

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

УДК 621. 891

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ ШВИДКІСТЮ ЗНОШУВАННЯ І ДИСПЕРСНІСТЮ ЧАСТИНОК ЗАБРУДНЕНЬ У РОБОЧІЙ РІДИНІ ГІДРОПРИВОДІВ

Є.С. Венцель, проф., д.т.н., О.В. Орел, доц., к.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Отримано рівняння для швидкості зношування з урахуванням взаємодії заряджених частинок зношення з поверхнями тертя. Показано, що швидкість зношування i_v може бути представлена як спадаюча функція коефіцієнта протизношувальних властивостей K_j робочої рідини, який є відношенням кількості дрібнодисперсних частинок до кількості грубодисперсних з відповідними коефіцієнтами.

Ключові слова: робоча рідина, коефіцієнт протизношувальних властивостей, гідропривід, забруднення, тертя.

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ СКОРОСТЬЮ ИЗНАШИВАНИЯ И ДИСПЕРСНОСТЬЮ ЧАСТИЦ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ГИДРОПРИВОДОВ

Е.С. Венцель, проф., д.т.н., А.В. Орел, доц., к.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Получены уравнения для скорости изнашивания с учетом взаимодействия заряженных частиц износа с поверхностями трения. Показано, что скорость изнашивания i_v может быть представлена как ниспадающая функция коэффициента противоположных свойств K_j рабочей жидкости, который является отношением количества мелкодисперсных частиц к количеству крупнодисперсных с соответствующими коэффициентами.

Ключевые слова: рабочая жидкость, коэффициент противоположных свойств, гидропривод, загрязнения, трение.

RELATIONSHIP BETWEEN THE RATE OF WEAR AND DISPERSION OF PARTICLES OF POLLUTION IN THE HYDRAULIC DRIVE WORKING FLUID

Ye.Ventsel, Prof., D. Sc. (Eng.), O. Orel, Assoc. Prof., Cand. Sc. (Eng.),
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. Equations for the rate of wear have been obtained with allowance for the interaction of charged wear particles with friction surfaces. It is shown that the wear rate i_v can be represented as a descending function of the coefficient of antiwear properties K_j of the working fluid, which is the ratio of the number of fine particles to the number of coarsely dispersed particles with the corresponding coefficients. At the same time, with increasing K_j , the wear rate i_v increases.

Key words: working fluid, antiwear properties coefficient, hydraulic drive, pollution, friction.

Вступ

Дослідження трибосистем завжди вимагає комплексного підходу до пов'язаних із ними

проблем через багатокомпонентність, багатofакторність та відкритість таких систем. Остання обставина спричиняє основний методологічний принцип дослідження – термо-

динамічний підхід до аналізу відкритих систем.

Аналіз публікацій

Згідно з термодинамічною концепцією поверхневий шар можна розглядати як відкриту термодинамічну систему, здатну обмінюватися енергією й речовиною з навколишнім середовищем і яка характеризується комплексом інтенсивних характеристик.

Характер фрикційної взаємодії між поверхнями тертя та їх зношуванням багато в чому залежить від особливостей стану дисперсних частинок домішок забруднень, які знаходяться між цими поверхнями і входять до складу багатокомпонентної відкритої дисипативної системи, якою є вузол тертя.

Ступінь дисперсності частинок, їх концентрація і характер розподілу концентрації за розміром частинок справляють суттєвий вплив як на фізико-механічні, так і на експлуатаційно-трибологічні характеристики пар тертя (головним чином, на силу тертя й інтенсивність зношування). У зв'язку з цим вважається доцільним розглянути питання про кореляцію між особливостями, що притаманні дисперсним (особливо тонкодисперсним електрично зарядженим) частинкам домішок, і трибологічними характеристиками вузла тертя (у першу чергу, силою тертя й інтенсивністю (швидкістю) зношування).

