

УДК 621.891.22; 678.019: 665.3

Антифрикційні властивості полікомпонентних композицій на основі хімічно-модифікованої ріпакової оливи під час мащення пари ароматичний поліамід – сталь

Г.О. Сіренко¹, Л.Я. Мідак¹, О.В. Кузишин¹, Л.М. Кириченко², В.І. Кириченко²

¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

57, вул. Шевченка, Івано-Франківськ, 76025, Україна

²Хмельницький національний університет

11, вул. Інститутська, Хмельницький, 29016, Україна

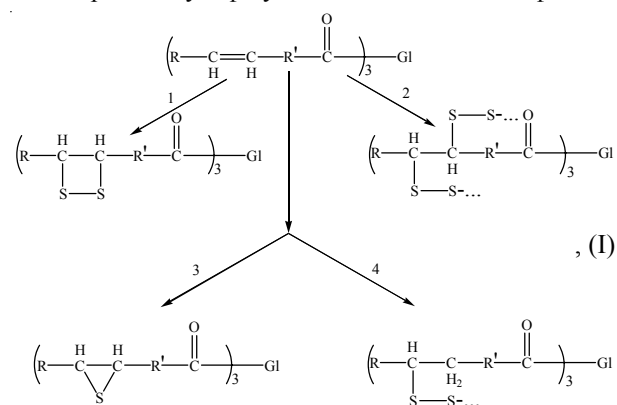
Досліджено залежність інтенсивності зношування пари ароматичний поліамід – сталь від вмісту компонентів мастильної композиції на основі хімічно-модифікованої ріпакової оливи.

Вступ

Ріпакова олива значно перевищує мінеральні і синтетичні оливи за екологічними властивостями [1, 2], але має ряд істотних недоліків: високу хімічну активність, отже, термодинамічну нестабільність за рахунок, перш за все, великої кількості ненасичених зв'язків у структурі тригліцеридів кислот; недостатню для дисперсійного середовища в'язкість; відносно низькі протизадирні і протизношувальні властивості металевих поверхонь та їх захист від зварювання в контактних точках під час тертя та зношування [3].

Ефективним способом модифікації гліцеридів ріпакової оливи є введення в їх структуру трибо-хемоактивних елементів S, P і Cl, які, не тільки надають їм високих протизадирних і протизношувальних властивостей, а й покращують стійкість мастил до окисації [1, 4]. Технологія сульфидування ріпакової оливи розглянута в [3, 5–7], властивості отриманих продуктів – у [8–12], вплив концентрації сірки на властивості продуктів – у [3, 5–7, 13, 14], а склад композицій – у [15–18].

У процесі сульфидування має місце модифікація



де: Gl – гліцеринові залишки тригліцеридів оливи.

вуглецевокислотних залишків гліцеридів ріпакової оливи, яка досягається різними шляхами: перетворенням ненасичених залишків у насичені реакціями приєднання; зшиванням певної частки кислотних залишків як внутрішньо- так і міжмолекулярно, підвищуючи молекулярну масу тригліцеридів ріпакової оливи, а, отже, і її в'язкість; а також введенням до структури кислотних залишків атомів сірки. Отже, суть хімічної модифікації тригліцеридів оливи можна наближено подати такими схемами внутрішньо- і міжмолекулярних реакцій (Схема I).

Залежно від масової частки сірки, що вводиться під час сульфидування оливи, можна передбачити утворення продуктів, які різняться в'язкістю. Так, введення більше 12 % сірки приводить до утворення дуже в'язких, а потім і квазітвердих продуктів (до 25 %) за рахунок зшивання кислотних залишків, як площинними так і просторовими сульфідними чи полісульфідними групами.

Проте, як виявилось [3], сульфидована олива теж має певні недоліки, такі як недостатні протизношувальні і протизварювальні властивості при використанні у важконавантажених парах сталь–сталь, сталь–бронза. З метою підвищення антифрикційних властивостей мастильних композицій на основі сульфидованої ріпакової оливи або її сумішей з мінеральними мастилами запропоноване [15] введення до їх складу ряду присадок універсальної дії, вміст яких можна змінювати залежно від призначення композиції: сірки 1–25 %, дифенілтіосечовини (ДФТМ) 0,1–3,2 %, трифенілфосфіну (ТФФ) 0,1–1,7 % і бензотриазолу (БТА) 0,1–1,7 %.

