

УДК 669.018.24; 620.178.162.42

Влияние частиц алюминидов титана на триботехнические характеристики сплава Al–40Sn при трении без смазочного материала по стали

А.Л. Скоренцев, Н.М. Русин

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

Поступила в редакцию 30.06.2025.

Исследована структура и триботехнические характеристики спечённого сплава Al–40Sn, упрочнённого частицами Al_3Ti различной объёмной концентрации. Композиционные образцы спекались при 710 °С в течение 1 часа, а затем доуплотнялись в закрытой пресс-форме при температуре 250 °С и давлении около 300 МПа. Испытания на износостойкость проводились на триботестере «Tribotechnic» в отсутствие смазки по схеме «палец—диск» при постоянной скорости скольжения 0,6 м/с, повышая нагрузку через каждые 1000 м пути трения. В качестве контртела использовали стальной диск из закалённой стали марки 40Х твёрдостью 48—50 HRC. Установлено, что концентрация твёрдых частиц 32 об. % обеспечивает максимальную износостойкость спечённых образцов Al– Al_3Ti –Sn. Дальнейший рост содержания алюминидов до 40 об. % приводит к формированию значительного количества хрупких контактов между твёрдыми частицами, что отрицательно сказывается на износостойкости исследуемых материалов. Сделан вывод, что для повышения износостойкости композитов данной системы следует добиваться равномерного размещения частиц твёрдой фазы по периметру матричных зёрен. Обнаружено, что величина интенсивности изнашивания композитов Al– Al_3Ti –Sn возрастает с увеличением давления на поверхность трения, тогда как значение коэффициента трения снижается и практически не зависит от состава исследуемых материалов. Рассмотрен механизм изнашивания композиционных образцов гибридного фазового состава при трении без смазочного материала по стальному диску. Изнашивание композитов данной системы осуществляется двумя основными механизмами: деформационно-окислительный износ посредством пластической деформации тонкого поверхностного слоя и его охрупчивания мелкими оксидными частицами, а также усталостный износ путем вовлечения в деформацию сдвигом зёрен верхнего слоя образца с последующим их отслоением по оловянным прослойкам, исчерпавшим ресурс пластичности.

Ключевые слова: износостойкий композит, алюминиевые сплавы, дисперсно-упрочнённый композиционный материал, спекание, механизм изнашивания.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-363-374

Адрес для переписки:

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

Для цитирования:

А.Л. Скоренцев, Н.М. Русин.
Влияние частиц алюминидов титана на триботехнические
характеристики сплава Al–40Sn при трении без смазочного
материала по стали.
Трение и износ.
2025. — Т. 46, № 4. — С. 363–374.
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-363-374

Address for correspondence:

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

For citation:

A.L. Skorentsev and N.M. Rusin.
[Effect of Titanium Aluminide Particles on Tribological Properties of
Al–40Sn Alloy under Dry Friction Against Steel].
Trenie i Iznos.
2025, vol. 46, no. 4, pp. 363–374 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-363-374

Effect of Titanium Aluminide Particles on Tribological Properties of Al–40Sn Alloy under Dry Friction Against Steel

A.L. Skorentsev and N.M. Rusin

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

Received 30.06.2025.

Abstract

The structure and tribological properties of sintered Al–40Sn alloy reinforced with Al₃Ti particles of different volume concentrations were studied. The composite samples were sintered at 710 °C for 1 hour and then compacted in a closed die at a temperature of 250 °C and a pressure of about 300 MPa. Wear resistance tests were carried out using a tribotester Tribotechnic (France) in the absence of lubrication according to the pin-on-disk scheme at a constant sliding speed of 0.6 m/s, increasing the load every 1000 m of friction path. A steel disk made of hardened grade 40X steel with a hardness of 48—50 HRC was used as a counterbody. It was found that the concentration of hard particles of ~ 32 % by volume ensures maximum wear resistance of the sintered Al–Al₃Ti–Sn samples. A further increase in the content of aluminides up to ~ 40% by volume leads to the formation of a significant number of brittle contacts between the hard particles, which negatively affects the wear resistance of the studied materials. It was concluded that in order to increase the wear resistance of composites of this system, it is necessary to achieve uniform distribution of hard phase particles around the perimeter of matrix grains. It was found that the wear intensity of Al–Al₃Ti–Sn composites increases with increasing pressure on the friction surface, while the value of the friction coefficient decreases and is practically independent of the composition of the studied materials. The wear mechanism of the composite samples of hybrid phase composition under dry friction against a steel disk is considered. The wear process of the composites of this system is carried out by two main mechanisms: deformation-oxidative wear through plastic deformation of a thin surface layer and its embrittlement by small oxide particles, as well as fatigue wear through involvement in deformation by shear of grains of the upper layer of the sample with their subsequent delamination along tin interlayers that have exhausted their plasticity resource.

