

УДК 621.81.004.12

Триботехнические и структурные характеристики модифицированных медью поверхностных слоев тяжелонагруженных сопряжений

Л.И. Куксенова^{1,2}, Д.А. Козлов¹, М.С. Алексеева^{1,3}

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

²МГТУ им. Н.Э. Баумана,
ул. 2-я Бауманская, д. 5, г. Москва 105005, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ),
ул. Радио, д. 17, г. Москва 105005, Россия

Поступила в редакцию 05.02.2021.

После доработки 25.10.2021.

Принята к публикации 25.10.2021.

С позиций взаимосвязи триботехнических и структурных характеристик металлических материалов показана эффективность покрытий на основе меди на сталях разного состава при трении в условиях тяжелонагруженного контакта. Проанализированы изменения износа пар трения сталь — сталь с покрытиями из латуни, нанесёнными фрикционным методом, медными покрытиями, нанесёнными газотермическим методом, ионной имплантацией и покрытиями плёнкой меди, сформированной в среде металлоплакирующей смазки. Описан процесс формирования износостойкого структурного состояния (поверхностного слоя с пониженной твёрдостью, низким значением физического уширением рентгеновских линий $7 \cdot 10^{-3}$ рад. и упрочнённого подповерхностного слоя). Показано, что независимо от технологии поверхности модификации меди или медным сплавом в зоне контактной деформации в результате самоорганизации структуры формируется вторичный модифицированный микрообъём с характерными для износостойкой структуры особенностями (пластифицированной поверхностью плёнкой и упрочнённым подповерхностным слоем). Реализация многослойной структуры зоны деформации при трении, структурно-чувствительные свойства материала которой подчиняются правилу положительного градиента механических свойств, обеспечивает повышение долговечности тяжелонагруженных пар трения.

Ключевые слова: износ, структура, поверхностные слои, модификация, медные сплавы, покрытия, смазочные среды.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-596-608

Адрес для переписки:

Л.И. Куксенова
Институт Машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,
М. Харитоньевский пер., д. 4, г. Москва 101000, Россия
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
ул. 2-я Бауманская, д. 5, г. Москва 105005, Россия
e-mail: lkukc@mail.ru

Address for correspondence:

L.I. Kuksenova
Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Mechanical
Engineering named after A.A. Blagonravov Russian Academy of
Sciences (IMASH RAN),
Maly Kharitonovsky lane, 4, Moscow 101000, Russia
Bauman Moscow State Technical University,
2nd Baumanskaya st., 5, Moscow, 105005 Russia
e-mail: lkukc@mail.ru

Для цитирования:

Л.И. Куксенова, Д.А. Козлов, М.С. Алексеева.
Триботехнические и структурные характеристики
модифицированных медью поверхностных слоев
тяжелонагруженных сопряжений.
Трение и износ.
2021. — Т. 42, № 5. — С. 596–608.
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-596-608

For citation:

L.I. Kuksenova, D.A. Kozlov, and M.S. Alekseeva.
[Tribotechnical and Structural Characteristics of Copper-Modified
Surface Layers of Extra High Loaded Friction Couples].
Trenie i Iznos.
2021, vol. 42, no. 5, pp. 596–608 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-596-608

Tribotechnical and Structural Characteristics of Copper-Modified Surface Layers of Extra High Loaded Friction Couples

L.I. Kuksenova^{1,2}, D.A. Kozlov¹, and M.S. Alekseeva^{1,3}

¹Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Mechanical Engineering named after A.A. Blagonravov Russian Academy of Sciences (IMASH RAN), Maly Kharitonovsky lane, 4, Moscow 101000, Russia

²Bauman Moscow State Technical University,
2nd Baumanskaya st., 5, building 1, Moscow, 105005, Russia

³All-Russian Research Institute of Aviation Materials (FSUE VIAM), st. Radio, 17, Moscow 105005, Russia

Received 05.02.2021.

Revised 25.10.2021.

Accepted 25.10.2021.

Abstract

From the standpoint of the relationship between the tribotechnical and structural characteristics of metallic materials, the effectiveness of copper-based coatings on steels of different compositions under friction under conditions of heavily loaded contact is shown. The wear losses of friction pairs steel — steel with brass coatings applied by the friction method, copper coatings applied by the thermal gas method, ion implantation, and coatings with a copper film formed in a metal-plating lubricant environment are estimated. The process of formation of a wear-resistant structural state (a surface layer with a reduced hardness, a low value of physical broadening of X-ray lines $7 \cdot 10^{-3}$ rad and hardened subsurface layer) is described. It is shown that, regardless of the technology of surface modification with copper or a copper alloy, in the zone of contact deformation, as a result of self-organization of the structure, a secondary modified microvolume is formed with features characteristic of a wear-resistant structure (plasticized surface film and hardened subsurface layer). The implementation of the multilayer structure of the friction deformation zone, the structure-sensitive properties of the material of which obey the rule of a positive gradient of mechanical properties, provides an increase in the durability of extra high loaded friction pairs.

