

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУЛЕРЕНОВМІСНИХ ОЛИВ

Деркач О.Д., доцент; Губа М.І., магістр; Кабат О.С., доцент;
Харченко Б.Г. доцент; Черній О.А., інженер
(Дніпропетровський державний аграрний університет)

Приведені і проаналізовані результати лабораторних досліджень трибологічних властивостей фулереновмісних олив, модифікованих фулереновою сажею. Показано можливість відновлення деталей рухомих з'єднань машин без припинення їх експлуатації.

Актуальність роботи. На сьогоднішній день оливи, модифіковані наноматеріалами різної природи набувають все більшого поширення у технічному сервісі різноманітних машин [1 – 3]. Основна ідея застосування таких матеріалів – збільшення ресурсу машин. Як показали лабораторні дослідження та практичний досвід, ефективними модифікаторами можуть бути матеріали, що навіть у незначній кількості містять фулерени [4 - 6]. Останні застосовуються в якості модифікаторів і складних композитних матеріалів. В США і Росії проводились дослідження по їх застосуванню у змащувальних середовищах. Останнє явище вивчено недостатньо з одного боку, а з іншого, ця інформація мало публікується і охороняється фірмами - розробниками. Однак ефект від застосування мастильних матеріалів, модифікованих фулереновмісними наповнювачами очікується значний, так як є перспектива відновлення рухомих з'єднань без розбирання машин і механізмів та без припинення їх експлуатації. Тому *об'єктами дослідження* обрані фулереновмісні наповнювачі в середовищі змащувальних олив, а *предметом* дослідження стали їх трибологічні властивості.

Широко доступними для дослідження фулеренів стало відкриття можливості отримання цих унікальних молекул при випаровуванні графіту в електричній дузі. В даний час цей метод є найбільш ефективним для синтезу фулеренів, в основному C_{60} і C_{70} , які входять до складу основного продукту конденсації вуглецевого пару - фулереновмісної сажі (ФС).

ФС також є багатообіцяючим модифікатором, що безумовно підвищує змащувальні властивості традиційних масел. В порівнянні між собою у якості добавок були вивчені різні вуглецеві матеріали: фулерен C_{60} , сажа, графіт, промислова фулеренова чернь. Встановлено, що ФС разом із силікатами, як і чистий фулерен, продукує помітне поліпшення антифрикційних і протизносних властивостей пар тертя «сталь-сталь» і «сталь-мідь», особливо при підвищених навантаженнях. Найбільше поліпшення спостерігається для пари тертя «сталь-

сталь». Відзначено, що в разі використання фулерену або ФС, на поверхні тертя утворюється фулерен-полімерна плівка, товщиною близько 1000 Å, яка має захисний та протизадирний ефекти [1].

Враховуючи вищевикладене, *мета роботи* полягала в обґрунтуванні раціонального складу фулереновмісного модифікатора та визначення відновлюваних властивостей деталей рухомих з'єднань машин.

Для лабораторних досліджень була обрана моторна олива за стандартом SAE15W40 та композиції на її основі, що містили, відповідно 0,1; 0,3 та 0,5 мас. % ФС.

Дослідження трибологічних властивостей зразків в режимі зі змащуванням здійснювали на машині тертя СМЦ-2 за схемою «диск-колодка». Навантаження на зразок складало 3,6; 6 та 9 МПа; лінійна швидкість ковзання – 0,785 м/с і 1,3 м/с., шлях випробування після припрацювання робочих поверхонь – до 1500 м. В ході вимірювань реєстрували момент тертя, силу притискання зразка, частоту обертання, масу зразка, яку визначали зважуванням на аналітичних терезах ВРЛ-200 з точністю 0,0002 г., температуру змащувальної композиції вимірювали термопарою D-301. А також визначали шорсткість робочих поверхонь тертя профілометром 296.

Знос зразка обчислювали за формулою:

$$I = m_1 - m_2$$

де : m_1 - маса зразка до випробувань, мг ; m_2 - маса зразка після випробувань, мг.

