

УДК 621.891

Системно-структурный анализ трибологического поведения антифрикционного материала в парах трения, функционирующих в поверхностно-активных смазочных средах

Л.И. Куксенова^{1,2}, В.И. Савенко²

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,
М. Харитоньевский пер., д. 4, г. Москва 101000, Россия

²Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
Ленинский пр., д. 31, к. 4, г. Москва 119071, Россия

Поступила в редакцию 24.04.2024.

После доработки 12.10.2024.

Принята к публикации 14.10.2024.

Приведены результаты испытаний пары реверсивного трения скольжения «бронза БрА5 — сталь 45» в дисперсионно-смазочных средах, характеризующихся различной степенью поверхностной активности по отношению к бронзе. Изменения микроструктурных характеристик при трибодетформации металла анализировали с позиций эффекта Ребиндера, определяющего возможность реализации явления избирательного переноса (режима безызносности) при работе трибосопряжения. Показано, что при трении бронзы в смазочно-дисперсионных средах, характеризующихся относительно малой поверхностной активностью, в основе влияния среды на структуру поверхности трибоматериала лежит реализация поверхностно-упрочняющего эффекта — увеличивается общая плотность дислокаций в деформированном приповерхностном слое. Интенсивность изнашивания в этом случае составляет $I_h \approx 1,5 \cdot 10^{-7}—4,0 \cdot 10^{-8}$. При трении бронзы в умеренно поверхностно-активных средах реализуются как поверхностно-пластифицирующий, так и поверхностно-упрочняющий эффекты с преобладанием последнего. При этом интенсивность изнашивания несколько уменьшается, принимая значения в интервале $I_h \approx 1,2 \cdot 10^{-7}—1,5 \cdot 10^{-8}$. При трибоиспытаниях бронзы в средах повышенной поверхностной активности интенсивность изнашивания бронзы сохраняется на достаточно низком уровне: $I_h \approx 2,2 \cdot 10^{-8}—3,0 \cdot 10^{-8}$. Однако в приповерхностном слое трибоматериала в этом случае формируются два кристаллографически изоструктурных твёрдых раствора, один из которых обогащён медью. На базе представлений физико-химической механики контактного взаимодействия изложены системно-структурные основы материаловедческого подхода, лежащие в основе анализа трибологической эффективности жидкостей, применяемых в качестве дисперсионных сред для пластичных смазочных материалов.

Ключевые слова: трение, износ, антифрикционные материалы, смазочно-дисперсионные среды, поверхностно-активные вещества, эффект Ребиндера.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-430-448

Адрес для переписки:

В.И. Савенко
Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина
РАН,
Ленинский пр., д. 31, к. 4, г. Москва 119071, Россия
e-mail: visavenko@rambler.ru

Address for correspondence:

V.I. Savenko
A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of
the Russian Academy of Sciences,
Leninsky Ave., 31, building 4, Moscow 119071, Russia
e-mail: visavenko@rambler.ru

Для цитирования:

Л.И. Куксенова, В.И. Савенко.
Системно-структурный анализ трибологического поведения
антифрикционного материала в парах трения, функционирующих
в поверхностно-активных смазочных средах.
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 5. — С. 430—448.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-430-448

For citation:

L.I. Kuksenova and V.I. Savenko.
[System-Structural Analysis of Tribological Behavior of Antifric-
tion Material in Friction Pairs Operating in Surfactants].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 5, pp. 430—448 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-430-448

System-Structural Analysis of Tribological Behavior of Antifriction Material in Friction Pairs Operating in Surfactants

L.I. Kuksenova^{1,2} and V.I. Savenko²

¹A.A. Blagonravov Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences,
M. Kharitonevsky Lane, 4, Moscow 101000, Russia

²A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences,
Leninsky Ave., 31, building 4, Moscow 119071, Russia

Received 24.04.2024.

Revised 12.10.2024.

Accepted 14.10.2024.

