

**Трибологічні аспекти експлуатаційної надійності
важко навантажених пар тертя**

¹Каплун В.Г. д.т.н., ²Гупка Б.В. к.т.н., Гупка А.Б., Оксентюк А.О. к.т.н.

(¹Хмельницький національний університет)

(²Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя)

Запропоновано комплекс обладнання та критерії оцінки для дослідження запропонованих мастильних композицій. Одержано дані по їх антифрикційних та зносостійких властивостях. Дано практичні рекомендації по використанню даних мастильних композицій.

Постановка проблеми. В загальній проблемі тертя та зношення важливе місце займає трибологічна надійність важко навантажених пар тертя, до яких відносяться пари тертя двигунів. Поряд з конструкторськими та технологічними міроприємствами ефективними є експлуатаційні засоби підвищення антифрикційних, протизносних властивостей елементів пар тертя. Актуальною є проблема розробки, дослідження нових, більш ефективних, мастильних композицій із відповідним комплексом трибологічних властивостей для підвищення задири – і зносостійкості деталей пар тертя двигунів, зниження механічних втрат на тертя і витрат масла на вигоряння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішення проблеми підвищення надійності та довговічності пар тертя вимагає системного підходу з розробкою комплексних методик дослідження, кінетичних критеріїв оцінки. Структурно енергетичний підхід дозволив оптимізувати шляхи пошуків оптимальних рішень [1]. Постійно зростає питома потужність двигунів, підвищується теплове і механічне навантаження на деталі пар тертя, що веде до ряду негативних наслідків [2]. Ефективними є шляхи розробки та дослідження

нових мастильних матеріалів, присадок до них, визначення інверсії їх впливу на трибо технічні параметри процесів в зоні фрикційного контакту [3]. Поряд із конструкторськими та технологічними засобами це дозволить створити цілісний комплекс технічних рішень, розширити банк триботехнічних даних, розробити практичні рекомендації по вирішенню питань прикладної трибо техніки [4].

Мета дослідження. Метою даної роботи є розробка комплексної методики дослідження та критеріїв оцінки для визначення та порівняння трибо логічних властивостей дослідних мастильних матеріалів для важко навантажених пар тертя двигунів.

Результати дослідження. В роботі визначались і порівнювались триботехнічні властивості дослідних мастильних композицій. Об'єктами випробувань були моторне масло в'язкісного класу SAE 5W-30 (торгова марка Ford Formula E) і 5 (п'ять) приготованих на його основі мастильних композицій, що включали (або передбачають включення) спеціального трибологічного складу, призначеного для поліпшення антифрикційних та протизносних властивостей змащувальних деталей двигуна внутрішнього згорання. Зазначене вище моторне масло використовувалося в якості бази порівняння (далі по тексту - база). Всі тестовані композиції були наперед приготовлені шляхом їх змішування з моторним маслом (базою) в рекомендованих концентраціях. Для виключення суб'єктивного фактору під час аналізу результатів випробувань мастильні композиції не включали інформацію про назви товарних марок (крім бази) і були пронумеровані послідовно від 1 до 5. Базі при випробуваннях був присвоєний номер 0.

Програмою випробувань передбачалось :

1. Перевірка хімічної стабільності об'єктів до початку проведення випробувань.
2. Визначення антифрикційних властивостей шляхом зняття і зіставлення діаграм Штрібека.
3. Оцінка протизносних властивостей по лінійному зносі чавунного (нерухомого) зразка машини тертя за інших рівних умов.
4. Призначення рейтингу трибологічних властивостей на основі

паспортизації. Випробування проводилося на стандартній машині тертя типу MI-6 (міжнародний клас Алмен-Віланд згідно ASTM D-3233) . Призначення машини тертя - вимірювання моменту (коефіцієнту) тертя і величини зносу змащувальної пари металевих зразків типу «нерухома колодка - обертовий диск». Застосовувані матеріали пари тертя: верхній зразок (нерухома колодка): чавун СЧ 16; нижній зразок (обертовий диск): сталь Ст. 30 Частота обертання нижнього зразка 225 об / хв (постійна), геометрична площа контакту зразків $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Тип застосовуваної масляної ванни- теплоізолювані. Маса вантажів на нижньому важелі балансира 5,19 кг. Відносна похибка вимірювання коефіцієнта тертя $\pm 3\%$. Вимірювання ширини смуги зносу за допомогою мікрометра - абсолютна похибка $\pm 0,05$ мм. Час роботи в стані навантаження 3 хв. Припрацювання зразків під вагою каретки протягом 5хв. Навантаження на пару тертя під час випробувань на зносостійкість 1500Н. Тривалість кожного випробування на зносостійкість 30 хв. Температура навколишнього повітря в лабораторії під час випробувань 20° C .

