



Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)
УДК621.78

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.028

EDN:ZITZVM

СРАВНЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СПЛАВОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Юлия Владимировна Шерина ¹, Альфия Расимовна Луц ²

¹ Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

² Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

¹ yulya.makhonina.97@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5451-7107>

² alya_luts@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7889-9931>

Аннотация. В современном мире наблюдается тенденция развития машиностроения, энергетики, авиационной и автомобильной промышленности, где особое значение приобретает повышение износостойкости, снижение коэффициента трения и увеличение срока службы рабочих узлов и деталей. Технологический прогресс предъявляет все более жесткие требования к материалам, эксплуатируемым в условиях интенсивных механических нагрузок, высоких скоростей и температур. В этом формате использование композиционных материалов, армированных керамическими частицами, становится актуальным благодаря их высокой износостойкости, легкости и возможности формирования необходимых свойств, согласно предъявляемым требованиям. Тем не менее, традиционные сплавы антифрикционного назначения продолжают широко применяться. Именно поэтому для исследования перспективности использования композиционных материалов в узлах трибосопряжений, в первую очередь, необходимо провести сравнение с традиционными сплавами, используемыми в узлах трения, такими как, например, бронзы, баббиты, латуни, а также с алюминиевыми сплавами антифрикционного назначения. В данной научно-исследовательской работе проводится сравнение композиционных материалов АМг2-10%TiC, АМг6-10%TiC, АМ4,5Кд-10%TiC и АК10-М2Н-10%TiC, полученных методом самораспространяющегося синтеза в расплаве, с традиционно применяемыми антифрикционными сплавами БрОЦС 5-5-5, БрАЖ 7-4 (бронзы), Б83 (баббит), АОЗ-7, АО9-2, АО20-1 (алюминиевые сплавы антифрикционного назначения). После проведения испытаний по определению износостойкости по схеме «кольцо–плоскость» было выявлено, что наименьшая скорость износа на традиционных сплавах наблюдается на образце с БрАЖ 7-4 и составляет 2 мкм/час (коэффициент трения 0,3, температура саморазогрева 70 °С). В то же время скорость износа всех композиционных материалов не превышает 6,4 мкм/час, а наименьшее значение наблюдается на КМ состава АК10М2Н-10%TiC и составляет 0,5 мкм/час (коэффициент трения 0,09; температура саморазогрева 60 °С). Таким образом, применение композиционного материала АК10М2Н-10%TiC взамен бронзы БрАЖ 7-4 позволит снизить скорость износа не менее чем в 4 раза, а коэффициент трения – не менее чем в 2 раза.

Ключевые слова: алюмоматричные композиционные материалы, карбид титана, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, антифрикционные сплавы, износостойкость, коэффициент трения.

Благодарности: автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору Самарского государственного технического университета Ибатуллину Ильдару Дугласовичу за помощь в проведении трибологических испытаний.

Для цитирования: Шерина Ю. В., Луц А. Р. Сравнение трибологических характеристик композиционных материалов и сплавов триботехнического назначения // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 177–181. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.028. EDN: <https://elibrary.ru/ZITZVM>.

Original article

COMPARISON OF TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITE MATERIALS AND ALLOYS FOR TRIBOTECHNICAL PURPOSE

Yuliya V. Sherina ¹, Al'fiya R. Luts ²

¹ LLC Research and Development Production Enterprise "Valma", Samara, Russia

² Samara State Technical University, Samara, Russia

¹ yulya.makhonina.97@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5451-7107>

