

УДК 621.891

Шимчук С. П., к.т.н., доцент, Мисковець С. В., асистент,
Зайчук Н. П., к.т.н., доцент, Варич О. Ф., асистент (Луцький
національний технічний університет, м. Луцьк)

ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ ТРИБОСИСТЕМИ Бр010С10-ШХ15

В статті здійснено аналіз отриманих результатів триботехнічних та металографічних досліджень поверхонь тертя зразків з Бр010С10 модельної пари тертя Бр010С10–ШХ15. В результаті виконаних досліджень було виявлено фактори, які впливають на трибологічні властивості цих поверхонь. Зокрема показано, що в розглядуваній трибосистемі зносостійкість поверхні деталі з Бр010С10 залежить від концентрації свинцю. Саме Pb під час тертя може дифундувати з матриці на поверхню деталі, покращуючи її трибологічні властивості. Проте використання таких трибосистем при терті, що супроводжується циклічними контактними навантаженнями, є неприпустимим, оскільки існує ймовірність передчасного руйнування поверхні бронзової деталі внаслідок утворення свинцевих ліквацій.

Ключові слова: трибосистеми, зношування, пари тертя, трибоповерхні, мащення.

Вступ. Трибосистеми, які поєднують спряження матеріалів Бр010С10–ШХ15 досить часто зустрічаються в паливних системах авіаційних та дизельних двигунів. Такі пари тертя є дуже дорогими та високоточними. Від їх надійності суттєво залежить експлуатаційна довговічність всієї машини. Працюючи в жорстких умовах граничного мащення в середовищі авіагасів чи дизельних паливних деталей цих трибопар інтенсивно зношуються (особливо це стосується бронзових поверхонь). Проведення різного роду трибологічних досліджень для виявлення закономірностей зношування таких трибоповерхонь і підвищення їх зносостійкості з урахуванням властивостей використовуваних мастильних середовищ, матеріалів та топографії поверхонь деталей є дуже актуально.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Згідно досліджень Д.М. Гаркунова, склад і властивості поверхневого шару мідних сплавів, що формується при терті, визначається в основному кількістю легуючого елементу і його розподілом в сплаві. На його думку, фактор перерозподілу легуючих елементів при терті [1], можна оцінити за зміною параметра кристалічної ґратки. Чутливість подібної оцінки визначається співвідношенням розмірів атома легуючого елемента та атома міді, що особливо яскраво відслідковується при аналізі ла-

туні та бронз, легованих оловом. Д. Баклі у своїй роботі [2] відмічає позитивну роль явища поверхневої сегрегації. Уміння правильно його використовувати є надзвичайно важливим, оскільки дозволяє значно змінити фрикційні характеристики матеріалів внаслідок додавання незначної кількості легуючих домішок. Ж. Бенар виявив [3], що технічна мідь і її сплави схильні до внутрішнього окислення. Механізм цього явища полягає в дифузії кисню в підповерхневий шар, де він вступає у взаємодію, в першу чергу, з домішковими атомами або атомами легуючих елементів, що мають більшу, ніж мідь, спорідненість з киснем, а потім з атомами міді. Відомо також, що від різниці у хімічному складі BrO10C10 (в межах ДСТУ), на порядок змінюється і знос зразків [4].

Методика досліджень. Дослідження зразків виготовлених із BrO10C10 у спряженні з контртілом з ШХ15 було проведено на машині тертя з лінійним контактом ПТЛК(ор) [5], за методикою [6], яка передбачає проведення трибологічних досліджень конструкційних та мастильних матеріалів з урахуванням властивостей напрацьованих вторинних структур. Для коректності проведених випробувань радіальні відхилення контрзразка контролювались з допомогою індикатора годинникового типу з ціною поділки 1 мкм і становили ± 1 мкм. Дослідження виконувались у середовищі дизельного пального при радіальному навантаженні 125 Н. Зміну лінійних розмірів зразків (зношування) контролювали методом профілографування на профілографі-профілометрі Калібр М-201.

Постановка завдання. Завданням дослідження є проведення металографії поверхонь тертя модельних деталей з BrO10C10 та їх аналіз для виявлення тих факторів, які впливають на зносостійкість цих поверхонь.

