

**Диха О.В.,  
Вельбой В.П.,  
Диха М.О.**

Хмельницький національний університет,  
м. Хмельницький, Україна  
E-mail: tribosenator@gmail.com

## СХЕМИ І РЕЗУЛЬТАТИ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДИСКРЕТНО МОДИФІКОВАНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗРАЗКІВ

УДК 621.891

Представлені результати експериментальних випробувань зносостійкості зміцнених дискретною електромеханічною обробкою циліндричних зразків. Дискретність обробки досягалась шляхом створення на поверхні треків обробки, розташованих із заданим кроком під кутом до циліндричної твірної зразки. В результаті випробувань встановлений вплив геометрії обробки на зносостійкість зразків та вплив дискретного зміцнення на знос спряжених конструкційних антифрикційних матеріалів.

**Ключові слова:** випробування, знос, електромеханічне зміцнення, геометрія обробки, антифрикційні матеріали.

### Вступ

На сьогодні в трибології на відміну від міцності фактично відсутні довідники чи бази даних на зношування пар тертя. Їх просто не може бути до тих пір, доки не створена єдина основа експериментальної трибології. Створення бази трибологічних даних ускладнюється також наявністю великого числа факторів, що впливають на зношування. Інтенсивність зносу різних пар тертя може відрізнятися в сотні раз. Також може відрізнятися знос однієї пари тертя в залежності від мастильного матеріалу, умов навантаження, температури, швидкості тощо. Головною ознакою зміни умов є зміна виду зношування. Вид – це зовнішня картина результату процесу зношування: топографія і структура матеріалу поверхні і підповерхневого шару. Вид зношування визначається його механізмом, тобто тими складовими, що спостерігаються, з яких складається процес: деформування, руйнування, хімічні і фізичні процеси і т.д. Випробування на зношування можуть виконуватися з різною метою, зокрема: якісне порівняння матеріалів на зношування; вивчення механізму і виду зношування; визначення параметрів моделей, що описують кількісні закономірності процесу.

### Мета досліджень

В даній роботі застосовується комплексний підхід порівняльних випробувань зносостійкості зміцнених циліндричних зразків за допомогою контрольного зразка та експериментальні дослідження впливу зміцнення цих зразків на зношування конструкційних антифрикційних матеріалів.

Відомі методи трибологічних випробувань і способи підвищення зносостійкості деталей пар тертя ґрунтуються на оптимізації експлуатаційних властивостей контактних поверхонь і умов їх мащення з урахуванням умов роботи рухомого спряження. Одним з перспективних і технологічно реалізованих способів зменшення зносу деталей є дискретне зміцнення поверхні деталі електромеханічною обробкою.

Метою даної роботи є дослідження впливу однобічного і двобічного електромеханічного обкатування циліндричної поверхні деталі типу вала твердосплавним роликом, технологія і режими якого представлені в роботі [1], на зносостійкість зміцненої поверхні і зношування спареного з валом вкладиша.

### Основний матеріал

Для дослідження представлені три зразки зі сталі 40X (рис. 1), які відрізнялися тим, що перший зразок не піддавався зміцненню і використовувався для порівняння зносостійкості його поверхні твердістю 23 HRC з іншими зразками за однакових інших умов тертя. Другий зразок піддавався електромеханічному обкатуванню твердосплавним роликом на токарно-гвинторізному верстаті з кроком правої подачі 1,75 мм. Третій зразок також піддавався електромеханічному обкатуванню за тих же умов спочатку в напрямі правої, а потім в напрямі лівої подачі з однаковим кроком.

Таким чином на поверхнях другого і третього зразків формувалась різна топографія і щільність дискретно зміцнених зон, а відповідно і напруженого стану поверхні. На рис. 2 показана топографія треків обробки, ширина яких знаходилась в межах 1,4 ... 1,6 мм.

Перед випробуванням на зносостійкість обкатані зразки обточували до стану гладкої поверхні Ø24 мм, оскільки після обкатування були чітко виявлені канавки втискання ролика глибиною до 0,5 мм і

відповідні напливи витісненого з них металу. Твердість обточеної поверхні другого зразка становила 25 HRC, а третього зразка – 28 HRC.