Мета дослідження полягала у виявленні залежності інтенсивності зношування поверхні ароматичного поліаміду фенілолу С-2 під час тертя по сталі 45 від взаємного впливу компонентів хімічно-модифікованої ріпакової оливи.

Таблиця 1. Фактори і рівні варіювання

Кількісні фактори	Вміст компонентів, мас. %			
	S (X_1)	ДФТМ (X_2)	ТФФ (X_3)	БТА (X_4)
Основний рівень (0)	6,0	1,70	0,9	0,9
Інтервал варіювання	2,5	0,75	0,4	0,4
Верхній рівень (+1)	8,5	2,45	1,3	1,3
Нижній рівень (-1)	3,5	0,95	0,5	0,5
Горішня «зіркова точка» (+2)	11,0	3,20	1,7	1,7
Долішня «зіркова точка» (-2)	1,0	0,20	0,1	0,1

Експериментальна частина

1. Технологія приготування композиції наведена в [19]. Полімерні зразки – пальці були виготовлені з ароматичного поліаміду фенілон С-2 (продукт поліконденсації метафенілендіаміну і дихлорангідридів ізофталевої (60 %) і терефталевої (40 %) кислот) [20]. Зразки отримували за технологією переробки ароматичних поліамідів [20, 23].

2. Триботехнічні випробування. Дослідження функціональних властивостей олив для пари тертя фенілон С-2 – сталь 45 проведені на трипальчиковому трибометрі ХТІ-72. Трипальчикова машина тертя [21, 22] мала три циліндричних пальці діаметром $10,0 \pm 0,1$ мм і висотою $15,00 \pm 0,05$ мм зі сферичною кінцівкою радіусом $r_c = 6,35$ мм, що отримана фасонним різакон на токарному верстаті, які ковзали торцями по поверхні сталі 45 (НВ 4,45 ГПа; $Ra_0 = 0,30 \pm 0,05$ мкм) при швидкості $v = 0,5$ м/с на ділянці шляху тертя 0–10 км – перший етап і 10–25 км – другий етап. Припрацювання здійснювали без мастила до отримання плями зносу зразків діаметром $(2,0 \pm 0,1)$ мм за умови: нормальне навантаження на один зразок 50 Н. Після припрацювання поверхню металу знову очищували до $Ra_0 = 0,20 \pm 0,02$ мкм. На поверхню металу наносили плівки мастила висотою до 1 мм. Умови під час проведення дослідів: на першому етапі нормальне навантаження на одну кульку становило 200 Н, а на другому – 350 Н, температура на відстані 1 мм від поверхні контртіла становила 50 ± 2 °С.

3. Планування експерименту. Використовували центральний композиційний рототабельний план

другого порядку для чотирьох факторів [24–26]: масового вмісту сірки (S) (X_1), вмісту дифенілтіосечовини (ДФТМ) (X_2), вмісту трифенілфосфіну (ТФФ) (X_3), вмісту бензотриазолу (БТА) (X_4). Фактори і рівні варіювання наведені в табл. 1.

В якості функції відгуку U_1 вибрана питома інтенсивність зношування ($\text{мм}^3/(\text{Н}\cdot\text{м})$) фенілону С-2. Модель експерименту – поліном 2-го порядку. Гіпотезу про значущість коефіцієнтів моделі перевіряли за допомогою критерію Стьюдента [27], (незначущі коефіцієнти порівняно з помилкою експерименту відкидали з рівнем значущості $\alpha = 0,05$), адекватність моделі на рівні дисперсії відновлення з рівнем значущості $\alpha = 0,05$ перевіряли за допомогою критерію Фішера [25, 27].

Результати та обговорення

Після реалізації плану експерименту та статистичного аналізу отримано адекватне рівняння в кодових величинах факторів у вигляді:

$$U_3 \cdot 10^6 = 0,159 - 0,0325X_1 + 0,0229X_2 + 0,0235X_4 + 0,0324X_1X_4 - 0,026X_2^2 - 0,0379X_3^2 + 0,01635X_4^2 \quad (1)$$

Аналіз отриманих рівнянь за допомогою інваріантів означення центру фігури та виду поверхні [25] показав, що для питомої інтенсивності зношування залежності функції відгуку від трьох факторів при фіксованому значенні четвертого фактора мають такий вигляд: при $X_1=0$; $X_2=0$ і $X_3=0$ – однопорожнинного гіперboloїда; при $X_4=0$ – уявного еліптичного циліндра.