В якості контртіла використовували диск Ø 50 і висотою 12 мм, виготовлений зі сталі 45, термообробленої до HRC 42...45, шорсткість поверхні Ra = 0,63. Контртіло занурювали в оливу не менш як на 1/3 діаметру. У всіх експериментах контролювали кількість оливи у ванні. Температуру оливи реєстрували термопарою на відстані від околу тертя не більше 5 мм.

Результати та обговорення

Результати досліджень (рис.1) показали, що температура в околі тертя незначно вища в експериментальних композиціях в порівнянні з чистою оливою, а в окремих випадках дорівнює їй. Встановлено, що з підвищенням швидкості ковзання V та тиску P різниця температур в околі тертя при експлуатації чистої оливи і композицій зменшується. Очевидно це пов'язане тим, що при жорстких режимах роботи часточки ФС інтенсивніше видаляються із околу тертя, а відтак забезпечується і відведення тепла. Також на це явище впливає притирання робочих поверхонь. Найменший знос на всіх режимах відбувся при використанні суміші яка містила 0,1% ФС (рис.2), а максимальний знос відбувся при використанні суміші 0,5 % ФС. Отже, при наповненні оливи більш як 0,1 % ФС відбувається інтенсивне зношування робочої поверхні металевих пар тертя.

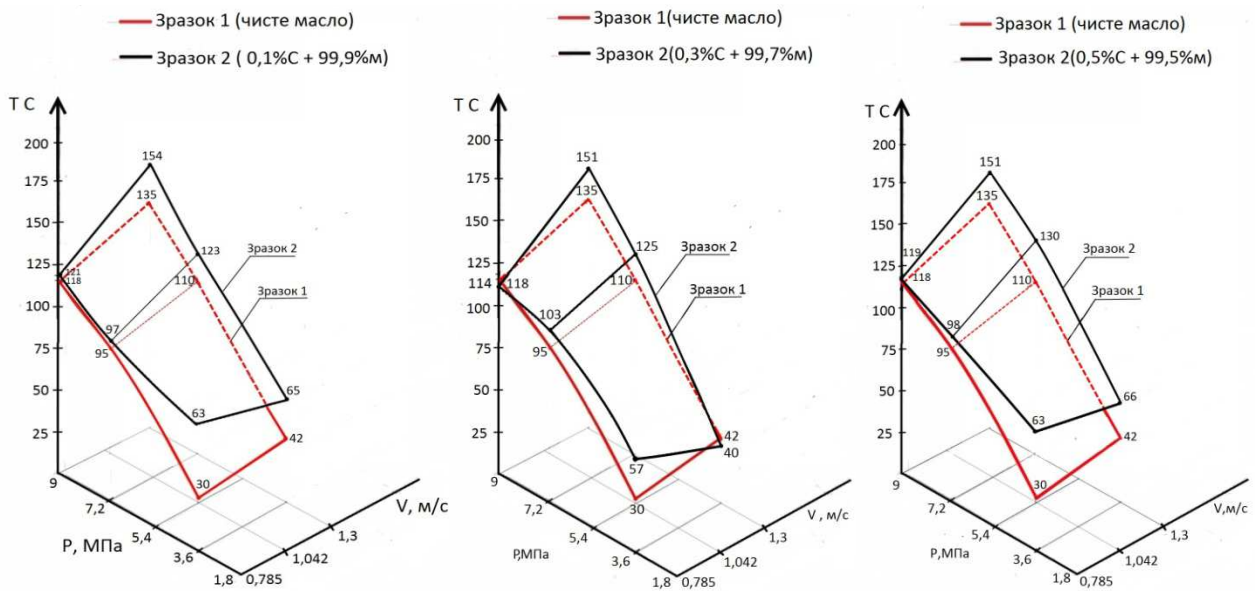


Рис.1. Залежність температури в околі контакту від навантаження Р і швидкості ковзання V при різних ступенях наповнення мастильного матеріалу фулереновою сажею.

