

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.2(87).14733

В. Б. МЕЛЬНИК, О. В. РАДЬКО, С. В. ФЕДОРЧУК

*Національний авіаційний університет, Україна***ПРОЦЕСИ ФОРМУВАННЯ МАСТИЛЬНОГО ШАРУ ПРИ ТЕРТІ СТАЛІ ПО НЕСТАЛЕВИМ МЕТАЛЕВИМ ПОВЕРХНЯМ**

*Викладені результати дослідження змащувальних процесів при терті пар сталь-бронза та сталь-спечений матеріал. Показано зв'язок між товщиною мастильного шару, моментом тертя та зносом поверхонь. Установлено, що більшому зносу відповідають менші втрати на тертя, тобто втрати на деформування і руйнування поверхні металу є малими порівняно з силами тертя в змащувальному шарі, а протизносні характеристики значною мірою визначаються здатністю матеріалів до утворення в результаті взаємодії з мастилом граничних структур з різними реологічними, фізико-хімічними та хімічними властивостями.*

**Ключові слова:** *змащувальна дія, мастильні матеріали, зношування, самогенеруюча органічна плівка, спечений матеріал, мастильний шар, адсорбційний, хемосорбційний шар*

**Вступ.** У нерівнозважених умовах змащеного трибологічного контакту формуються трибологічні структури, властивості яких визначають рівень трибологічних процесів. Такі структури функціонують тільки безпосередньо в процесі тертя. Про їх існування свідчать вторинні структури, найтонші шари на поверхнях тертя, це: аморфізовані шари чистих металів, структури Бельбі, Гаркунова, матові шари на поверхнях циліндрів поршневих двигунів, хемосорбційні самогенеруючі органічні плівки (СОП). Формування трибоструктур – досить тонкий індивідуальний процес, який залежить від безлічі внутрішніх і зовнішніх факторів. У роботі [1] встановлено методом оже-спектроскопії, що при терті бронзи Бр.АЖМц 10-3-1,5 в маслі АМГ-10 по сталі ШХ-15 на поверхні бронзи утворюється вторинна структура товщиною 70-100нм, яка містить до 90% вуглецю. Вуглець приєднується до поверхневих атомів металу при механодеструкції молекул мастил, які містять вуглець. Якщо в цій системі замінити сталь на детонаційні системи TiC – Co, то відбудеться вибіркоче розчинення легуючих елементів з бронзи. В результаті взаємного перенесення на поверхні бронзи утворюється шар аморфізованої міді товщиною 400-700нм. Наведені результати свідчать про те, що процес формування трибологічних структур складним чином залежить від складу твердих тіл, застосування ж нового матеріалу призводить до зміни якісної картини процесу.

У роботі [2] наводяться результати досліджень змащувальних процесів при терті пар сталь-бронза та сталь-спечений матеріал. З цих даних випливає, що спечені матеріали утворюють СОП в більшій мірі, ніж сталеві. Останнє пояснюється, перш за все, пористою структурою в поверхневих шарах спеченого матеріалу, що сприяє інтенсифікації окисно-полімеризаційних процесів, спрямованих на утворення СОП.

З наведених результатів досліджень випливає, що процеси формування трибологічних структур при терті сталі по несталевих металевих поверхнях, зокре-

ма бронзових, відрізняються від процесів, що протікають при терті по сталі. що пояснює менший знос черв'ячних коліс, виготовлених зі спечених матеріалів, порівняно з колесами з олов'янистих бронз. Такий знос мав місце у промислових випробуваннях редукторів типу РЧП-80 і РЧУ-80. Причиною цього, очевидно, є шари СОП, що утворюються на поверхнях тертя на відміну від випробувань бронзових коліс, де таких шарів не спостерігалось.

Необхідно відзначити той факт, що мастильні шари типу СОП повністю не руйнуються в період запуску і зупинки. Такий режим характерний для роботи багатьох редукторів в різних умовах їх експлуатації. Відомо, що саме на цей період припадає основна частка зносу пар тертя [3]. Дослідження СОП представляють нові дані про природу змащувальної дії, в першу чергу – про вплив граничних процесів на знос і тертя.

**Постановка завдання.** Завданнями даної роботи є дослідження змащувальних процесів при терті пар сталь-бронза та сталь-спечений матеріал, а також визначення зв'язку між товщиною мастильного шару, моментом тертя та зносом поверхонь.

**Методика досліджень.** Дослідження змащувальної дії, антифрикційних та протизносних властивостей в умовах контакту сталь-спечений матеріал проводилося на парах роликів – ролик що обертається зі сталі 40Х / діаметр 50 мм, HRC-50 / і нерухомий циліндричний ролик / діаметр 40 мм / з бронзи ОФЮ-1/ НВ-103 / або із спеченого матеріалу ЖД5Ф1М<sub>6</sub>S<sub>2</sub>2 /НВ103/.