Abstract

The results of testing a pair of reversible sliding friction “bronze BrA5 — steel 45” in dispersion-lubricating media characterized by varying degrees of surface activity with respect to bronze are presented. Changes in microstructural characteristics during tribo-deformation of metal were analyzed from the standpoint of the Rebinder effect, which determines the possibility of implementing the phenomenon of selective transfer (wear-free mode) during tribopair operation. It is shown that when bronze is rubbed in lubricant-dispersion media characterized by relatively low surface activity, the influence of the medium on the surface structure of the tribo-material is based on the realization of a surface-strengthening effect — the total density of dislocations in the deformed near-surface layer increases. The wear intensity in this case is $I_h \approx 1.5 \cdot 10^{-7}—4.0 \cdot 10^{-8}$. When bronze is rubbed in moderately surfactants, both surface-plasticizing and surface-hardening effects are realized with the predominance of the latter. At the same time, the wear intensity decreases slightly, taking values in the range of $I_h \approx 1,2 \cdot 10^{-7}—1,5 \cdot 10^{-8}$. During tribo-tests of bronze in environments with increased surface activity, the bronze wear intensity remains at a fairly low level: $I_h \approx 2.2 \cdot 10^{-8}—3.0 \cdot 10^{-8}$. However, in this case, two crystallographically isostructured solid solutions are formed in the near-surface layer of the tribomaterial, one of which is enriched with copper. Based on the concepts of the physical-chemical mechanics of contact interaction, the system-structural foundations of the material science approach, underlying the analysis of the tribological efficiency of liquids used as dispersion media for plastic lubricants are described.

Keywords: friction, wear, antifriction materials, lubricant-dispersion media, surfactants, Rebinder effect.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-430-448

Адрес для переписки:

В.И. Савенко
Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина
РАН,
Ленинский пр., д. 31, к. 4, з. Москва 119071, Россия
e-mail: visavenko@rambler.ru

Address for correspondence:

V.I. Savenko
A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of
the Russian Academy of Sciences,
Leninsky Ave., 31, building 4, Moscow 119071, Russia
e-mail: visavenko@rambler.ru

Для цитирования:

Л.И. Куксенова, В.И. Савенко.
Системно-структурный анализ трибологического поведения
антифрикционного материала в парах трения, функционирующих
в поверхностно-активных смазочных средах.
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 5. — С. 430—448.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-430-448

For citation:

L.I. Kuksenova and V.I. Savenko.
[System-Structural Analysis of Tribological Behavior of Antifriction
Material in Friction Pairs Operating in Surfactants].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 5, pp. 430—448 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-430-448

Список использованных источников

1. **Щукин Е.Д., Амелина Е.А., Кочанова Л.А., Савенко В.И.** Физико-химическая механика контактного взаимодействия // Трение и износ. — 1980, № 2, 247—262
2. **Ахматов А.С.** Молекулярная физика граничного трения. — М.: Физматгиз. — 1963
3. **Костецкий Б.И., Натансон М.Э., Бершадский Л.И.** Механо-химические процессы при граничном трении. — М.: Наука. — 1972
4. **Бродский Е.С., Лукашенко И.М., Заславский Р.Н. и др.** Полимеры трения, образующиеся на стальных поверхностях в среде бензола // Докл. АН СССР. — 1974 (214), № 3, 605—607
5. **Гаркунов Д.Н.** Триботехника. — М.: Изд-во МСХА. — 2002
6. **Савенко В.И.** Роль эффекта Ребиндера в реализации режима безызносности в триботехнике // Эффект безызносности и триботехнологии. — 1994, № 3—4, 26—38
7. **Куксенова Л.И., Лаптева В.Г., Колмаков А.Г., Рыбакова Л.М.** Методы испытаний на трение и износ. Справочник. — М.: Интернет Инжиниринг. — 2001
8. **Савенко В.И., Щукин Е.Д.** О соотношениях между феноменологическими и структурными критериями работы узлов трения // Трение и износ. — 1987 (8), № 4, 581—589
9. **Петухов В.Ю., Гумаров Г.Г.** Исследование поверхностных слоев твердых тел методом скользящего рентгеновского пучка. — Казань: КГУ. — 2009
10. **Щукин Е.Д., Савенко В.И., Малкин А.И.** Лекции по физико-химической механике. — М.: Нобель пресс. — 2015
11. **Щукин Е.Д., Савенко В.И., Кочанова Л.А.** Роль поверхности и среды в переходах «упругость-пластичность-хрупкость» в металлических кристаллах // Поверхность. — 1982, № 2, 25—41
12. **Рыбакова Л.М., Куксенова Л.И.** Структура и износостойкость металла. — М.: Машиностроение. — 1982
13. **Гегузин Я.Е.** Восходящая диффузия и диффузионное последствие // УФН. — 1986 (149), № 1, 149—151
14. **Флейшер Р., Хиббард У.** Упрочнение при образовании твердого раствора // Структура и механические свойства металлов. — М.: Metallurgiya. — 1967, 85—111
15. **Roscoe R.** Strength of Metal Single Crystals // Nature. — 1934 (133), 912—916