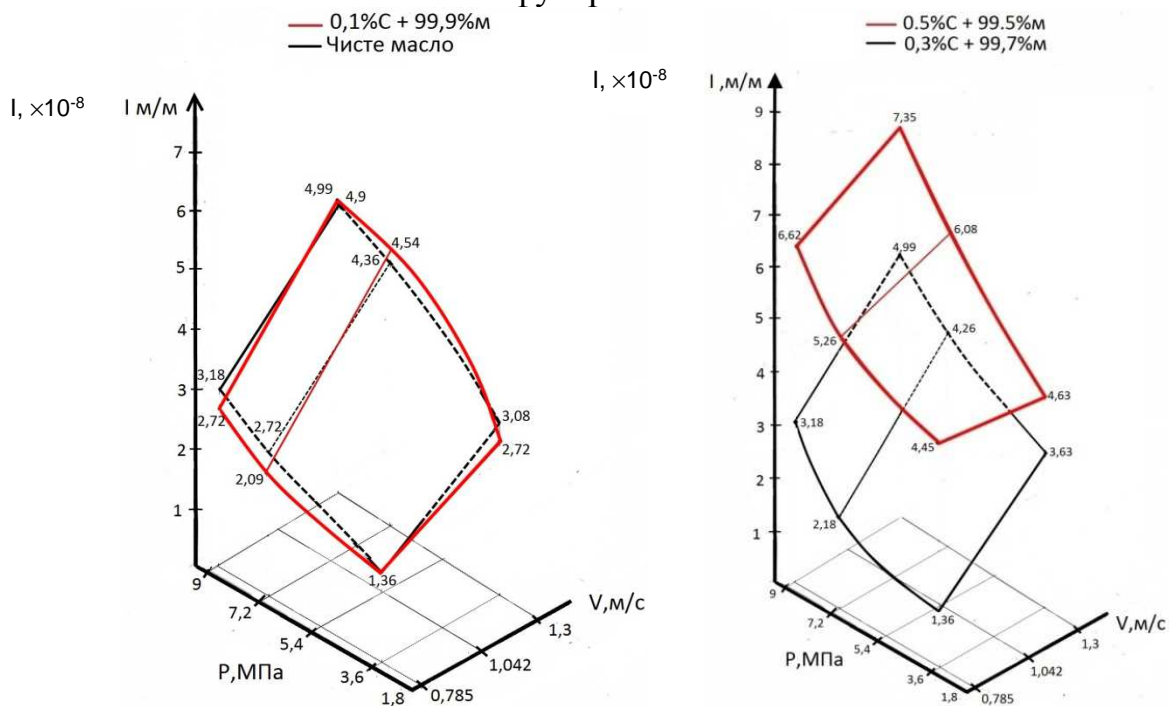


Рис.2. Залежність зносу I від навантаження Р та швидкості ковзання V при різних ступенях наповнення мастильного матеріалу фулереновою сажею

Після проведення трибологічних досліджень вимірювали шорсткість поверхні тертя зразків, звідки встановлено, що найбільше її зниження (у 2,2- 2,5 рази) відбувається на поверхні тих зразків, що випробовувалися з використанням композицій, що містять ФС. Але, як видно з рис.3 вирішальну роль зіграла саме наявність ФС у композиції, а не її масова доля. Виявлено здатність ФС до коагуляції, що є причиною осідання значної кількості ФС на дні масляної ванни. Тому, значна кількість ФС не приймає участі в процесі

тертя, чим і пояснюється мала різниця в значення шорсткості при використанні експериментальних композицій. Здатність до коагуляції може бути лімітуючим фактором для широкого використання аналогічних композицій, так як необхідно максимально скорочувати час від її виготовлення до використання.

Отже, за критерієм шорсткості доцільно обирати змащувальну композицію, що містить мінімальну кількість ФС.