² alya_luts@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7889-9931>

© Шерина Ю. В., Луц А. Р., 2026

Abstract. In the modern world, there is a trend in the development of mechanical engineering, energy, aerospace and automotive industries, where increasing wear resistance, reducing the coefficient of friction and increasing the service life of working units and parts is of particular importance. Technological progress imposes increasingly stringent requirements on materials operated under conditions of intense mechanical loads, high speeds and temperatures. In this format, the use of composite materials reinforced with ceramic particles becomes relevant due to their high wear resistance, lightness, and the ability to form the necessary properties according to the requirements. Nevertheless, traditional anti-friction alloys continue to be widely used. That is why, in order to study the prospects of using composite materials in tribo-coupling units, first of all, it is necessary to compare them with traditional alloys used in friction units, such as, for example, bronzes, babbitts, brass, as well as aluminum alloys for anti-friction purposes. In this research paper, composite materials AMg2-10%TiC, AMg6-10%TiC, AM4.5Kd-10%TiC and AK10-M2H-10%TiC obtained by self-propagating fusion in a melt are compared with the traditionally used anti-friction alloys BrOCC5-5-5, BRAZH7-4 (bronze), B83 (babbit), AO3-7, AO9-2, AO20-1 (aluminum alloys for anti-friction purposes). After conducting tests to determine wear resistance according to the "ring-plane" scheme, it was found that the lowest wear rate on traditional alloys is observed on a sample with a thickness of 7-4 and is 2 microns/hour (coefficient of friction 0.3, self-heating temperature 70°C). At the same time, the wear rate of all composite materials does not exceed 6.4 microns/hour, and the lowest value is observed per KM of AK10M2H composition-10%TiC and is 0.5 microns/hour (coefficient of friction 0.09; self-heating temperature 60°C). Thus, the use of AK10M2H-10%TiC composite material instead of BRAZH 7-4 bronze will reduce the wear rate by at least 4 times, and the coefficient of friction by at least 2 times.

Keywords: aluminum matrix composite materials, titanium carbide, self-propagating high-temperature synthesis, anti-friction alloys, wear resistance, friction factor

Acknowledgements: aluminum matrix composite materials, titanium carbide, self-propagating high-temperature synthesis, anti-friction alloys, wear resistance, coefficient of friction

For citation: Sherina, Yu. V., Luts, A. R. (2026). Comparison of tribological characteristics of composite materials and alloys for tribotechnical purpose. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 177-181. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.028. EDN: <https://elibrary.ru/ZITZVM>.

ВВЕДЕНИЕ

Композиционные материалы на основе промышленных алюминиевых сплавов обладают высокой прочностью, износостойкостью, малым удельным весом и доступной ценой, что делает их перспективными материалами. В аэрокосмической отрасли АМКМ используют для изготовления лопастей вентиляторов, осей роторов, труб и крышек корпусов самолетов Boeing 777. В автомобильной промышленности из них производят тормозные барабаны и диски, шатуны, гильзы цилиндров, головки блока цилиндров и коленчатого вала, поршни [1].

Невысокая стоимость и доступность АМКМ, а также возможность применения стандартного оборудования и традиционных технологий для формирования заданного состава, способствуют ускорению процесса внедрения таких материалов в области машиностроения [2, 3]. Алюминиевая матрица с добавлением твердых керамических частиц обладает высокой термической стабильностью, что делает перспективным использование КМ на основе алюминиевой матрицы в триботехнике [4], особенно это актуально для композитов, дисперсно армированных карбидными фазами. Так, в работе [5] приводится пример успешного применения АМКМ составов АЛ-25%SiC и АК12-5%SiC-5%С в качестве втулок подшипников скольжения и показано преимущество использования пары трения «композит–сталь» перед парой «бронза–сталь». Также в результате замены материала достигается увеличение срока службы изделия сверх предусмотренных техническими условиями 10000 циклов до 15000 циклов работы, что составляет 40 %. При этом компрессоры с рабочей парой, в состав которой входит КМ, на протяжении всего срока службы сохраняют характеристики, заложенные технической документацией.

Подчеркнем, что снижению массы триботехнических устройств в современной технике уделяется особое внимание, в связи с чем разрабатываются триботехнические композиционные материалы на основе матрицы даже более легкого, чем алюминий

металла – магния и его сплавов [6]. В публикации [7] исследовано поведение композитов на основе промышленных сплавов марок АМг1, АК12, АК12М2МгН, армированных 5% SiC, и выявлено, что задиристость и износостойкость у композитов существенно превосходила аналогичные характеристики матричной основы. В этой же работе показано, что армирование карбидом титана приводит к падению интенсивности изнашивания и коэффициента трения.

В работе [8] установлено, что армирование карбидом кремния промышленного сплава АК12М2МгН приводит к повышению износостойкости в 10 раз, а также снижению коэффициента линейного термического расширения, что позволяет прогнозировать повышение термостабильности. В исследовании [9] показано, что армирование этой же основы 10 масс.% карбида титана приводит к снижению значения коэффициента трения с 1,09 до 0,82, а также понижению интенсивности изнашивания практически в 2 раза.

В работе [10] показано, что армирование промышленных алюминиевых сплавов АМг2, АМг6, АМ4,5Кд и АК10М2Н 10 масс.% высокодисперсным карбидом титана, синтезированным с использованием метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, позволяет повысить износостойкость не менее чем в 5 раз, а коэффициент трения – не менее чем в 3 раза, по сравнению с матричными сплавами. Однако сравнение с традиционными антифрикционными сплавами в данной работе не проведено.

