

УДК 621. 0

Венцель Є. С.¹, д.т.н., Бабенко А. О.², к.т.н., Щукін О. В.¹, к.т.н.,
Орел О. В.¹, к.т.н.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Український державний університет залізничного транспорту

ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗНОШУВАННЯ ТРИБОВУЗЛІВ МАШИН В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ЗМАЩУВАЛЬНОЇ ПЛІВКИ

Аннотація. Теоретически обоснована зависимость интенсивности износа трибоузлов машин от электропроводности смазочной пленки. Доказано, что при увеличении величины последней интенсивность изнашивания прямо пропорциональна удельной силе трения и обратно пропорциональна электропроводности смазочной пленки.

Анотація. Теоретично обґрунтовано залежність інтенсивності зношування трибовузлів машин від електропровідності змащувальної плівки. Доведено, що при збільшенні величини останньої інтенсивність зношування прямо пропорційна питомій силі тертя та обернено пропорційна електропровідності мастильної плівки.

Abstract. The dependence of the wear rate of the tribo-nodes of machines on the electrical conductivity of the lubricating film is theoretically substantiated. It is proved that when the value of the latter increases, the wear rate is directly proportional to the specific frictional force and inversely proportional to the electrical conductivity of the lubricating film.

Постановка проблеми. Процес тертя трибовузлів машин впливає на стан змащувальної мастильної плівки, зокрема на її електропровідність, яка залежить від фізико-хімічних властивостей мастила, в тому числі кількісного та якісного складу механічних домішок, товщини плівки, температури тощо [1]. При цьому припускалось [2], що підвищення електропровідності мастильної плівки призводить до зменшення зносу за рахунок інтенсивного «перетоку» електричних зарядів з однієї поверхні тертя трибовузлів на другу при відносно нижчому значенні напруженості поля. Але до теперішнього часу не існує ніяких теоретичних досліджень, які би підтверджували би цю залежність.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування залежності

© Венцель Є. С., Бабенко А. О., Щукін О. В., Орел О. В.

інтенсивність зношування трибовузлів машин від електропровідності змащувальної плівки.

Виклад основного матеріалу. Для одержування залежності інтенсивності зношення від електропровідності мастильної плівки з урахуванням інтенсивного «перетоку» електричних зарядів з однієї поверхні тертя трибовузлів на другу використаємо рівняння Друде-Лоренца для електропровідності σ

$$\sigma = \frac{nq^2}{m_0} \tau, \quad (1)$$

де n – концентрація частинок;

q – середній заряд частинок, що містить мастило;

m_0 – середня маса частинок;

τ – час вільного пробігу.

Час вільного пробігу знайдемо, вважаючи, що сила тертя зменшує швидкість V частинок середньою масою m_0

Тобто

$$F = \mu \eta v \alpha, \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт пропорційності, величина якого для сфери дорівнює 6π ;

η – коефіцієнт в'язкості;

α – розмір частинок.

Тоді

$$\mu \eta v \alpha = \frac{m_0}{\tau}. \quad (3)$$

Таким чином, можна записати, що

$$\tau = \frac{m_0}{\mu \eta \alpha}. \quad (4)$$

В такому разі електропровідність дорівнює

$$\sigma = \frac{n \alpha^2}{\mu \eta \alpha}. \quad (5)$$

Відомо [3], що заряд дрібнодисперсних частинок пов'язаний з їх розміром співвідношенням

$$q = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon\varphi_0 a e^{\frac{a}{\alpha}}, \quad (6)$$

де φ_0 – потенціал виходу;

ε_0 – електрична стала;

ε – діелектрична проникливість;

α – радіус дебаєвського екранування.

Отже, з рівнянь (5) і (6) маємо

$$\sigma = \frac{16\pi}{\mu\eta} n \varepsilon_0^2 \varepsilon^2 \varphi_0^2 \alpha e^{\frac{2a}{\alpha}}. \quad (7)$$

Величина в'язкості η залежить від об'ємної концентрації n_λ суспензії таким чином [3]

$$\eta = \eta_0 (1 + a n_\lambda), \quad (8)$$

де η_0 – в'язкість дисперсного середовища;

a – коефіцієнт, що має значення 2,5 для середніх частинок, для частинок витягнутої форми $a > 2,5$;

n_γ – об'ємна концентрація частинок.

Як відомо, радіус дебаєвського екранування визначається з рівняння

$$\lambda = \sqrt{\frac{kT\varepsilon_0}{4\pi q^2 n^3}}, \quad (9)$$

де k – постійна Больцмана;

T – температура;

n – концентрація частинок.

