УДК 539.538:669.28

ИЗНОС МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СУХОМ СКОЛЬЖЕНИИ С ТОКОСЪЕМОМ ПО МОЛИБДЕНУ

М. И. АЛЕУТДИНОВА, канд. техн. наук, В. В. ФАДИН, канд. техн. наук

ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения» СО РАН,
634056, Томск, Академический пр., 2/4. E-mail: aleut@ispms.ru

Поступила в редакцию 10.02.2020
После доработки 19.03.2020
Принята к публикации 19.03.2020

Изучена возможность достижения высокой электропроводности сухого скользящего электроконтакта за счет применения контртела из молибдена. Обнаружено, что металлы Cu и W не способны формировать скользящий электроконтакт с высокой износостойкостью при плотности тока выше 100 А/см^2. Рентгеновским фазовым анализом было показано отсутствие окислов в зоне скольжения при использовании цветных металлов. Это обусловило их сильный износ и низкую электропроводность контакта. Характеристики контактов металлов, содержащих железо, были не намного лучше характеристик контактов цветных металлов из-за слабой адгезии, но в зоне контакта этих образцов наблюдалось образование FeO, что позволяло уменьшить износ. Тем не менее, исследования показали, что высокая электропроводность при скольжении с токосъемом по молибдену недостижима.

Ключевые слова: структура и фазовый состав поверхностного слоя, вязкое пластическое течение слоя переноса, разрушение и износ поверхности скольжения, скользящий электроконтакт, электропроводность скользящего контакта.

Введение

Известно [1, 2], что промышленные сухие скользящие электроконтакты по медному контртелу осуществляются обычно при плотности тока в контакте менее 60 А/см^2. Первичная структура токосъемных материалов, как правило, имеет в своей основе графит [3, 4]. Поэтому удельная электропроводность контакта не превышает 75 См/см^2. Для скольжения с высокой плотностью тока (более 100 А/см^2) необходимо повышение электропроводности контакта. Это возможно осуществить в условиях граничной [3] или газовой смазки [5, 6] с применением материалов, содержащих медь. Однако применение смазки не всегда допустимо, например, в разреженной или бескислородной атмосфере, при пониженных или повышенных температурах, при ограничениях в конструкции узла трения и т. п.

При изменении первичной структуры токосъемного материала для сухого скольжения по меди с высокой плотностью тока происходит быстрое разрушение поверхности скольжения меди [7, 8]. Поэтому представляется целесообразным выбрать контртело для эффективной работы в данных условиях. Очевидно, что такое контртело должно иметь низкое удельное электросопротивление и твердость, превышающую твердость меди. Этим требованиям удовлетворяет молибден. Ранее было показано [9], что на поверхности скольжения молибдена образуется слой переноса, и он вполне может служить контртелом в сухом скользящем токосъеме с высокой плотностью тока. Но целесообразность его применения можно установить только экспериментально. В общем случае низкое электросопротивление контакта реализуется при низких удельных электросопротивлениях контактирующих материалов в соответствии с формулой Хольма [2]

$$r = 0{,}25\cdot(\rho_1 + \rho_2)/a\cdot n,$$

где ρ_1 и ρ_2 – удельное электросопротивление контактирующих материалов;

a – средний радиус пятен контакта;

n – количество пятен контакта.

Это значит, что токосъемный материал должен содержать медь или другой металл с высокой электропроводностью, например вольфрам, медьсодержащие композиты и т. п. Следует учесть, что в поверхностном слое токосъемный материал в процессе трения может иметь свойства, отличные от свойств первичной структуры, и что поверхностные слои насыщены деформационными дефектами и их удельное электросопротивление несколько выше, чем электросопротивление первичных структур, а образующиеся окисные пленки могут быть слишком тонкими. Эти факторы, приводящие к снижению электропроводности контакта, не могут быть удовлетворительно учтены в формуле Хольма. Это один из признаков того, что пути к повышению электропроводности скользящего контакта могут быть найдены только экспериментально.

