

УДК 621.89.017

Г.П. Сігайло¹, А.Г. Кравцов², В.В. Варваров¹¹ Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків² Харківський національний технічний університет сільського господарства, Харків

ЕКСПРЕС-МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСНИХ ПОКАЗНИКІВ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Представлено аналіз методів оцінювання змін основного показника протизносних властивостей мастильних матеріалів при їх модифікації шляхом додавання присадок різноманітного призначення. В основу експрес-методики оцінювання протизносних властивостей мастильних матеріалів покладено метод акустичної емісії.

Ключові слова: ресурс, мастильні матеріали, акустична емісія, протизносні властивості

Вступ

Аналіз останніх досягнень и публікацій. Існуючі методи безперервного контролю рухомих з'єднань (пірометричний вимір температури вузлів [1], ферографія [2], вібродіагностика [3] тощо) інформують про появу патологічних явищ зношування вже після самого факту їх настання без завчасного попередження про початок розвитку ушкодження на ранніх стадіях. Висока чутливість методу акустичної емісії (АЕ) [4] при оцінці швидкості зношування дозволяє моделювати процеси «старіння» [5] мастильного матеріалу в невеликому його об'ємі.

Постановка проблеми. Використання високоякісних мастильних матеріалів є одним із шляхів підвищення зносостійкості машин та механізмів. Сучасні мастильні матеріали виробляють на мінеральній, напівсинтетичній і синтетичній основі з різноманітним пакетом присадок. Останнім часом з екологічних причин знаходять широке застосування мастильні матеріали та присадки на рослинній основі. Для оцінки експлуатаційних показників мастильних матеріалів при додаванні присадок використовуються випробування на чотирьохкульовій машині тертя згідно ГОСТ [6]. У цьому випадку передбачається визначення наступних трьох характеристик мастильного матеріалу. Показник зносу $D_{\text{и}}$ (мм) – характеризує протизносні властивості мастильного середовища, тобто наявність поверхнево-активних речовин (ПАР) в мастилі. Критичне навантаження $P_{\text{к}}$ (Н) – характеризує межу несучої здібності у мастильному матеріалі. Критичним вважають навантаження $P_{\text{к}}$, при якому середній діаметр плям зносу кульок знаходиться в межах значень граничного зносу ($D_{\text{г}} \pm 0,15$) для даного навантаження та, збільшення якої до величини наступного навантаження (першого та другого рядків навантаження), викликає збільшення середнього діаметру плям зносу на величину більше 0,1 мм.

Перелічені вище параметри характеризують протизносні властивості мастильних матеріалів.

Навантаження зварювання $P_{\text{с}}$ (Н) – характеризує наявність у мастильному середовищі протизадірних присадок у вигляді хімічно-активних речовин (ХАР). Цей метод оцінки мастильних матеріалів має дуже високу збігаємість результатів та є широко застосову-

ваним як у нашій країні, так і за її межами. Недоліком стандартного методу є високі працевитрати (необхідність проведення повторних випробувань через певні часові проміжки) при оцінці зміни експлуатаційних властивостей в процесі застосування мастильних матеріалів. Тому розробка експрес-методики визначення ресурсних показників мастильних матеріалів у процесі їх експлуатації є актуальною задачею.

Метою статті є розробка експрес-методики визначення прискореної оцінки ресурсних показників мастильних матеріалів у процесі їх експлуатації.

Основна частина

Цільова функція процесу зношування трібоспряження визначається, перш за все, двома основними параметрами: інтенсивністю зношування $I_{\text{н}}$ та тривалістю експлуатації (ресурсом) T , тобто:

$$W_{\tau \rightarrow \infty} = f(I_{\text{н}}, T), \quad (1)$$

де τ – час експлуатації.

Досвід експлуатації складних трібосистем показує, що бажаним є мінімізація інтенсивності зношування $I_{\text{н}}$ та збільшення ресурсу $T_{\text{сп}}$. В цьому випадку цільова функція $W = \text{opt}$, тобто:

$$W \rightarrow \text{opt}, \quad f \begin{cases} I_{\text{н}} \rightarrow \min \\ T \rightarrow \max \end{cases}; \quad (2)$$

де W – цільова функція.

