

УДК 669.018.24; 620.178.162.42

Трибологические свойства спечённого сплава Al–Sn, легированного железом

Н.М. Русин, А.Л. Скоренцев

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

Поступила в редакцию 29.12.2021.

После доработки 20.06.2022.

Принята к публикации 21.06.2022.

Антифрикционные сплавы системы Al–Sn широко применяются как покрытия вкладышей подшипников скольжения, для повышения прочности которых прибегают к дисперсионному упрочнению. Рассмотрена смесь состава Al–7Fe–38Sn (мас. %) из элементарных порошков Al, Sn и Fe, которую спекали в вакууме в течение 1 часа при температурах ниже (570 °С) и выше (710 °С) точки плавления алюминия. Затем, спечённые цилиндрические брикеты диаметром 20 мм дополнительно уплотнялись при 250 °С и давлении около 300 МПа путём двустороннего обжатия их в закрытой пресс-форме с каналом такого же диаметра. Механические свойства полученных композитов определяли путём испытания их на сжатие, триботехнические испытания композитов проводили по схеме «палец—диск». Установлено, что при обеих температурах спекания формировался композиционный материал с прослойками олова и агломератами из сцементированных оловом мелких алюминидов между алюминиевыми зёрнами. Максимальной прочностью обладал композит, полученный спеканием смеси с наночастицами железа. Он же демонстрировал максимальную износостойкость при сухом трении по стальному диску. Обнаружено, что твёрдые частицы в композитах системы Al–Sn при большом содержании мягкой фазы могут использоваться в качестве эффективного средства повышения износостойкости в том случае, если в ходе приготовления композита они будут равномерно распределены по границам зёрен матрицы. В этом случае частицы эффективно препятствуют локализации деформации в разделяющих зёрна оловянных прослойках, в результате чего градиент испытываемой материалом деформации в подповерхностном слое снижается. Таким образом, время образования частиц износа, а, следовательно, и износостойкость композитов системы Al–Sn, возрастает. С увеличением давления на поверхности трения интенсивность изнашивания образцов композиционного состава возрастала, а величина коэффициента трения снижалась.

Ключевые слова: износостойкость, сухое трение, алюмоматричный композит, спекание.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-235-244

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,
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia
e-mail: skoralexan@mail.ru

Для цитирования:

Н.М. Русин, А.Л. Скоренцев.
Трибологические свойства спечённого сплава Al–Sn,
легированного железом.
Трение и износ.
2022. – Т. 43, № 3. – С. 235–244.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-235-244

For citation:

N.M. Rusin and A.L. Skorentsev.
[Tribological Properties of Sintered Al–Sn Alloy Doped with Iron].
Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 3, pp. 235–244 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-235-244

Tribological Properties of Sintered Al–Sn Alloy Doped with Iron

N.M. Rusin and A.L. Skorentsev

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

Received 29.12.2021.

Revised 20.06.2022.

Accepted 21.06.2022.

Abstract

Antifriction alloys of the Al–Sn system are widely used as coatings for plain bearing inserts, and dispersion hardening is used to increase their strength. A mixture of the composition Al–7Fe–38Sn (wt. %) from elemental Al, Sn and Fe powders was sintered in vacuum for 1 hour at temperatures below (570 °C) and above (710 °C) the melting point of aluminum. Then, the sintered cylindrical briquettes with a diameter of 20 mm were additionally compacted at 250 °C and a pressure of about 300 MPa by double-sided compression in a closed mold with a channel of the same diameter. The mechanical properties of the prepared composites were determined by their compression test. Tribological tests of the composites were carried out according to the “pin-on-disk” scheme on a tribotester “Tribotechnic” (France). It was found that at both sintering temperatures, a composite material with tin interlayers and agglomerates of tin-cemented small aluminides located between aluminum grains was formed. The composite prepared by sintering the mixture with iron nanoparticles has the maximum strength and wear resistance under dry friction against a steel disc. It was found that hard particles in composites of the Al–Sn system with a high content of the soft phase can be used as an effective means of increasing the wear resistance if they are uniformly distributed along the matrix grain boundaries during the preparation of the composite. In this case, the particles effectively prevent the localization of deformation in the tin interlayers separating the grains. As a result, the gradient of deformation of the material in the subsurface layer decreases. Thus, the time of wear particles formation, and, consequently, the wear resistance of composites of the Al–Sn system, increase. With an increase in pressure on the friction surface, the wear intensity of the composite samples increases, and the value of the friction coefficient decreases.