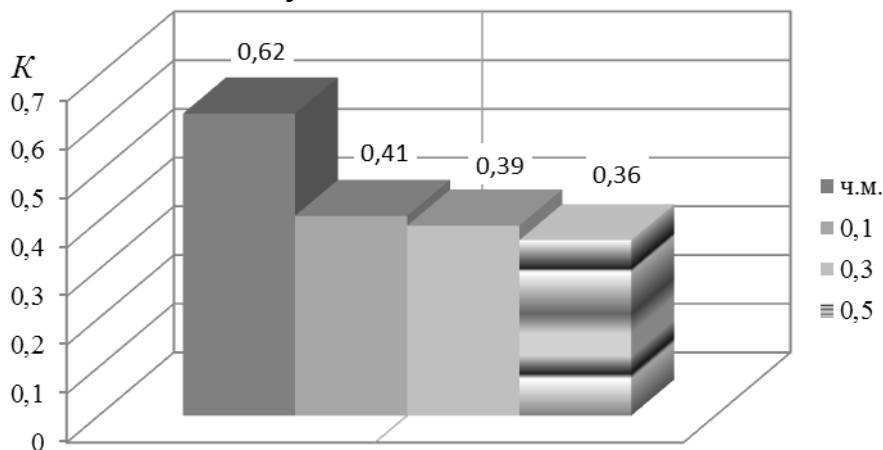


Рис.3. Результати досліджень шорсткості після дослідів: K – коефіцієнт зміни шорсткості після дослідів у порівнянні до початкового (K=1).

При використанні композиції, що містить 0,1 мас. % ФС має місце зниження коефіцієнта тертя f до 1,5...2 разів у порівнянні з чистою оливою f_{mp} ч.м. (рис.4). Низькі значення цього параметра спостерігається за різних навантажень P на зразки, що свідчить про стабільність композиції та її високу працездатність.

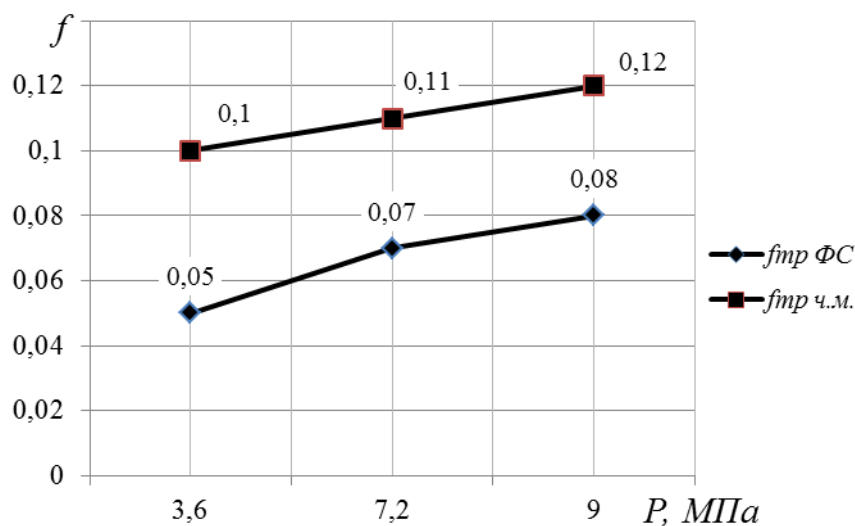


Рис.4. Залежність коефіцієнту тертя f від навантаження P при використанні чистої оливи і композиції ФС 0,1 мас.% на її основі при швидкості ковзання 1 м/с.

За результатами лабораторних досліджень встановлено, що найменша температура тертя в околі контакту ($T = 30^\circ\text{C}$) і знос ($I = 1,36099 \times 10^{-08}$) зафіксовані при таких режимах експлуатації: швидкість ковзання $V = 0,785$ м/с; навантаження $P = 3,6$ МПа, при використанні композиції, що містила 0,1 мас. % ФС.

Для досягнення кінцевого результату – надання практичних рекомендацій для застосування розроблених композицій у технічному сервісі, необхідно проводити значну кількість подальших лабораторно-стендових та виробничих випробувань. Шлях такого наукового пошуку є трудомістким. Тому, є необхідність у постановці багатofакторного експерименту, що враховує найбільш вагомi умови експлуатації: тиск, швидкість ковзання, ступінь наповнення композиції ФС. Для цього, проводили 15 експериментів за розподіленими рівнями (табл. 1) для отримання рівняння регресії за відомими методиками [7, 8].

Таблиця 1 – Основні рівні навантаження, швидкості та концентрації

Показник	Факт	Середній рівень	Крок варіювання	Значення рівнів змінних		
				-1	0	1
P, МПа	X1	6,3	2,7	3,6	6,3	9
V, м/с	X2	1,042	0,2575	0,785	1,042	1,3
Вміст сажі, %	X3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,5

Схема планування експерименту для трьох компонентів мала вигляд (табл. 2). Кроки варіювання обирали, виходячи з технічних можливостей машини тертя СМЦ-2. Реалізували постановку експерименту на вищевказаному обладнанні та фіксували фактичний знос зразків після кожного експерименту та порівнювали з розрахунковим.