Проте, обидві величини ($I_{\text{н}}$, T) найсуттєвішим чином залежать від швидкості зношування θ (t):

$$\theta(t) = f(I_{\text{н}}, T). \quad (3)$$

Ця залежність є детермінованою, оскільки існує відомий зв'язок між функцією $\theta(t)$ і чинниками впливу $I_{\text{н}}$, T . Так, наприклад, відомо, що:

$$I_{\text{н}}(t) = kPL, \quad \text{або:} \quad \frac{dI_{\text{н}}}{dt} \theta(t) = kPV, \quad (4)$$

$$\text{або:} \quad \int_0^T \theta(t) dt = \int_0^T kPV dt.$$

де k – коефіцієнт зношування, що враховує фізико-механічні властивості матеріалів, умови тертя та машення на стаціонарному режимі тертя; P – робоче навантаження; L – пройдений шлях тертя; V – швидкість ковзання.

Коефіцієнт зношування у розв'язанні нашої задачі може бути критерієм оцінки процесів «старіння» мастильних матеріалів, і, як наслідок, швидкості зношування трібосистеми, яка визначається виразом:

$$I_h = kPVt_{\text{сл}}, \quad (5)$$

При цьому цільова функція процесу зношування W оптимізується при мінімізації швидкості зношування

$$\vartheta(t) = \frac{dI_h}{dt} \rightarrow \min.$$

Сучасні методи контролю процесів зношування з використанням методу АЕ дозволяють використовувати критеріальні оцінки, які враховують співвідношення потужності, яка підводиться до трібосистеми в процесі її роботи та потужності АЕ випромінювання, яка має місце при зношуванні (руйнуванні) поверхонь тертя. Коефіцієнт, який характеризує потужність АЕ на одиницю площі контактної взаємодії:

$$\frac{W_L}{S} = P \frac{dI_h}{dt}, \quad (6)$$

де W_L/S – питома потужність зношування; P – навантаження в трібосистемі, $[H/m^2]$.

Після заміни $\frac{dI_h}{dt}$ отримаємо

$$kW_L = I_h^2/V, \quad (7)$$

В умовах рівноважного самовпорядкування W_L задовольняє принципу найменшої дії (мінімального виробництва ентропії) тоді

$$\int_{t_1}^{t_2} W_L dt \rightarrow \min, \quad (8)$$

де $\Delta t = t_2 - t_1$ – інтервал часу усереднення.

Умова мінімуму задається рівнянням Лагранжа:

$$\frac{d(\partial W_L / \partial I_h)}{dt} - \frac{\partial W_L}{\partial I_h} = 0. \quad (9)$$

Дане рівняння справедливе при умові:

$$\frac{d(\partial W_L / \partial I_h)}{dt} = 0. \quad (10)$$

Позначимо $\frac{\partial W_L}{\partial I_h} = \text{const}, \quad (11)$

або $2I_h / (kV) = \text{const}, \quad (12)$

таким чином $I_h = \text{const } kV/2, \quad (13)$

Можна записати (13) у вигляді:

$$I_h = C, \quad (14)$$

де C – постійна. Оскільки для стаціонарного режиму зношування $k, V = \text{const}$, позначимо:

$$1/(kV) = \mu, \quad (15)$$

де μ – коефіцієнт пропорційності, $[Hc/m]$.

