Диха О.В.,*
Гедзюк Т.В.,*
Стебелецька Н.М.**
* Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна
** Бережанський агротехнічний інститут, м. Бережани, Україна
E-mail: tribosenator@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ ЗМАЩЕНИХ ТРИБОСИСТЕМ З МІДЬВМІСНОЮ ПРИСАДКОЮ

УДК 621.891

Представлені результати теоретико-експериментального моделювання впливу концентрації мідьвмісної присадки до моторної оливи на інтенсивність зношування сталевих конічних зразків з урахуванням температурного та навантажувального факторів. Для визначення параметрів моделі зношування проведені випробування зразків із змінною площадкою зносу в процесі зношування, що за результатами випробувань окремого зразка дозволяє отримати масив даних по зносу при різних контактних навантаженнях. Чисельна та графічна реалізація результатів моделювання дозволила встановити оптимальний вміст присадки за критерієм найменшої зносостійкості.

Ключові слова: інтенсивність зношування, температура, контактний тиск, оптимальний вміст присадки.

Вступ та постановка завдання

Механізм утворення шарів із зниженним тертям на поверхнях деталей машин за рахунок олив із додатками порошків металів все більше привертає уваги дослідників.

При цьому модифікований верхній шар сприяє зменшенню тертя та зносу деталей трибосистем. Найчастіше на практиці використовують декілька типів порошків: Cu, Al, Pb, Fe, латуні та інші.

Незважаючи на цілий ряд наукових робіт, проблема пояснення механізму дії порошків металів в зоні тертя залишається відкритою. Спочатку за причину зниження опору руху приймали зміну виду тертя з ковзання на кочення. Вважалось, що сферичні частинки металів розділяють поверхні змінюючи ковзне контактування верхівок нерівностей на перекочування за участю третього тіла – сферичних частинок металів. Але ця гіпотеза не знайшла експериментального підтвердження, оскільки частинки металів інших форм також виконували функцію змащувальних додатків.

Останні роботи показують, що механізм зменшення опору переміщенню та зносу із застосуванням олив з додатками порошків металів, полягає у модифікації верхнього шару в процесі тертя [1, 2, 3].

В роботі [1] встановлено, що найбільше зниження коефіцієнту тертя отримано при самому більшому навантаженні і швидкості ковзання. Тобто для ініціалізації механізму зменшення опору руху потрібно підведення енергії в трибосистему. Також встановлено, що із ростом твердості частинок міді зростає ефективність змащування, вантажопідйомність мастильного шару та зменшується знос елементів, що труться. Процес утворення шару низького тертя має динамічний характер та залежить від ходу процесу тертя.

При використанні добавок порошків металів у змащувальні композиції має місце також ремонтно-відновлювальний ефект. Результати спостережень за допомогою скануючої мікроскопії наведені в роботі [2] . Було встановлено, що зміна морфології порошку міді є наслідком дії високої температури.

Дослідження, представлені в роботі [3] показують механізм збільення твердості верхнього шару в результаті використання порошку латуні. Аналіз показав, що верхній шар поверхні тертя складається при цьому із сполук Cu, Zn и Fe_2O_3 і має значно більшу твердість ніж основа.

Крім того помітили модифікацію верхнього шару через збагачення киснем, тобто в процесі тертя частинки металу піддаються не тільки деформації, але й окисненню.

Отже результати експериментів підтверджують створення поверхневих шарів із зниженим опором тертю за рахунок використання добавок порошків металів у змащувальні композиції. При цьому механізмами дії цих добавок є: пластична деформація, температурне зчеплення та окиснення.

В даній роботі досліджується ефективність використання мідьвмісної присадки до моторної оливи за критерієм підвищення протизносних властивостей досліджуваних сталевих зразків.

Методика теоретичних та експериментальних досліджень.