Таблиця 2 – Схема планування експерименту для трьох компонентів

№ експерименту	Значення параметру					
	Умовних одиниць			Реальне значення		
	X1	X2	X3	P, МПа	V, м/с	Вміст сажі, %
1	-1	-1	-1	3,6	0,785	0,1
2	1	-1	-1	9	0,785	0,1
3	-1	1	-1	3,6	1,3	0,1
4	1	1	-1	9	1,3	0,1
5	-1	-1	1	3,6	0,785	0,5
6	1	-1	1	9	0,785	0,5
7	-1	1	1	3,6	1,3	0,5
8	1	1	1	9	1,3	0,5
9	-1,21	0	0	3,033	1,042	0,3
10	1,21	0	0	9,567	1,042	0,3
11	0	-1,21	0	6,3	0,731	0,3
12	0	1,21	0	6,3	1,353	0,3
13	0	0	-1,21	6,3	1,042	0,058
14	0	0	1,21	6,3	1,042	0,542
15	0	0	0	6,3	1,042	0,3

Реалізація методик [7, 8] дозволила отримати рівняння регресії другого порядку для визначення величини зносу, що має вигляд:

$$y = -0,35 + 0,60x_1 + 0,29x_2 + 0,93x_3 + 1,63x_1^2 + 1,22x_2^2 + 2,05x_3^2 + 0,18x_1x_2 + 0,15x_1x_3 + 0,035x_2x_3$$

Таким чином, величину зносу деталей, виготовлених зі сталі 45 можна визначити з отриманого рівняння без додаткових затрат.

Позитивні результати лабораторних досліджень дозволили перейти до стендових випробувань.

В якості деталі, що відновлювалася обрали підшипник кочення транспортних шнеків зернового вороху зернозбирального комбайну John Deere. Параметр, що контролювали: радіальний зазор.

Підшипник встановлювали на абразивну машину (рис.5.) і задавали такі режими експлуатації: навантаження – 1,0 МПа, частота обертання – 180 хв⁻¹, час проведення одного досліду – 90 хв. Вимірювали радіальний зазор через кожні 30 хв. експлуатації. Кількість повторень експериментів – 3. В результаті вимірювань виявлено стабільне зниження радіального зазору (на 0,005 мм), що говорить про відновлення підшипника (рис.6).



Рис.5. Реалізація процесу відновлення підшипника кочення в лабораторних умовах: а) загальний вигляд устаткування; б) укрупнений вигляд установки підшипника під час відновлення.

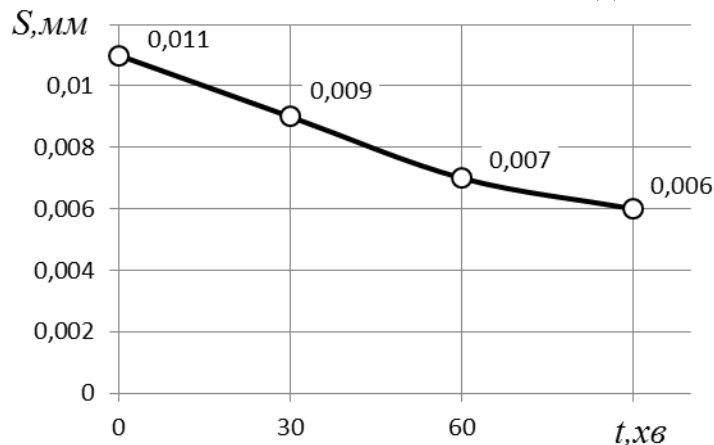


Рис.6. Зміна зазору S підшипника в процесі відновлення без припинення експлуатації

Таким чином, можна зробити висновок про можливість відновлення деталей рухомих з'єднань, зокрема, підшипників кочення, без припинення експлуатації машин.