Спечений матеріал виготовлений методами порошкової металургії. Подібне поєднання матеріалів знаходить все більш широке застосування в вузлах тертя і, зокрема, в черв'ячних передачах. В якості мастила використовувалось індустріальне масло І-40А. Умови випробувань наступні: швидкість ковзання – 0,26; 0,52 та 0,78 м/с; навантаження – 500 Н.

Величину зносу визначали за допомогою вимірювань ширини зони контакту за допомогою мікроскопу, на нерухомому ролику, момент тертя – методом тензометрування, а товщини мастильних шарів – за методикою, викладеною в [4].

**Результати дослідження та їх обговорення.** Отримані результати наведені рис. 1. та рис. 2.

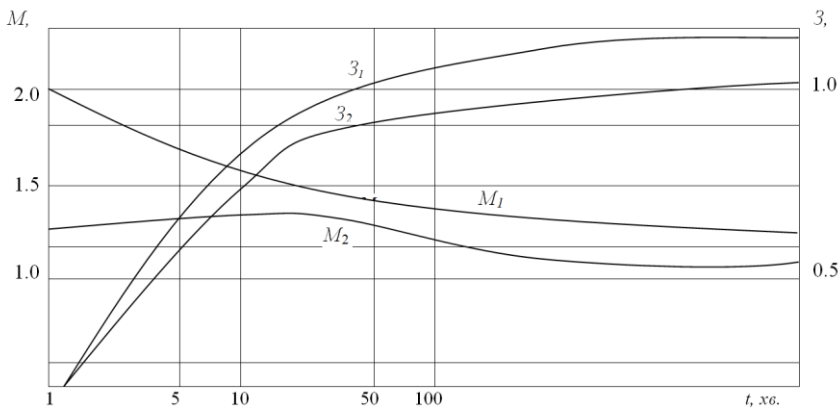


Рис. 1. Зміна моменту тертя  $M$  та зносу  $Z$ . Індекси 1 відповідають випробуванням пари сталь-бронза, індекси 2 – пари сталь-спечений матеріал. Швидкість ковзання 0,52 м/с.

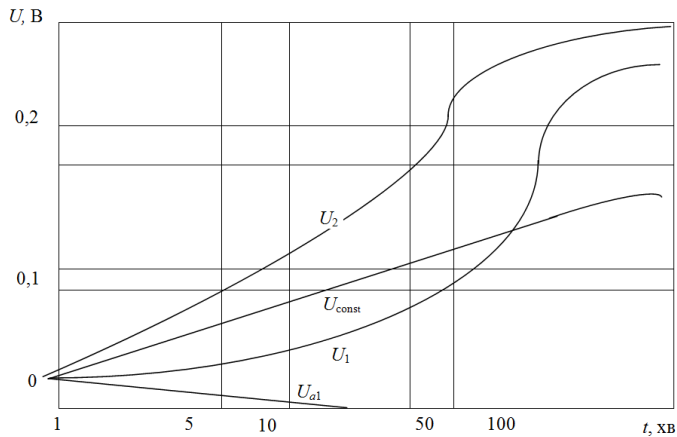


Рис. 2. Зміна падіння електричної напруги по всій товщині змащувального шару  $U$ , на адсорбційних  $Ua$  та СОП  $U_{con}$  прошарках. Індокси 1 відповідають випробуванням пари сталь-бронза, індокси 2 – пари сталь-спечений матеріал. Швидкість ковзання 0,52 м/с.

В однакових умовах навантаження при терті сталі по бронзі величина зносу бронзового зразка весь час є більшою, а момент тертя  $Z_1, M_1$  / меншим, ніж при терті сталі по спеченому матеріалу  $Z_2, M_2$ /. Значення температур погоджується з втратами на тертя.

Такі результати – зменшення зносу і одночасне збільшення втрат на тертя – не узгоджуються з низкою експериментів [5] і можуть бути пояснені даними про товщину та структуру мастильного шару. При терті сталі по бронзі мастильний шар був дещо тоншим, утворювався повільніше та мав гідродинамічне походження. Тільки протягом першої години роботи пари тертя спостерігалася поява незначного адсорбційного /хемосорбційного/ шару  $Ua_1$ , надалі ж цей шар не перевищував сотих часток мікрона та не міг бути вимірний методом падіння напруги. Гідродинамічний шар знижував до мінімуму втрати на тертя, але при цьому не забезпечував достатніх протизносних властивостей.

При терті сталі по спеченому матеріалу з самого початку мастильний шар включав СОП /її товщина пропорційна  $U_{con2}$ /. Присутність шарів СОП визначалася також за характерним забарвленням. Можна припускати, що встановлений у роботі [5] зв'язок сили тертя та зносу існує тільки при незмінній структурі мастильного шару.

