

УДК 669.018.24; 620.178.162.42

Эволюция структуры приповерхностного слоя алюмоматричного композита системы Al–Sn–Fe при сухом трении по стальному контртелу

Н.М. Русин, А.Л. Скоренцев, А.В. Чумаевский

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

Поступила в редакцию 24.03.2023.

После доработки 24.05.2023.

Принята к публикации 19.06.2023.

Исследовано влияние сил трения на структуру и состав приповерхностного слоя композита состава Al–13Sn–5Fe (ат. %), содержащего большое количество агломератов из частиц FeAl₃, сцементированных оловом. Исследуемый композит был получен путём спекания смеси элементарных порошков Al, Sn и Fe в вакууме в течение 1 часа при температуре 620 °С и последующего доуплотнения в закрытом штампе под давлением около 300 МПа и температуре 250 °С. Контртело, сделанное из жаропрочной стали марки 4Х4ВМФС, представляло собой усечённый стальной конус с винтовой поверхностью. Скорость материальных точек, лежащих на внешнем периметре сечения прижимаемого к композиту вращающегося конуса, составляла 0,36 и 0,54 м/с, а нормальное давление на торцевую поверхность композиционного образца было 16 и 32 МПа при нагрузке на конус 150 и 300 кг, соответственно. Было установлено, что под поверхностью трения формируются три слоя, отличающиеся величиной испытанной деформации. Чем ближе к поверхности трения расположен слой, тем он уже. Самый верхний слой состоит из сильно измельчённых частиц алюминидов железа, перемешанных с ультрадисперсными частицами олова и алюминия. Он содержит также много кислорода в виде осколков оксидных плёнок, из-за чего имеет высокую микротвёрдость, достигающую 2000 МПа и выше. Толщина данного слоя растёт с увеличением давления обработки и достигает несколько сот микрометров. По результатам работы сделан вывод, что предварительная обработка поверхности алюмо-матричных композитов путём выглаживания плоским стальным контртелом приводит к её шаржированию. Данный факт будет способствовать повышению её износостойкости, однако оптимальный режим обработки и форма обрабатываемого инструмента требуют дополнительных исследований.

Ключевые слова: антифрикционные материалы, алюмоматричный композит, трение с перемешиванием, выглаживание поверхности, шаржирование, сухое трение, износостойкость, структура, деформация, разрушение.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-3-212-224

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, А.В. Чумаевский
Эволюция структуры приповерхностного слоя алюмоматричного
композита системы Al–Sn–Fe при сухом трении по стальному
контртелу.
Трение и износ.
2023. – Т. 44, № 3. – С. 212–224.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-3-212-224

For citation:

N.M. Rusin, A.L. Skorentsev, and A.V. Chumaevskii
[Evolution of the Structure of Near-Surface Layer of Aluminum Matrix
Composite of the Al–Sn–Fe System under Dry Friction Against a Steel
Counterbody].
Trenie i Iznos.
2023, vol. 44, no. 3, pp. 212–224 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-3-212-224

Evolution of the Structure of Near-Surface Layer of Aluminum Matrix Composite of the Al–Sn–Fe System under Dry Friction Against a Steel Counterbody

N.M. Rusin, A.L. Skorentsev, and A.V. Chumaevskii

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

Received 24.03.2023.

Revised 24.05.2023.

Accepted 19.06.2023.

Abstract

An effect of friction forces on the structure and composition of the near-surface layer of Al–13Sn–5Fe (at. %) composite containing a large amount of agglomerates of FeAl₃ particles cemented with tin was studied. The investigated composite was prepared by sintering a mixture of Al, Sn, and Fe elemental powders in vacuum for 1 hour at a temperature of 620 °C and subsequent compaction in a closed die at a pressure of about 300 MPa and a temperature of 250 °C. The counterbody was made of heat-resistant X40CrMoV5-1 steel and was a truncated steel cone with a helical surface. The speed of material points lying on the outer perimeter of the section of the rotating cone pressed against the composite was 0,36 and 0,54 m/s. The normal pressure on the end surface of the composite specimen was 16 and 32 MPa with a load on the cone of 150 and 300 kg, respectively. It was found that three layers are formed under the friction surface, which differ in the value of the accumulated deformation. The closer to the friction surface the layer is located, the narrower it is. The uppermost layer consists of highly crushed iron aluminide particles mixed with ultrafine tin and aluminum particles. It also contains a lot of oxygen in the form of fragments of oxide films, which is why it has a high microhardness, reaching 2000 MPa and more. The thickness of this layer increases with increasing processing pressure and reaches several hundred micrometers. Based on the results of the work, it is concluded that pretreatment of the surface of aluminum matrix composites by smoothing with a flat steel counterbody leads to its charging. This fact will increase its wear resistance, however, the optimal mode of such a processing and the shape of the processing tool require additional research.