Кожне випробування проводиться на новій парі тертя однієї партії виготовлення. Перед заливанням в масляну ванну вміст об'єкта випробувань ретельно переміщується у вихідній ємності. Зміні об'єкта випробувань передуює промивка масляної ванни очищувачем Vegol 226 з наступним протиранням насухо чистою паперовою серветкою.

До початку випробувань об'єкти були витримані в однакових упаковках (біло-матових пластикових каністрах ємністю 1л) на сонячному світлі протягом одного тижня, після чого для них були визначені візуально показники хімічної стабільності, які дані в табл.1. Як випливає з представлених в цій таблиці результатів, далеко не всі об'єкти випробувань виявили хімічну стабільність за показниками осадоутворення і пошарового поділу при дії ультрафіолетового випромінювання та відсутності перемішування.

Так, склад 2 виявив схильність до випадання твердого осаду на дні як основної, так і додаткової ємності, призначеної для використання після обкатки пари тертя. Крім осаду в основній ємності візуально спостерігалось шарове

Таблиця 1. Показники хімічної стабільності

№	Осад	Пошаровий поділ	Текучість Т*,с	Прозорість Р**, бали	Примітка
0	Відсутній	Відсутній	27	10	
1	Відсутній	Відсутній	30	8	
2	Є	Є	33	7	Осад у вигляді твердих дрібнодисперсних часток як в основному, так і в додатковому складах
3	Відсутній	Відсутній	34	9	
4	Відсутній	Є	36	6	
5	Відсутній	Відсутній	38	9	

Примітка:

* - Час витікання в секундах фіксованого об'єму (5 мл) об'єкта випробувань через калібрований отвір \varnothing 2 мм. Таким чином, більшому часу витікання відповідала менша текучість і навпаки.

** - Оцінка прозорості проводилася візуально в порівнянні з базовим об'єктом. Об'єкту, який володіє меншою оптичною прозорістю в порівнянні з базою порівняння (10 балів), привласнювався менший бал, і навпаки.

розділення компонентів. Зазначена поведінка складу 2 надалі може:

1) негативно відбитися на роботі системи змащення двигуна (засмічення фільтруючих елементів);

2) звести нанівець очікуваний ефект зниження тертя і зносу через фізико-хімічний антагонізм компонентів трибологічного складу та моторного масла. При використанні складу 2 явно прогнозується також підвищення зольності і коксівності моторного масла в умовах реальної експлуатації двигуна.

Склад 4 дав, після тижневого відстоювання, шарове розділення компонентів трибологічного складу та основи (моторного масла), причому перший (мабуть із-за більшої щільності) розташувався нижче рівня шару моторного масла. Цей факт також може кваліфікуватися як недостатність хімічної стабільності мастильної композиції і прояв антагонізму до формули даного моторного масла. При експлуатації двигуна схильність до пошарового розділення композиції 4 може знизити її трибологічну ефективність, особливо в

результаті тривалих перерв у роботі двигуна.

Показник текучості мастильної композиції в порівнянні з базою чітко характеризує те, як трибологічний склад впливає на початкову в'язкість моторного масла. Результати замірів текучості показали, що всі без винятку трибологічні склади (незважаючи на відому незначимість їх рекомендованої концентрації) в тій чи іншій мірі збільшили в'язкість моторного масла. Найбільш значне збільшення викликав склад 5, найменше - склад 1. Загущувальна дія на моторне масло антифрикційних присадок, факт відомий і часто спостерігається, на практиці може мати (у залежності від умов експлуатації і технічного стану двигуна) як позитивний, так і негативний вплив на показники роботи двигуна.

Зміна оптичної прозорості як додатковий показник стабільності мастильних композицій загалом добре корелює з показниками осадоутворення і пошарового поділу: найкраща прозорість збереглася у тих складів, де були відсутні вказані порушення (склади 1, 3 і 5). Як впливає із порівняння з класичною діаграмою Штрібека (рис. 1), що являє собою залежність коефіцієнта тертя змащувальної пари від параметра навантаженості або числа Герсі і яка має в загальному випадку три характерні зони (режими тертя), вид отриманих діаграм Штрібека для об'єктів випробувань відрізняються тим, що не мають правої гілки (ділянки граничного тертя). Це може бути пояснено досить високими вихідними антифрикційними властивостями моторного масла - бази (об'єкт 0) і, тим більше, отриманими на його основі мастильними композиціями 1-5. Таким чином, у ході даних випробувань об'єкти забезпечили роботу пар тертя в двох режимах-змішаному (зона мінімуму діаграми) і гідродинамічному (зона правої гілки діаграми).