Keywords: wear-resistant composite, aluminum alloys, dispersion-hardened composite material, sintering, wear mechanism.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-363-374

Адрес для переписки:

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

Для цитирования:

А.Л. Скоренцев, Н.М. Русин.
Влияние частиц алюминидов титана на триботехнические
характеристики сплава Al–40Sn при трении без смазочного
материала по стали.
Трение и износ.
2025. – Т. 46, № 4. – С. 363–374.
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-363-374

Address for correspondence:

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

For citation:

A.L. Skorentsev and N.M. Rusin.
[Effect of Titanium Aluminide Particles on Tribological Properties of
Al–40Sn Alloy under Dry Friction Against Steel].
Trenie i Iznos.
2025, vol. 46, no. 4, pp. 363–374 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-363-374

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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
2. Bassani P., Molteni M., and Gariboldi E. Microstructural Features and Thermal Response of Granulated Al and A356 Alloy with Relevant Sn Additions // *Materials & Design*. — 2023 (229), 111879
3. Sadawy M., Metwally H., Abd El-Aziz H., Abdelkarim A., Mohrez W., Mashaal H., and Kandil A. The Role of Sn on Microstructure, Wear and Corrosion Properties of Al-5Zn-2.5Mg-1.6Cu-xSn Alloy // *Materials & Design*. — 2022 (9), 096507
4. Wang D., Wu X., Gao K., Wen S., Wu H., Qiu J., Wei W., Huang H., Zhou D., and Nie Z. Study on the Microstructure and Wear Behavior of Mg-Containing Al-12Sn-4Si Alloys // *Journal of Materials Research and Technology*. — 2022 (18), 338—351
5. 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
6. Li S., Li Y., Guo H., Wen Z., and Zhu Z. Effect of Electromagnetic Stirring Frequency on Tribological Performance and Corrosion Resistance of Al-Sn Bearing Alloy // *Materials Today Communications*. — 2022 (32), 103898
7. 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
8. Confalonieri C., Casati R., and Gariboldi E. Effect of Process Parameters on Laser Powder Bed Fusion of Al-Sn Miscibility Gap Alloy // *Quantum Beam Science*. — 2022 (6), 17
9. Heydari V., Alizadeh M., and Pashangeh Sh. Investigation into Microstructural and Mechanical Properties of Al-Sn Alloy Fabricated Using Accumulative Roll Bonding Combined with Heat Treatment // *Journal of Materials Research and Technology*. — 2023 (26), 3481—3495
10. Hernandez O. and Gonzalez G. Microstructural and Mechanical Behavior of Highly Deformed Al-Sn Alloys // *Materials Characterization*. — 2008 (59), 534—541
11. Русин Н.М., Скорентцев А.Л., Власов И.В. Влияние железа на триботехнические свойства спечённых сплавов Al-Sn // *Трение и износ*. — 2022 (43), № 4, 502—514
12. Rusin N.M. and Skorentsev A.L. Mechanical Properties of Al-Sn Composites Alloyed with Titanium // *Physics of Metals and Metallography*. — 2025 (126), 91—100
13. 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

14. Evans E.B., McCormick M.A., Kennedy S.L., and Erb U. The Effect of Inclusion Size on Grain Boundary Wetting in Al-Sn Alloys // *Applied Physics A Solids and Surfaces*. — 1987 (42), 269—272
15. Крагельский И.В. Трение и износ. — М.: Машиностроение. — 1968

References

1. 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
2. Bassani P., Molteni M., and Gariboldi E. Microstructural Features and Thermal Response of Granulated Al and A356 Alloy with Relevant Sn Additions // *Materials & Design*. — 2023 (229), 111879
3. Sadawy M., Metwally H., Abd El-Aziz H., Abdelkarim A., Mohrez W., Mashaal H., and Kandil A. The Role of Sn on Microstructure, Wear and Corrosion Properties of Al-5Zn-2.5Mg-1.6Cu-xSn Alloy // *Materials & Design*. — 2022 (9), 096507
4. Wang D., Wu X., Gao K., Wen S., Wu H., Qiu J., Wei W., Huang H., Zhou D., and Nie Z. Study on the Microstructure and Wear Behavior of Mg-Containing Al-12Sn-4Si Alloys // *Journal of Materials Research and Technology*. — 2022 (18), 338—351
5. 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
6. Li S., Li Y., Guo H., Wen Z., and Zhu Z. Effect of Electromagnetic Stirring Frequency on Tribological Performance and Corrosion Resistance of Al-Sn Bearing Alloy // *Materials Today Communications*. — 2022 (32), 103898
7. 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
8. Confalonieri C., Casati R., and Gariboldi E. Effect of Process Parameters on Laser Powder Bed Fusion of Al-Sn Miscibility Gap Alloy // *Quantum Beam Science*. — 2022 (6), 17
9. Heydari V., Alizadeh M., and Pashangeh Sh. Investigation into Microstructural and Mechanical Properties of Al-Sn Alloy Fabricated Using Accumulative Roll Bonding Combined with Heat Treatment // *Journal of Materials Research and Technology*. — 2023 (26), 3481—3495
10. Hernandez O. and Gonzalez G. Microstructural and Mechanical Behavior of Highly Deformed Al-Sn Alloys // *Materials Characterization*. — 2008 (59), 534—541
11. Rusin N.M., Skorentsev A.L., and Vlasov I.V.

- Iron Effect on the Tribotechnical Properties of Sintered Al–Sn Alloys // *Journal of Friction and Wear*. — 2022 (43), 330—338
12. **Rusin N.M. and Skorentsev A.L.** Mechanical Properties of Al–Sn Composites Alloyed with Titanium // *Physics of Metals and Metallography*. — 2025 (126), 91—100
13. **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
14. **Evans E.B., McCormick M.A., Kennedy S.L., and Erb U.** The Effect of Inclusion Size on Grain Boundary Wetting in Al–Sn Alloys // *Applied Physics A Solids and Surfaces*. — 1987 (42), 269—272
15. **Kragelsky I.V.** *Treniye i iznos* [Friction and wear]. — M.: Mashinostroyeniye. — 1968 (in Russian)

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