

МЕТОД ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСАХ ТЕРТЯ

У даній роботі викладено удосконалений і апробований метод оцінювання працездатності мастильних матеріалів за критеріями P, V, T. Визначення межі переходу від нормального тертя до пошкоджуваності по цій методиці дозволяє більш детально оцінювати працездатність мастильного матеріалу, ніж при їх випробуванні за стандартними методиками.

Детальні характеристики різноманітних типів машин тертя та процесів зношування достатньо широко наведені в сучасній літературі. З одного боку таку різноманітність можна пояснити відсутністю чіткого розуміння процесів тертя та зношування і постановки задачі при дослідженні цих процесів, а з іншого — складністю їх перебігу. Дослідні матеріали з вивчення процесів зношування і різноманітних видів пошкоджень робочих поверхонь деталей вузлів тертя безпосередньо під час експлуатації та вивчення природи цих явищ у лабораторних умовах дали можливість їх систематизувати і розробити обґрунтовані класифікації. Це уможливило відносно точне оцінювання питань ефективності керування процесами зношування і запобігання пошкоджуваності (руйнуванню) поверхонь тертя як недопустимого процесу. Нормальне зношування та пошкоджуваність різняться чітко вираженими зовнішніми ознаками і специфічні механізми їх внутрішнього розвитку досить докладно викладені в літературі [1 — 5].

Нормальне зношування (за Б.І. Костецьким [3] — окиснювальне зношування) реалізується в нормальних умовах експлуатації та характеризується допустимими параметрами тертя. Усі зусилля розробників, виробників та споживачів сучасних машин і механізмів спрямовані на досягнення стійких умов існування цього процесу

In the given work are stated the advanced and approved method of an estimation of work capacity of lubricants behind criteria P, V, T. Opredefeny borders of transition from normal friction to damageability by this technique allows to estimate in more details work capacity of a lubricant, than at their test behind standard techniques.

зношування в усьому діапазоні навантажень і швидкостей ковзання робочих поверхонь вузлів тертя. Для розширення області нормального тертя і, як наслідок, збільшення навантажувально-швидкісного діапазону експлуатації машин і механізмів застосовують мастильні матеріали, які дають змогу значно розширити цей діапазон і мінімізувати процеси зношування. Тому важливим є визначення допустимих навантажень і швидкостей, за яких мастильний матеріал забезпечить експлуатацію машин і механізмів у режимі нормального тертя. Проте існуючі стандартні методи оцінювання мастильних матеріалів (ГОСТ 9490—75, ASTM Д 2782—77, ASTM Д 3233—73 і інші) не дають можливості визначити область нормального тертя, оскільки за цими методами трибологічні характеристики визначаються за фіксованих значень одного з параметрів (навантаження, швидкість ковзання), що є недостатнім. Най-прийнятнішим є вибір мастильного матеріалу з урахуванням умов роботи вузла тертя. А для цього необхідно експериментально визначити область роботоздатності мастильного матеріалу залежно від основних параметрів тертя (навантаження P, швидкості V, температури T), що дасть змогу найефективніше використовувати мастильні матеріали у кожному конкретному випадку [3].

У даній роботі викладено удосконалений і апробований, запропонований раніше [5, 6], метод оцінювання роботоздатності мастильних матеріалів за критеріями Р, V, Т. Стосовно до сталого температурного режиму зв'язок між навантаженням, швидкістю ковзання, коефіцієнтом тертя і середньою об'ємною температурою вузла тертя Т виражається формулою, запропонованою І.В. Крагельським:

$$T = AVPf/SK,$$

де А — тепловий еквівалент роботи; S — площа поверхні тепловіддачі; К — коефіцієнт тепловіддачі. З огляду на те, що $P/S = P_n$, де P_n — питома навантаження, одержимо

$$T = AP_n Vf/K \quad (1)$$

З аналізу формули (1) випливає, що показник А/К залежить тільки від конструкції вузла тертя й умов проведення дослідів, а температура Т і коефіцієнт тертя f є параметрами, які ми можемо фіксувати (вимірювати) в процесі роботи. Тому, вибираючи значення параметра V і реєструючи при цьому значення параметрів Т і f (які відповідають моментів, що передують "задиру"), можна вирахувати допустиме, тобто критичне навантаження

$$P_{кр} = (T/Vf)(K/A). \quad (2)$$

За отриманим значенням величини $P_{кр}$ за різних швидкостей ковзання можна визначити границю переходу від нормального тертя до режиму пошкодження у вигляді $P_{кр} = f(V)$.