Keywords: wear, structure, surface layers, modification, copper alloys, coatings, lubricating media.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-596-608

Адрес для переписки:

Л.И. Куксенова
Институт Машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,
М. Харитоньевский пер., д. 4, г. Москва 101000, Россия
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
ул. 2-я Бауманская, д. 5, г. Москва 105005, Россия
e-mail: lkukc@mail.ru

Address for correspondence:

L.I. Kuksenova
Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Mechanical Engineering named after A.A. Blagonravov Russian Academy of Sciences (IMASH RAN),
Maly Kharitonovsky lane, 4, Moscow, 101000, Russia,
Bauman Moscow State Technical University,
2nd Baumanskaya st., 5, Moscow, 105005, Russia
e-mail: lkukc@mail.ru

Для цитирования:

Л.И. Куксенова, Д.А. Козлов, М.С. Алексеева.
Триботехнические и структурные характеристики модифицированных медью поверхностных слоев тяжелонагруженных сопряжений.
Трение и износ.
2021. — Т. 42, № 5. — С. 596–608.
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-596-608

For citation:

L.I. Kuksenova, D.A. Kozlov, and M.S. Alekseeva.
[Tribotechnical and Structural Characteristics of Copper-Modified Surface Layers of Extra High Loaded Friction Couples].
Trenie i Iznos.
2021, vol. 42, no. 5, pp. 596–608 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-596-608

Список использованных источников

- Дьячкова Л.Н., Фельдштейн Е.З., Витязь П.А., Блох Б.М., Воронецкая Л.Я. Влияние содержания меди на трибологические характеристики композитов Fe-C-Cu // Трение и износ. — 2018 (39), № 1, 5—10
- Шелех В.К., Леванцевич М.А., Пилипчук К.В., Дема Р.Р. Исследование работоспособности медных покрытий, сформированных методами гальванического осаждения и деформационного плакирования гибким инструментом // Трение и износ. — 2018 (39), № 1, 11—17
- Сачек Б.Я., Мерзин А.М., Архипов В.Е., Лондарский А.Ф. Модифицирование поверхности трибосопряжений напылением металлических покрытий для повышения фrettингостойкости // Трение и износ. — 2018 (39), № 4, 376—381
- Потапов Г.К., Балабанов В.И. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) гильз цилиндров и шеек коленчатых валов двигателей // Эффект безызносности и триботехнологии. — 1994, № 3—4, 48—53
- Саврай Р., Малышина И.Ю., Макаров А.В., Осинцева А.Л., Роговая С.А., Колобылин Ю.М. Влияние лазерного легирования порошковыми смесями Cu-Zn-Ti и Si-Cu на структуру и свойства литейного алюминиевого сплава // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). — 2019 (21), № 4, 70—84
- Михайлов В.В., Агафий В.И., Янакевич А.И. Опыт применения электроискрового легирования для повышения износостойкости пар трения из нержавеющей стали X18H9T // Труды ГОСНИТИ. — 2013 (111), № 2, 63—65
- Кужаров А.С., Бурлакова В.Э., Задошенко Е.Г., Кужаров А.А., Бурлов А.С., Ураев А.И., Кравчик К., Гарновский А.Д. Триботехнические возможности координационных соединений меди при трении бронзы по стали // Трение и износ. — 2005 (26), № 6, 628—637
- Савенко В.И., Щукин Е.Д. О соотношениях между феноменологическими и структурными критериями работы узлов трения // Трение и износ. — 1987 (8), № 4, 581—589
- Савенко В.И., Щукин Е.Д. Об остаточных напряжениях, возникающих в упруго-пластичных материалах, деформированных в активных редах. Одноосное напряженное состояние // ФХММ. — 1987, № 2, 110—112
- Куксенова Л.И., Мамыкин С.М. Структура и свойства поверхностного слоя стали, сформированного металлоплакирующим смазочным материалом, и его влияние на характеристики сопряжения // Сб. тр. V международного научного форума с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии». —

- М.: Вики Веди. — 2019 (II), 109—113
- Куксенова Л.И., Рыбакова Л.М., Вячеславова Л.А., Дякин С.И., Титов В.В., Филатова Т.П. Повышение работоспособности тяжелонагруженных пар трения типа вал-втулка при использовании смазочного материала Атланта // Вестник машиностроения. — 1988, № 7, 11—16
 - Архипов В.Е., Лондарский А.Ф., Пугачев М.С., Поляков А.Н., Широкова Н.В., Хренникова И.А., Куксенова Л.И. Применение покрытий, полученных газодинамическим напылением, для узлов трения // Матер. 4-ой Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 80-летию ИМАШ РАН «Живучесть и конструкционное материаловедение Живком-2018». — ИМАШ РАН. — 2018, 38—40
 - Ягодкин Ю.Д. Ионно-лучевая обработка металлов и сплавов // Итоги науки и техники (металловедение и термическая обработка). — М.: ВИНТИ. — 1990 (24), 167—221

