

УДК 669.018.24; 620.178.162.42

Поведение при сухом скольжении аддитивно выращенных сплавов БрАМц9-2/12Х18Н9Т

А.О. Панфилов, Н.Л. Савченко, А.В. Филиппов, А.В. Чумаевский, В.Р. Утяганова, С.Ю. Тарасов

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

Поступила в редакцию 07.06.2024.

После доработки 30.11.2024.

Принята к публикации 10.12.2024.

С помощью аддитивного электронно-лучевого выращивания были получены сплавы БрАМц9-2/12Х18Н9Т со следующими соотношениями концентраций 90:10, 75:25, 50:50 и 25:75. В работе была исследована микроструктура, механические и трибологические свойства полученных материалов. В качестве контртел использовали шарики из Si₃N₄, которые скользили без смазки по дискам из полученных материалов. Максимальный и минимальный уровни предела прочности при растяжении составили 813 МПа и 635 МПа, достигнутые для образцов, содержащих БрАМц9-2/12Х18Н9Т в соотношении 50:50 и 75:25 соответственно. Показано, что с увеличением содержания стали с 10 до 75 %, происходит увеличение среднего коэффициента трения и интенсивности изнашивания. Имеет место смена механизма изнашивания от износа за счёт избыточной пластической деформации к абразивному изнашиванию. Этот переход сопровождается уменьшением флуктуаций значений коэффициента трения. Несмотря на наличие подповерхностных дефектов у сплавов с большим количеством стали, их средние значения коэффициента трения лежат в диапазоне меньших величин (0,38—0,42) по сравнению с известными из литературы материалами, коэффициент трения которых лежит в диапазоне 0,46—0,52 при сравнимых условиях трибологических испытаний. Таким образом, полученные в работе материалы имеют уровень свойств, позволяющий применять данные материалы при изготовлении высоконагруженных деталей и узлов судоводной техники, которые подвергаются изнашиванию в условиях воздействия агрессивных сред.

Ключевые слова: электронно-лучевое аддитивное производство, алюминиевая бронза, нержавеющая сталь, композиты, трение, износ, коэффициент трения.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-531-540

Адрес для переписки:

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

Для цитирования:

А.О. Панфилов, Н.Л. Савченко, А.В. Филиппов, А.В. Чумаевский,
В.Р. Утяганова, С.Ю. Тарасов

Поведение при сухом скольжении аддитивно выращенных
сплавов БрАМц9-2/12Х18Н9Т.

Трение и износ.

2024. — Т. 45, № 6. — С. 531—540.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-531-540

Address for correspondence:

A.O. Panfilov
Institute of Strength Physics and Materials Science, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences,
ave. Akademicheskyy, 2/4, Tomsk 634055, Russia
e-mail: alexpl@ispms.ru

For citation:

A.O. Panfilov, N.L. Savchenko, A.V. Filippov, A.V. Chumaevskii,
V.R. Utyaganova, and S.Yu. Tarasov.

[Dry Sliding Behavior of Additively Grown Alloys
BrAMts9-2/12Kh18N9T].

Trenie i Iznos.

2024, vol. 45, no. 6, pp. 531—540 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-531-540

Dry Sliding Behavior of Additively Grown Alloys BrAMts9-2/12Kh18N9T

A.O. Panfilov, N.L. Savchenko, A.V. Filippov, A.V. Chumaevskii, V.R. Utyaganova, and
S.Yu. Tarasov

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

Received 07.06.2024.

Revised 30.11.2024.

Accepted 10.12.2024.

By means of additive electron beam growing BrAMts9-2/12Kh18N9T alloys with the following concentration ratios of 90:10, 75:25, 50:50 and 25:75 were obtained. In the work the microstructure, mechanical and tribological properties of the obtained materials were investigated. Balls of Si₃N₄ were used as counterbodies, which slid without lubrication on disks of the obtained materials. The maximum and minimum levels of tensile strength were 813 MPa and 635 MPa, achieved for samples containing BrAMts9-2/12Kh18N9T in the ratio of 50:50 and 75:25, respectively. It is shown that with an increase in the steel content from 10 to 75 %, there is an increase in the average friction coefficient and wear intensity. There is a change in the wear mechanism from wear due to excessive plastic deformation to abrasive wear. This transition is accompanied by a decrease in the fluctuations of the friction coefficient values. Despite the presence of subsurface defects in alloys with a large amount of steel, their average friction coefficient values are in the range of smaller values (0.38—0.42) compared to materials known from the literature, the friction coefficient of which is in the range of 0.46—0.52 under comparable tribological test conditions. Thus, the materials obtained in the work have high properties that allow these materials to be used in the manufacture of highly loaded parts and units of shipping equipment subject to wear under aggressive environments.