Результати досліджень. Зносостійкість матеріалів має високу чутливість до умов організації тертя. Процеси, що відбуваються при терті, істотно прискорюють фізико-хімічну взаємодію матеріалів, призводячи до дифузійного перерозподілу елементів в приповерхневому шарі деталей пари тертя. При терті мідних сплавів в першу чергу відбувається процес перерозподілу легуючих елементів, який значною мірою визначає механізм поведінки металу в зоні контакту. Ефект вибіркового розподілу легуючих елементів відіграє важливу роль в період формування плівки міді в зоні контакту. В процесі тривалих випробувань, коли плівка міді на поверхні сформувалася, в механізмі тертя визначальна роль належить процесу дифузійного перерозподілу основних легуючих елементів в поверхневих шарах контактуючих металів.

Усі ці явища мають місце при терті в зоні контакту, проте через незначну товщину вторинних структур основну роль на дифузійний перерозподіл елементів чинитиме хімічна взаємодія мідного сплаву з середовищем [7; 8].

Підтвердженням визначальної ролі процесу дифузійного перерозподілу основних легуючих елементів в поверхневих шарах контактуючих металів служать проведені нами дослідження поверхонь зразків з бронзи Бр010С10 при роботі з контрзразком зі сталі ШХ15 в середовищі дизельного пального на приладі тертя ПТЛК(ор). Випробовуваним зразком слугував серійний підп'ятник виготовлений з бронзи Бр010С10 (рис. 1).

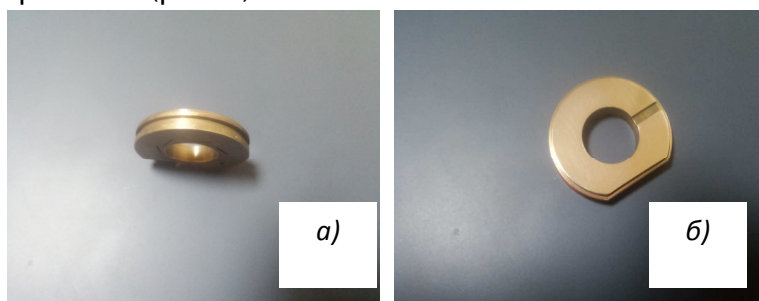


Рис. 1. Загальний вигляд поверхонь тертя підп'ятника з Бр010С10:
а) вигляд з торця; б) вигляд збоку

Фрактограми досліджуваної поверхні тертя було виконано на растровому мікроскопі РЕМ-106И у режимах КОМПО, ТОПО та в режимі вторинних електронів. Фрактограму поверхні в режимі вторинних електронів при збільшенні $\times 3930$ приведено на рис. 2. З рисунку чітко видно, що в мідній матриці присутні включення олова (чорні плями) та свинцю (білі плями). Прослідковується виділення свинцю із загальної фази, що призводить до утворення свинцевих ліквацій (на рис. 2 вказано стрілками), які розміщуються по границях зерен. Про утворення свинцевих ліквацій свідчить і підвищений вміст свинцю у деяких точках досліджуваної поверхні, що спостерігалось на спектрограмах попередніх досліджень. При хімічному складі Бр010С10, який відповідає ДСТУ і підтверджений нами на РЕМ 106И шляхом спектрального дослідження поверхонь зразків по полю на поверхні, що піддавалась тертю у спряженні з контртілом з ШХ15, у вибраних точках, вміст свинцю складає від 0,63% до 92,1% (табл. 1), що досить цікаво дослідити в трибологічному аспекті.

Таблиця 1

Результати хімічного аналізу поверхні тертя з Бр010С10
у вибраних точках

Назва хімічного елемента	Вміст хімічного елемента в сплаві у, %					
Cu	88,87	87,77	6,9	78,54	89,24	94,75
Sn	8,48	8,67	1	20,49	9,73	4,61
Pb	2,65	2,98	92,1	0,97	1,03	0,63