Следует отметить, что значения удельной поверхностной электропроводности более 1000 См/см^2 контакта и интенсивности изнашивания <<1 мкм/км наблюдаются при скольжении пучка бронзовых волокон во фторопластовой обойме по медному контртелу в среде влажного CO_2 [5, 6]. Но эти условия имеют свою специфику и представляется более актуальным изучить возможности увеличения электропроводности при скольжении в среде сухого воздуха. Скольжение металлических композитов по стальному контртелу на воздухе происходит при электропроводности контакта около 300 См/см^2 и интенсивности изнашивания более 10 мкм/км [10]. Эти данные могут служить ориентирами при получении начальных представлений о триботехническом поведении металлов при скольжении по молибдену и при определении целесообразности применения молибдена в сухом скользящем электроконтакте. Начальные сведения о скольжении металлов по молибдену под воздействием электрического тока удобно получать, применив вольфрам, медь, или сталь в качестве модельных токосъемных материалов.

Цель настоящей работы – изучение характера триботехнического контакта металлов при сухом скольжении по молибдену под воздействием электрического тока.

Материалы и методика эксперимента

Контртело получено путем вакуумной электронно-лучевой наплавки порошкового молибдена марки ПМЧ (>99 %Mo) на стальной диск. Вольфрам марки ВА, наклепанная сталь Ст3 (НВ270), медь М1 и комбинированный образец Ст3 + Cu служили в качестве токосъемных материалов. Половина поверхности скольжения комбинированного образца состояла из стали Ст3, другая половина – из меди.

Металлографическое изучение образцов было проведено на оптическом микроскопе Альтами МЕТ 1С. Рентгеновский фазовый анализ поверхностных слоев осуществляли с помощью дифрактометра ДРОН-3. Поверхности скольжения изучали с помощью микроскопа Альтами МЕТ 1С и растрового электронного микроскопа РЭМ-200. Нагружение материалов трением проведено без смазки под воздействием переменного тока (50 Гц), при давлении p = 0,02–0,13 МПа, скорости скольжения (v = 5–10 м/с) на машине трения СМТ-1 по схеме вал – колодка (точнее pin-on-ring [11, 12]). Линейная интенсивность изнашивания определена как $I_h = h/L$, где h – изменение высоты образца на дистанции скольжения L = 9 км. Контактная плотность тока определена как $j = i/A_a$, где i – ток, протекающий через номинальную площадь контакта A_a.

Результаты эксперимента

Целесообразность проведения подробных исследований структуры поверхностных слоев следует определить по данным о максимально достижимой электропроводности контакта. Из данных таблицы видно, что удельная поверхностная электропроводность $r_s^{-1} = j/U$ (U – контактное падение напряжения) имеет низкие

значения. Это связано с низкими максимально достижимыми плотностями тока при заданных давлениях и при заданных скоростях скольжения. Кроме того, наблюдались резкие и частые изменения тока и контактного падения напряжения, что характерно для прерывистого скользящего контакта вследствие адгезии в интерфейсе. Видно также, что интенсивность изнашивания I_h имеет вполне высокие значения.

НЕКОТОРЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИХ СУХОМ СКОЛЬЖЕНИИ ПО МОЛИБДЕНУ

Материал	j_{max}, А/см^2	$r_{s\text{-}max}^{-1}$, См/см^2	I_h, мкм/км
W	150–170	13–21	40–80
Сталь Ст3	70–120	10–19	15–23
Cu	<9	<4	>300
Комбинация Ст3 + Cu	180–200	30–40	5–57

Во время скольжения любого из образцов (например, рис. 1, *а*) значительной пластической деформации поверхностного слоя молибдена не происходит. Поверхность скольжения молибдена покрыта слоем переноса, содержащего следы адгезии после контакта с металлами (рис. 1, *б–г*), применяемыми в настоящей работе. Но в целом эти слои переноса незначительно отличаются друг от друга. Особенно сильное адгезионное взаимодействие с молибденом проявляет медь. В этом случае медь намазывается на молибден, образуется толстый слой переноса меди, реализуется высокая интенсивность изнашивания I_h и низкая максимально достижимая удельная электропроводность $r_{s–max}^{-1}$ скользящего контакта Cu/Mo (см. таблицу).

