



УДК 621.891

## ЗНОСОСТІЙКІСТЬ БРОНЗОВИХ ДЕТАЛЕЙ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ В СЕРЕДОВИЩІ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ

*Мисковець С.В., Савчук П.П.*

*Луцький національний технічний університет*

*У статті розглядається проблема зносостійкості бронз, з яких виготовляються деталі паливної апаратури дизельних двигунів, у середовищі дизельних палив. Досліджено, яким чином різні поставки одного і того ж матеріалу впливають на зносостійкість та довговічність вузла тертя в цілому. Показано, що зносостійкість таких пар суттєво залежить від легуючих елементів та виду тертя.*

*Ключові слова: зносостійкість, дизельні палива, трибопари, легуючі елементи.*

**Постановка проблеми.** Агрегати паливної апаратури (ПА) – це складні, дорогі конструкції, що безпосередньо впливають на довговічність, економічність і надійність машини та використовуються для автоматичного регулювання і подачі палива в двигун. Особливістю роботи вузлів тертя паливних агрегатів є: наявність великої кількості прецизійних пар тертя; погані змащувальні середовища (дизельні палива); дуже малі допустимі зміни лінійних розмірів спряжень.

Тому закономірно, що основною причиною виходу з ладу деталей трибоспряжень паливної апаратури є їх підвищений знос [1–3].

Складні в конструкційному виконанні паливні агрегати сучасних машин мають множинну різних по конструкції і призначенню прецизійних пар, які застосовуються для автоматичного регулювання подачі палива в двигуни, для підтримки ними зміни за заданою програмою тиску в паливних системах, для регулювання прокачування насосів.

Підвищення вимог до надійності і довговічності роботи агрегатів, що забезпечують своєчасне виконання вказаних функцій, є одним з актуальних і важливих завдань в забезпеченні безвідмовної експлуатації паливної системи літаків.

Основною причиною виходу з ладу вузлів тертя в умовах експлуатації є не поломки, а зношування і нестабільність триботехнічних характеристик, що призводить до порушення виконуваних функцій.

Статистичний аналіз заміни елементів паливних агрегатів у процесі ремонту свідчить, що найбільше число відбракованих деталей пов'язане з підвищеним зносом прецизійних пар тертя (шестерні, підшипники, поршні, торці блоку циліндрів, торці плоского золотника, ресори, ролики, муфти, стакани і т. д.).

Підвищення вимог до надійності і ресурсу агрегатів паливної апаратури, одночасно з підвищенням їх робочих параметрів, викликає необхідність в розробці методів оцінки зносостійкості матеріалів, що піддавались експлуатації з метою їх подальшого використання.

Дуже часто для виготовлення деталей паливної апаратури використовуються бронзи, що працюють в парі зі сталлю ШХ15.

**Мета роботи** – дослідити, яким чином різні поставки одного і того ж матеріалу впливають на зносостійкість та довговічність вузла тертя в цілому (така ситуація може скластися, наприклад, при заміні однієї деталі в трибопарі на іншу в процесі проведення ремонтних робіт).

**Методика випробувань.** Умови випробувань були наступні: швидкість ковзання –  $V_k=0,3$  м/с; шлях тертя згідно використаної методики [4]  $L_1=500$  м;  $L_2=500$  м;  $L_3=500$  м;  $L_4=3000$  м; максимальне контактне навантаження становило  $P=500$  Н; температура навколишнього середовища  $T=20^\circ\text{C}$ . За критерій зносу було прийнято зміну лінійних розмірів зразка при випробуваннях, виміряних за допомогою профілографо-профілометра марки Калібр-М 201 (кожен слід вимірювали 3 рази – по краях і по центру доріжки тертя).



**Основний матеріал статті.** Загальновідомо, що зносостійкість матеріалів суттєво залежить від умов тертя. Це дає підстави припускати про наявність істотного впливу на ресурс вузла тертя чинників, що не завжди враховуються при прогнозуванні його довговічності та призводить до істотного варіювання ресурсу одних і тих же вузлів паливних агрегатів, практично аналогічних матеріалів, що працюють в однакових умовах. Процеси, що відбуваються при терті, істотно прискорюють фізико-хімічну взаємодію матеріалів та призводять до дифузійного перерозподілу елементів в приповерхневому шарі деталей пари тертя.