References

- Diachkova L.N., Feldshteyn E.Z., Vityaz P.A., Blokh B.M., Voronetskaya L.Ya. Vliyaniye soderzhaniya medi na tribologicheskiye kharakteristiki kompozitov Fe-C-Cu // Treniye i iznos. — 2018 (39), № 1, 5—10 (in Russian)
- Shelekh V.K., Levantsevich M.A., Pilipchuk K.V., Dema R.R. Issledovaniye rabotosposobnosti mednykh pokrytiy, sformirovannykh metodami galvanicheskogo osazhdeleniya i deformatsionnogo plakirovaniya gibkim instrumentom // Treniye i iznos. — 2018 (39), № 1, 11—17 (in Russian)
- Sachek B.Ya., Merzin A.M., Arkhipov V.E., Londarskiy A.F. Modifitsirovaniye poverkhnosti tribosopryazheniy napyleniyem metallicheskikh pokrytiy dlya povysheniya frettingostoykosti // Treniye i iznos. — 2018 (39), № 4, 376—381 (in Russian)
- Potapov G.K., Balabanov V.I. Finishnaya antifriktionsnaya bezabrazivnaya obrabotka (FABO) gilz tsilindrov i sheyek kolenchatykh valov dvigatelyi // Effekt bezyznosnosti i tribotekhnologii. — 1994, № 3—4, 48 (in Russian)
- Savray R., Malyshina I.Yu., Makarov A.V., Osintseva A.L., Rogovaya S.A., Kolobylin Yu.M. Vliyaniye lazernogo legirovaniya poroshkovymi smesyami Cu-Zn-Ti i Si-Cu na strukturu i svoystva liteynogo alyuminiyevogo splava // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovaniye, instrumenty). — 2019 (21), № 4, 70—84 (in Russian)
- Mikhaylov V.V., Agafiy V.I., Yanakevich A.I. Opyt primeneniya elektroiskrovogo legirovaniya dlya povysheniya iznosostoykosti par treniya iz nerzhaveyushchey stali Kh18N9T // Trudy GOSNITI. — 2013 (111), № 2, 63—65 (in Russian)
- Kuzharov A.S., Burlakova V.E., Zadoshenko E.G., Kuzharov A.A., Burlov A.S.,

- Urayev A.I., Kravchik K., Garnovskiy A.D.** Tribotekhnicheskiye vozmozhnosti koordinatsionnykh soyedineniy medi pri trenii brony po stali // Treniye i iznos. — 2005 (26) № 6, 628—637 (in Russian)
8. **Savenko V.I., Shchukin E.D.** O sootnosheniyakh mezhdu fenomenologicheskimi i strukturnymi kriteriyami raboty uzlov treniya // Treniye i iznos. — 1987 (8), № 4, 581—589 (in Russian)
9. **Savenko V.I., Shchukin E.D.** Ob ostatochnykh napryazheniyakh, vznikayushchikh v uprugo-plastichnykh materialakh, deformirovannykh v aktivnykh redakh. Odnoosnoye napryazhennoye sostoyaniye // FKhMM. — 1987, № 2, 110—112 (in Russian)
10. **Kuksenova L.I., Mamykin S.M.** Struktura i svoystva poverkhnostnogo sloya stali, sformirovannogo metalloplakiruyushchim smazochnym materialom, i ego vliyanie na kharakteristiki sopryazheniya // Sb. trudov V mezhdistsiplinarnogo nauchnogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem «Novyye materialy i perspektivnyye tekhnologii». — M.: Vuki Vedi. — 2019 (II), 109—113 (in Russian)
11. **Kuksenova L.I., Rybakova L.M., Vyacheslavova L.A., Dyakin S.I., Titov V.V., Filatova T.P.** Povysheniye rabotosposobnosti tyazhelonagruzhennykh par treniya tipa val-vtulka pri ispolzovanii smazochnogo materiala Atlanta // Vektnik mashinostroyeniya. — 1988, № 7, 11—16 (in Russian)
12. **Arhipov V.E., Londarskiy A.F., Pugachev M.S., Polyakov A.N., Shirokova N.V., Khrennikova I.A., Kuksenova L.I.** Primeneniye pokrytiy, poluchennykh gazodinamicheskim napyleniem, dlya uzlov treniya // Materialy 4-oy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu IMASh RAN «Zhivuchest i konstruktsionnoye materialovedeniye Zhivkom-2018». — Moscow: IMASh RAN. — 2018, 38—40 (in Russian)
13. **Yagodkin Yu.D.** Ionno-luchevaya obrabotka metallov i splavov. Itogi nauki i tekhniki (metallovedeniye i termicheskaya obrabotka). — M.: VINITI. — 1990 (24), 167—221 (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