Таким чином, на стаціонарному режимі зношування питома потужність зношування W_L прямо пропорційна квадрату швидкості зношування з коефіцієнтом пропорційності μ :

$$W_L = \mu I_h^2, \quad (16)$$

Інформативний параметр АЕ – усередненої потужності АЕ – W_{yc} можна записати

$$W_{yc} = I_h / \xi_{AE}, \quad (17)$$

де ξ_{AE} – питома емісійна активність, що є величиною зносу трібоспряження за інтервал часу набору квантового рівня $W_{yc \text{ кв}}$, фізичний зміст якої представляє потужність АЕ, яка реєструється при відокремленні одиниці маси трібоелементу. Приведемо вирази (12) та (13) до одного шляху тертя:

$$\bar{I}_h = \sqrt{\bar{W}_L / \mu}; \quad \bar{I}_h = \xi_{AE} \bar{W}_{yc}, \quad (18)$$

Таким чином:

$$W_L / (W_{yc} I_h) = k \quad (19)$$

де k – коефіцієнт зносостійкості матеріалу.

Підставляючи значення (7) для W_L отримаємо значення питомої емісійної активності трібосистеми, прив'язане до стаціонарного процесу зношування трібосистеми. Таким чином, цей критерій можна використовувати для прискореної оцінки ресурсних показників мастильних матеріалів у процесі їх експлуатації. При проведенні порівняльних випробувань на тертя та зношування $W_L = \text{const}$ для кожної трібосистеми, що дає можливість з значенням усередненої потужності АЕ W_{yc} після закінчення припрацювання робити висновок про збільшення або зменшення зносостійкості трібосистеми, відносно до еталонного, і дозволяє значно скоротити час випробувань на зношування при розробці нових конструкційних і мастильних матеріалів.

Для оцінки ефективності запропонованих рішень використання методу АЕ проводилися порівняльні трібологічні випробування на чотирьохкульковій машині тертя по визначенню трібологічних характеристик базового мастильного матеріалу М-10 Г_{2к} і композиції цієї оливи з додаванням 5% присадки на основі продукту перероблення ріпакової оливи.

Випробування проводилися по стандартному ряду навантаження. Час випробувань за визначенням D_H – 60 хв. Час випробувань на кожній ступені навантажувального ряду при визначенні P_K і P_C – по 10 с.

Результати випробувань представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення показників якості мастильних властивостей по ГОСТ 9490-75 та величини щільності енергії для моторних і трансмісійних оливи

Марка моторної оливи	Група по API	D_H , мм	P_K , Н	P_C , Н
М-10Г _{2к}	CC	0,500	1235	2450
М-10Г _{2к} +5% присадки	CC	0,378	1235	1960

Результати випробувань дозволяють зробити такі висновки:

1) За своєю дією присадка являється протизносною, основа – ПАР. Введення її в базову оливу приводить до зниження швидкості зношування на 25...30% і коефіцієнта тертя – до 30%.

2) Застосування даної присадки доцільно для змащувальних матеріалів, які мають протизадирні

присадки, які вступають до хімічної взаємодії з матеріалами конструкції мастильної системи у більш низькому температурному інтервалі.

Розглянемо, яким чином ця властивість зберігається у процесі застосування мастильного матеріалу. З цією метою проведено експеримент в обмеженому об'ємі оливи (1,25 гр), який залишається в трібосистемі після закінчення подавання оливи. Випробування проводилися на пласкій парі тертя при максимальних експлуатаційних навантаженнях для даної трібосистеми, які попередньо визначались. Робоче навантаження обиралось на одну ступінь менше $P_{зад\ min}$. Критерієм оцінки протизносних властивостей оливи використовували коефіцієнт зносостійкості трібосистеми k . Середньоповерхнева температура трібосистеми вимірювалась пірометром (типу Німбус) безконтактно та підтримувалась на рівні 60°C системою терморегулювання з точністю до $0,1^{\circ}$. Результати випробувань представлено на рис. 1.