За результатами досліджень, проведених в роботі можна зробити такі висновки:

- виявлено перспективність застосування фулереновмісних композицій на основі олив для відновлення деталей рухомих з'єднань без припинення їх експлуатації;
- обґрунтовано раціональний склад змащувальної композиції на основі олив за стандартом SAE15W40, що містить 0,1 мас. % фулеренової сажі;
- найменша температура тертя для композиції такого складу в околі контакту ($T = 30^{\circ}\text{C}$) і знос ($I = 1,36099\text{E}^{-08}$) зафіксовані при таких режимах експлуатації: швидкість ковзання $V = 0,785$ м/с; навантаження $P = 3,6$ МПа;
- отримане рівняння регресії другого порядку;
- доведено про дієвість розробленої композиції при відновленні підшипника кочення зернозбирального комбайну.

Список літератури

1. www.megaforce.net.ua.
2. www.xado.com.
3. www.nanoprotect.ua.
4. *Деркач О.Д., Буря О.І., Харченко Б.Г., Іванькова О.В., Міщенко Г.Я.* Застосування геомодифікаторів для поверхонь тертя при технічній експлуатації сільськогосподарської техніки. Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. Випуск 109 «Проблеми технічної експлуатації машин». – Х.: Віровець А.П. «Апостроф», 2011 – 232 с.
5. *Деркач О., Буря О., Шацький С., Міщенко Г.* Ревіталізація поверхонь тертя бензинових двигунів внутрішнього згорання наномодифікаторами. Тези доповідей студентів, магістрантів, аспірантів та викладачів на V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Підвищення надійності машин і обладнання», 6-8 квітня 2011 року, Кіровоград: КНТУ, 2011. – 142 с.
6. *Деркач О.Д., Харченко Б.Г., Макаренко Д.О., Міщенко Г.Я.* Дослідження триботехнічних характеристик силікато-фулеренових композицій для поверхонь тертя сільськогосподарської техніки. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, Випуск 121, «Технічний сервіс машин для рослинництва». – Х.: Віровець А.П. «Апостроф», 2012. – 270 (с.7-13).
7. *Планирование эксперимента и применение вычислительной техники в процессе синтеза резины.* / Под ред. В.Ф. Евстратова, А.Г. Шварца. – Сборник статей. – М.: Химия –1970.
8. *Евдокимов Ю.А., Колесников В.И., Тетерин А.И.* Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. – М.: Наука, 1980. – с. 227.

Аннотация

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФУЛЛЕРЕНСОДЕРЖАЩИХ МАСЕЛ

Деркач А.Д., Губа М.И., Кабат О.С., Харченко Б.Г., Черний А.А.

Приведены и проанализированы результаты лабораторных исследований трибологических свойств фуллеренсодержащих масел, модифицированных фуллереновой сажей. Показана возможность восстановления деталей подвижных соединений машин без прекращения их эксплуатации.

Abstract

GROUND OF PARAMETERS THAT CONTAINS FULLERENES OF OILS

O. Derkach, M. Guba, O. Kabat, B. Kharchenko, O. Cherniy

The brought and analysed results over of laboratory researches of трибологічних properties that contains fullerenes of oil, by modified fullerenes soot. Possibility of proceeding in the details of movable connections of machines is shown without stopping of their exploitation .

УДК 620.179.112

ВИКОРИСТАННЯ ФУЛЛЕРЕНОВМІСНИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ БЕЗРОЗБІРНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Деркач О.Д., доцент; Макаренко Д.О., асистент; Губа М.І., магістр
(Дніпропетровський державний аграрний університет)

Викладені результати лабораторних досліджень по оптимізації складу фуллереновмісної композиції. Проведено дослідження ефективності застосування отриманої композиції в ДВЗ для їх безрозбірного відновлення.

Актуальність роботи. Сучасний парк машин АПК України різноманітний. У ньому є складна й дорога техніка. Технічне обслуговування й ремонт є змушеними й необхідними умовами підтримки техніки в роботоздатному стані. Зниження роботоздатності машин призводить до порушення агротехнічних строків, а отже, до значних втрат врожаю.

Відомо, що 85-90% металевих деталей тертя виходять з ладу за причини зносу і лише 10-15% – за причини недостатньої міцності [2]. Явища тертя і зношування взаємно обумовлені: тертя призводить до зношування, а