Keywords: antifriction materials, aluminum matrix composite, friction stir processing, surface smoothing, charging, dry friction, wear resistance, structure, deformation, fracture.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-3-212-224

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, А.В. Чумаевский
Эволюция структуры приповерхностного слоя алюмоматричного
композита системы Al–Sn–Fe при сухом трении по со стальному
контртелу.
Трение и износ.
2023. – Т. 44, № 3. – С. 212–224.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-3-212-224

For citation:

N.M. Rusin, A.L. Skorentsev, and A.V. Chumaevskii
[Evolution of the Structure of Near-Surface Layer of Aluminum Matrix
Composite of the Al–Sn–Fe System under Dry Friction Against a Steel
Counterbody].
Trenie i Iznos.
2023, vol. 44, no. 3, pp. 212–224 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-3-212-224

Список использованных источников

1. **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
2. **Wang D., Wu X., Gao K. et al.** Study on the Microstructure and Wear behavior of Mg-Containing Al-12Sn-4Si Alloys // *Journal of Materials Research and Technology*. — 2022 (18), 338—351
3. **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
4. **Garg P., Jamwal A., Kumar D. et al.** Advance Research Progresses in Aluminum Matrix Composites: Manufacturing & Applications // *Journal of Materials Research and Technology*. — 2019 (8), 4924—4939
5. **Ujah C.O. and Kallon D. V.** Trends in Aluminum Matrix Composite Development // *Crystals*. — 2022 (12), 1357
6. **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
7. **Podrabinnik P., Gershman I., Mironov A., Kuznetsova E., and Peretyagin P.** Tribochemical Interaction of Multicomponent Aluminum Alloys During Sliding Friction with Steel // *Lubricants*. — 2020 (8), 24
8. **Song K.Q., Lu Z.C., Zhu M., Hu R.Z., and Zeng M.Q.** A Remarkable Enhancement of Mechanical and Wear Properties by Creating a Dual-Scale Structure in an Al–Sn–Si Alloy // *Surface and Coatings Technology*. — 2017 (325), 682—688
9. **Stoloff N.S., Liu C.T., and Deevi S.C.** Emerging Applications of Intermetallics // *Intermetallics*. — 2000 (8), 1313—1320
10. **Русин Н.М., Скоренцев А.Л.** Трибологические свойства спечённого сплава Al–Sn, легированного железом // *Трение и износ*. — 2022 (43), 235—244
11. **Русин Н.М., Скоренцев А.Л.** Механические и триботехнические свойства спеченных алюмоматричных композитов Al–Sn, упрочненных частицами Al₃Fe // *Физика металлов и металловедение*. — 2021 (122), 1339—1346
12. **Костецкий Б.И.** Сопrotivление изнашиванию деталей машин. — Киев: Машгиз. — 1959
13. **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

References

1. **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
2. **Wang D., Wu X., Gao K. et al.** Study on the Microstructure and Wear Behavior of Mg-Containing Al-12Sn-4Si Alloys // *Journal of Materials Research and Technology*. — 2022 (18), 338—351
3. **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
4. **Garg P., Jamwal A., Kumar D. et al.** Advance Research Progresses in Aluminum Matrix Composites: Manufacturing & Applications // *Journal of Materials Research and Technology*. — 2019 (8), 4924—4939
5. **Ujah C.O. and Kallon D.V.** Trends in Aluminum Matrix Composite Development // *Crystals*. — 2022 (12), 1357
6. **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
7. **Podrabinnik P., Gershman I., Mironov A., Kuznetsova E., and Peretyagin P.** Tribochemical Interaction of Multicomponent Aluminum Alloys during Sliding Friction with Steel // *Lubricants*. — 2020 (8), 24
8. **Song K.Q., Lu Z.C., Zhu M., Hu R.Z., and Zeng M.Q.** A Remarkable Enhancement of Mechanical and Wear Properties by Creating a Dual-Scale Structure in an Al–Sn–Si Alloy // *Surface and Coatings Technology*. — 2017 (325), 682—688
9. **Stoloff N.S., Liu C.T., and Deevi S.C.** Emerging Applications of Intermetallics // *Intermetallics*. — 2000 (8), 1313—1320
10. **Rusin N.M. and Skorentsev A.L.** Tribological Properties of Sintered Al–Sn Alloy Doped with Iron // *Journal of Friction and Wear*. — 2022 (43), 153—159
11. **Rusin N.M. and Skorentsev A.L.** Mechanical and Tribological Properties of Sintered Aluminum Matrix Al–Sn Composites Reinforced with Al₃Fe Particles // *Physics of Metals and Metallography*. — 2021 (122), 1248—1255
12. **Kostetsky B. I.** Soprotivlenye iznashivaniyu detalei mashin [Wear resistance of machine parts]. — Kyiv: Mashgiz. — 1959 (in Russian)
13. **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

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