Випробували знос зразків зі сталі 45, загартованих до твердості 40HRC за умови тертя в моторній оливі Magnum 15W-40 без присадки і з присадкою [5] різної концентрації , яка містила олеїнову кислоту, гліцерин, мідний пудру і мідний купорос відповідно 65, 13, 20 і 2 об. %. Досліди А і Б проводили за нормальної температури (24 ^{o}C) оливи і нагрітої до 54 ^{o}C. Тривалість безперервного тертя за кожним режимом складала 30 хв, після чого слід зношування поверхні зразка у формі доріжки зношування

шириною 2*a* (мм) вимірювали мікроскопом МБС – 10 з точністю 0,05 мм. Випробування кожного зразка проводилось протягом 3-х годин, що відповідало шляху тертя 2052 м.

За кількісний критерій оцінки впливу факторів температури, концентрації мідвмісної приадки та навантаження на трибологічні властивості приймався безрозмірний комплекс для розрахунку інтенсивності зношування у вигляді [4]:

$$I = \frac{du_W}{dS} = fK_W\left(\frac{\sigma}{HB}\right)^m\left(\frac{T}{T^*}\right)^p, \quad (1)$$

де f − коефіцієнт тертя;

σ − тиск у контакті, МПа;

HB − твердість за Брінелем, МПа;

u_W − лінійне зношування конусної поверхні, м;

S − шлях тертя для конуса, м;

K_W, m, p − параметри закономірності зношування;

T, T^* − відповідно температура випробувань і базова температура, ^{0}C.

Параметри закономірності зношування для конкретної серії випробувань розраховувались за отриманими нами формулами в роботі [4].

Результати випробувань та їх обговорення

Результати трибологічних випробувань для заданих умов наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Ширина доріжки зношування 2*a* (мм) конічних зразків зі сталі 45 при змащуваннімоторною оливою Magnum 15W – 40

S, м	*T* = 24 °C				*T* = 54 °C			
	вміст присадки, %							
	б/п	1 %	2 %	3 %	б/п	1 %	2 %	3 %
342	0,30	0,25	0,15	0,4	0,95	0,55	0,50	0,75
684	0,65	0,4	0,25	0,5	1,25	0,65	0,60	0,95
1026	0,90	0,50	0,35	0,55	1,40	0,75	0,70	1,15
1368	1,20	0,66	0,50	0,60	1,40	0,85	0,80	1,15
1710	1,30	0,675	0,55	0,70	1,40	0,95	0,80	1,25
2052	1,30	0,675	0,55	0,70	1,40	1	0,80	1,25

Графічна інтерпретація результатів випробувань представлена на рис. 1 - 2.

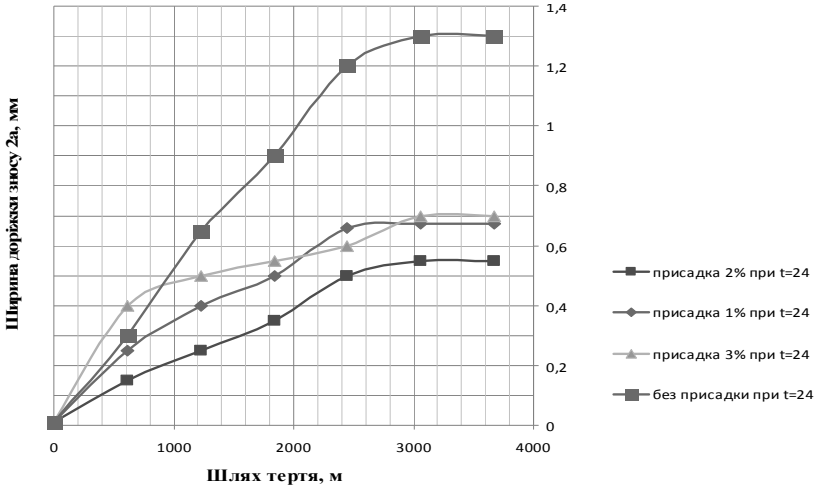

Рис. 1 – Залежність доріжки зносу конічного зразки від шляху тертя при температурі оливи 24 °C