Для апробації цього методу була використана модернізована чотирикулькова машина тертя "Ранзі" (рис. 1). Її конструкція дає можливість змінювати як навантаження на вузол тертя (плавно і безперервно), так і швидкість обертання шпинделя основного двигуна — 500; 750; 1000 і 1500 хв⁻¹, що відповідає швидкості ковзання в зоні контакту — 0,18; 0,28; 0,38; 0,56 мс⁻¹.

Для перетворення сили тертя в електричний сигнал (з наступним його реєструванням) використовували механотрон переміщення 6М5С і консольну балку. Для реєстрації об'ємної температури вузла тертя в нижній чашці машини було встановлено термопару ХК (її кінець виведено у центр чотирикулькової піраміди). Сигнали від механотрона і термопару реєстрували самописним потенціометром 3 типу КСП-4.

На вал навантаження встановлено малооборотний двигун серії РД-9. Таким чином, система навантаження не залежить від основного двигуна установки. Для автоматизації процесу навантаження і проведення дослідів машину тертя також обладнано системою реле часу РР-4 і РВ-245 (перше реле задає час роботи на кожному ступені навантаження, друге керує процесом навантаження).

Методично роботоздатність мастильного матеріалу визначають у такий спосіб. За постійної швидкості ковзання поступово збільшують навантаження Р. При цьому пропорційно, відповідно до закону Амонтона, змінюється сила тертя (коефіцієнт тертя залишається практично постійним). Як зазначено в роботах Харді та Дублідія [7], коефіцієнт тертя зменшується у міру того, як температура мастильного матеріалу підвищується. Проте з досягненням так званої температури дезорієнтації коефіцієнт тертя різко змінюється, бо за рахунок значної дисипації теплоти руйнується мастильний шар, внаслідок чого його змащувальна функція

значно погіршується або взагалі зникає. В результаті коефіцієнт тертя і інтенсивність зношування дуже різко зростають і відбувається перехід від нормального зношування до недопустимого режиму руйнування.

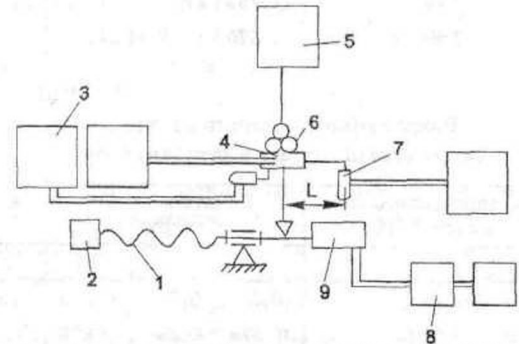


Рис. 1. Схема модернізованої машини тертя "Ранзі": 1 — гвинтова передача; 2 — вантаж; 3 — потенціометр КСП-4; 4 — термопара; 5 — привідний електродвигун; 6 — вузол тертя; 7 — механотрон; 8 — реле часу; 9 — електродвигун системи навантаження

Тобто, з досягненням критичного навантаження $P_{кр}$ коефіцієнт тертя (сила тертя) змінюється стрибкоподібно. При цьому фіксуються значення об'ємної температури і сили тертя, що передують цьому стрибкові. Цю операцію повторюють за різних значень швидкості ковзання. Критичне навантаження при цьому визначають за формулою (2), прийнявши для простоти розрахунку і зіставлення результатів, отриманих на різних машинах тертя, відношення К/А (коефіцієнт дисипації теплоти [5], що є константою даної машини тертя і визначається експериментально) рівним одиниці:

$$P_{кр} = T_{кр} / Vf. \quad (3)$$

Для отримання коефіцієнта тертя за визначеною силою тертя виходячи з розкладання сил, що діють на піраміду з чотирьох кульок (вузол тертя чотирикулькової машини) (рис. 2), знаходимо:

$$P_x = P \cos \alpha / 3,$$

де P_x — навантаження на одна кульку; α — кут між ребром піраміди та її висотою, $\alpha = 30^\circ$. Звідси отримуємо: $P_x = P / \sqrt{6}$.