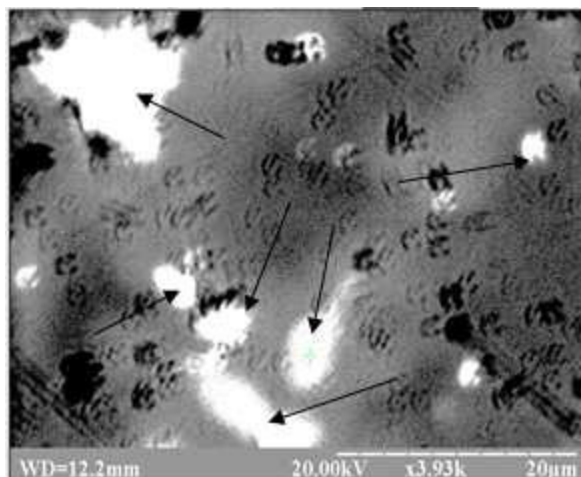


Рис. 2. Фрактограма досліджуваної поверхні з Бр010С10 $\times 3930$

Аналіз фрактограми зламу досліджуваної поверхні з Бр010С10 в режимі КОМПО при збільшенні $\times 1570$ вказує на присутність по всій поверхні великої кількості свинцю (рис. 3). Враховуючи, що по полю вміст свинцю є вищим, ніж на поверхні шліфа, можна стверджувати, що виділена фаза свинцю є тією складовою сплаву, по якій іде руйнування при зламі (рис. 4). Також доцільно зауважити, що деталі з досліджуваного матеріалу будуть погано працювати при циклічних ударних навантаженнях, але досить непогано працюють в режимі граничного тертя при допустимих навантаженнях, табл. 2.

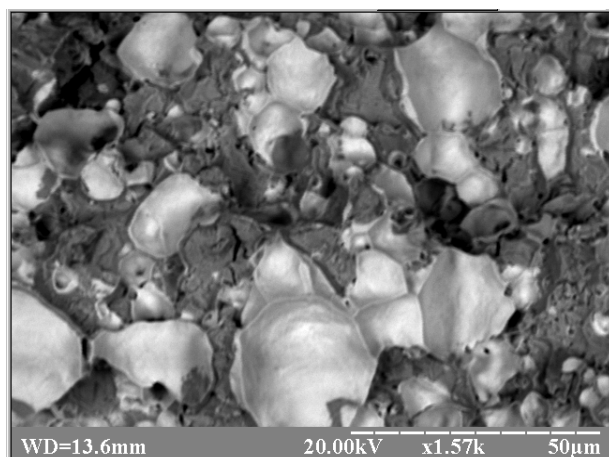


Рис. 3. Фрактограма зламу досліджуваної поверхні з Бр010С10 в режимі КОМПО $\times 1570$

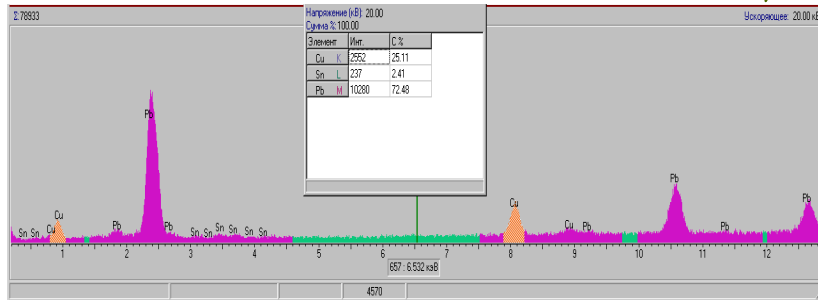


Рис. 4. Спектрограма зламу досліджуваної поверхні з Бр010С10, виконана по полю

Таблиця 2
Результати зношування модельної трибосистеми Бр010С10–ШХ15

№ випробування	Контактне Навантаження P, H	Змащувальне середовище	Сумарний знос, мкм
1	125	Дизельне пальне	4
2	125	Дизельне пальне	3,8
3	125	Дизельне пальне	4,1
4	125	Дизельне пальне	4,6
5	125	Дизельне пальне	4,2

При структурному аналізі матриці і доріжки тертя зразків Бр010С10 за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ 106И було виявлено, що в процесі тертя бронзи Бр010С10 в парі з ШХ15 відбувається перерозподіл легуючих елементів (Pb) на поверхні контакту порівняно з матричним станом зразка, який залишається постійним. Відмінність у вмісті свинцю в матриці зразків (згідно отриманих нами результатів) складає 4%, тоді як ця ж відмінність на доріжці тертя – 1,8%. Це говорить про те, що в процесі тертя свинець прагне до своєї оптимальної концентрації в сплаві, яка відповідає максимальній зносостійкості поверхні деталі.

