mold at a pressure of about 300 MPa and a temperature of 250 °C. The structure of the prepared Al–Fe–Sn composites is an aluminum matrix with inclusions of agglomerates of FeAl₃ particles bound by tin interlayers. Then the materials were tested for wear resistance under dry friction against a dry rotating disk made of 40X hardened steel. The tests were carried out according to the “pin-on-disk” scheme on a tribotester “Tribotechnic” (France). The applied pressure varied from 1 to 5 MPa, and the sliding speed of the counterbody was 0,6 m/s. It was found that the addition of iron in the Al–Sn alloy significantly reduces the wear intensity of the steel counterbody, but less significantly affects the wear resistance of the samples with aluminum matrix. The composite with 9 % Fe and 13 % Sn (at.) containing about 31 % FeAl₃ and 20 % Sn (vol.) has the highest wear resistance. An increase or decrease in the tin content in comparison with the indicated one leads to a decrease in the wear resistance of the investigated materials. A similar effect is caused by an increase or decrease in the iron content. It was found that in the process of dry friction, a thin highly deformed layer which actually consists of oxides, including oxides of iron transferred from the counterbody, is formed on the surface of Al–Fe–Sn samples. The matrix grains and tin interlayers located under the upper oxide layer are flattened and stretched in the sliding direction. A part of the wear particles formed on the sample surface sticks to the counterbody surface in the form of hard growths, which then intensively deform the sample surface. The wear mechanism of aluminum matrix composites with a high content of iron and tin phases is discussed.

Keywords: aluminum matrix composite, sintering, structure, dry friction, wear process.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-502-514

Адрес для переписки:

А.Л. Скоренцев
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН),
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия
e-mail: skoralexan@mail.ru

Address for correspondence:

A.L. Skorentsev
Institute of Strength Physics and Materials Science, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences,
Tomsk 634055, Russia
e-mail: skoralexan@mail.ru

Для цитирования:

Н.М. Русин, А.Л. Скоренцев, И.В. Власов.
Влияние железа на триботехнические свойства спечённых
сплавов Al–Sn.
Трение и износ.
2022. – Т. 43, № 5. – С. 502–514.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-502-514

For citation:

N.M. Rusin, A.L. Skorentsev, and I.V. Vlasov.
[Effect of Iron on Tribotechnical Properties of Sintered Al–Sn Alloys].
Trenie i Izнос.
2022, vol. 43, no. 5, pp. 502–514 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-502-514

Список использованных источников

1. Сачек Б.Я., Мезрин А.М., Муравьёва Т.И., Столярова О.О., Загорский Д.Л., Белов Н.А. Исследование трибологических свойств антифрикционных алюминиевых сплавов с использованием метода склерометрии // Трение и износ. — 2015 (36), № 2, 137—146
2. Миронов А.Е., Гершман И.С., Гершман Е.И. Влияние олова на триботехнические свойства сложнолегированных алюминиевых антифрикционных сплавов // Трение и износ. — 2018 (39), № 5, 499—506
3. Gebretsadik D. W., Hardell J., and Prakash B. Seizure Behaviour of Pb-Free Engine Bearing Materials under Dry Condition // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. — 2018 (232), 106—116
4. Jiao L., Li F., Zhao Y., Wang B., Huang X., Li H., Wu T., and Cao L. Surface Friction and Wear Behavior of in situ AlB_2 Particle-Reinforced A356 Composites // Journal of Materials Engineering and Performance. — 2022 (31), 5812—5822
5. Vencel A., Bobic I., Jovanovic M. T., Babic M., and Mitrovic S. Microstructural and Tribological Properties of A356 Al-Si Alloy Reinforced with Al_2O_3 Particles // Tribology Letters. — 2008 (32), 159—170
6. Zeng M.Q., Hu R.Z., Song K.Q., Dai L.Y., and Lu Z.C. Enhancement of Wear Properties of Ultrafine-Structured Al-Sn Alloy-Embedded Sn Nanoparticles Through in situ Synthesis // Tribology Letters. — 2019 (67), 84
7. Столярова О.О., Муравьёва Т.И., Загорский Д.Л., Губенко М. М. Исследование поверхности антифрикционных алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Si-Sn-Pb // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. — 2017, № 8, 50—58
8. Ayyanar S., Gnanavelbabu A., Rajkumar K., and Loganathan P. Studies on High Temperature Wear and Friction Behaviour of AA6061/ B_4C/hBN Hybrid Composites // Metals and Materials International. — 2021 (27), 3040—3057
9. Goudar D.M., Srivastava V.C., Rudrakshi G.B., Raju K., and Ojha S.N. Effect of Tin on the Wear Properties of Spray Formed Al-17Si Alloy // Transactions of the Indian Institute of Metals. — 2015 (68), 3—7
10. Straumal B., Molodov D., and Gust W. Grain Boundary Wetting Phase Transitions in the Al-Sn and Al-Sn-Pb Systems // Materials Science Forum. — 1996 (207—209), 437—440
11. Русин Н.М., Скоренцев А.Л. Трибологические свойства спечённого сплава Al-Sn, легированного железом // Трение и износ. — 2022 (43), № 3, 235—244
12. Хопин П.Н. Оценка продолжительности прира-