При виборі оптимальних параметрів побудовано двовимірні перерізи функції відгуку (1) при фіксованому значенні двох факторів, що дає змогу одержати

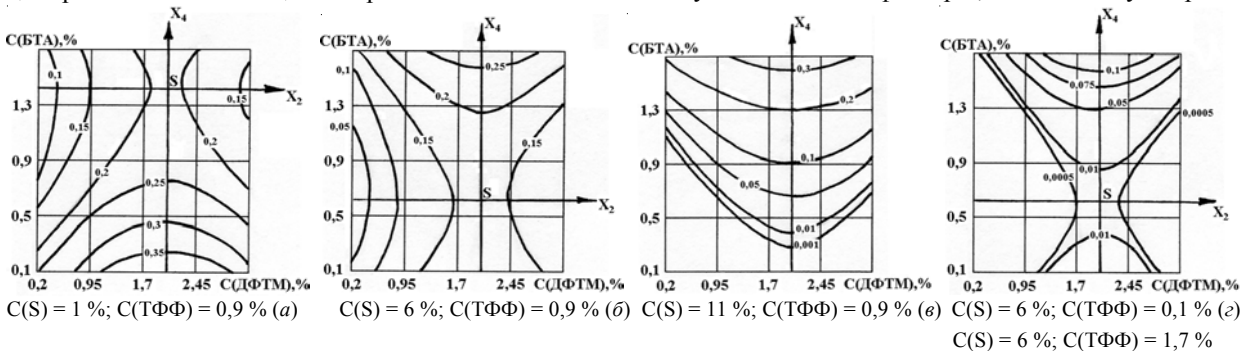


Рис. 1. Двовимірні перерізи функції відгуку питомої інтенсивності зношування зразка фенілону С-2 під час тертя по сталі 45 від вмісту дифенілтіосечовини та бензотриазолу при фіксованих значеннях вмісту сірки і трифенілфосфіну. На всіх рисунках на кривих рівнях значень функції відгуку наведені величини питомої інтенсивності зношування зразка фенілону С-2 [$\text{мм}^3/(\text{Н}\cdot\text{м})$]

Таблиця 2. Канонічні рівняння функції відгуку при фіксованих значеннях факторів

Координати центру та кут повороту	Канонічне рівняння	
$X_1=-2; i X_3=0: S(0,4; 1,3); \alpha=0^\circ;$	$Y-0,2030 = -0,026X_2^2 + 0,0164X_4^2$	(3)
$X_1=0; i X_3=0: S(0,4; -0,7); \alpha=0^\circ;$	$Y-0,1556 = -0,026X_2^2 + 0,0164X_4^2$	(4)
$X_1=+2; i X_3=0: S(0,4; -2,7); \alpha=0^\circ;$	$Y+0,0202 = -0,026X_2^2 + 0,0164X_4^2$	(5)
$X_1=0; i X_3=-2; X_3=+2: S(0,4; -0,7); \alpha=0^\circ;$	$Y-0,0040 = -0,026X_2^2 + 0,0164X_4^2$	(6)
$X_2=-2; i X_3=0: S(-1,7; 1,0); \alpha=-31,6^\circ;$	$Y-0,0492 = -0,01X_1^2 + 0,0263X_4^2$	(7)
$X_2=0; i X_3=0: S(-1,7; 1,0); \alpha=-31,6^\circ$	$Y-0,1990 = -0,01X_1^2 + 0,0263X_4^2$	(8)
$X_2=+2; i X_3=0: S(-1,7; 1,0); \alpha=-31,6^\circ;$	$Y-0,1408 = -0,01X_1^2 + 0,0263X_4^2$	(9)
$X_2=0; i X_3=-2; X_3=+2: S(-1,7; 1,0); \alpha=-31,6^\circ;$	$Y-0,0474 = -0,01X_1^2 + 0,0263X_4^2$	(10)
$X_1=-2; i X_2=0: S(0; 1,3); \alpha=0^\circ;$	$Y-0,1979 = -0,0379X_3^2 + 0,0164X_4^2$	(11)
$X_1=0; i X_2=0: S(0; -0,7); \alpha=0^\circ;$	$Y-0,1506 = -0,0379X_3^2 + 0,0164X_4^2$	(12)
$X_1=+2; i X_2=0: S(0; -2,7); \alpha=0^\circ;$	$Y+0,0252 = -0,0379X_3^2 + 0,0164X_4^2$	(13)
$X_1=0; i X_2=-2: S(0; -0,7); \alpha=0^\circ;$	$Y-0,0248 = -0,0379X_3^2 + 0,0164X_4^2$	(14)
$X_1=0; i X_2=+2: S(0; -0,7); \alpha=0^\circ;$	$Y-0,1164 = -0,0379X_3^2 + 0,0164X_4^2$	(15)
$X_1=-2; i X_4=0: S(0,4; 0); \alpha=0^\circ;$	$Y-0,2290 = -0,026X_2^2 - 0,0379X_3^2$	(16)
$X_1=0; i X_4=0: S(0,4; 0); \alpha=0^\circ;$	$Y-0,1640 = -0,026X_2^2 - 0,0379X_3^2$	(17)
$X_1=+2; i X_4=0: S(0,4; 0); \alpha=0^\circ;$	$Y-0,099 = -0,026X_2^2 - 0,0379X_3^2$	(18)
$X_1=0; i X_4=-2: S(0,4; 0); \alpha=0^\circ;$	$Y-0,1824 = -0,026X_2^2 - 0,0379X_3^2$	(19)
$X_1=0; i X_4=+2: S(0,4; 0); \alpha=0^\circ;$	$Y-0,2764 = -0,026X_2^2 - 0,0379X_3^2$	(20)