Висновки. Згідно виконаних нами трибологічних та металографічних досліджень було встановлено, що при роботі трибопари Бр010С10–ШХ15 в режимі граничного тертя, яке не супроводжується циклічними контактними навантаженнями, відбуваються дифузійні процеси легуючих елементів з матриці на поверхню тертя, що було детально розглянуто для бронзових деталей. На підставі проведених металографічних досліджень варто зауважити, що саме свинець, а не олово чинить вплив на процес тертя та зносостійкість бронзи Бр010С10 при взаємному контактуванні в парі зі сталлю ШХ15, оскільки аналіз поверхонь тертя зразків показав, що відбувається перерозподіл свинцю в тонкому поверхневому шарі досліджуваних поверхонь.

1. Гаркунов Д. Н. Триботехника / Д. Н. Гаркунов. – М. : Машиностроение, 1985. – 424 с. 2. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии / Д. Бакли. – М. : Машиностроение, 1986. – 360 с. 3. Бенар Ж. Окисление / Ж. Бенар. – М. : Metallurgia, 1968. – 498 с. 4. Мисковець С. В. Зносостійкість пари тертя бронза-сталь в режимі граничного тертя / С. В. Мисковець, П. П. Савчук, Н. П. Зайчук // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, 1–3 жовтня 2014 р. – Херсон, 2014. – С. 287–289. 5. Методологія визначення протиспацювальних властивостей мастил за критеріями трибохарактеристик утворюваних у них вторинних структур / Аксьонов О. Ф., Стельмах О. У., Шимчук С. П., Коба В. П., Джамаль Ібрагім Мансур // Вісник НАУ. – 2006. – С. 62–64. 6. Шимчук С. П. Прилад тертя для дослідження конструкційних і мастильних матеріалів при односторонньому і реверсивному терті / С. П. Шимчук // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. Випуск 41, Ч. 2. – Луцьк, 2013. – С. 262–268. 7. Зносостійкість бронзових деталей паливної апаратури в середовищі дизельних палив / С. В. Мисковець, П. П. Савчук // Науковий вісник ХДМА : Науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2014. – № 1. – С. 208–212. 8. Мисковець С. В. Фізико-хімічна взаємодія матеріалів при терті пари сталь-бронза / С. В. Мисковець, П. П. Савчук // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. Випуск 48. – Луцьк, 2015. – С. 158–162.

Рецензент: д.т.н., професор Налобіна О. О. (НУВГП)

Chymchuk S. P., Candidate of Engineering, Associate Professor, Myskovets S. V., Assistant, Zaichuk N. P., Candidate of Engineering, Associate Professor, Varych O. F., Assistant (Lutsk National Technical University, Lutsk)

FEATURES OF TRIBOSYSTEM Бр010С10-ШХ15 WEAR

The article highlights and analyzes the results of tribotechnical and metallographic researches of samples friction surfaces of Бр010С10 from friction pair model Бр010С10-ШХ15. As a result of the research it was determined factors that make influence on tribological properties of these surfaces. In particular it is shown that the ware resistance of the surface details of Бр010С10, in proposed tribosystem, depends on the concentration of lead. Exactly Pb during friction can diffuse from the matrix to the surface details improving its tribological properties. However, the usage such tribosystems for friction that accompanied by cyclic contact loads is unacceptable

because there is a possibility of premature destruction of surface bronze parts due to the formation of lead segregation.

Keywords: tribosystem, wear resistance, friction pair, tribological surfaces, lubrication.

Шимчук С. П., к.т.н., доцент, Мисковець С. В., ассистент
Зайчук Н. П., к.т.н., доцент, Варич О. Ф., ассистент (Луцкий
национальный технический университет, г. Луцк)

ОСОБЕННОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ТРИБОСИСТЕМИ Br010C10-ШХ15

В статье осуществлен анализ полученных результатов триботехнических и металлографических исследований поверхностей трения образцов из Br010C10 модельной пары трения Br010C10-ШХ15. В результате выполненных исследований были выявлены факторы, которые влияют на трибологические свойства этих поверхностей. В частности показано, что в рассматриваемой трибосистеме износостойкость поверхности детали из Br010C10 зависит от концентрации свинца. Именно Pb во время трения может диффундировать из матрицы на поверхность детали, улучшая ее трибологические свойства. Однако, использование таких трибосистем при трении, которое сопровождается циклическими контактными нагрузками является недопустимым, поскольку существует вероятность преждевременного разрушения поверхности бронзовой детали в результате образования свинцовых ликваций.

Ключевые слова: трибосистемы, изнашивание, пары трения, трибоповерхности, мазание.