Таким образом, целью данного исследования является сравнение триботехнических характеристик композиционных материалов и сплавов триботехнического назначения.

МЕТОДЫ

Для получения композиционных материалов в качестве матрицы использовались промышленные алюминиевые сплавы марок АМг2 (ГОСТ 4784-97), АМг6 (ГОСТ 4784-97), АМ4,5Кд (ГОСТ 1583-93) и АК10М2Н (ГОСТ 30620-98). Композиционный материал получали по технологии, приведенной в работе [11], в качестве шихтовых компонентов использо-

СРАВНЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СПЛАВОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

вали порошок титана марки ТПП-7 (ТУ 1715-449-05785388), углерод технический П701 (ГОСТ 7885-86) и галоидную соль N_2TiF_6 (CAS 17116-13-1). Для сравнения были выбраны материалы, наиболее часто применимые в трибосопряжениях, а именно: бронза марки БрАЖ7-4 (ГОСТ 18175-78) и БрОЦС 5-5-5 (ГОСТ 613-79), баббит марки Б83 (ГОСТ 1320-74), алюминиевые антифрикционные сплавы АО3-7, АО9-2, АО20-1 (ГОСТ 14113-78).

Триботехнические испытания проводили на универсальном триботехническом комплексе «Универсал-1Б» (далее трибометр) по схеме испытаний «кольцо–плоскость»; вид трения – граничное трение скольжения; материал контртела – сталь 40Х, закалка HRC 40...45; среда – синтетическое моторное масло Shell; нормальная нагрузка на контакт – 400 Н; частота вращения контртела – 600 об/мин (средняя линей-

ная скорость в зоне контакта 0,157 м/с); длительность испытаний – 30 минут (или до появления первых признаков схватывания). По результатам испытаний оценивали линейный износ образцов с помощью индикатора часового типа с ценой деления 1 мкм и пересчитывали результат в скорость изнашивания (мкм/час)

РЕЗУЛЬТАТЫ

С целью сравнения характеристик в тех же условиях были проведены трибологические испытания промышленных антифрикционных сплавов на основе алюминия, олова и меди. На рисунке 1 приведены эпюры трибологических испытаний, а также поверхности износа антифрикционных сплавов БрАЖ7-1, БрОЦС5-5-5, Б83, АО3-7, АО9-2, АО20-1 и композиционных материалов АМг2-10%TiC, АМг5-10%TiC, АМ4,5Кд-10%TiC, АК10М2Н-10%TiC.