уявлення про закономірності зміни критерію оптимізації при варіюванні факторів. Для цього, зафіксувавши кожен з факторів на певному рівні (-2; 0; +2), визначено координати нового центра S, кут повороту нових осей координат α і перетворено отримане рівняння регресії (1) у канонічному вигляді:

$$Y - Y_s = B_{II} X_1^2 + B_{II} X_2^2 \quad (2)$$

Отримані результати наведені в табл. 2.

На рис. 1 зображено двовимірні перерізи функцій відгуку питомої інтенсивності зношування для пари фенілон С-2 – сталь 45 від вмісту ДФТМ і БТА при фіксованих значеннях вмісту сірки: 1 % ($X_1=-2$); 6 % ($X_1=0$); 11 % ($X_1=+2$) і фіксованому вмісті ТФФ: 0,1 % ($X_3=-2$); 0,9 % ($X_3=0$); 1,7 % ($X_3=+2$).

Аналіз цих перерізів при мінімальному вмісті сірки у композиції показує (рис. 1а), що мінімальні значення інтенсивності зношування спостерігаються для низьконаповнених ДФТМ композицій з вмістом БТА понад 0,8 %. Для низьконаповнених БТА композицій значення функції відгуку максимальні на

широкій ділянці факторного простору за вмістом ДФТМ. Лінії рівних значень функції цілі спостерігаються для композицій з вмістом ДФТМ 0,2–1,7 і 2,2–3,2 % на широкій ділянці факторного простору вмісту БТА. Збільшення вмісту сірки у композиції приводить до зменшення мінімальних значень функції відгуку, а її максимальні значення при цьому майже не змінюються (рис. 1б–е). Для низьконаповнених ДФТМ композицій інтенсивність зношування не залежить від вмісту БТА. Для композицій з вмістом S=11 % (рис. 1е) характер залежності змінюється: лінії рівних значень функції відгуку спостерігаються для всієї ділянки факторного простору вмісту ДФТМ. Мінімальні значення функції цілі зменшуються, порівняно з низьконаповненими сіркою композиціями, в 1000 разів і спостерігаються для композицій з вмістом БТА 0,2–1,0 %. Для високонаповнених БТА композицій інтенсивність зношування не залежить від вмісту ДФТМ.

При мінімальному та максимальному вмісті ТФФ у композиції (у межах факторного простору): S=6 %,