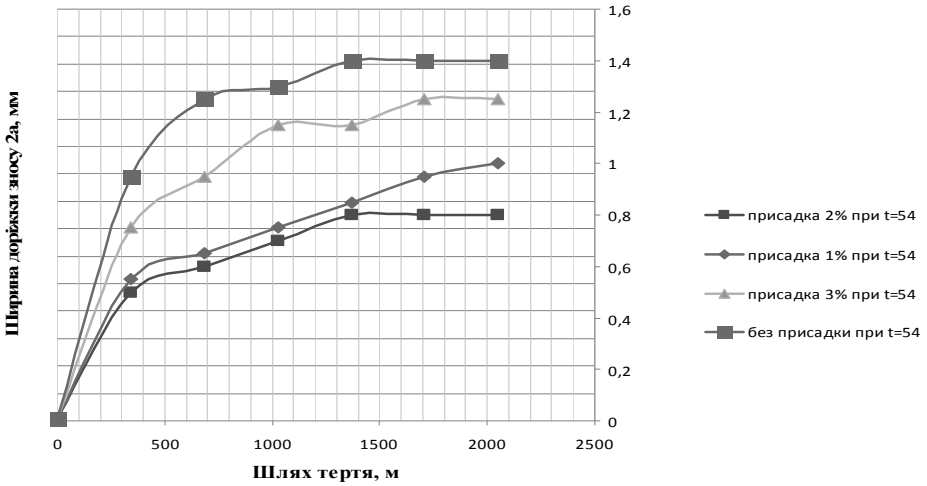

Рис. 2 – Залежність доріжки зносу конічного зразки від шляху тертя при температурі оливи 54 °С

Обробка результатів випробувань

Отримані графічні залежності були апроксимовані степеневими функціями за допомогою програми Excel і в подальшому використані для розрахунку параметрів моделі інтенсивності зношування (1). Нижче в табл. 2 наведені результати розрахунку параметрів інтенсивності зношування.

Таблиця 2

Результати розрахунку параметрів степеневої апроксимації та параметрів інтенсивності зношування

Параметр моделі зношування		c	β	m	p	K_W
Присадка 1%	24 °С	0,043	0,3269	0,4217	0,9882	$2{,}9559 \cdot 10^{-3}$
	54 °С	0,057	0,3765			
Присадка 2%	24 °С	0,037	0,3028	0,4963	1,436	$1{,}1455 \cdot 10^{-3}$
	54 °С	0,0546	0,3655			
Присадка 3%	24 °С	0,0464	0,3326	0,36	1,1409	$4{,}9983 \cdot 10^{-3}$
	54 °С	0,0652	0,4027			
Без присадки	24 °С	0,0514	0,3741	0,2957	0,7255	0,01
	54 °С	0,0706	0,4162			

Отримані параметри повністю ідентифікують модель зношування (1), яка дозволяє розраховувати кількісні значення інтенсивності зношування. В табл. 3 приведені результати розрахунку інтенсивності зношування за допомогою програми MathCad за результатами експериментальних випробувань при вмісті присадки до моторної оливи від 1 до 3 відсотків.

Таблиця 3

Результати розрахунку значень інтенсивності зношування (МПа)

σ, МПа / T, °С	Конц. прис.	5	10	15	20
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
20	0 %	52,266	64,154	72,325	78,746
	1 %	11,703	15,676	18,599	20,998
	2 %	3,8492	5,4298	6,6403	7,6594
	3 %	22,662	29,085	33,656	37,328
40	0 %	86,418	106,07	119,59	130,2
	1 %	23,217	31,098	36,897	41,655
	2 %	10,415	14,691	17,967	20,724
	3 %	49,976	64,14	74,22	82,318

Продовження таблиці 3

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
60	0 %	115,97	142,35	160,48	174,73
	1 %	34,66	46,426	55,082	62,186
	2 %	18,643	26,299	32,161	37,097
	3 %	79,373	101,87	117,88	130,74
80	0 %	142,89	175,39	197,73	215,28
	1 %	46,057	61,692	73,195	82,634
	2 %	28,179	39,751	48,612	56,073
	3 %	110,21	141,45	163,67	181,53

За отриманими в табл. 3 значеннями побудовані графічні залежності інтенсивності зношування від вмісту присадки, які показані на рис. 3.