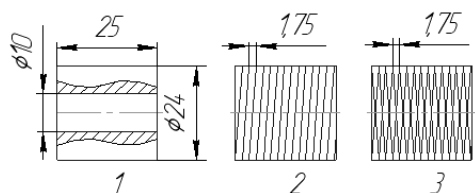


Рис. 1 – Геометрія треків поверхні випробувальних зразків

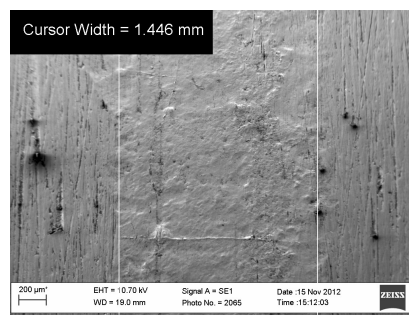


Рис. 2 – Топографія треків поверхні випробувальних зразків

Випробування зносостійкості зразків проводили на лабораторній установці для дослідження трибологічних властивостей конструкційних і мастильних матеріалів [2] за схемою пари тертя «циліндр - кулька» [3] з використанням пристрою для мащення, показаного на рис. 3. Мащення здійснювалось маслом Castrol 10W-40 (67 %) з камери 1, прикріпленої на кронштейні 4, фетровою щіткою 2, яка дотикалася до поверхні досліджуваного зразка 3, що обертався з частотою 340 об/хв. Кулька 5 діаметром 12,7 мм зі сталі ШХ15 нерухомо закріплена в повзуні 6, встановленому між напрямними 7 з можливістю притискання кульки до зразка силою 50 Н.

Випробування на зносостійкість кожного зразка проводили протягом 3-х годин з періодичним вимірюванням ширини сліду стирання поверхні зразка мікроскопом МБС-10 через кожні 30 хв. Результати проведених випробувань представлені на рис. 4 і в табл. 1.

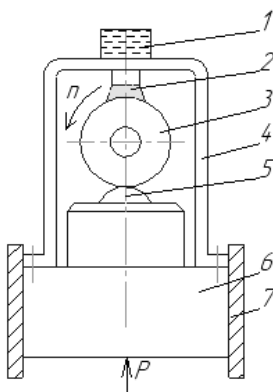


Рис. 3 – Пристрій випробування за семою тертя «циліндр-кулька»

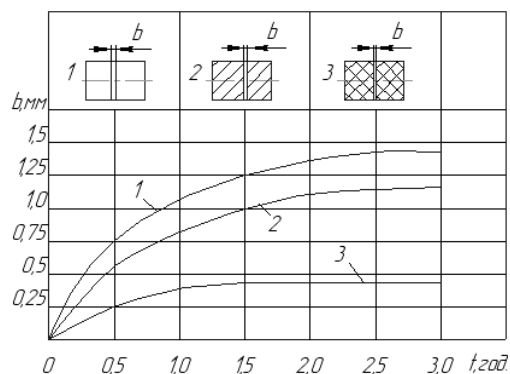


Рис. 4 – Залежність ширини сліду стирання зразків від тривалості випробування

Аналіз фрактографії слідів стирання показав, що поверхня стирання не зміцненого зразка має чітко видимі безперервні лінії в напрямі шляху тертя, а на поверхні слідів стирання дискретно зміцнених зразків проявляються локальні кратери, зумовлені очевидно вириванням окремих зон, що відрізняються механічними властивостями і напруженим станом. Щільність і розміри кратерів поверхні стирання зразка, що піддавався двобічному обкатуванню значно більші, ніж на поверхні зразка, який піддавався однобічному обкатуванню.

Таблиця 1

**Показники зношування незміненої і дискретно зміцнених поверхонь зразків зі сталі 40X**

Тривалість випробувань $t$ , хв	Шлях тертя $S$ , м	Ширина сліду зносу $b$ , мм		
		зразок 1	зразок 2	зразок 3
30	766,7	0,75	0,55	0,25
60	1533,4	1,08	0,78	0,32
90	2300,1	1,25	1,00	0,36

120	3066,8	1,36	1,10	0,38
150	3833,5	1,45	1,15	0,4
180	4600,2	1,45	1,15	0,4

Вплив топографії дискретно зміцненої поверхні вала на зношування спареного вкладиша випробували за схемою тертя «циліндр - плоский вкладиш» (рис. 5) з використанням пристрою для мащення (рис. 2), у якому випробувальний вкладиш 5, нерухомо закріплений до повзуна 6, притискався силою  $p = 75 \text{ Н}$  до дискретно зміцненої поверхні зразка 3, що обертався з частотою  $n = 340 \text{ об/хв}$ . за умови мащення оливою ол Castrol 10W-40 (67 %).