Характер перерозподілу легуючих елементів при терті можна оцінити по зміні параметру кристалічної решітки [4, 5], зокрема співвідношення розмірів атома легуючого елементу й атома міді. Особливо яскраво це проявляється при аналізі латуні та бронз, легованих оловом і алюмінієм, атомні радіуси яких набагато відрізняються від радіуса атома міді. Ефект вибіркового розподілу легуючих елементів відіграє важливу роль в період формування мідної плівки в зоні контакту. При тривалих фрикційних випробуваннях, коли плівка міді на поверхні сформувалася, визначальна роль належить процесу дифузійного перерозподілу основних легуючих елементів в поверхневих шарах контактуючих металів.

Оскільки тертя в агрегатах паливної апаратури відбувається в середовищі дизельного палива, то відомо, що вуглеводнева частина сучасних нафтових палив хімічно мало активна, а основну хімічну дію чинитиме концентрація розчиненого кисню [6].

Нами було проведено серію випробувань зразків з бронзи Бр010С10 при терті з контртілом з ШХ15 в середовищі дизельного палива на приладі тертя ПТЛК(ор) [7] по вибраній методиці [4].

При структурному аналізі матриці і доріжки тертя зразків досліджуваної бронзи за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ-106И було виявлено, що при терті бронзи Бр010С10 в парі зі сталлю ШХ15 відбувається перерозподіл свинцю на поверхні контакту порівняно з первинним станом зразка (табл. 1). Мікроструктури досліджуваних поверхонь приведено на рис. 1.

Таблиця 1 – Вміст легуючих елементів бронзи Бр010С10 в матриці і на доріжці тертя

№ зразка	Pb, %		Sn, %	
	матриця	доріжка тертя	матриця	доріжка тертя
1	9,0	6,2	10,0	10,0
2	10,0	8,0	11,0	11,0
3	6,0	6,5	8,5	8,5

Порівнюючи значення з різним вмістом свинцю було встановлено, що діапазон варіювання значень цього елемента на поверхні тертя і в матриці становить 1-2,8 % (зменшення вмісту Pb на доріжці тертя порівняно з матрицею). Саме при такому вмісті свинцю матеріал володіє максимальною зносостійкістю. Вище і нижче за ці значення – зносостійкість матеріалу зменшується. Це дало нам підстави зробити висновок, що при терті бронзи Бр010С10 в парі зі сталлю ШХ15 для схеми трибоконтакту лінія-площина в середовищі дизельних палив вирішальний вплив на зносостійкість Бр010С10 має нестабільність хімічного складу матеріалу, а саме, нестабільність вмісту свинцю. Було також встановлено, що для свинцю існує оптимальна концентрація в сплаві, при якій матеріал має максимальну зносостійкість.

Аналіз поверхонь тертя зразків (рис. 1) показав, що відбувається перерозподіл свинцю після тертя в тонкому поверхневому шарі, що чинить вплив на зносостійкість зразка. Відмінність у вмісті свинцю в матриці зразків 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.