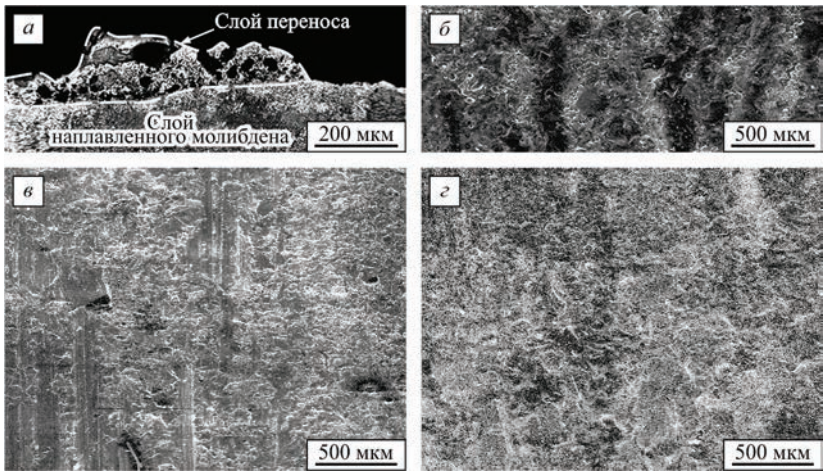


Рис. 1. Сечение поверхностного слоя наплавленного молибдена и слоя переноса после скользящего контакта W/Mo (*а*), изношенные поверхности скольжения молибденового контртела после контактов с вольфрамом (*б*), со сталью Ст3 (*в*), с комбинированным образцом Ст3 + Cu (*г*)

Образование слоя переноса и следы адгезии наблюдаются также на поверхности скольжения всех образцов. Визуально слои переноса незначительно отличаются друг от друга. Поэтому для примера представлено изображение изношенной поверхности только вольфрама (рис. 2, *а*). Также наблюдаются незначительные следы локального плавления после скольжения с током. Цвета на поверхности скольжения вольфрама позволяют предположить присутствие в зоне контакта $WO_{2,9}$ (синий цвет) и WO_2 (темно-коричневый цвет). Признаков окисла WO_3 (желтый цвет) не наблюдается.

Очевидно, что различие функциональных характеристик контакта определяется первичной структурой металла и структурой поверхностных слоев. Видно

(рис. 2, *б*), что рентгенограмма *1* поверхности скольжения молибдена после контакта со сталью Ст3 содержит пики γ-Fe, α-Fe и FeO и пики молибдена. Скольжение комбинированного образца Ст3 + Cu вызывает образование поверхности скольжения молибдена, структура которой характеризуется рентгеновскими пиками γ-фазы, слабые пики α-Fe и FeO. Рентгенограмма *3* поверхности скольжения молибдена после скольжения вольфрама содержит слабые пики молибдена и несколько широких пиков, полуширина которых составляет 0,6–1,2°. Изучение рентгенограмм в интервале углов 2θ = 20–35° показало отсутствие наиболее сильных пиков MoO_3 и других окислов.