Момент тертя, що виникає у вузлі тертя, становить:

$$M_{тр} = 3(P_x fm) = \sqrt{3}Pfm / \sqrt{2}. \quad (4)$$

З урахуванням того, що $m = h/2$, де $h = 2/3(2R \cos 30^\circ) = (2/\sqrt{3})R$ (рис. 2), після відповідної підстановки вираз (4) набуде вигляду: $M_{тр} = Pfm / \sqrt{2}$.

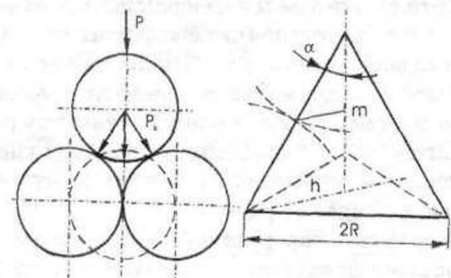


Рис. 2. Схема розкладання сил у вузлі тертя чотирикулькової машини тертя "Ранзі"

З іншого боку, момент тертя дорівнює добутку сили тертя $F_{тр}$, яка фіксується потенціометром, на

плече, що дорівнює відстані від центру піраміди до консольної балки (див. рис. 1):

$$M_{тр} = F_{тр} L.$$

Звідси при $R = 6,35$ мм і $L = 75$ мм (константи машини тертя) одержимо вираз для коефіцієнта тертя:

$$f = F_{тр} L \sqrt{2} / PR = 16,78 F_{тр} / P. \quad (5)$$

З рівнянь (3) і (5) знайдемо:

$$P_{кр} = 5,9 \times 10^{-2} T_{кр} P / V F_{тр}.$$

Оскільки границя переходу від нормального зношування до пошкоджуваності описується рівнянням степеневої функції, за отриманими значеннями сили $P_{кр}$ (за різних значень швидкості ковзання) знаходимо вид цієї функції шляхом математичної інтерполяції за методом найменших квадратів [8].

Як приклад розглянемо результати порівняльних трибологічних досліджень товарних мастил Літа, ЛС-1п, Фіол-2у (з традиційними добавками та присадками), а також дослідних, так званих металоплакувальних мастил СМ-01Л, СМ-02Л, СМП-5, які як добавки мають порошки м'яких металів або їх оксидів, — як правило, Cu і Pb , і товарного авіаційного мастила ВНИИНП-254, яке як добавку також має порошки металів, їх хімічні сполуки. Досліди проводили на ЧШМЗ.2 за ГОСТ 9490—75 і за запропонованою методикою на модернізованій машині "Ранзі". Як випливає з отриманих результатів (таблиця і рис. 3), товарні мастила з традиційними добавками ЛС-1п і Фіол-2у мають найвищу несучу здатність. Межа переходу від нормального тертя до пошкоджуваності в цих мастил вища, ніж в інших. Усі досліджені металоплакувальні мастила забезпечують практично однакову несучу здатність змащувального шару, яка значно нижча, ніж у товарних мастил, що містять традиційно застосовувані добавки [9], за винятком мастила Літа, несуча здатність якого за швидкості ковзання $V > 0,3$ мс⁻¹ нижча ніж у металоплакувальних, що пов'язано з наявністю у цьому мастилі 1,6% протизадірної присадки ЛЗ-318, яка проявляє свою ефективність за відносно низьких швидкостей ковзання.