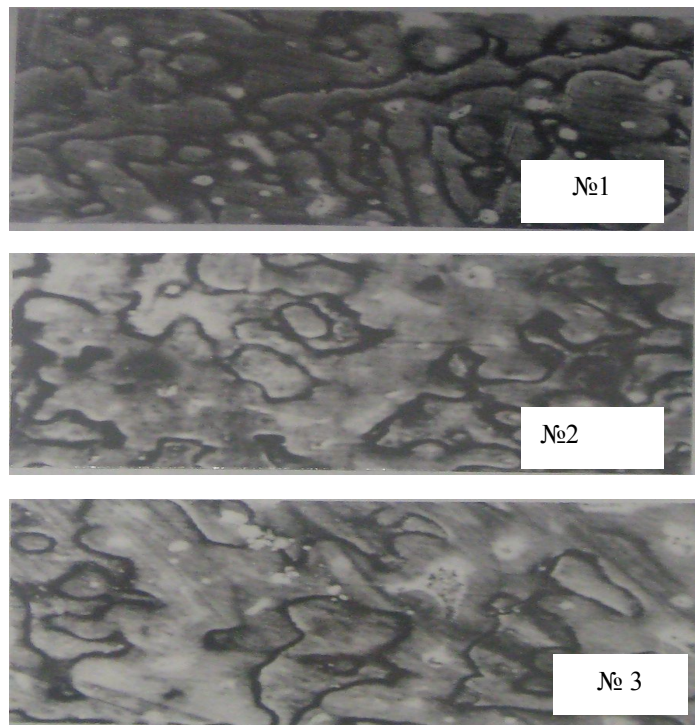


Рисунок 1 – Мікроструктури досліджуваних поверхонь

Для дослідження трибологічних властивостей бронз, що леговані різними легуючими елементами на предмет можливості їх використання як матеріал для виготовлення деталей паливної апаратури (підшипників, під'ятників) нами було досліджено на зносостійкість бронзи марок БрОФ10-1 та БрАЖ9-4 по вибраній методиці при односторонньому та реверсивному терті. Результати досліджень зразків вибраних матеріалів на зносостійкість приведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати зношування сплавів на основі міді різних серій поставок при односторонньому та реверсивному терті ковзання

Матеріал зразка	№ зразка	Линія – площина	
		Однонапрявлене тертя	Реверсивне тертя
БрОФ10-1	1	9,03	5,56
	2	5,58	6,85
	3	3,71	4,56
	4	2,47	5,80
	5	2,18	5,09
БрАЖ9-4	1	24,58	5,44
	2	18,57	5,36
	3	18,04	7,54
	4	22,58	9,45

Проведені випробування показали (табл. 2), що знос для цих пар тертя буде різним. Для пари БрОФ10-1 – ШХ15 знос лежить в межах 2,18...9,03 мкм, відхилення у ряді зносостійкості складає 310 %, а для пари БрАЖ9-4 – ШХ15 – в межах 18,04...24,58 мкм, відхилення – 36 %.

Про те, що кінематика руху змінює інтенсивність процесу зношування свідчать дані, отримані при випробуваннях вибраних спряжень матеріалів при реверсивному терті ковзання на установці ПТЛК(ор). Для пари тертя БрОФ10-1 – ШХ15 знос лежить в межах 5,09...6,85 мкм (відхилення у ряді зносостійкості складає 15 %), а для пари БрАЖ9-4 – ШХ15 – в межах 5,36...9,45 мкм (відхилення – 76 %).



Вплив реверсивного тертя на зношування детально вивчено також іншими трибологами, але в дослідженнях різних авторів є деякі суперечності. Так Д. Н. Гаркунов [5] вважав, що зміна напрямку руху пар тертя зменшує зносостійкість як при терті ковзання, так і при терті кочення. Це відноситься до металів і полімерів. Ефект Ребіндера при реверсивному терті проявляється більшою мірою в результаті зміни мікроструктури металу. У разі реверсу наклеп поверхневого шару більший, ніж при односторонньому терті, але тільки на перших етапах роботи. Подальша деформація вичерпує можливості зміцнення мікрооб'ємів і викликає інтенсифікацію втомних процесів. Автор роботи [8] стверджував, що при реверсивному терті легше виникає режим вибіркового переносу, ніж при терті з одностороннім рухом.

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. У процесі тривалих випробувань, коли плівка міді на поверхні сформувалася, в механізмі тертя визначальна роль належить процесу дифузійного перерозподілу основних легуючих елементів у поверхневих шарах контактуючих металів.