Keywords: electron-beam additive manufacturing, aluminum bronze, stainless steel, composites, friction, wear, coefficient of friction.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-531-540

Адрес для переписки:

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

Для цитирования:

А.О. Панфилов, Н.Л. Савченко, А.В. Филиппов, А.В. Чумаевский,
В.Р. Утяганова, С.Ю. Тарасов

Поведение при сухом скольжении аддитивно выращенных
сплавов BrAMts9-2/12Kh18N9T.

Трение и износ.

2024. — Т. 45, № 6. — С. 531—540.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-531-540

Address for correspondence:

A.O. Panfilov
Institute of Strength Physics and Materials Science, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences,
ave. Akademichesky, 2/4, Tomsk 634055, Russia
e-mail: alexpl@ispms.ru

For citation:

A.O. Panfilov, N.L. Savchenko, A.V. Filippov, A.V. Chumaevskii,
V.R. Utyaganova, and S.Yu. Tarasov.

[Dry Sliding Behavior of Additively Grown Alloys
BrAMts9-2/12Kh18N9T].

Trenie i Iznos.

2024, vol. 45, no. 6, pp. 531—540 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-531-540

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Long Wang, Anh Kiet Tieu, Huynh H. Nguyen, Shenglu Lu, and Shaogang Cui.** Sliding Wear Behavior and Electrochemical Properties of Binder Jet Additively Manufactured 316SS/Bronze Composites in Marine Environment // *Tribology International*. — 2021 (156), April, 106810. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106810>
2. **Badr G. Ateya, Elsayed A. Ashour, and Sayed M. Sayed.** Corrosion of α -Al Bronze in Saline Water // *Journal of The Electrochemical Society*. — 1994 (141). DOI 10.1149/1.2054712
3. **Shaogang Cui, Shenglu Lu, Kiet Tieu, Ganesh Kumar Meenashisundaram, Long Wang, Xiaofeng Li, Jun Wei, and Wei Li.** Detailed Assessments of Tribological Properties of Binder Jetting Printed Stainless Steel and Tungsten Carbide Infiltrated with Bronze // *Wear*. — 2021 (477), 203788. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203788>
4. **Babatunde Abiodun Obadele, Anthony Andrews, Mxolisi Brendon Shongwe, and Peter Apata Olubambi.** Tribocorrosion Behaviours of AISI 310 and AISI 316 Austenitic Stainless Steels in 3.5% NaCl Solution // *Materials Chemistry and Physics*. — 2016 (171), 239—246. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.01.013>
5. **Lan Chen, Brodan Richter, Xinzhou Zhang, Xudong Rena, and Frank E. Pfefferkorn.** Modification of Surface Characteristics and Electrochemical Corrosion Behavior of Laser Powder Bed Fused Stainless-Steel 316L After Laser Polishing // *Additive Manufacturing*. — 2020 (32), 101013. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.101013>
6. **Neville A., Hodgkiess T., and Dallas J.T.** A Study of the Erosion-Corrosion Behaviour of Engineering Steels for Marine Pumping Application // *Wear*. — 1995 (186–187), 497—507. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(95\)07145-8](https://doi.org/10.1016/0043-1648(95)07145-8)
7. **Li Wen-sheng, Wang Zhi-Ping, Lu Yang, Gao Yong, and Xu Jian-Lin.** Preparation, Mechanical Properties and Wear Behaviours of Novel Aluminum Bronze for Dies Transactions of Nonferrous // *Metals Society of China*. — 2006 (16), 607—612. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(06\)60107-6](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(06)60107-6)
8. **Зыкова А.П., Панфилов А.О., Чумаевский А.В., Воронцов А.В., Тарасов С.Ю.** Электронно-лучевое аддитивное производство композиционного сплава из нержавеющей стали и алюминиевой бронзы: микроструктура и механические характеристики // *Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия*. — 2023 (66), 197—205. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-2-197-205>
9. **Zykova A., Panfilov A., Chumaevskii A., Vorontsov A., Moskvichev E., Nikonov S., Gurianov D., Savchenko N., Kolubaev E., and Tarasov S.** In-situ Dispersion Hardened Aluminum Bronze/Steel Composites Prepared Using a Double Wire Electron

- Beam Additive Manufacturing // *Progress in Additive Manufacturing*. — 2023 (8), 1067—1082. <https://doi.org/10.1007/s40964-022-00378-4>
10. **Vorontsov A., Astafurov S., Melnikov E., Moskvina V., Kolubaev E., and Astafurova E.** The Microstructure, Phase Composition and Tensile Properties of Austenitic Stainless Steel in a Wire-Feed Electron Beam Melting Combined with Ultrasonic Vibration // *Materials Science and Engineering: A*. — 2021 (820), 141519. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.141519>
11. **Peter J. Blau.** On the Nature of Running-In // *Tribology International*. — 2005 (38), 1007—1012. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2005.07.020>
12. **Bowden F.P. and Tabor D.** Mechanism OF Metallic Friction // *Nature*. — 1942 (150), 197—199
13. **Lin N., Liu Q., Zou J., Guo J., Li D., Yuan S., Ma Y., Wang Z., Wang Z., and Tang B.** Surface Texturing-Plasma Nitriding Duplex Treatment for Improving Tribological Performance of AISI 316 Stainless Steel // *Materials*. — 2016 (9), no. 11, 875. <https://doi.org/10.3390/ma9110875>