- ботки пар трения с твёрдосмазочными покрытиями в различных условиях эксплуатации // Вестник Брянского государственного технического университета. — 2018 (63), № 2, 20—29
13. Rusin N.M., Skorentsev A.L., and Kolubaev E.A. Effect of Equal Channel Angular Pressing on Mechanical and Tribological Properties of Sintered Al-Sn Composites // Journal of Materials Engineering and Performance. — 2020 (29), 1955—1963
14. Li G., Hao S., Gao W., and Lu Z. The Effect of Applied Load and Rotation Speed on Wear Characteristics of Al-Cu-Li Alloy // Journal of Materials Engineering and Performance. — 2022 (31), 5875—5885
15. Liu Y., Yin F., Hu J., Li Z., and Cheng S. Phase Equilibria of Al-Fe-Sn Ternary System // Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition). — 2018 (28), 282—289

References

1. Sachek B.Y., Mezrin A.M., Muravyeva T.I., Stolyarova O.O., Zagorskiy D.L., and Belov N.A. Investigation of the Tribological Properties of Antifrictional Aluminum Alloys Using Sclerometry // Journal of Friction and Wear. — 2015 (36), 103—111
2. Mironov A.E., Gershman I.S., and Gershman E.I. Influence of Tin on the Tribotechnical Properties of Complex Antifriction Aluminum Alloys // Journal of Friction and Wear. — 2018 (39), 394—399
3. Gebretsadik D. W., Hardell J., and Prakash B. Seizure Behaviour of Pb-Free Engine Bearing Materials under Dry Condition // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. — 2018 (232), 106—116
4. Jiao L., Li F., Zhao Y., Wang B., Huang X., Li H., Wu T., and Cao L. Surface Friction and Wear Behavior of in situ AlB_2 Particle-Reinforced A356 Composites // Journal of Materials Engineering and Performance. — 2022 (31), 5812—5822
5. Vencel A., Bobic I., Jovanovic M. T., Babic M., and Mitrovic S. Microstructural and Tribological Properties of A356 Al-Si Alloy Reinforced with Al_2O_3 Particles // Tribology Letters. — 2008 (32), 159—170
6. Zeng M.Q., Hu R.Z., Song K.Q., Dai L.Y., and Lu Z.C. Enhancement of Wear Properties of Ultrafine-Structured Al-Sn Alloy-Embedded Sn Nanoparticles Through in situ Synthesis // Tribology Letters. — 2019 (67), 84
7. Stolyarova O.O., Muravyeva T.I., Zagorskiy D.L., and Gubenko M.M. Investigation of the Surface of Antifriction Al-Cu-Si-Sn-Pb Aluminum Alloys // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. — 2017 (11), 832—839
8. Ayyanar S., Gnanavelbabu A., Rajkumar K., and Loganathan P. Studies on High Temperature Wear

- and Friction Behaviour of AA6061/B₄C/hBN Hybrid Composites // *Metals and Materials International*. — 2021 (27), 3040—3057
9. **Goudar D.M., Srivastava V.C., Rudrakshi G.B., Raju K., and Ojha S.N.** Effect of Tin on the Wear Properties of Spray Formed Al–17Si Alloy // *Transactions of the Indian Institute of Metals*. — 2015 (68), 3—7
 10. **Straumal B., Molodov D., and Gust W.** Grain Boundary Wetting Phase Transitions in the Al–Sn and Al–Sn–Pb Systems // *Materials Science Forum*. — 1996 (207—209), 437—440
 11. **Rusin N.M. and Skorentsev A.L.** Tribological Properties of Sintered Al–Sn Alloy Doped with Iron // *Journal of Friction and Wear*. — 2022, no. 3
 12. **Khopin P. N.** Otsenka prodolzhitelnosti prirabotki par trenya s tverdosmazochymi pokrytiyami v razlichnykh usloviyakh ekspluatatsii [Estimation of the running-in duration of friction pairs with solid lubricant coatings in various operating conditions] // *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Bryansk State Technical University]. — 2018 (63), 20—29 (in Russian)
 13. **Rusin N.M., Skorentsev A.L., and Kolubaev E.A.** Effect of Equal Channel Angular Pressing on Mechanical and Tribological Properties of Sintered Al–Sn Composites // *Journal of Materials Engineering and Performance*. — 2020 (29), 1955—1963
 14. **Li G., Hao S., Gao W., and Lu Z.** The Effect of Applied Load and Rotation Speed on Wear Characteristics of Al–Cu–Li Alloy // *Journal of Materials Engineering and Performance*. — 2022 (31), 5875—5885
 15. **Liu Y., Yin F., Hu J., Li Z., and Cheng S.** Phase Equilibria of Al–Fe–Sn Ternary System // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* (English Edition). — 2018 (28), 282—289

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