Випробували вкладиші у формі прямокутних пластин шириною 14 мм і товщиною 2 ... 4 мм з технічно чистого алюмінію А85, латуні Л63, антифрикційного матеріалу корінних вкладишів двигуна автомобіля і вуглецевої сталі 20. Оскільки за вказаних умов спостерігалось інтенсивне зношування вкладишів з кольорових металів, то слід стирання кожного вкладиша вимірювали тричі через 10 хв тертя. Шлях тертя за 10 хв випробувань складав 25,5 м, за 20 хв – 51 м, за 30 хв – 76,5 м. Ширину  $b$  сліду стирання сталевих вкладишів вимірювали мікроскопом МБС-10, а інших вкладишів – штангенциркулем Digital caliper з електронним дисплеєм. Встановлено, що зношування вкладишів практично не залежить від топографії зміцненої поверхні спареного зразка, а відхилення розмірів сліду стирання знаходиться в межах похибки вимірювання. Усереднені результати випробувань вкладишів представлені на рис. 6, де крива 1 відповідає зношуванню вкладиша з технічно чистого алюмінію А85, крива 2 – антифрикційному матеріалу корінних вкладишів двигуна автомобіля, крива 3 – латуні Л63, крива 4 – сталевих вкладишів (сталь 20).

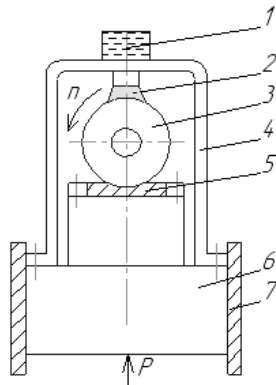


Рис. 5 – Пристрій випробування за семою тертя «циліндр-плоский вкладиш»

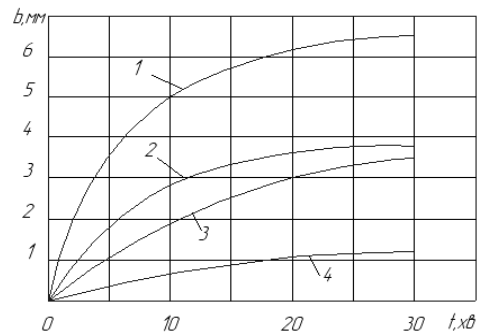


Рис. 6 – Залежність ширини сліду стирання вкладиша від тривалості випробування

Величина зносу вкладишів розрахована за формулою:

$$u = R - 0,5\sqrt{4R^2 - b^2}, \quad (1)$$

де  $R$  – радіус зміцненої поверхні зразка, мм;

$b$  – ширина сліду стирання вкладиша, мм.

Експериментальні значення ширини сліду стирання і розраховані за формулою (1) загальноприйняті величини зносу вкладишів випробуваних матеріалів наведено в табл. 2.

Таблиця 2

#### Показники зношування вкладишів з випробуваних матеріалів

Матеріал вкладиша	Твердість, МПа	Ширина сліду стирання $b$ , мм			Величина зносу $u$ , мм		
		10 хв	20 хв	30 хв	10 хв	20 хв	30 хв
Алюміній А85	230	5,10	6,25	6,47	0,27	0,42	0,44
Антифрикційний*	950	2,85	3,37	3,74	0,08	0,12	0,14
Латунь Л63	1100	1,83	3,0	3,50	0,03	0,09	0,13
Сталь 20	2230	0,8	1,08	1,12	0,004	0,010	0,011

Примітка: \* матеріал корінних вкладишів колінчастого вала двигуна автомобіля.

Встановлена прямо пропорційна залежність зносу від твердості матеріалу вкладиша: чим більша твердість, тим менша величина зносу. За даних умов випробування знос вкладиша з алюмінію А85 після 30 хв тертя більше, ніж у 4 рази перевищує знос вкладишів з латуні ЛБ3 і матеріалу корінних вкладишів колінчастого вала двигуна автомобіля.

### Висновки

1. Електромеханічна обробка циліндричної поверхні твердосплавним роликком призводить до різного ступеню дискретного зміцнення поверхні зразка залежно від способу обкатування, що проявляється в процесі випробувань поверхні на її зносостійкість.

2. При однобічному і двобічному обкатуванні за умови інших однакових умов зносостійкість дискретно зміцненої поверхні зразків зі сталі 40Х відповідно в 1,26 і 3,62 рази збільшується у порівнянні із зносостійкістю поверхні не зміцненого зразка.

3. Підвищення зносостійкості зумовлено як утворенням дискретних зон більш високої твердості ніж твердість основного металу, так і величиною та характером внутрішніх напружень у поверхневому шарі, які виникають під час утворення таких зон. Теоретичний аналіз напруженого стану дискретно зміцненої поверхні [4] показав, що при однобічному обкатуванні в поверхневому шарі виникають значні дотичні неврівноважені залишкові напруження розтягу матеріалу, які практично відсутні при двобічному обкатуванні.

4. Оскільки наявність дотичних розтягувальних напружень в поверхневому шарі негативно впливає на його зносостійкість, то підвищення зносостійкості на 26% при однобічному обкатуванні очевидно зумовлено більшим ефектом позитивного впливу зміцнення дискретних зон і меншим впливом несприятливого напруженого стану обробленої таким чином поверхні.