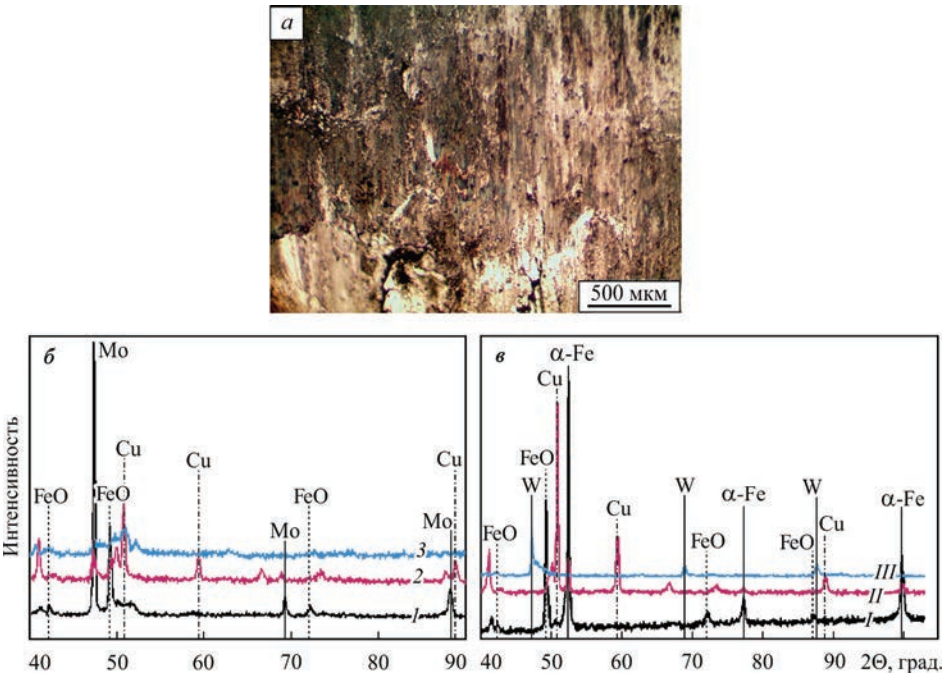


Рис. 2. Поверхность вольфрама после скольжения по молибдену без тока (*а*) и рентгенограммы поверхностей скольжения молибдена (*б*) после контакта со сталью Ст3 (*1*), с образцом Ст3 + Cu (*2*), с вольфрамом (*3*), а также (*в*) рентгенограммы поверхностей скольжения стали Ст3 (*I*), комбинированного образца Ст3 + Cu (*II*) и вольфрама (*III*)

Рентгенограммы поверхностей скольжения всех образцов не содержат пиков молибдена, т. е. отсутствует перенос молибдена на поверхность скольжения образцов (рис. 2). Из рентгенограммы *I* (рис. 2, *в*) следует, что поверхность трения Ст3 состоит только из α-Fe и FeO. Рентгенограмма *II* поверхности скольжения комбинированного образца Ст3 + Cu содержит пики меди, α-Fe, FeO и три отдельных неиндексируемых пика неизвестных химических соединений, которые образовались при трении. Рентгенограмма *III* поверхности скольжения вольфрама содержит пики вольфрама и один или два широких неиндексируемых пика неизвестных фаз. Изучение фрагментов рентгенограмм в интервале 2θ = 20–35° показало отсутствие равновесных окислов вольфрама или молибдена.

Обсуждение результатов эксперимента

Представленное выше различие фазовых составов поверхностей скольжения обусловливает различие характера контактного взаимодействия. Присутствие адгезии в сухом контакте всегда указывает на низкое содержание окислов или твердых смазок в интерфейсе. Окислы разделяют пятна контакта, т. е. играют роль смазки и одновременно упрочняют поверхностные слои [10, 12–14]. Это значит,

что при отсутствии окислов следует ожидать адгезионного разрушения зоны контакта. Отсутствие окислов в контакте W/Mo (рис. 2, *б–в*) приводит к адгезионному разрушению поверхности скольжения и к высокой интенсивности изнашивания I_h (см. таблицу). Кроме того, адгезия всегда приводит к низкой электропроводности контакта, что обусловлено возникновением скачкообразного движения образца по контртелу и частым прерыванием контакта, т. е. во время прыжка образца ток существует только в виде разряда и сила тока устремляется к нулю [10, 15]. Поэтому средняя электропроводность скользящего контакта W/Mo имеет низкие значения и не может быть увеличена в присутствии адгезии.