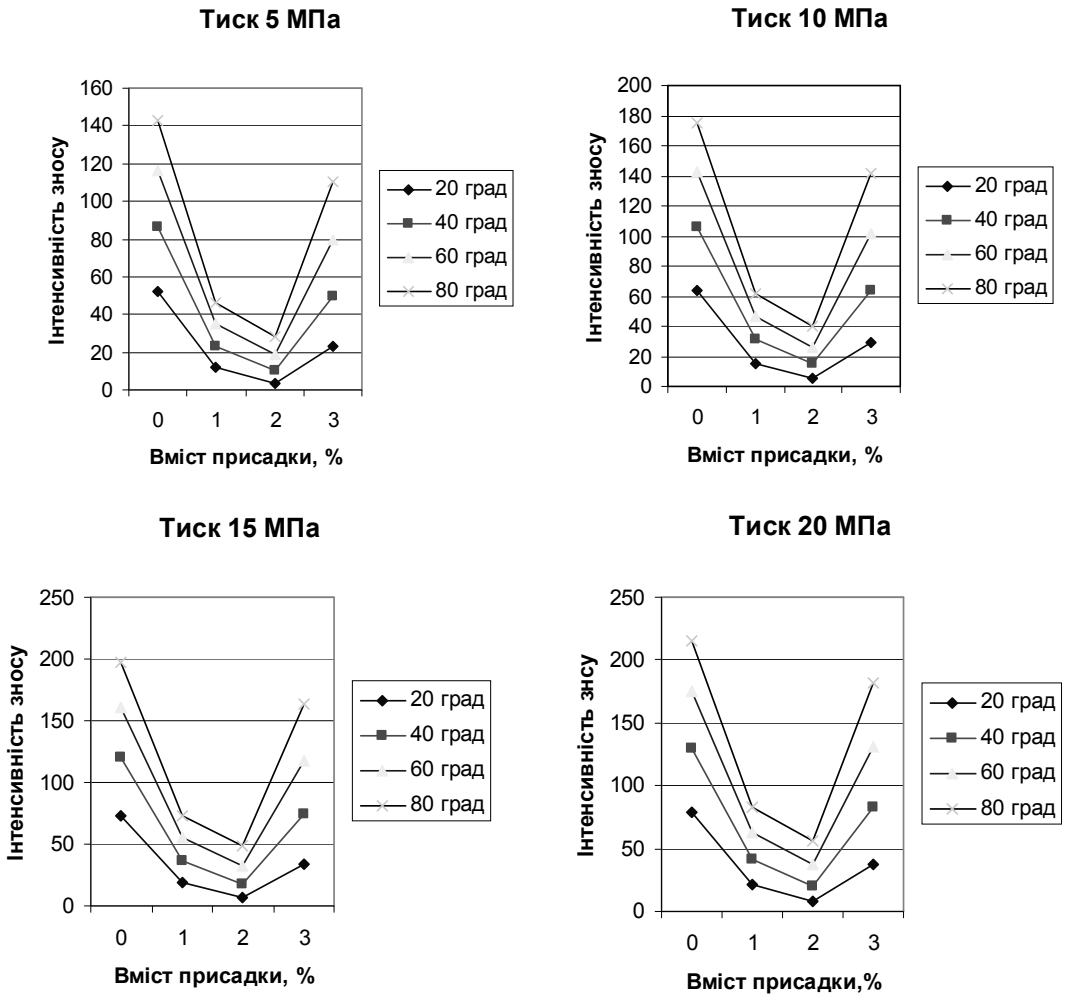

Рис. 3 – Залежності інтенсивності зношування від вмісту присадки, контактного тиску і температури оливи

Аналіз отриманих залежностей свідчить про наявність оптимального вмісту мідвмісної присадки за критерієм найменшої інтенсивності зношування для всього досліджуваного діапазону контактного тиску. Із збільшенням температури і контактного тиску інтенсивність зношування зростає майже лінійно.

Висновки

1. Проведений аналіз досліджень по використанню металевих порошків як добавок до моторних олив та встановлені механізми протизносної та антифрикційної дії таких добавок.