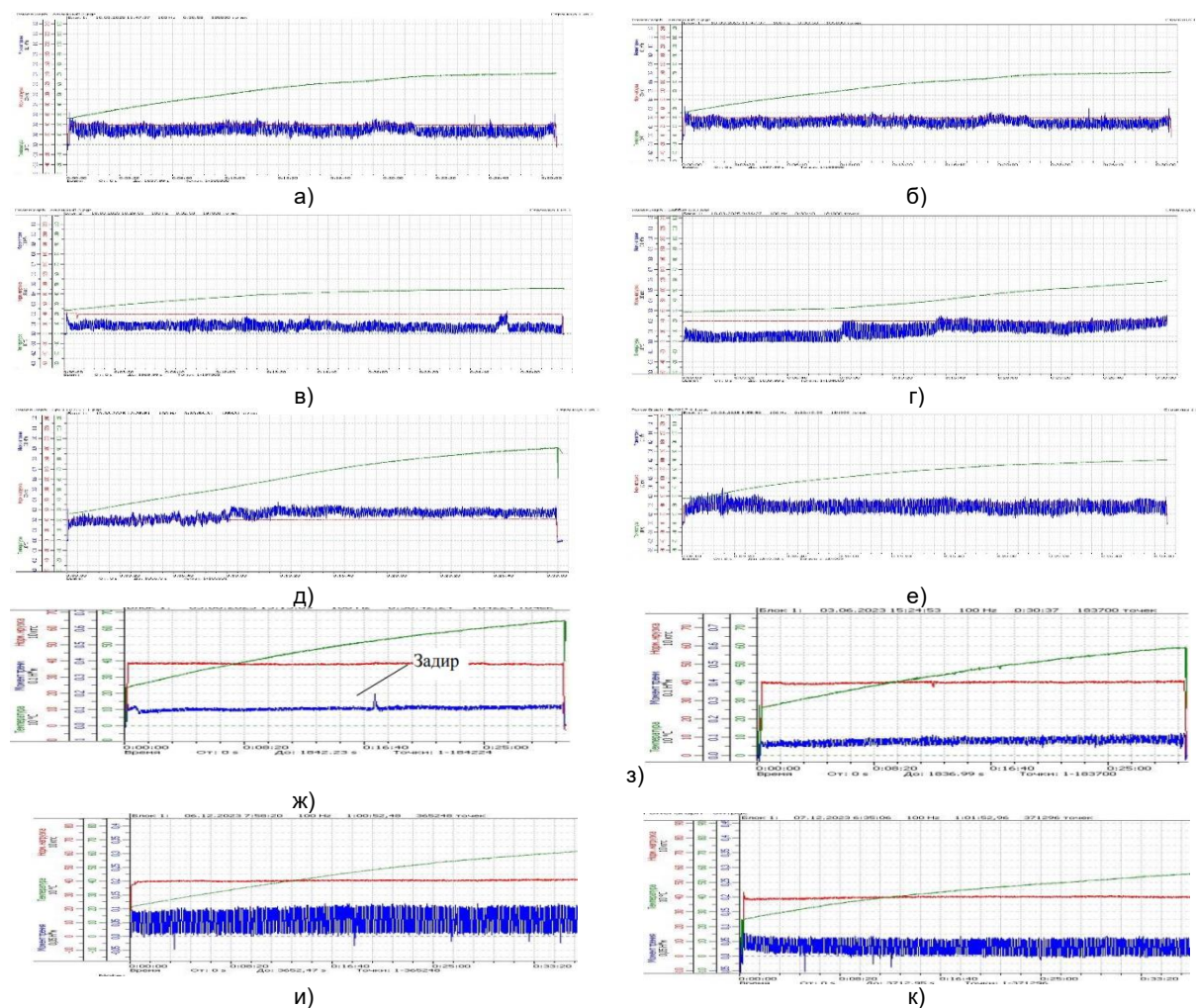


Рисунок 1 – Эпюры триботехнических испытаний: а) АО3-7; б) АО9-2; в) АО20-1; г) Б83; д) БрОЦС 5-5-5; е) БрАЖ 7-4; ж) АМг2-10%TiC; з) АМг6-10%TiC; и) АМ4,5Кд-10%TiC; к) АК10М2Н-10%TiC

Figure 1 – Tribological test diagrams: а) АО3-7; б) АО9-2; в) АО20-1; г) Б83; д) БрОТсS 5-5-5; е) БрАЖh 7-4; г) АМг2-10%TiC; ж) АМг6-10%TiC; и) АМ4.5Кd-10%TiC; к) АК10М2Н-10%TiC

В таблице 1 приведены результаты трибологических испытаний антифрикционных сплавов БрАЖ7-1, БрОЦС5-5-5, Б83, АО3-7, АО9-2, АО20-1 и компози-

ционных материалов АМг2-10%TiC, АМг5-10%TiC, АМ4,5Кд-10%TiC, АК10М2Н-10%TiC.

Таблица 1 – Трибологические свойства антифрикционных сплавов и композиционных материалов

Table 1 – Tribological properties of antifriction alloys and composite materials

Образец	Скорость изнашивания, мкм/час	Коэффициент трения	Температура саморазогрева, °С
Промышленные антифрикционные сплавы			
АО3-7	126	–	–
АО9-2	68	0,16 (задиры)	72
АО20-1	30	0,05	44
Баббит Б83	536	0,21	59
БрОЦС 5-5-5	50	0,3	92
БрАЖ 7-4	2	0,18	70
Разработанные композиционные материалы			
АМг2-10%TiC	6,4	0,11	65
АМг6-10%TiC	3,5	0,08	59
АМ4,5Кд-10%TiC	5,25	0,08	67
АК10М2Н-10%TiC	0,5	0,09	60

ОБСУЖДЕНИЕ

На поверхностях трения всех испытанных образцов антифрикционных промышленных сплавов, кроме бронзы марки БрАЖ 7-4 (рис. 1, а–д) наблюдались выраженные следы абразивного изнашивания (борозды в направлении трения). Данный вид изнашивания характеризуется нестабильным и высоким коэффициентом трения, а также высокой скоростью изнашивания (табл. 1), и поэтому недопустим в проектируемых узлах трения.

Среди алюминиевых сплавов наилучшие триботехнические свойства показал сплав АО20-1: небольшой коэффициент трения, склонность к приработке (рис. 1, в) и невысокая температура саморазогрева (табл. 1). Данный образец показал минимальный износ среди алюминиевых сплавов, но все же он недостаточно низок для создания надежных пар трения и требует более щадящих условий эксплуатации.