Низкая электропроводность контакта наблюдалась также при скольжении вольфрама по стали, несмотря на присутствие некоторого количества FeO в зоне контакта [12]. В условиях адгезии должен изнашиваться вольфрам, так как внешнее воздействие на его номинальную поверхность скольжения является непрерывным в отличие от циклического нагружения участков поверхности скольжения молибдена. Но иногда образец может разрушать поверхность трения контртела, как это наблюдалось в [12]. В общем случае пленки окислов в контактах W/Mo и W/сталь недостаточно прочны для уменьшения износа. Химические соединения, возникшие в процессе трения в интерфейсе, способствуют дополнительному разрушению поверхностных слоев. Эти сведения подтверждают сделанный ранее вывод [8–11, 15] о том, что низкая электропроводность контакта сопровождается высокой интенсивностью изнашивания. Поэтому перспектива применения вольфрама в скользящем электроконтакте отсутствует, так как на поверхности скольжения вольфрама невозможно сохранить окислы вследствие высокой твердости вольфрама (HV > 3 ГПа).

Возникновение адгезионного разрушения медного поверхностного слоя и его сильного износа обусловлено, в первую очередь, невозможностью образования оксидов в контакте Cu/Mo. Образцы, содержащие сталь, образуют FeO на поверхностях трения (рис. 2, *б–в*), так как сталь окисляется заметно легче по сравнению с молибденом и вольфрамом. Кроме того, некоторое количество этого оксида способно закрепляться в интерфейсе и играть роль твердой смазки, т. е. реализуется низкая интенсивность изнашивания (см. таблицу) по сравнению с I_h вольфрама или меди. Однако следует признать, что количество окислов невелико, так как интенсивность изнашивания образцов на основе стали заметно выше, чем I_h скользящих контактов, представленных в [5, 6, 10, 11]. Прежние наблюдения позволили утверждать, что увеличение количества фаз в первичной структуре или в поверхностном слое способствует разрушению поверхностного слоя при скольжении [10, 11]. Это значит, что химические соединения, возникшие в контактах Ст3/Mo и (Ст3 + Cu)/Mo на поверхностях трения, также активируют износ. Более высокая электропроводность контакта и максимально достижимая плотность тока в контакте (Ст3 + Cu)/Mo обусловлена более высокими теплопроводностью и удельной электропроводностью комбинированного образца вследствие присутствия меди. Это способствует более непрерывному контакту образца с контртелом, так как адгезионное взаимодействие в этом случае несколько ниже, чем в контактах других рассмотренных образцов. Однако в целом характер контактирования и характеристики контакта при скольжении металлов по молибдену под воздействием электрического тока нельзя признать удовлетворительными. Это позволяет утверждать, что не представляется целесообразным применять молибден в качестве контртела для скользящего электроконтакта. Поэтому более подробное изучение структур поверхностных слоев металлов и молибденового контртела после их взаимного скольжения, а также определение коэффициента трения при заданных входных параметрах настоящей трибосистемы не может быть актуальным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сухое скольжение металлов по контртелу из молибдена под воздействием электрического тока можно характеризовать следующими признаками:

– на поверхности скольжения молибденового контртела и металлических образцов наблюдается образование слоев переноса и их слабое вязкое пластическое течение;

– в структуре поверхности скольжения комбинированного образца Ст3 + Cu и вольфрама наблюдается образование неиндексируемых химических соединений;

– скольжение меди и вольфрама по молибдену происходит без образования окислов на поверхностях трения, что приводит к низкой электропроводности контакта и к сильному адгезионному изнашиванию;

– первичные структуры образцов, содержащих сталь, способны образовать FeO в интерфейсе;

– присутствие FeO на поверхностях скольжения приводит к снижению износа и к увеличению электропроводности контакта;

– скольжение металлов по молибдену с токосъемом происходит с адгезией, что приводит к неравномерному движению образца, к неудовлетворительному характеру контакта, к резким и частым колебаниям тока;

Эти факторы не позволяют рекомендовать молибден в качестве контртела для осуществления скользящего токосъема.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы, направление III.23.

ЛИТЕРАТУРА

1. Braunovich M., Konchits V. V., Myshkin N. K. Electrical contacts. Fundamentals, Applications and Technology. – New York: CRC Press, 2007. – 640 p.

2. Holm R. Electrical Contacts. – New York: Springer, 1979. – 484 p.

3. Берент В. Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта. – М.: Интекст, 2005. – 408 с.