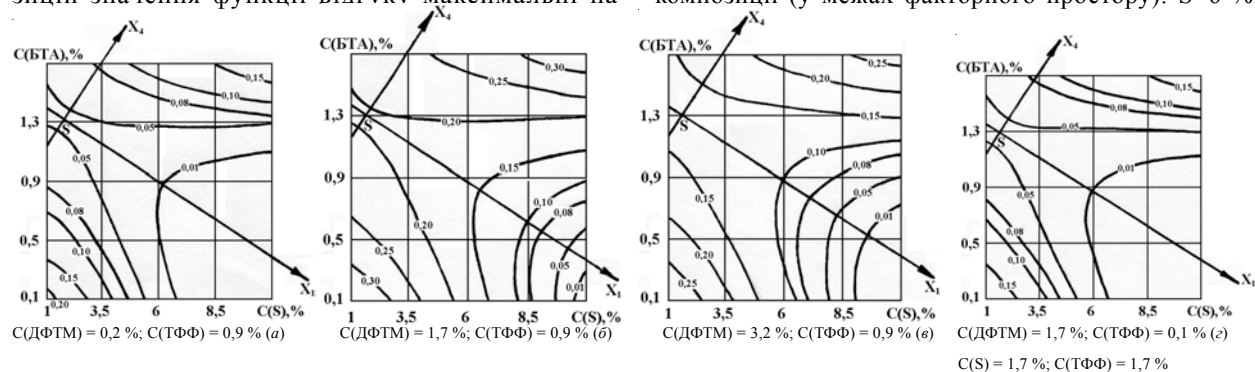


Рис. 2. Двовимірні перерізи функції відгуку питомої інтенсивності зношування зразка фенілону С-2 під час тертя по сталі 45 від вмісту сірки та бензотриазолу при фіксованих значеннях вмісту дифенілтіосечовини і трифенілфосфіну

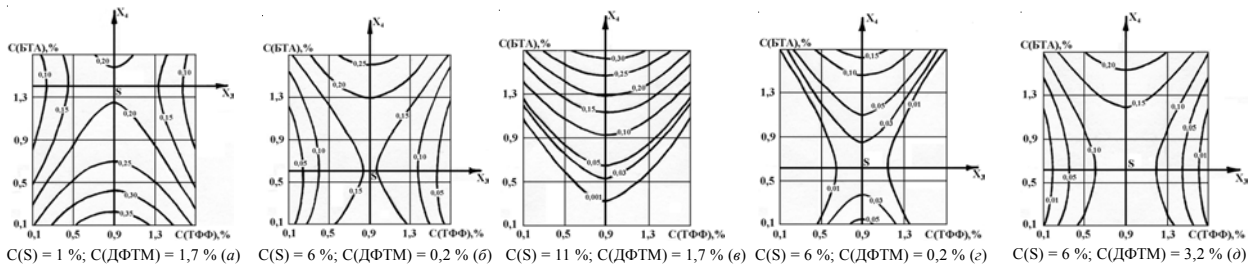


Рис. 3. Двовимірні перерізи функції відгуку питомої інтенсивності зношування зразка фенілону С-2 під час тертя по сталі 45 від вмісту трифенілфосфіну та бензотриазолу при фіксованих значеннях вмісту сірки і дифенілтіосечовини

ТФФ=0,1 % і ТФФ=1,7 % (рис. 1з) залежність функції відгуку від X_2 і X_4 однакова (рис. 1з). Мінімальні значення інтенсивності зношування зменшуються, порівняно з композиціями, наповненими 0,9 % ТФФ (рис. 1б), у 100 разів, а максимальні – в 2,5 рази.

На рис. 2 зображено двовимірні перерізи функцій відгуку питомої інтенсивності зношування для пари фенілон С-2 – сталь 45 від вмісту S та БТА при фіксованому вмісті ДФТМ: 0,2 % ($X_2=-2$); 1,7 % ($X_2=0$); 3,2 % ($X_2=+2$) і ТФФ: 0,1 % ($X_3=-2$); 0,9 % ($X_3=0$); 1,7 % ($X_3=+2$) в мастильній композиції.

Аналіз цих перерізів показує, що при мінімальному вмісті ДФТМ у композиції (рис. 2а) максимальні значення інтенсивності зношування спостерігаються для низько- або високонаповнених S та БТА композицій, при збільшенні X_1 і X_4 значення функції відгуку зменшуються. Мінімальні значення інтенсивності зношування спостерігаються для високонаповнених (>6 % сірки) композицій, у яких вміст БТА=0,1–1,0 %. Для високонаповнених БТА композицій ($X_4 \approx 1$; БТА $\approx 1,3$ %) інтенсивність зношування матеріалів не залежить від вмісту S у мастильній композиції. Зі збільшенням вмісту ДФТМ координати нового центра залишаються незмінними, характер залежності не змінюється, ділянка мінімальних значень V звужується (рис. 2б–в). Максимальні значення функцій відгуку збільшуються, тоді як мінімальні залишаються незмінними. Ділянка максимальних значень розширюється.

При мінімальному та максимальному вмісті ТФФ у мастильній композиції 0,1; 1,7 і 1,7 % залежність функції відгуку від X_1 і X_4 однакова (рис. 2з). Характер залежності подібний до рис. 2а, але ділянка мінімальних значень розширена.