References

1. **Shchukin E.D., Amelina E.A., Kochanova L.A., Savenko V.I.** Physico-chemical mechanics of contact interaction // Friction and wear. — 1980, no. 2, 247—262
2. **Akhmatov A.S.** Molecular physics of boundary friction. — M.: Fizmatgiz. — 1963 (in Russian)
3. **Kostetsky B.I., Natanson M.E., Bershadsky L.I.** Mechanical and chemical processes under boundary friction. — M.: Nauka. — 1972 (in Russian)
4. **Brodsky E.S., Lukashenko I.M., Zaslavsky R.N., etc.** Friction polymers formed on steel surfaces in a ben-ash environment // Dokl. USSR Academy OF Sciences. — 1974 (214), № 3, 605-607
5. **Garkunov D.N.** Tribotechnika. — M.: Publishing House of the Ministry of Agriculture. — 2002 (in Russian)
6. **Savenko V.I.** The role of the Rebinder effect in the implementation of the wearlessness regime in tribotechnics // The effect of wearlessness and tribotechnologies. — 1994, № 3—4, 26—38
7. **Kuksenova L.I., Lapteva V.G., Kolmakov A.G., Rybakova L.M.** Test methods for friction and wear. Reference book. — M.: Internet Engineering. — 2001 (in Russian)
8. **Savenko V.I., Shchukin E.D.** On the relationship between the phenomenological and structural criteria for the operation of friction nodes. // Friction and wear. — 1987 (8), no. 4, 581—589
9. **Petukhov V.Yu., Gumarov G.G.** Investigation of surface layers of solids by the sliding X-ray beam method. — Kazan: KSU. — 2009 (in Russian)
10. **Shchukin E.D., Savenko V.I., Malkin A.I.** Lectures on physico-chemical mechanics. — M.: Nobel Press. — 2015 (in Russian)
11. **Shchukin E.D., Savenko V.I., and Kochanova L.A.** The role of the surface and the medium in the transitions “elasticity-plasticity-brittleness” in metallic crystals // Surface. — 1982, no. 2, 25—41
12. **Rybakova L.M., Kuksenova L.I.** Structure and wear resistance of metal. — M.: Mashinostroenie. — 1982 (in Russian)
13. **Geguzin Ya.E.** Ascending diffusion and diffusive aftereffect // UFN. — 1986 (149), № 1, 149—151
14. **Fleischer R., Hibbard U.** Hardening during solid solution formation // Structure and mechanical properties of metals. — M.: Metallurgy. — 1967, 85—111 (in Russian)
15. **Roscoe R.** Strength of Metal Single Crystals // Nature. — 1934 (133), 912—916

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