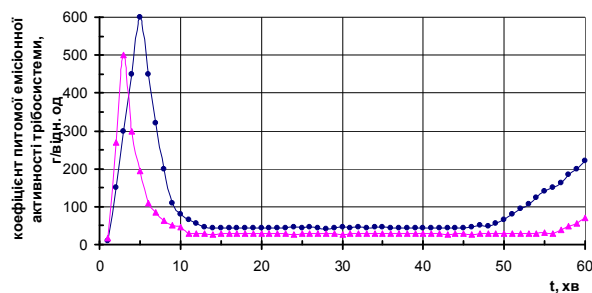


Рис. 1. Результати випробувань:
 ● — перша крива (базова олива);
 ▲ — друга крива (базова олива + присадка)

Порівняльні результати прискореної оцінки ресурсних показників мастильних матеріалів визначаються наступним чином. Для оцінки використовувалася час роботи трібосистеми на нормальному режимі тертя, до настання пошкодження (рис. 1, горизонтальна ділянка). Співвідношення значення тривалості горизонтальних ділянок першої та другої кривої дають коефіцієнт збільшення ресурсу оливи $k_{зр}$. Помножуючи цей коефіцієнт на значення ресурсу будь-якої базової оливи, отримуємо оцінку, яка прогнозується, зміни ресурсу оливи з додавкою відносно базової оливи. В результаті проведеного експе-

рименту отримано значення $k_{зр}=0,283$, що свідчить про збільшення ресурсу оливи з присадкою відносно базового зразка майже на третину.

Висновки

Розроблена експрес-методика визначення ресурсних показників мастильних матеріалів у процесі їх експлуатації передбачає у наступні етапи.

1. Проведення дослідження мастильних матеріалів при додаванні присадок на чотириохкульовій машині тертя згідно ГОСТ 9490-75.

2. Визначення максимального експлуатаційного навантаження $P_{зад\ min}$ на пласких парах тертя.

3. Моделювання процесів старіння мастильних матеріалів випробуванням у локальному об'ємі під меншим з двох навантажень, яке береться менше на одну ступінь від $P_{зад\ min}$.

4. Визначення коефіцієнту збільшення ресурсу оливи $k_{зр}$.

Список літератури

1. Основи трібології / А.М. Антипенко, М.Г. Стадніченко, О.М. Трошин та ін.: Під заг. ред. В.А. Войтова — Х.: ХДТУСГ ім. П. Василенка. — 2008. — 342 с.
2. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В. Клюев, П.П. Пароменко, В.Е. Абрамчук и др. — М.: Машиностроение, 1989. — 672 с.
3. Сарычев Г.А. Анализ акустического излучения при фрикционном взаимодействии твердых тел / Г.А. Сарычев, В.М. Щавелин, В.Н. Баранов // Трение и износ. — 1985. — Т. 6, №1. — С. 39-47.
4. Классификация видов наноизноса по значению коэффициента диссипации подводимой внешней энергии к трібосистеме / О.Н. Трошин, Н.Г. Стадніченко, В.Н. Стадніченко и др. // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. — №1(27), — 2011. — С. 51-61.
5. «Способ определения триботехнических характеристик узла трения и устройство его осуществления» / И.Г. Носовский, М.Г. Стадніченко та ін. — Авторське свідоцтво СРСР № 1420455, № 1420454, 1988.
6. ГОСТ 9490-75 «Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения триботехнических характеристик на четырехшариковой машине».

Надійшла до редколегії 7.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук с.н.с. Є.О. Українець, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ЭКСПРЕСС-МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Г.П. Сигаило, А.Г. Кравцов, В.В. Варваров

В данной статье представлен анализ методов оценивания изменений основного показателя противозносных свойств смазочных материалов при их модификации путем добавления присадок различного назначения. В основу экспрес-методики оценивания противозносных свойств смазочных материалов положен метод акустической эмиссии.

Ключевые слова: ресурс, смазочные материалы, акустическая эмиссия, противозносные свойства.

RAPID METHOD OF RESOURCE INDEXES LUBRICATING MATERIALS DETERMINING DURING EXPLOITATION

G.P. Sigaylo, A.G. Kravtsov, V.V. Varvarov

This paper presents an analysis of the assessment methods of the development of anti-wear properties of lubricants during their modification by adding additives to restore friction pairs. The basis of the rapid assessment methodology anti-wear properties of lubricants is on the method of acoustic emission.

Keywords: resource, lubricants, acoustic emission, anti-wear properties.