На рис. 3 зображено двовимірні перерізи функцій відгуку питомої інтенсивності зношування для пари фенілон С-2 – сталь 45 від вмісту ТФФ і БТА при фіксованих значеннях вмісту S: 1 % ($X_1=-2$); 6 % ($X_1=0$); 11 % ($X_1=+2$) і фіксованому вмісті ДФТМ: 0,2 % ($X_2=-2$); 1,7 % ($X_2=0$); 3,2 % ($X_2=+2$).

Аналіз цих перерізів при мінімальному вмісті S у композиції і вмісті ДФТМ=1,7 % показує, що мінімальні значення функції відгуку спостерігаються для низько- та високонаповнених ТФФ композицій

у діапазоні значень вмісту БТА 0,9–1,7 %. Максимальні значення функції цілі характерні для широкого діапазону значень X_2 , яка зменшується зі зменшенням X_4 . При збільшенні вмісту сірки у композиції координати нового центра S зміщуються в бік меншого вмісту БТА і незмінні щодо вмісту ТФФ. Мінімальні значення функції відгуку при цьому зменшуються, а максимальні дещо збільшуються (рис. 3б, в). При $C(S)=6$ % (рис. 3б) зі збільшенням X_3 до 0 функція відгуку зростає, а далі симетрично відносно нульової точки зменшується. Лінії рівних значень функції відгуку спостерігаються для широкого діапазону значень вмісту БТА. Максимальні значення функцій відгуку характерні для високонаповнених БТА композицій при вмісті ТФФ=0,6–1,2 %. Для композицій з максимальним вмістом S 11 % (рис. 3в) характер залежності функції відгуку від факторів X_3 та X_4 змінюється. Лінії рівних значень функції цілі спостерігаються для всього факторного простору вмісту ДФТМ. Інтенсивність зношування матеріалів зростає при збільшенні вмісту БТА у мастильній композиції.

При мінімальному значенні ДФТМ у композиції і вмісті S 6 % (рис. 3з) значення функції відгуку низькі ($V=0,01-0,05$) на широкій ділянці факторного простору: при вмісті ТФФ=0,2÷1,6 %; БТА=0,1÷1,7 %. Максимальні її значення спостерігаються для високонаповнених БТА композицій при вмісті ТФФ $\approx 0,8-1,0$ %. Зі збільшенням X_2 координати нового центра залишаються незмінними (рис. 3г, д).

Залежності функцій відгуку від X_3 і X_4 симетричні відносно прямої, рівняння якої $X_3=0$. Таким чином, рис. 3б (при вмісті S=6 % і ДФТМ=1,7 %) підтверджує накладання залежностей функцій відгуку V від X_2 і X_4 (рис. 1з) та X_1 і X_4 (рис. 2з).

На рис. 4 зображено двовимірні перерізи функцій відгуку питомої інтенсивності зношування для пари фенілон С-2 – сталь 45 від вмісту ДФТМ і ТФФ при фіксованих значеннях вмісту S: 1 % ($X_1=-2$); 6 % ($X_1=0$) і 11 % ($X_1=+2$) і фіксованому вмісті БТА: 0,1 % ($X_3=-2$); 0,9 % ($X_3=0$) і 1,7 % ($X_3=+2$).

Аналіз цих перерізів показує, що при мінімальному вмісті S у композиції (рис. 4а) мінімальні значення інтенсивності зношування фенілону С-2 спостерігаються для низько- та високонаповнених ДФТМ і ТФФ

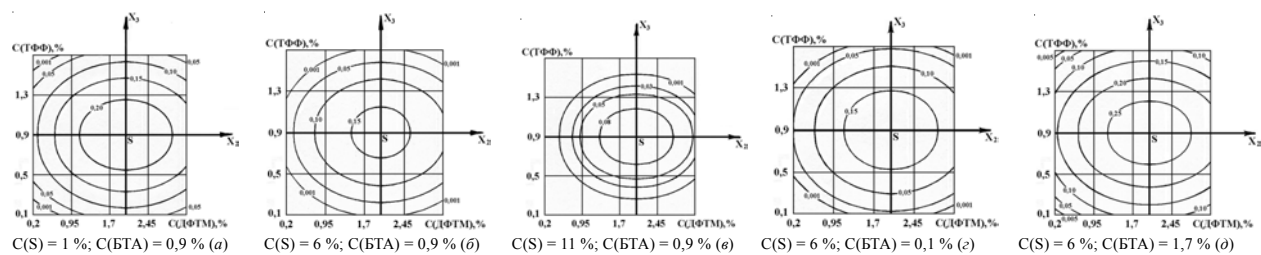


Рис. 4. Двовимірні перерізи функції відгуку питомої інтенсивності зношування зразка фенілону С-2 під час тертя по сталі 45 від вмісту дифенілтіосечовини та трифенілфосфіну при фіксованих значеннях вмісту сірки і бензотриазолу