Характер зміни кривих залежності коефіцієнта тертя від навантаження на в цілому подібний, але значимо відрізняється за рівнем, що вказує на наявне розходження антифрикційних властивостей досліджених мастильних композицій.

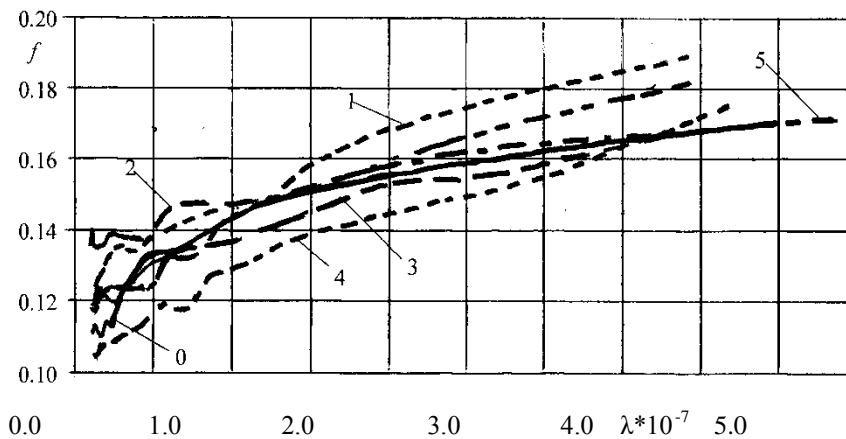


Рис.унок 1. Діаграма Штрібека для об'єктів випробування 0-5

З рис. 1 видно, що нижче за всіх за рівнем проходить діаграма Штрібека для мастильної композиції 4, вище - діаграми мастильних композицій 1 і 2.

Більш чіткий розподіл інших кривих (3 і 5) по відношенню до бази (крива 0) візуально зробити не являється можливим через їх досить щільну орієнтацію щодо кривої 0.

Різниця антифрикційних властивостей представлених об'єктів дає середні значення коефіцієнтів тертя, які підраховані для кожної з діаграм Штрібека, і наведені нижче в трибологічному паспорті (табл.2).

Обробка даних трибологічного паспорта показала, що значне зниження середнього коефіцієнта тертя в порівнянні з базою забезпечила тільки мастильна композиція 4 (з 0,133 до 0,124 або на 6,7%). Ефективність інших складів за цим показником була або в межах похибки виміру (композиції 1, 3 і 5), або мала негативне значення (композиція 2).

Протизносні властивості оцінювалися по середній ширині смуги зносу h верхнього (нерухомого) чавунного зразка змащувальної пари тертя, що отримується при інших рівних умовах випробувань для кожного з об'єктів. Як впливає з діаграм зносу на рис. 2 об'єкти випробувань проявили досить різні протизносні властивості (як гірші, так і кращі в порівнянні з базою). Наприклад, склади 1 та 2 погіршили протизносні властивості бази (ширина смуги зносу 2,6 мм), давши ширину смуги зносу 2,9 і 3,0 мм відповідно (на 11,5% і 15,4% гірше). Композиції 3, 4 і 5 поліпшили зазначені властивості бази, знизивши

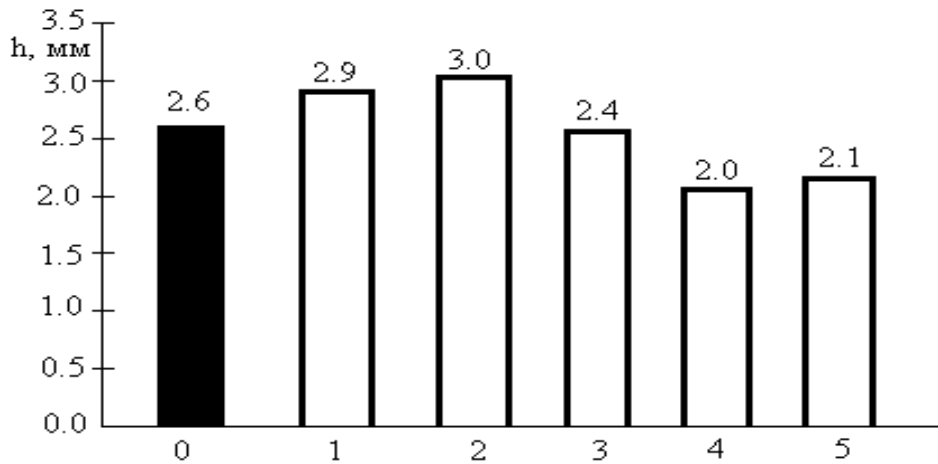


Рисунок 2. Середня ширина полоси зносу верхнього (нерухомого) чавунного зразка пари тертя для об'єктів дослідження 0-5
полоси зносу до 2,4; 2,0 і 2,1 мм відповідно (на 7,7%; 23,1% і 19,2% краще).