З того, що більшому зносу відповідали менші втрати на тертя, можна зробити висновок про те, що втрати на деформування та руйнування поверхні металу є малими порівняно з силами тертя в змащувальному шарі. Ці дані узгоджуються з думкою Боудена про те, що основна частка опору при терті обумовлюється зсувом у самому мастилі, а два мастила можуть дати однаковий опір зсуву, хоча знос при цьому може відрізнятись у 20 разів [6]. Отже, протизносні характеристики значною мірою визначаються здатністю матеріалів до утворення в результаті взаємодії з мастилом граничних структур з різними реологічними, фізико-хімічними та хімічними властивостями.

Зростання моменту тертя при випробуванні сталі по бронзі  $M_1$  / в початковий період припрацювання можна пояснити руйнуванням раніше утворених поверхневих плівок немасляного походження /наприклад, оксидів/, які мають крашу змащувальну здатність.

Відмінності у властивостях граничних шарів дозволяють встановити природу їх виникнення. У зв'язку з цим, окрім сумарного падіння напруги  $U$ , яке ха-

рактизує повну товщину мастильного шару, вимірювалося падіння напруги на адсорбційної частини шару  $U_a$  і на шарах СОП  $U_{con}$ .

Зміна параметрів змащувальної дії відображає процес припрацювання, а саме зміна розміру плями контакту, шорсткості та товщини мастильного шару. Остання величина змінювалася як в результаті вигладжування, так і в результаті утворення граничних шарів [7].

Точний теоретичний розрахунок товщини мастильного шару за формулами гідродинамічної теорії змащування в умовах роботи пари, яка досліджувалася, є неможливим через відсутність даних про епюри розподілу тиску в контакті. Якісний аналіз показав наступне: оскільки ширина плями контакту і теплопровідність у випробуваннях з бронзовим зразком є вищими, а температура – нижчою у зразка зі спеченого матеріалу, то товщина рідинного мастильного шару в контакті сталь-бронза є значно більшою, ніж в контакті сталь-спечений матеріал. Таке співвідношення повинно відповідати більшому зносу спеченого матеріалу та призводити до великих втрат на тертя згідно з гідродинамічною теорією змащування. Однак, з даних рис.1 та рис. 2 випливає, що відбувається збільшення лише втрат на тертя. З цього можна зробити висновок, що рідинний мастильний шар визначає втрати на тертя, а загальна товщина мастильного шару – знос поверхонь тертя.

**Висновки.** У роботі проведено дослідження змащувальних процесів при терті пар сталь-бронза та сталь-спечений матеріал, а також визначено зв'язки між товщиною мастильного шару, моментом тертя та зносом поверхонь.

У результаті проведених випробувань встановлено, що більшому зносу відповідають менші втрати на тертя, тобто втрати на деформування та руйнування поверхні металу є малими порівняно з силами тертя в змащувальному шарі, а протизносні характеристики значною мірою визначаються здатністю матеріалів до утворення в результаті взаємодії з мастилом граничних структур з різними реологічними, фізико-хімічними та хімічними властивостями.

Перспективами подальших досліджень окрім аналізування тонких поверхневих прошарків металу є визначення властивостей і експлуатаційних характеристик протизносних та антифрикційних хемосорбційних плівок СОП, які утворюються вуглеводневими компонентами мастильних матеріалів.

#### Список літератури

1. Кульгавый Э.А. Трибологические структуры в антифрикционных системах.// Проблемы тертя та зношування: зб. наук.праць.- К.:НАУ, 2012.- № 58.- С. 26-31.
2. Райко М.В., Бавин И.И., Троицкий В.А., Стадник В.А., Некоторые особенности смазочного действия в тяжёлых условиях трения стали по бронзе и стали по спечённому материалу. Республ. межвед. научно-технич. сб.: Детали машин, 1983, вып.36, с.98-102.
3. Мельник В.Б. Смазочное действие масел с карбоновторидными присадками при нестационарных режимах трения / В.Б.Мельник, Р.Г Мнацаканов, В.П. Федина // Проблемы тертя та зношування: зб. наук. праць.- К: НАУ, 2007.- №47.- С. 250-267.
4. Мельник В.Б. Метод оцінки складових змащувального шару в локальному контакті зубчатих передач / В.Б. Мельник, Д.В. Леусенко // Проблемы тертя та зношування: зб. наук.праць.- К.:НАУ, 2012.- № 58.- С. 165-168.
5. Дой, Хэба. Антифрикционные свойства подшипниковых сплавов в условиях граничной смазки. – Проблемы трения и смазки, 1979, №4, с.92-99.
6. Боуден Ф.П., Тейбор Л. Трение и смазка твёрдых тел. М.: Машиностроение, 1968, 543с.
7. Мельник В. Б.Вплив поверхнево-активних речовин мастильних матеріалів на якість припрацювання зубчастих передач / В. Б. Мельник, О.В. Радько, С.В. Федорчук // Проблемы тертя та зношування – К.: НАУ, 2019. – Вип. 3(84). – С. 115-119.