Баббит Б83 – пластичный антифрикционный материал – вначале показал характерный низкий коэффициент трения (табл. 1), затем трение начало ступенчато расти (рис. 1, з) в связи с появлением в зоне трения абразивных частиц. Вслед за моментом трения начался рост температуры в зоне трения. Даже в условиях сильного абразивного изнашивания баббит показывал приемлемый момент трения, но высокий износ делает использование этого материала нерациональным в данных условиях.

Наилучший результат показал образец бронзы БрАЖ 7-4. Минимальный износ при приемлемых антифрикционных свойствах делают этот материал применимым для изготовления тяжелонагруженных пар трения (табл. 1).

На композиционном материале АМг2-10%TiC наблюдается задиры (рис. 1, ж), что говорит о невозможности применения материала при данной нагрузке, однако скорость изнашивания и коэффициент трения (табл. 1) значительно ниже, чем у антифрикционных сплавов (кроме АО20-1 и БрАЖ 7-4), что связано с наличием твердых частиц карбида титана.

Композиционный материал АМг6-10%TiC ввиду большей добавки магния более твердый, что обеспечивает не только отсутствие задиры (рис. 1, з), но также снижение скорости износа практически в 2 раза и значительное уменьшение коэффициента трения (табл. 1).

АМКМ АМ4,5Кд характеризуется хорошей прирабатываемостью и отсутствием на эпюре трения задиры (рис. 1, и), также отмечаются невысокая скорость износа и коэффициент трения (табл. 1), что говорит о возможности применения в рассматриваемом узле трения. Следует отметить, что по результатам исследований,

проведенных в работе [12] выявлено, что данный материал имеет значительно лучшие трибологические свойства после проведения термической обработки.

Композиционный материал АК10М2Н-10%TiC, среди исследуемых разработанных автором [10] композитов, обладает наилучшими трибологическими характеристиками (табл. 1). Следует особенно отметить, что скорость износа КМ АК10М2Н-10%TiC значительно меньше скорости износа БрАЖ 7-4, также отмечается и более низкий коэффициент трения. Данный факт позволяет рекомендовать КМ АК10М2Н-10%TiC даже без термической обработки в качестве замены дорогостоящей и большей по плотности бронзы БрАЖ 7-4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показывает, что армирование промышленных алюминиевых сплавов высокодисперсными частицами карбида титана, синтезированных при помощи метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в расплаве, позволяет обеспечить трибологические характеристики на уровне, а в большинстве случаев – лучше, с антифрикционными сплавами, такими как бронзы, баббиты и алюминиевые антифрикционные сплавы сери АО, что позволяет рекомендовать разработанные композиционные материалы в качестве перспективных для замены бронз и баббитов в узлах трибосопряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wetting and reaction characteristics of Al_2O_3/SiC composite refractories by molten aluminium and aluminium alloy / J. Xu [et al.] // International Journal of Applied Ceramic Technology. 2007. №4. P. 514–523. DOI: 10.1111/j.1744-402.2007.02177.x.
2. Технологическое освоение композиционного материала системы Al-SiC / Л.П. Вишняков [и др.] // Технология легких сплавов. 1996. № 3. С. 64–69.
3. Курганова Ю.А. Перспективы развития металломатричных композиционных материалов промышленного назначения // Сервис в России и за рубежом. 2012. № 3. С. 235–240.
4. Kumar N.M. High temperature investigation on EDM process of Al2618 alloy reinforced with Si_3N_4 , ALN and ZrB₂ in-situ composites // Journal of Alloys and Compounds. 2016. № 663. P. 755–768. DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.12.175.
5. Курганова Ю.А. Разработка и применение дисперсно упрочненных алюмоматричных композиционных материалов в машиностроении: дис. ... д-ра техн. наук.

СРАВНЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СПЛАВОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Москва, 2008. 285 с.

6. Ковтунов А.И. Применение композиционных материалов с магниевой матрицей для подшипников скольжения // Перспективные материалы. 2022. № 6. С. 66–70. DOI: 10.30791/1028-978X-2022-6-66-70.

7. Калашников И.Е. Развитие методов армирования и модифицирования структуры алюмоматричных композиционных материалов: дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2011. 428 с.

8. Миронова Е.В. Литые композиционные материалы на основе алюминиевого сплава для автомобилестроения // Киев : Cyberlinka. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/litye-kompozitsionnye-materialy-na-osnove-alyuminievogo-splava-dlya-avtomobilstroeniya> (дата обращения: 29.08.2025).