References

1. **Long Wang, Anh Kiet Tieu, Huynh H. Nguyen, Shenglu Lu, and Shaogang Cui.** Sliding Wear Behavior and Electrochemical Properties of Binder Jet Additively Manufactured 316SS/Bronze Composites in Marine Environment // *Tribology International*. — 2021 (156), April, 106810. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106810>
2. **Badr G. Ateya, Elsayed A. Ashour, and Sayed M. Sayed.** Corrosion of α -Al Bronze in Saline Water // *Journal of The Electrochemical Society*. — 1994 (141). DOI 10.1149/1.2054712
3. **Shaogang Cui, Shenglu Lu, Kiet Tieu, Ganesh Kumar Meenashisundaram, Long Wang, Xiaofeng Li, Jun Wei, and Wei Li.** Detailed Assessments of Tribological Properties of Binder Jetting Printed Stainless Steel and Tungsten Carbide Infiltrated with Bronze // *Wear*. — 2021 (477), 203788. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203788>
4. **Babatunde Abiodun Obadele, Anthony Andrews, Mxolisi Brendon Shongwe, and Peter Apata Olubambi.** Tribocorrosion Behaviours of AISI 310 and AISI 316 Austenitic Stainless Steels in 3.5% NaCl Solution // *Materials Chemistry and Physics*. — 2016 (171), 239—246. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.01.013>
5. **Lan Chen, Brodan Richter, Xinzhou Zhang, Xudong Rena, and Frank E. Pfefferkorn.** Modification of Surface Characteristics and Electrochemical Corrosion Behavior of Laser Powder Bed Fused Stainless-Steel 316L After Laser Polishing // *Additive Manufacturing*. — 2020 (32), 101013. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.101013>
6. **Neville A., Hodgkiess T., and Dallas J.T.** A

- Study of the Erosion-Corrosion Behaviour of Engineering Steels for Marine Pumping Application // *Wear*. — 1995 (**186–187**), 497—507. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(95\)07145-8](https://doi.org/10.1016/0043-1648(95)07145-8)
7. **Li Wen-sheng, Wang Zhi-Ping, Lu Yang, Gao Yong, and Xu Jian-Lin.** Preparation, Mechanical Properties and Wear Behaviours of Novel Aluminum Bronze for Dies Transactions of Nonferrous // Metals Society of China. — 2006 (**16**), 607—612. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(06\)60107-6](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(06)60107-6)
 8. **Zykova A.P., Panfilov A.O., Chumaevskii A.V., Vorontsov A.V., Tarasov S.Yu.** Electron beam additive manufacturing of composite alloy from stainless steel and aluminum bronze: Microstructure and mechanical properties // *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. — 2023 (**66**), 197—205. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-2-197-205> (in Russian)
 9. **Zykova A., Panfilov A., Chumaevskii A., Vorontsov A., Moskvichev E., Nikonov S., Gurianov D., Savchenko N., Kolubaev E., and Tarasov S.** In-situ Dispersion Hardened Aluminum Bronze/Steel Composites Prepared Using a Double Wire Electron Beam Additive Manufacturing // *Progress in Additive Manufacturing*. — 2023 (**8**), 1067—1082. <https://doi.org/10.1007/s40964-022-00378-4>
 10. **Vorontsov A., Astafurov S., Melnikov E., Moskvina V., Kolubaev E., and Astafurova E.** The Microstructure, Phase Composition and Tensile Properties of Austenitic Stainless Steel in a Wire-Feed Electron Beam Melting Combined with Ultrasonic Vibration // *Materials Science and Engineering: A*. — 2021 (**820**), 141519. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.141519>
 11. **Peter J. Blau.** On the Nature of Running-In // *Tribology International*. — 2005 (**38**), 1007—1012. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2005.07.020>
 12. **Bowden F.P. and Tabor D.** Mechanism OF Metallic Friction // *Nature*. — 1942 (**150**), 197—199
 13. **Lin N., Liu Q., Zou J., Guo J., Li D., Yuan S., Ma Y., Wang Z., Wang Z., and Tang B.** Surface Texturing-Plasma Nitriding Duplex Treatment for Improving Tribological Performance of AISI 316 Stainless Steel // *Materials*. — 2016 (**9**), no. 11, 875. <https://doi.org/10.3390/ma9110875>

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