4. Лившиц П. С. Справочник по щеткам электрических машин. – М.: Энергоатомиздат. – 1983. – 216 с.

5. Bares J. A., Argibay N., Mauntler N., Dudder G. J., Perry S. S., Bourne G. R., Sawyer W. G. High current density copper-on-copper sliding electrical contacts at low sliding velocities // Wear. – 2009. – V. 267. – P. 417–424.

6. Argibay N., Sawyer W. G. Low wear metal sliding electrical contacts at high current density // Wear. – 2012. – V. 274–275. – P. 229–237.

7. Kovalchenko A. M., Blau P. J., Qu J., Danyluk S. Scuffing tendencies of different metals against copper under non-lubricated conditions // Wear. – 2011. – V. 271 – P. 2998–3006.

8. Aleutdinova M. I., Fadin V. V., Rubtsov V. Ye., Aleutdinov K. A. Wear resistance of friction pair of metal composite/copper under electric current // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – V. 156. – 012027. DOI:10.1088/1757-899X/156/1/012027.

9. Алеутдинова, М. И., Фадин В. В., Дураков В. Г. Износостойкость спеченных металлических композитов при трении по молибдену в условиях скользящего токосъема // Вопросы материаловедения. – 2010. – № 2 (62). – С. 96–103.

10. Aleutdinova M. I., Fadin V. V. The role of FeO in creating of multi-level structure of the surface layer of metallic materials in the dry slip zone under electric current of high density // AIP Conference Proceedings. – 2019. – V. 2167. – 020012: https://doi.org/10.1063/1.5131879.

11. Алеутдинова М. И., Фадин В. В. Износостойкость углеродистых сталей под воздействием трения и электрического тока высокой плотности // Вопросы материаловедения. – 2015. –№ 3 (83). – С. 47–53.

12. Aniołek K., Kupka M., Barylski A. Sliding wear resistance of oxide layers formed on a titanium surface during thermal oxidation // Wear. – 2016. – V. 356–357. – P. 23–29.

13. Hager Jr C. H., Evans R. D. Friction and wear properties of black oxide surfaces in rolling/sliding contacts // Wear. – 2015. – V. 338–339. – P. 221–231.

14. Wesmann J. A. R., Espallargas N. Elucidating the complex role of surface oxides formed during sliding of self-mated warm sprayed WC–CoCr in different environments // Tribology International. – 2016. – V. 94. – P. 360–372.

15. Алеутдинова М. И., Фадин В. В., Миронов Ю. П. Характер контактного взаимодействия при сухом скольжении вольфрама по стали под воздействием электрического тока высокой плотности // Вопросы материаловедения. – 2019 – № 1 (97). – С. 101–109. https://doi.org/10.22349/1994-6716-2019-97-1-101-109.

WEAR BEHAVIOUR OF METALS IN DRY SLIDING AGAINST MOLYBDENUM WITH CURRENT COLLECTION

M.I. ALEUTDINOVA, Cand. Sc. (Eng), V.V. FADIN, Cand. Sc. (Eng)

Institute of Strength Physics and Materials Science of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (ISPMS SB RAS), 2/4 Pr. Akademichesky, 634056 Tomsk, Russian Federation. E-mail: aleut@ispms.ru

Received February 10, 2020
Revised March 19, 2020
Accepted March 19, 2020

Abstract—The possibility of high electrical conductivity of dry sliding electrical contact against molybdenum counterbody was studied. It was found that metals W and Cu were not able to form a sliding electrical contact with high wear resistance at current density higher 100 A/cm^2. The characteristics of the contacts of iron containing metals were slightly better than the contact characteristics of non-ferrous metals due to weaker adhesion. Using X-ray phase analysis, it was shown the absence of oxides in the sliding zone of non-ferrous metals. This led to their strong wear and contact's low electrical conductivity. In the contact zone of iron containing samples the formation of FeO was observed that made it possible to reduce wear. This means that high electrical conductivity is unattainable in sliding with current collection against molybdenum.