Як відомо, при визначенні класу чистоти РР за ДСТУ ГОСТ 17216:2004 за допомогою індексу забрудненості не враховуються частинки забруднень розміром 5 мкм і менше, а саме вони, згідно з літературними даними [1–3 та ін.], знижують інтенсивність зношування вузлів тертя, що пояснюється тим, що ці частинки здатні:

- завдяки розвинутій питомій поверхні адсорбувати на собі продукти окислення РР, перетворюючись таким чином на природну протизношувальну присадку;
- зменшувати електростатичне зношування у результаті підвищення електропровідності граничних плівок РР;
- нівелювати шорсткості поверхонь, зменшуючи тиск у сполученнях, а отже, знизити можливість мікросхоплювання.

Тому в [4] було запропоновано використовувати коефіцієнт K_j протизношувальних властивостей РР, який визначається з рівняння

$$K_j = \frac{n_5 \cdot 5}{n_{5-10} \cdot 10 + n_{10-25} \cdot 25 + n_{25-50}} \cdot \frac{n_5 \cdot 5}{50 + n_{50-100} \cdot 100 + n_{100-200} \cdot 200} \quad (1)$$

де n_5 – кількість частинок забруднень розміром 5 мкм і менше; n_{5-10} ; n_{10-25} тощо – кількість частинок забруднень розміром понад 5 і до 10 мкм, понад 10 і до 25 мкм тощо у 100 см^3 РР для кожного з 10 класів чистоти за ДСТУ ГОСТ 17216:2004.

Мета і постановка завдання

Метою дослідження є встановлення взаємозв'язку між швидкістю зношування поверхонь тертя і якісним складом частинок забруднень у робочій рідині (РР) гідроприводів.

Взаємозв'язок між швидкістю зношування і дисперсністю частинок забруднень

Було розглянуто процес зношування трибосистем для моделі електростатичної взаємодії тонкодисперсних заряджених частинок зношування з поверхнею тертя. При цьому вважалось, що дрібнодисперсні частинки знаходяться зазвичай у зарядженому стані, що пов'язано з термоелектронною емісією, а також з наявністю різниці хімічних потенціалів між частинками зносу і РР або елементами вторинних структур. Величина заряду q дисперсної частинки пов'язана з її розміром a виразом [5]

$$q = 4\pi\epsilon_0\epsilon\phi_0a \cdot \exp\left(-\frac{a}{D}\right), \quad (2)$$

де ϵ – діелектрична проникність середовища; ϵ_0 – електрична стала; ϕ_0 – потенціал виходу; a – розмір частинок забруднень; D – радіус дебаївського екранування заряджених частинок.

В основу термодинамічного підходу лягло таке:

- у поверхневому шарі зношування матеріалу можна виділити об'єм, що знаходиться у стані локальної рівноваги;

– процеси тертя та зношування можуть бути описані рівняннями енергетичного балансу;
– швидкість деструкції визначається швидкістю генерування ентропії, тобто продукування ентропії.

На основі цієї концепції було отримано таке рівняння балансу частинок зношування

$$n_v = n_0 - n_{ex} + n_{gi}, \quad (3)$$

де n_v – загальна об'ємна концентрація частинок зношування у вузлі тертя; n_0 – концентрація частинок зношування, що генеруються безпосередньо поверхнями тертя; n_{ex} – концентрація частинок зношування, що виносяться з вузла тертя; n_{gi} – концентрація частинок, що генеруються всередині вузла тертя за рахунок внутрішніх процесів, які протікають у вузлі.

Ця ж концепція, у поєднанні з відомою теоремою І. Пригожина про мінімізацію продукування ентропії, дозволила отримати рівняння для швидкості зношування i_v у вигляді

$$i_v = 2,8 \cdot 10^{-5} h \frac{\Phi_0 \sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{\rho a} \cdot \delta^{5/6} R_{\max}^{2/3} \left[1 - \left(\frac{a_0}{b_0} \cdot \frac{P_c}{H_B} \right)^{1/N} \right]^{2/3}} \times \left(1 - \frac{n_{gi}}{n_v} \right)^{1/3} \times k_q \frac{n_v^{1/3}}{\left(\frac{n_{ex}}{n_v} \right)^{4/3}}, \quad (4)$$

де h – товщина деформованого шару тертя; k_q – коефіцієнт пропорційності між концентрацією заряджених частинок зношування та їх загальною концентрацією; δ – величина подвійного електричного шару.