Keywords: wear resistance, dry friction, aluminum matrix composite, sintering.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-235-244

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

Для цитирования:

Н.М. Русин, А.Л. Скоренцев.
Трибологические свойства спечённого сплава Al–Sn,
легированного железом.
Трение и износ.
2022. – Т. 43, № 3. – С. 235–244.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-235-244

Address for correspondence:

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

For citation:

N.M. Rusin and A.L. Skorentsev.
[Tribological Properties of Sintered Al–Sn Alloy Doped with Iron].
Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 3, pp. 235–244 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-235-244

Список использованных источников

1. Буше Н.А., Горячева И.Г., Маховская Ю.Ю. Влияние фазового состава антифрикционных алюминиевых сплавов на их самосмазывание при трении // Трение и износ. — 2002 (23), № 4, 286—295
2. An J., Liu Y. B., Lu Y., Wang J., and Ma B. Friction and Wear Characteristics of Hot-Extruded Leded Aluminum Bearing Alloys // Journal of Materials Engineering and Performance. — 2002 (11), 433—443
3. Liu X., Zeng M. Q., Ma Y., and M. Zhu. Promoting the High Load-Carrying Capability of Al-20 wt.% Sn Bearing Alloys Through Creating Nanocomposite Structure by Mechanical Alloying // Wear. — 2012 (294–295), 387—394
4. Bertelli F., Freitas E.S., Cheung N., Arenas M.A., et al. Microstructure, Tensile Properties and Wear Resistance Correlations on Directionally Solidified Al-Sn-(Cu; Si) Alloys // Journal of Alloys and Compounds. — 2017 (695), 3621—3631
5. Tripathy M.R., Manoj Kumar B.V., Basu B., Dube R.K., and Korla S.C. Tribological behavior of Steel Backed Al-Sn Strip Prepared via Spray Atomization — Deposition — Rolling Route // Materials Science and Technology. — 2007 (23), 15—22.
6. Миронов А.Е., Котова (Карачарова) Е.Г. Разработка новых марок литейных алюминиевых антифрикционных сплавов для замены бронз в узлах трения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2011 (13), № 4, 1136—1140
7. Budinski K. G. Friction, Wear, and Erosion Atlas. — CRC Press. — 2013 <https://doi.org/10.1201/b15984>
8. 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
9. Русин Н.М., Скоренцев А.Л. Стадийность пластического течения композитов с силуминовой матрицей при сжатии // Физика Металлов и Металловедение. — 2019 (120), № 8, 885—891
10. Козлов Э.В., Глезер А.М., Конева Н.А., Попова Н.А., Курзина И.А. Основы пластической деформации наноструктурных материалов. — М.: ФИЗМАТЛИТ. — 2016
11. Русин Н.М., Скоренцев А.Л., Власов И.В. Влияние частиц износа и обратного переноса на интенсивность изнашивания алюминиевого сплава при сухом трении по стали // Трение и износ. — 2019 (40), № 5, 427—437
12. Дохов М.П., Кокоева М.Н., Шериева Э.Х. Смачивание железа и меди жидким оловом, свинцом и расчет их межфазных энергий // Конденсированные среды и межфазные границы. — 2019 (21), № 3, 385—389
13. Liu Y., Yin F., Hu J. et al. Phase Equilibria of Al-

- Fe-Sn Ternary System // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. — 2018 (28), 282—289
14. Маховская Ю. Ю., Горячева И. Г. Моделирование выделения мягкой фазы на поверхность многокомпонентного алюминиевого сплава при трении // Физическая мезомеханика. — 2016 (19), 15—23
15. 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.