Keywords: structure and phase composition of the surface layer, viscous plastic flow of the transfer layer, deterioration and wear of the sliding surface, sliding electrical contact, electrical conductivity of the sliding contact.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was carried out within the framework of the Program of Basic Scientific Research of the National Academies of Sciences for 2013–20 (part 3, section 23).

DOI: 10.22349/1994-6716-2020-101-1-118-125

REFERENCES

1. Braunovich, M., Konchits, V.V., Myshkin, N.K., *Electrical contacts. Fundamentals, Applications and Technology*, New York, CRC Press, 2007.

2. Holm, R., *Electrical Contacts*, New York: Springer, 1979.

3. Berent, V.Ya., *Materialy i svoistva elektricheskikh kontaktov v ustroistvakh zheleznodorozhnogo transporta* [Materials and properties of electrical contacts in railway transport devices], Moscow: Intekst, 2005.

4. Lishchitz, P.S., *Spravochnik po shchyotkam elektricheskikh mashin* [Handbook of Electric Machine Brushes], Moscow: Energoatomizdat, 1983.

5. Bares, J.A., Argibay, N., Mauntler, N., Dudder, G.J., Perry, S.S., Bourne, G.R., Sawyer, W.G., High current density copper-on-copper sliding electrical contacts at low sliding velocities, *Wear*, 2009, V. 267, pp. 417–424.

6. Argibay, N., Sawyer, W.G., Low wear metal sliding electrical contacts at high current density, *Wear*, 2012, V. 274–275, pp. 229–237.

7. Kovalchenko, A.M., Blau, P.J., Qu, J., Danyluk, S., Scuffing tendencies of different metals against copper under non-lubricated conditions, *Wear*, 2011, V. 271, pp. 2998–3006.

8. Aleutdinova, M.I., Fadin, V.V., Rubtsov, V.Ye., Aleutdinov, K.A. Wear resistance of friction pair of metal composite/copper under electric current, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2016, V. 156, p. 012027. doi:10.1088/1757-899X/156/1/012027.

9. Aleutdinova, M.I., Fadin,V.V., Durakov, V.G., Iznosostoikost spechennykh metallicheskikh kompozitov pri trenii po molibdenu v usloviyakh skolzyashchego tokosyoma [Wear resistance of sintered metallic composites in pair with the molybdenum on friction at sliding current collection], *Voprosy Materialovedeniya*, 2010, No 2 (62), pp. 96–103.

10. Aleutdinova, M.I., Fadin, V.V., The role of FeO in creating of multi-level structure of the surface layer of metallic materials in the dry slip zone under electric current of high density, *AIP Conference Proceedings*, 2019, V. 2167, 020012: https://doi.org/10.1063/1.5131879.

11. Aleutdinova, M.I., Fadin, V.V., Iznosostoikost uglerodistykh stalei pod vozdeistviem trenia i elektricheskogo toka vysokoi plotnosti [Wear-resistance of carbonaceous steels under impact of friction and high-density electricity], *Voprosy Materialovedeniya*, 2015, No 3 (83), pp. 47–53.

12. Aniołek, K., Kupka, M., Barylski, A., Sliding wear resistance of oxide layers formed on a titanium surface during thermal oxidation, *Wear*, 2016, V. 356–357, pp. 23–29.

13. Hager Jr, C.H., Evans, R.D., Friction and wear properties of black oxide surfaces in rolling/sliding contacts, *Wear*, 2015, V. 338–339, pp. 221–231.

14. Wesmann, J.A.R., Espallargas, N., Elucidating the complex role of surface oxides formed during sliding of self-mated warm sprayed WC–CoCr in different environments, *Tribology International*, 2016, V. 94, pp. 360–372.

15. Aleutdinova, M.I., Fadin, V.V., Mironov, Yu.P., Kharakter kontaktnogo vzaimodejstviya pri sukhom skolzhenii volframa po stali pod vozdeistviem elektricheskogo toka vysokoi plotnosti [Interaction of tungsten in dry sliding against steel under high density electric current], *Voprosy Materialovedeniya*, 2018, No 4 (96), pp. 101–109. https://doi.org/10.22349/1994-6716-2019-97-1-101-109.