Відношення $\frac{n_{ex}}{n_v} = \theta$ можна трактувати як

частину дрібнодисперсних частинок у повному ансамблі частинок забруднень через те, що з вузла тертя виносяться, головним чином, дрібнодисперсні частинки, і вважати його протизношувальним параметром. Цю величину можна пов'язати із запропонованою величиною коефіцієнта протизношувальних властивостей K_j , що визначається як

відношення кількості дрібнодисперсних частинок до кількості решти частинок, тобто

$$K_j = \frac{n_D}{n_v - n_D}, \quad (5)$$

де $n_D \approx n_{ex}$ – об'ємна концентрація дрібнодисперсних частинок.

Очевидно, що між протизношувальним параметром θ й коефіцієнтом протизношувальних властивостей K_j існує зв'язок, який має вигляд співвідношення

$$\theta = \frac{K_j}{1 + K_j}. \quad (6)$$

Тоді рівняння (4) для швидкості зношування вузла тертя набуває вигляду

$$i_v = 2,8 \cdot 10^{-5} h \frac{\Phi_0 \sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{\rho a} \cdot \delta^{5/6} R_{\max}^{2/3} \left[1 - \left(\frac{a_0}{b_0} \cdot \frac{P_c}{H_B} \right)^{1/N} \right]^{2/3}} \times k_q n_v^{1/3} \left(1 - \frac{n_{gi}}{n_v} \right)^{1/3} \left(1 + \frac{1}{K_j} \right)^{4/3}. \quad (7)$$

Як можна бачити з рівняння (7), зі збільшенням величини коефіцієнта K_j протизношувальних властивостей РР інтенсивність зношування зменшується.

Безпосередній розрахунок швидкості зношування за цією формулою стикається з труднощами, спричиненими недостатньою визначеністю низки параметрів, що входять до цієї формули (наприклад, товщини подвійного електричного шару δ , розміру дисперсних частинок a , їх концентрації n тощо). Щоб запобігти цим труднощам, можна знайти зв'язок між відносними змінами величин i_v й K_j , виходячи з того, що у стаціонарному стані основні триботехнічні характеристики вузла тертя не зазнають істотних змін, а також вважати, що коефіцієнт K_j суттєво впливає на процес зношення. У такому разі логарифмічне диференціювання дозволяє визначити зв'язок між відносною величиною швидкості зношування й коефіцієнтом протизношувальних властивостей K_j

$$\frac{\Delta i_v}{i_v} = -\frac{4}{3} \frac{\Delta K_j}{(1+K_j)K_j}. \quad (8)$$

Знак «мінус» у правій частині цього виразу підтверджує зменшення швидкості зношування за збільшення коефіцієнта протизношувальних властивостей, тобто зі збільшенням останнього швидкість зношування зростає.

Висновок

На основі отриманих рівнянь швидкість зношування може бути презентована як спадаюча функція коефіцієнта протизношувальних властивостей K_j , який є відношенням кількості дрібнодисперсних частинок до грубодисперсних, тобто $i_v = f(K_j)$. При цьому зі збільшенням величини коефіцієнта K_j швидкість зношування зростає.

Література

1. Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания / С.В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 240 с.
2. Венцель Е.С. Улучшение эксплуатационных свойств масел и топлив: монография / Е.С. Венцель. – Х.: ХНАДУ, 2010. – 224 с.
3. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безизносность): учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. / Д.Н. Гаркунов. – М.: Издательство МСХА, 2001. – 616 с.
4. Венцель Е.С. Гранулометрический состав загрязнений как один из факторов, определяющих противоизносные свойства масел / Е.С. Венцель // Трение и износ. – 1992. – Т. X111, №4. – С. 683–688.
5. Goertz С.К. Dusty plasmas in the Solar system / С.К. Goertz // Reviews of Geophysics. – 1992. – Vol. 27, no. 2. – P. 271–272.

Рецензент: І.Г. Кириченко, професор, д.т.н., ХНАДУ.