композицій. При одночасному збільшенні X_2 і X_3 функція відгуку зростає. Лінії рівних значень функції цілі розміщені у факторному просторі таким чином, що для низьконаповнених БТА композицій (ТФФ≈0,3–0,4 %) інтенсивність зношування не залежить від вмісту ДФТМ, а для низьконаповнених ДФТМ композицій (ДФТМ≈0,25–0,50 %) інтенсивність зношування не залежить від вмісту ТФФ у мастильній композиції. Максимальні значення функції цілі характерні для композицій, коли вміст ТФФ=0,6–1,2 % та ДФТМ=1,0–2,8 %. Зі збільшенням значень фактора X_1 координати нового центра, як і характер залежності, незмінні (рис. 4б, в).

При мінімальному значенні БТА у композиції (рис. 4г) характер залежності функції цілі від досліджуваних факторів мало відрізняється від даних рис. 4б, тобто зміна вмісту БТА у мастильному матеріалі мало впливає на інтенсивність зношування. Координати нового центра при цьому також незмінні. Разом з тим при вмісті S=6 % і максимальному вмісті БТА у композиції (рис. 4д) мінімальні значення функції відгуку зростають у 5 разів, а максимальні – в 1,7 рази.

Література

1. Евдокимов А.Ю., Фукс И.Г., Багдасаров Л.Н. Смазочные материалы на основе растительных и животных жиров. – М.: ЦНИИТЭИМС, 1992. – 47с.
2. Фукс И.Г., Евдокимов А.Ю., Джамалов А.А. // Химия и технология топлив и масел. – 1992. – № 6. – С. 36–38.
3. Кириченко Л.М., Сіренко Г.О., Кириченко В.І. // Наук. зб.: «Всеукр. наук. та проф. тов-ва ім. М. Міхновського». – 1998. – № 8. – С. 25–39.
4. Фукс И.Г. Добавки к пластичным смазкам. – М.: Химия, 1982. – 248с.
5. Кириченко Л.М., Сіренко Г.О. // Наук. зб.: «Всеукр. наук. та проф. тов-ва ім. М. Міхновського». – 1998. – 8. – С. 40–47.
6. Кириченко Л.М., Кириченко В.І., Свідерський В.П., Сіренко Г.О., Ковтун В. // Праці Міжнародного симпозиуму «Трибофатика». – 2002. – Т. 2. – С. 733–738.
7. Сіренко Г.О., Кириченко Л.М. Хімічна модифікація ріпакової оливи // Тези доп. Укр. конф. «Актуальні

Висновки

1. Збільшення вмісту сірки у композиції приводить до зменшення мінімальних значень інтенсивності зношування зразків з ароматичного поліаміду фенілону С-2. Мінімальні значення інтенсивності зношування спостерігаються для низьконаповнених дифенілтіосечовиною композицій із вмістом бензотриазолу понад 0,8 %.
2. При мінімальному вмісті дифенілтіосечовини у композиції максимальні значення інтенсивності зношування зразків з фенілону С-2 спостерігаються для низько- або високонаповнених сіркою та бензотриазолом композицій.
3. При мінімальному та максимальному вмісті трифенілфосфіну та бензотриазолу у композиції (в межах факторного простору) і вмісті сірки 6 %, залежність функції відгуку від інших факторів однакова. Залежність функцій відгуку від X_3 і X_4 симетрична відносно прямої, рівняння якої $X_3=0$.
4. Встановлено, що зміна вмісту бензотриазолу у мастильному матеріалі мало впливає на інтенсивність зношування матеріалів.