9. Михеев Р.С. Разработка износостойких дисперсно-наполненных композиционных материалов и покрытий из них: дис. ... канд. техн. наук. Москва. 2010. 202 с.

10. Шерина Ю.В. Влияние армирования высокодисперсной фазой карбида титана, синтезированной в расплаве, и термообработки на структуру и свойства промышленных алюминиевых сплавов: дисс. ... канд. техн. наук. Самара. 2024. 207 с.

11. Жидкофазное получение методом СВС и термическая обработка композитов на основе алюминиево-магниевого сплава, упрочненного высокодисперсной фазой карбида титана / А.Р. Луц [и др.] // Известия вузов. Цветная металлургия. 2023. № 4. С. 70–86. DOI: 10.17073/0021-3438-2023-4-70-86.

12. Шерина Ю.В. СВС-армирование промышленных алюминиевых сплавов высокодисперсной фазой карбида титана : монография / Ю.В. Шерина, А.Р. Луц. Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2025. 151 с. ISBN 978-5-7964-2484-1.

Информация об авторах

Ю. В. Шерина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» Самарского государственного технического университета.

А. Р. Луц – кандидат технических наук, доцент кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» Самарского государственного технического университета.

REFERENCES

1. Xu, J. [et al.]. (2007). Wetting and reaction characteristics of Al_2O_3/SiC composite refractories by molten aluminum and aluminum alloy. International Journal of Applied Ceramic Technology. (4). P. 514-523. DOI: 10.1111/j.1744-402.2007.02177.x.

2. Vishnyakov, L.R. [et al.]. (1996). Technological development of the composite material of the Al-SiC system. Technology of light alloys. 1996. No.3. P. 64-69. (In Russ.).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mar 2026.

3. Kurganova, Yu.A. (2012). Prospects for the development of metal matrix composite materials for industrial use // Service in Russia and abroad. 2012. (3). P. 235-240. (In Russ.).

4. Kumar, N.M. (2016). High temperature investigation on EDM process of Al2618 alloy reinforced with Si_3N_4 , ALN and ZrB_2 in-situ composites. Journal of Alloys and Compounds. 2016. (663). P. 755-768. DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.12.175.

5. Kurganova, Yu.A. (2008). Development and application of dispersed hardened aluminum matrix composite materials in mechanical engineering. Extended abstract of Doctor's thesis. Moscow. (In Russ.).

6. Kovtunov, A.I. (2022). Application of composite materials with a magnesium matrix for sliding bearings // Promising materials. 2022. (6). P. 66-70. (In Russ.). DOI: 10.30791/1028-978X-2022-6-66-70.

7. Kalashnikov, I.E. (2011). Development of methods of reinforcement and modification of the structure of aluminum-matrix composite materials. Extended abstract of Doctor's thesis. Moscow. (In Russ.).

8. Mironova, E.V. (2006). Cast Aluminum alloy composite materials for the automotive industry. Retrieved from <http://cyberleninka.ru/article/n/litye-kompozitsionnye-materialy-na-osnove-alyuminievogo-splava-dlya-avtomobilstroeniya>. (In Russ.).

9. Mixeev, R.S. (2010). Development of wear-resistant dispersed-filled composite materials and coatings from them. Extended abstract of candidate's thesis. Moscow. (In Russ.).

10. Sherina, Yu.V. (2024). The effect of reinforcement with a highly dispersed phase of titanium carbide synthesized in a melt and heat treatment on the structure and properties of industrial aluminum alloys. Extended abstract of candidate's thesis. Samara. (In Russ.).

11. Liquid-phase production by the SHS method and heat treatment of composites based on aluminum-magnesium alloys reinforced with a highly dispersed titanium carbide phase / A.R. Lucz [и др.] // Izvestiya vuzov. Non-ferrous metallurgy. 2023. (4). P. 70-86. (In Russ.). DOI: 10.17073/0021-3438-2023-4-70-86.

12. Sherina, Yu.V. (2025). SHS-reinforcement of industrial aluminum alloys with a highly dispersed titanium carbide phase: monograph. Samara: Samara State Technical University. ISBN 978-5-7964-2484-1.

Information about the authors

Yu.V. Sherina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Metallurgy, Powder Metallurgy, Nanomaterials», Samara State Technical University.

A.R. Lutz - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Metallurgy, Powder Metallurgy, Nanomaterials», Samara State Technical University.