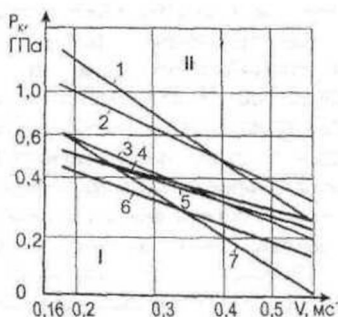


Рис. 3. Графіки залежності навантаження P_k від швидкості ковзання V для різних пластинних мастил: 1 — ЛС-1п; 2 — Фіол-2у; 3 — СМП-5; 4 — СМ-01Л; 5 — СМ-02; 6 — ВНИИНП-254; 7 — Літа; I, II — області нормального тертя і зони руйнування

Характер зміни несучої здатності метало плакувальних мастил зі зміною швидкості ковзання, незважаючи на їхній різний склад, практично однаковий, що може бути, зокрема, пов'язано з вмістом у цих мастилах як добавок дрібнодисперсного порошку міді (за винятком мастила ВНИИНП-254 зі складнішим вмістом). Більш висока ефективність товарних мастил пояснюється вмістом у їх складі як хімічно активних присадок (мастило ЛС-1п —

протизадірні присадки хлорф-40 та ЛЗ-25К), так і твердих наповнювачів у комбінації з хімічно активними присадками (мастило Фіол-2у — дисульфід молібдену, поліетилен і присадка ДФ-11). Результати, отримані за запропонованою методикою, корелюють з результатами, отриманими на ЧШМ 3.2 за ГОСТ 9490—75 (досліди за цим стандартом проводяться при $V = 0,56$ мс⁻¹). За цією стандартизованою методикою найефективнішими є товарні мастила ЛС-1п і Фіол-2у, для яких характерні найвищі значення критичного навантаження $P_{кр}$, навантаження зварювання $P_{зв}$ і індексу задиру I_z (див. табл.). Проте, з результатів, показаних на рис. 3, видно, що із зменшенням швидкості ковзання різниця між ефективністю цих товарних і метало плакувальних мастил стає ще помітнішою, чого не можливо було помітити у процесі випробовувань за стандартними методиками.

Масило	$P_{кр}$, н	$P_{зв}$, н	I_z	Рівняння переходу від нормального зношування до режиму руйнування (пошкоджуваності)
Літа	800	200	30	$P_k = 576,5V^{-1,35}$
СМ-01 Л	940	2240	40	$P_k = 1436,6V^{-0,77}$
СМ-02 Л	1000	2240	44	$P_k = 1836,4V^{-0,63}$
СМП-5	1120	2110	44	$P_k = 1415,3V^{-0,86}$
ВНИИНП-254	1120	2820	45	$P_k = 1062,5V^{-0,83}$
ЛС-1п	1410	2510	52	$P_k = 1218,3V^{-1,50}$
Фіол-2у	1410	3980	60	$P_k = 1772,7V^{-1,02}$

Висновок. Отже, визначення несучої здатності мастильних матеріалів за критеріями P , V , T дає можливість повніше досліджувати їх трибологічні властивості. Крім того, межа переходу від нормального тертя до пошкоджуваності дає змогу побічно міркувати про роботоздатність мастильного матеріалу — чим нижче від межі переходу обрані умови роботи, тим він працюватиме з більшим запасом міцності за інших рівних умов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Безбородько М.Д. Методы оценки противозносных свойств смазочных материалов в тяжело нагруженных механизмах // Методы оценки противозадірних и противозносных свойств смазочных материалов. — М.: Наука, 1969. — С. 100—116.
2. Крагельский И.В. Трение и износ. — М.: Машиностроение, 1968. — 479 с.
3. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. — К.: Техніка, 1970. — 396 с.
4. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин. — М.: Машиностроение, 1984. — 280 с.
5. Матвеевский Р.М., Буяновский И.А., Лазовская О.В. Противозадірная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки. — М.: Наука, 1978. — 192 с.
6. Никулин Г.В. О трех свойствах смазочных материалов // Химия и технология топлив и масел. — 1977. — № 7. — С. 51—55.
7. Hardy W., Doubleday I. Boundary Lubrication. The Temperature Coefficient. Proc. Roy. Soc. Vol. 101 (1922). Nr 1.
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1968. — 720 с.
9. Синицын В.В. Пластичные смазки в СССР. — М.: Химия, 1984. — 192 с.

Надійшла до редколегії 07.02.06 р.