2. Проведені лабораторні випробування на знос за схемою «конус-три кульки» з урахуванням впливу температури моторної оливи та навантажень. Результати випробувань використані для визначення кількісних параметрів зносостійкості.

3. Розрахунково-експериментальним підходом визначений оптимальний вміст мідьвмісної присадки до оливи за критерієм найменшої інтенсивності зношування. Для різних температурних і навантажувальних режимів це значення складає біля 2 відсотків.

4. Отримана процедура побудови та ідентифікації запропонованої моделі зношування рекомендується для кількісного порівняння ефективності технологічних та конструкторських способів покращення трибологічних властивостей конструкційних матеріалів та технічних олив.

Література

1. Study of friction reduction by nanocopper additives to motor oil / S. Tarasov, A. Kolubaev, S. Belyaev, M. Lerner, F. Tepper // Wear. 2002, vol. 252. – S. 63-69.

2. Investigation of the mending effect and mechanism of copper nano-particles on a tribologically stressed surface / G. Liu, X. Li, B. Qin, D. Xing, Y. Guo, R. Fan // Tribology Letters. 2004, vol. 17, nr 4. – S. 961–966.

3. Tarasov S. Alloying contact zones by metallic nanopowders in sliding wear / S. Tarasov, S. Belyaev // Wear. 2004, vol. 257. – S. 523-530.

4. Диха О. В. Розрахунково-експериментальне моделювання впливу температури і модифікації моторної оливи на зносостійкість сталевих зразків / О. В. Диха, Т. В. Гедзюк // Проблеми трибології. – 2015. – № 2. – С. 95-100.

5. Пат. 95055 Україна, МПК (2014.01) С 10М 163/00. Присадка до мастильних матеріалів / О. В. Диха , Т. В. Гедзюк , В. П. Вельбой; заявник і патентовласник Хмельницький нац. ун-т. – u201406804; заявл. 16.06.2014 ; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23. – 3 с.

П р о б л е м и т р и б о л о г і ї
“P r o b l e m s o f T r i b o l o g y”
E-mail: tribosenator@gmail.com

Поступила в редакцію 25.03.2016

Dykha O.V., Gedzuk T.V., Stebeletska N.M. **Modeling of wear process of the lubricated tribosystems with copper additive.**

Presents the results of theoretical and experimental modeling of the influence of the concentration of copper VME additive to engine oil on the wear rate of the conical steel specimens taking into account the temperature and load factors. To determine the parameters of the models wear the samples were tested with variable pad wear in the wear process, that test results of each sample allows to get the data array for wear under different contact loads. Numerical and graphical implementation of simulation results allowed to establish the optimum content of the additive by the criterion of minimum durability.

Keywords: wear rate, temperature, contact pressure, the optimum content of the additive.

References

1. Study of friction reduction by nanocopper additives to motor oil. S. Tarasov, A. Kolubaev, S. Belyaev, M. Lerner, F. Tepper. Wear. 2002, vol. 252. S. 63-69.

2. Investigation of the mending effect and mechanism of copper nano-particles on a tribologically stressed surfaceю. G. Liu, X. Li, B. Qin, D. Xing, Y. Guo, R. Fan. Tribology Letters. 2004, vol. 17, nr 4. S. 961–966.

3. Tarasov S. Alloying contact zones by metallic nanopowders in sliding wear. S. Tarasov, S. Belyaev. Wear. 2004, vol. 257. S. 523-530.

4. Dykha O. V. Rozrakhunkovo-eksperymentalne modelyuvannya vplyvu temperatury i modyfikatsiyi motornoyi olyvy na znosostiykist stalevykh zrazkiv. O. V. Dykha, T. V. Hedzyuk. Problemy trybolohiyi. 2015. No 2. P. 95–100.

5. Pat. 95055 Ukrayina, MPK (2014.01) S 10M 163/00. Prysadka do mastyl'nykh materialiv. O. V. Dykha, T. V. Hedzyuk , V. P. Vel'boy; zayavnyk i patentovlasnyk Khmel'nyts'kyy nats. un-t. u201406804; zayavl. 16.06.2014 ; opubl. 10.12.2014, Byul. No 23. 3 p.