Трибологічні властивості оцінювалися як сукупність антифрикційних та протизносних властивостей, середні значення показників яких дані в трибологічному паспорті об'єктів випробувань (табл.2). Мінімальне значення балу – 1, рівність значень відповідних балів означає, що різниця значень контрольного показника об'єкту і бази не перевищують похибки вимірювання цього показника. Автоматизована обробка даних трибологічного паспорта, виконана з додатковим урахуванням результатів наведених вище похибок

Таблиця 2. Трибологічний паспорт

№	Середній коефіцієнт тертя	Бал А*	Середня ширина смуги зносу, мм	Бал З**	Сума балів	Підсумкове місце (мінімум суми балів)
0	0,133	2	2,6	4	6	4
1	0,141	2	2,9	5	7	5
2	0,144	3	3,0	6	9	6
3	0,134	2	2,4	3	5	3
4	0,124	1	2,0	1	2	1
5	0,135	2	2,1	2	4	2

Примітка:

* - Бал А (антифрикційність) відповідає значенню коефіцієнта тертя і призначається за правилом - чим менший коефіцієнт тертя, тим менший бал.

** - Бал З (зносостійкість) відповідає значенню ширини смуги зносу і визначається за правилом - чим менша ширина, тим менший бал.

вимірювання коефіцієнта тертя і ширини лінії зносу, дозволила визначити підсумкове місце кожного об'єкта випробувань і розподілити ці об'єкти в трибологічному паспорті в міру погіршення трибологічних властивостей. З результатів трибологічної паспортизації можна констатувати, що:

-найкращі трибологічні властивості виявила мастильна композиція 4 (1-е місце), за нею композиція 5 (2-е місце), далі - композиція 3 (3-є місце);

-за композицією 3 слідує композиція 0 або база (4-е місце);

-об'єкти 1 та 2 по трибологічних властивостях поступилися базі, зайнявши в розподілі два останні місця - відповідно 5-е і 6-е.

Висновки

1. Представлені мастильні композиції при випробуваннях на машині тертя МІ-6 за методикою зіставлення діаграм Штрібека та оцінки ширини смуги зносу змащувального зразка виявили по відношенню до базового моторного масла різні антифрикційні та протизносні властивості.

2. Кращу сукупність зазначених властивостей і перевищення їх в порівнянні з моторним маслом (базою) проявили (у порядку зменшення ефекту) три мастильні композиції: 4, 5 і 3. Трибологічні властивості композицій 1 і 2 виявилися співрозмірними або поступалися аналогічним показникам моторного масла. Композиція 4 - забезпечила в середньому зниження коефіцієнта тертя на 6,7%; зниження зносу-на 23,1%.

3. В рамках оцінки хімічної стабільності були відзначені порушення у вигляді пошарового поділу (композиція 4) або пошарового розділення з одночасним випадінням дрібнодисперсного твердого осаду (композиція 2), що може позначитися на роботі системи змащення двигуна і тому потребує додаткової перевірки ефективності трибологічних складів в умовах моторних випробувань.

Список літератури:

1. Поверхностная прочность материалов при трении /под ред. Б.И.Костецкого.-К.: Техніка, 1976,-296 с.
2. Павліський В.М. Підвищення надійності і економічності автотракторних двигунів.- Тернопіль .: Збруч, 1998.-264 с.
3. Окоча А.І. Паливно – мастильні та інші експлуатаційні матеріали / А.І. Фещенко, Я.Ю. Білоконь – К.: Укр. Центр духовної культури, 2004.-448с.
4. Чихос Х. Системный анализ в триботехнике – М.: Мир, 1982.-351с.

Аннотация

Трибологические аспекты эксплуатационной надежности тяжело нагруженных пар трения

Каплун В.Г., Гупка Б.В., Гупка А.Б., Оксентюк А.О.

Предложен комплекс оборудования та критерии оценки для исследования предложенных смазочных композиций. Получены данные по их антифрикционным та износостойким свойствам. Даны практические рекомендации по использованию данных смазочных композиций.

Abstract

Tribological aspects of operating reliability of the hardness loaded pair of friction

Kaplun V.G., Gypka B.V., Gypka A.B., Oksentyk A.O.

The complex of equipment and criteria of estimation is offered for research of the offered lubricating compositions. Information is got on their anti-friction and wearproof properties. Practical recommendations are given on the use of these lubricating compositions.