- питання органічної та елементарної органічної хімії та аспекти викладання органічної хімії у вищій школі». – 2002. – С. 15.
8. Кириченко Л.М., Кириченко В.І., Сіренко Г.О., Свідерський В.П. // Темат. зб. наук. праць техн. ун-ту Поділля «Проблеми сучасного машинобудування». – 1996. – С. 143–145.
 9. Кириченко Л.М., Кириченко В.І., Свідерський В.П. // Вісник ТУП. – 2001. – 3, № 1. – С. 95.
 10. Кириченко Л.М., Кириченко В.І., Свідерський В.П., Ковтун В.В. // Проблеми трибології. – 2002. – 1. – С. 34–38.
 11. Сав'як О.Л. Дослідження інгібіторного ефекту модифікованої ріпакової оливи // Тези доп. Всеукр. наук. конф. студентів та аспірантів «Сучасні проблеми хімії». – 2005. – С. 198.
 12. Литвин Б.Л., Сіренко Г.О., Сав'як О.Л., Вишневецький Р.М. // Вопросы химии и химической технологии. – 2005. – № 4. – С. 144–147.
 13. Сіренко Г.О., Сав'як О.Л., Шийчук О.В. //

- Проблеми трибології. – 2005. – № 2. – С. 139–146.
14. Сіренко Г.А., Сав'як О.Л., Шийчук А.В.// Трение и износ. – 2006. – 27, № 6. – С. 659–664.
15. Пат. 18077А (Україна), МКВ⁶ С10М1/28; С10М1/18. Мастильна композиція/ Сіренко Г.О., Кириченко В.І., Кириченко Л.М., Свідерський В.П. – Опубл. 17.06.97. – Бюл. “Промислова власність”. – № 5.
16. Пат. №71073 (Україна), МКВ⁷ С10М 129/56, С10М133/08, С10М 135/00. Пластична паста подвійного призначення для процесів механічної обробки металів/ Кириченко Л.М., Кириченко В.І., Свідерський В.П. – Опубл. 15.11.2004. – Бюл. № 11.
17. Пат. №65753 (Україна), МКВ⁷ С10М 177/00, С10М111/06, С07С67/00, С07С319/24. Спосіб одержання базової оливи для мастильних композицій/ Кириченко Л.М., Кириченко В.І., Свідерський В.П. – Опубл. 15.08.2005. – Бюл. № 8.
18. Пат. №37362А. Концентрат-паста подвійного призначення для процесів механічної обробки металів: – Пр. від 5.03.1999 р.
19. Сіренко Г.О., Кузишин О.В., Мідак Л.Я., Кириченко Л.М., Кириченко В.І.// Фізика і хімія твердого тіла. – 2007. – 7, № 3. – С. 641–650.
20. Соколов Л.Б., Герасимов В.Д., Савинов В.М., Беляков В.К. Термостойкие ароматические полиамиды. – М.: Химия, 1975. – 256с.
21. Сіренко Г.О., Кузишин О.В.// Фізика і хімія твердого тіла. – 2005. – 5, № 3. – С. 508–514.
22. Гриневич Р.В., Цасюк В.В., Смирнов А.С.// Применение полимерных материалов. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1975. – С. 33–36.
23. Сіренко Г.О., Мідак Л.Я.// Полімер. журн. – 2004. – 26, № 2. – С. 128–138.
24. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 340с.
25. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 262с.
26. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973. – 412 с.
27. Зажигаев Л.С., Кишьян А.А., Романиков Ю.И. Методы планирования и обработки физического эксперимента. – М.: Атомиздат, 1978. – 232с.

Надійшла до редакції 11 грудня 2008 р.

Антифрикционные свойства поликомпонентных композиций на основе химически-модифицированного рапсового масла при смазывании пары ароматический полиамид – сталь

Г.А. Сиренко¹, Л.Я. Мидак¹, О.В. Кузишин¹, Л.М. Кириченко², В.И. Кириченко²

¹Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника
57, ул. Шевченка, Ивано-Франковск, 76025, Украина

²Хмельницький національний університет
11, ул. Институтская, Хмельницький, 29016, Украина

Исследовано зависимость интенсивности изнашивания пары ароматический полиамид – сталь от концентрации компонентов смазывающей композиции на основе химически-модифицированного рапсового масла

Antifriction properties of polycomponent compositions based on chemical-modification rape-oil in lubrication with pair aromatic polyamide – steel

H.A. Sirenko¹, L.Ya. Midak¹, O.V. Kuzyshyn¹, L.M. Kyrychenko², V.I. Kyrychenko²

¹Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University
57, Shevchenko str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine

²Khmelnitsky National University
11, Instytutska str., Khmelnytsky, 29016, Ukraine

The dependence of intensity of wear for pair aromatic polyamide – steel from concentration of components of oil composition based on chemical-modification rape-oil was investigated.