Стаття надійшла до редакції 27.05.2020.

V. B. MELNYK, O. V. RADKO, S. V. FEDORCHUK

## PROCESSES OF THE LUBRICANT LAYER FORMATION WHILE FRICTION OF STEEL ON NON-STEEL METAL SURFACES

The results of research of lubricating processes at friction of steel-bronze and steel-sintered material pairs are presented. The study of lubricating action, antifriction and antiwear properties in contact with steel-sintered material was carried out on pairs of rollers - a rotating roller made of steel 40X /diameter 50 mm, HRC-50/ and a fixed cylindrical roller /diameter 40 mm/ made of bronze OFIO-1 /HB-103/ or from the sintered material ZhD5F1M0S22 /HB103/. I-40A industrial oil was used as a lubricant. Test conditions are as follows: sliding speed - 0.26; 0.52 and 0.78 m / s; load - 500 N. The connection between the thickness of the lubricating layer, the moment of friction and the wear of the surfaces is shown. It is determined that under the same load conditions when the steel is rubbed on the bronze, the amount of wear of the bronze sample is always greater, and the moment of friction is less than when the steel is rubbed on the sintered material. The temperature value agrees with the friction losses. It is established that greater wear corresponds to lower friction losses, i.e. losses on deformation and destruction of the metal surface are small compared to the friction forces in the lubricating layer, and antiwear characteristics are largely determined by the ability of materials to form boundary structures with different rheological, physicochemical and chemical properties. Prospects for further research in addition to the analysis of thin surface layers of metal are to determine the properties and performance characteristics of antiwear and antifriction chemisorption films of SOP, which are formed by hydrocarbon components of lubricants.

**Keywords:** lubricating action, lubricants, wear, self-generating organic film, sintered material, lubricating layer, adsorption, chemisorption layer

### References

1. Kulgavyy E.A. Tribologicheskie struktury i v antifriktsionnykh sistemah.// Problemi tertya ta znoshuvannya: zb. nauk.prats.- K.:NAU, 2012.- # 58.- S. 26-31.
2. Rayko M.V., Bavin I.I., Troitskiy V.A., Stadnik V.A., Nekotoryye osobenosti smazochnoho deystviya v tyazhlyykh usloviyakh treniya stali po bronze i stali po spechennomu materialu. Respubl. mezhved. nauchno-tehnich. sb.: Detali mashin, 1983, vyip.36, s.98-102.
3. Melnik V.B. Smazochnoe deystvie masel s karbonovtoridnyimi prisadkami pri nes-tatsionarnykh rezhimakh treniya / V.B.Melnik, R.G Mnatsakanov, V.P. Fedina // Pro-blemi tertya ta znoshuvannya: zb. nauk. prats.- K: NAU, 2007.- #47.- S. 250-267.
4. Melnik V.B. Metod otsInki skladovih zmaschuvalnogo sharu v lokalnomu konta-ktI zubchatih peredach / V.B. Melnik, D.V. Leusenko // Problemi tertya ta znoshuvannya: zb. nauk.prats.- K.:NAU, 2012.- # 58.- S. 165-168.
5. Doi, Heba. Antifriktsionnyye svoystva podshipnikovyykh splavov v usloviyakh gra-nichnoy smazki. – Problemy treniya i smazki, 1979, #4, s.92-99.
6. Bouden F.P., Teybor L. Trenie i smazka tvYordyih tel. M.: Mashinostroenie, 1968, 543s.
7. Melnik V. B. Vpliv poverhnevo-aktivnih rechovin mastilnih materIalIv na yakIst pri-pratsyuvannya zubchatih peredach / V. B. Melnik, O.V. Radko, S.V. Fedorchuk // Problemi tertya ta znoshuvannya – K.: NAU, 2019. – Vip. 3(84). – S. 115-119.

**Мельник Володимир Борисович** – канд. техн. наук, доцент кафедри машинознавства стандартизації та сертифікації, Національний авіаційний університет, тел.: +38 044 406 74 14, E-mail: melnikvb408@gmail.com.

**Радько Олег Віталійович** – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри машинознавства стандартизації та сертифікації, Національний авіаційний університет, тел.: +38 044 406 74 14, E-mail: radlviv@ukr.net.

**Федорчук Світлана Володимирівна** – старший викладач кафедри машинознавства стандартизації та сертифікації, Національний авіаційний університет, тел.: +38 044 406 74 14.