5. Суттєве підвищення зносостійкості у 3,62 рази при двобічному обкатуванні можна обґрунтувати тим, що перехресне формування дискретних зон призводить до більш вагомого ефекту їх зміцнення за умови врівноваженого напруженого стану поверхні у порівнянні з однобічним обкатуванням.

6. Геометричні параметри дискретно зміцнених зон поверхні вала практично не впливає на зношування спареного з ним вкладиша, ступінь зносу якого пропорційно залежить від твердості матеріалу вкладиша.

### Література

1. Вельбой В.П. Технологія і пристрої електромеханічного формування топографії зон дискретного зміцнення циліндричної поверхні / В.П. Вельбой, М.О. Диха, О.Ю. Биков // "Вісник Хмельницького національного університету", 2012. – №2 (187). – С. 7-10.

2. Вельбой В.П. Багатофункціональна лабораторна установка для дослідження трибологічних властивостей конструкційних і мастильних матеріалів / В.П. Вельбой, А.Г.Кузьменко, О.В. Диха, М.О. Диха // Проблеми трибології. – 2008. – №1. – С. 94-98.

3. Диха О.В. Теорія та експеримент методу трибологічних випробувань за схемою «циліндр - куля» / О.В.Диха, В.П.Вельбой, М.В.Диха // Проблеми трибології. – 2012. – №2. – С. 135-138.

4. Сорокатиї Р.В. Геометричні параметри дискретної електромеханічної обробки і напружений поверхневий стан / Р.В. Сорокатиї, М.О. Диха // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2012. – № 4. – С. 123-126.

5. Вельбой В.П. Дослідження впливу попереднього напруження контактної поверхні тертя на її зношування / В.П. Вельбой // Проблеми трибології. – 2012. – №2. – С. 78-83.

Поступила в редакцію 25.03.2013

**Dykha O.V., Velboj V. P., Dykha M.O. Types and results of tribological tests of the discretely modified cylinder standards.**

Presented results of experimental tests of wearproofness of fixed discrete electric tooling of cylinder standards. The discreteness of treatment was arrived at by creation on-the-spot of tracks of treatment, located with the set step under a corner to cylinder formative standards. As a result of tests the set influence of geometry of treatment on wearproofness of standards and influence of the discrete strengthening is on the wear of conjugating construction antifriction materials. Electromechanics treatment of cylinder surface results a hard-alloy roller in the different degree of the discrete strengthening of surface of standard depending on the method of rolling-off which shows up in the process of tests of surface on its wearproofness. The increase of wearproofness is predefined both formation of discrete areas of higher hardness than hardness of parent metal and size and character of internal tensions in a superficial layer, which arise up during formation of such areas. Substantial increase of wearproofness in 3,62 times at a bilateral rolling-off it is possible to ground that the cross forming of discrete areas results in more ponderable effect of their strengthening on condition of the balanced tense consisting of surface of comparing to the one-sided rolling-off. Geometrical parameters of the discretely fixed areas of surface practically does not influence on the wear of bearing coupled with it, the degree of wear of which proportionally depends on hardness of material of standard.

**Keywords:** test, wear, electromechanics strengthening, geometry of treatment, antifriction materials.

**References**

1. Velboj V.P., Dykha M.O., Bykov O.Yu. Tehnologija i pristroi elektromehanichnogo formuvannja topografii zon diskretnogo zmicnennja cilindrichnoï poverhni. Visnik Hmelnickogo nacionalnogo universitetu. 2012. No 2 (187). pp. 7–10.
2. Velboj V.P., Kuzmenko A.G., Dykha O.V., Dykha M.O. Bagatofunkcionalna laboratorna ustanovka dlja doslidzhennja tribologichnih vlastivostej konstrukcijnih i mastilnih materialiv. Problemi tribologii. 2008. No 1. pp. 94-98.
3. Diha O.V. Teorija ta eksperiment metodu tribologichnih viprobuvan' za shemoju «cilindr - ku-lja» / O.V.Diha, V.P.Vel'boj, M.V.Diha // Problemi tribologii. – 2012, - №2. – S. 135-138.
4. Sorokatij R.V., Dykha M.O. Geometrichni parametri diskretnoï elektromehanichnoi obrobki i napruzhenij poverhnevij stan. Problemi tribologii (Problems of Tribology). 2012. No 4. pp. 123-126.
5. Velboj V.P. Doslidzhennja vplivu poperedn'ogo napruzhenja kontaktnoï poverhni tertja na ii znoshuvannja. Problemi tribologis. 2012. No 2. pp. 78-83.