References

1. Bushe N.A., Goryacheva I.G., and Ma-khovskaya Yu.Yu. The Effect of the Phase Composition of Antifriction Aluminium Alloys on Their Self-Lubrication in Friction // Journal of Friction and Wear. — 2002 (23), no. 4, 46—55
2. An J., Liu Y. B., Lu Y., Wang J., and Ma B. Friction and Wear Characteristics of Hot-Extruded Leded Aluminum Bearing Alloys // Journal of Materials Engineering and Performance. — 2002 (11), 433—443
3. Liu X., Zeng M. Q., Ma Y., and Zhu M. Promoting the High Load-Carrying Capability of Al-20 wt.% Sn Bearing Alloys Through Creating Nanocomposite Structure by Mechanical Alloying // Wear. — 2012 (294–295), 387—394
4. Bertelli F., Freitas E.S., Cheung N., Arenas M.A., et al. Microstructure, Tensile Properties and Wear Resistance Correlations on Directionally Solidified Al-Sn-(Cu; Si) Alloys // Journal of Alloys and Compounds. — 2017 (695), 3621—3631
5. Tripathy M.R., Manoj Kumar B.V., Basu B., Dube R.K., and Korla S.C. Tribological behavior of Steel Backed Al-Sn Strip Prepared via Spray Atomization — Deposition — Rolling Route // Materials Science and Technology. — 2007 (23), 15—22
6. Mironov A.E., Kotova (Karacharova) E.G. Razrabotka novikh marok liteinikh aluminievikh anti-friktsionnikh splavov dlya zameny bronz v uzлах treniya [Development of new grades of cast aluminum antifriction alloys for replacing bronzes in friction units] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tzentra Rossiiskoi akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. — 2011 (13), no. 4, 1136—1140 (in Russian)
7. Budinski K.G. Friction, Wear, and Erosion Atlas. — CRC Press. — 2013 <https://doi.org/10.1201/b15984>.
8. 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
9. Rusin N.M. and Skorentsev A.L. Stages of Plastic Flow of Silumin-Matrix-Based Composites during

- Compression // *Physics of Metals and Metallography*. — 2019 (**120**), no. 8, 813—818
10. **Kozlov E.V., Glezer A.M., Koneva N.A., Popova N.A., Kurzina I.A.** Osnovy plasticheskoi deformatsii nanostrukturnykh materialov [Fundamentals of plastic deformation of nanostructured materials]. — Moscow: Phymathlit. — 2016 (in Russian)
 11. **Rusin N.M., Skorensev A.L., and Vlasov I.V.** Influence of Wear Particles and Reverse Transfer of the Material on Wear Intensity of Aluminum Alloy under Dry Friction on Steel // *Journal of Friction and Wear*. — 2019 (**40**), no. 5, 396—403
 12. **Dokhov M.P., Kokoeva M.N., Sherieva E.H.** Smachivanye zheleza i medi zhidkim olovom, svintsom i raschet ikh mezhfaznykh energy [Wetting of iron and copper with liquid tin, lead and calculation of their interfacial energies] // *Kondensirovanniye sredy i mezhfazniye granitsy* [Condensed media and interphase boundaries]. — 2019 (**21**), no. 3, 385—389 (in Russian)
 13. **Liu Y., Yin F., Hu J. et al.** Phase Equilibria of Al-Fe-Sn Ternary System // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. — 2018 (**28**), 282—289
 14. **Makhovskaya Y.Y. and Goryacheva I.G.** Modeling of Soft Phase Transfer to the Surface of Multi-component Aluminum Alloy in Friction // *Physical Mesomechanics*. — 2016 (**19**), 239—247
 15. **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

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