**Висновки.** Досліджено трибологічні властивості бронз на предмет їх використання для виготовлення трибодеталей паливної апаратури. Підтверджено, що різні зразки одного і того ж матеріалу мають деякі відхилення у вмісті легуючих елементів в межах ДСТУ. Показано, що навіть при незначній зміні хімічного складу матеріалу змінюються його фізико-механічні властивості і тим самим чиниться істотний вплив на фізику процесу тертя шляхом його уповільнення або прискорення. Для різних геометричних параметрів вузла тертя цей процес протікатиме по-різному, зокрема різниця у зносі між одностороннім та реверсивним тертям при інших рівних умовах для пари тертя БрОФ10-1 – ШХ15 складає 15 %, а для пари БрАЖ9-4 – ШХ15 – 76 %.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення ресурсних можливостей трибовиробів на основі бронз, а також вплив мікросередовища на властивості матеріалу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чупырин В. Н. Технический контроль в машиностроении / Чупырин В. Н., Никифоров А. Д. – М. : Машиностроение, 1987. – 512 с.
2. Шалин Р. Е. Жаропрочность сплавов для газотурбинных двигателей / Шалин Р. Е., Булыгин И. П., Голубовский Е. Р. – М. : Металургия, 1981. – 120 с.
3. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах / Костецкий Б. И. – К. : Техника, 1970. – 396 с.
4. Стельмах А. У. Методика идентификации ГСМ по противоизносным и антифрикционным свойствам с учетом реальных условий их работы / А. У. Стельмах, О. Ю. Сидоренко, Р. Е. Костюник // Технологические системы. – 2002. – № 3. – С. 96-101.
5. Гаркунов Д. Н. Триботехника. Износ и безызносность / Д. Н. Гаркунов – М. : МСХА, 2001. – 616 с.
6. Белянский В. П. Исследование влияния растворимого в реактивных допливах кислорода на их противоизносные свойства / В. П. Белянский : дис. ... канд. техн. наук. – К., 1973. – 208 с.
7. Шимчук С. П. Прилад тертя для дослідження конструкційних і мастильних матеріалів при односторонньому і реверсивному терті / С. П. Шимчук // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Випуск 41, частина 2. – Луцьк, 2013. – С. 262-268.
8. Курлов О. Н. Влияние кинематики и геометрии на процессы возбуждения и поддержания избирательного переноса в трущихся парах / О. Н. Курлов, А. А. Поляков // Теория трения, износа и смазки. – Ташкент : ТПИ, 1975. – С. 99-100.



**Мисковец С.В., Савчук П.П. ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ БРОНЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ В СРЕДЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ**

*В статье рассматривается проблема износостойкости бронз, из которых изготавливаются детали топливной аппаратуры дизельных двигателей, в среде дизельных топлив.*

*Исследовано, каким образом различные поставки одного и того же материала влияют на износостойкость и долговечность узла трения в целом. Показано, что износостойкость таких пар существенно зависит от легирующих элементов и вида трения.*

*Ключевые слова: износостойкость, дизельные топлива, трибонары, легирующие элементы.*

**Miskovec S.V., Savchuk P.P. WEAR RESISTANCE BRONZE PARTS OF THE FUEL EQUIPMENT IN AN ENVIRONMENT OF DIESEL FUELS**

*The article considers the problem of wear resistance of bronzes, of which details are made of the fuel equipment of diesel engines, in the environment of diesel fuels. It is shown that the wear resistance of such pairs essentially depends on the alloying elements and the type of friction.*

*Investigated how different deliveries of the same material effect on the wear resistance and durability of the friction unit as a whole.*

*Studies show that different samples of the same material are some variations in the content of alloying elements within the GOST. It is shown that even with a slight change of chemical composition of materials change its physical and mechanical properties, and the same appears to be significant influence on the physics of the process of friction, slowing down or speeding it up. For various geometrical parameters of the friction this process will be different. So the difference in wear between one way and reversing friction under other equal conditions for friction pairs BrOF10-1 - SHH15 is 15 %, and for the couple BrAG 9-4 - SHH15 - 76 %.*

*Keywords: wear resistance, diesel fuels, friction pairs, alloy elements.*

Статтю прийнято  
до редакції 3.06.14.