Якщо у (8) підставити величину заряду з (6), одержимо, що

$$\lambda = \frac{e^{\frac{a}{\lambda}}}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon\varphi_0\alpha} \sqrt{\frac{\varepsilon_0 kT}{4\pi n}}. \quad (10)$$

Оскільки завжди $a < \lambda$, розклавши $e^{\frac{a}{\lambda}}$ у ряд із точністю до першого відмінного від одиниці числа, отримаємо квадратне рівняння

$$(4\pi)^{\frac{3}{2}} \varepsilon_0 \varepsilon \varphi_0 \alpha \sqrt{n} \lambda^2 - \lambda \sqrt{\varepsilon_0 kT} - a \sqrt{\varepsilon_0 kT} = 0. \quad (11)$$

Арифметичний корінь цього рівняння має вигляд

$$\lambda = \frac{\sqrt{\varepsilon_0 kT} + \sqrt{\varepsilon_0 kT - 4(4\pi)^{\frac{3}{2}} \varepsilon_0 \varepsilon \varphi \alpha^2 \sqrt{\varepsilon_0 kT}}}{8\pi \varepsilon_0 \varepsilon \varphi_0 \alpha \sqrt{4\pi n}}. \quad (12)$$

Оскільки дискримінант менший за $\varepsilon_0 kT$, можна обмежитися наближенням

$$\lambda \approx \frac{1}{8\pi \varepsilon \varphi_0 \alpha} \sqrt{\frac{kT}{4\pi \varepsilon_0 n}} = \frac{1}{16\varepsilon_0 \varphi_0 \alpha} \sqrt{\frac{kT}{\pi^3 \varepsilon_0 n}} \quad (13)$$

Визначимо зв'язок між концентрацією n частинок, що визначається як відношення їх кількості N до об'єму V , і об'ємною концентрацією n_γ

$$n_\gamma = \frac{V_0}{V} = \frac{Na^3}{V} = na^3, \quad (14)$$

де V_0 – об'єм матеріалу зношування.

При цьому будемо вважати, що частини зношування є ізотермічними.

Підставляючи рівняння (8) і (13) у (7) з урахуванням (14), отримаємо

$$\sigma = \frac{16\pi^2 n_\gamma \varepsilon_0^2 \varepsilon^2 \varphi_0}{\mu \eta_0 (1 + an_\gamma)} \exp\left(-32\varepsilon \varphi_0 \sqrt{\pi^3 \varepsilon_0 \frac{\alpha n_\gamma}{kT}}\right). \quad (15)$$

Як бачимо з цієї формули, електропровідність має максимум по об'ємній концентрації n_γ частинок. Обчислимо значення n , що відповідає цьому максимумові.

Умова максимуму по концентрації $\frac{\partial \sigma}{\partial n_\gamma} = 0$ приводить до рівняння

$$aB(\sqrt{n_\gamma})^3 - \frac{B}{2}\sqrt{n_\gamma} + 1 = 0. \quad (16)$$

Оскільки завжди $n_\gamma \ll 1$, можна знехтувати кубічним членом та отримати

$$n = \frac{4kT}{32^2 \varepsilon^2 \varphi_0^2 \pi^3 \varepsilon_0 \alpha}. \quad (17)$$

Щоб провести кореляцію між електропровідністю σ та інтенсивністю зношування I , порівняємо формулу (7) із формулою, що презентує зношування згідно з [4]. Тоді остаточно отримаємо

$$I = \frac{4\sigma f_{\tau} n_0^{\frac{1}{3}} \lambda^{\frac{2}{3}} \delta^{\frac{2}{3}} \exp\left(\frac{4}{3} \frac{\delta}{\lambda}\right) \pi \varepsilon_0 \varepsilon \mu n_0}{\sigma a n^{\frac{1}{3}} \left\{ \left[1 - \frac{a_0}{b_0} \left(\frac{p_c}{HB} \right)^{\frac{1}{\nu}} \right] (\lambda + \delta) R_{\max} \right\}^{\frac{2}{3}}}, \quad (18)$$

де $\sigma_{f\tau}$ – питома сила тертя;

δ – абсолютна шорсткість поверхонь трибовузлів,

a_0, b_0 – константи профілограми;

p_c – контурний тиск;

HB – твердість поверхонь тертя.

Як бачимо з рівняння (18), інтенсивність зношування трибовузлів при інших рівних умовах прямо пропорційна питомій силі тертя та обернено пропорційна електропровідності мастильної плівки.

Отримане рівняння після його експериментального підтвердження дозволить, мабуть, керувати процесами тертя, змінюючи властивості мастильних плівок, а також параметри трибовузлів машин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Венцель Е. С. Некоторые особенности проявления электропроводности и механической прочности масляной пленки / Е. С. Венцель, А. И. Березняков // Трение и износ. – 1990. – Т. 11, № 6. – С. 1039-1042.
2. Венцель Е. С. Механизм изнашивания противоизносных свойств масел при гидродинамическом диспергировании / Е. С. Венцель // Трение и износ. – 1992. – Т. 13, №5. – С. 905-910.
3. Goertz C.K. Dusty plasmas in the Solar System / C. K. Goertz // Reviews of Geophysics. – 1992. – No. 2. – Pp. 271-292.
4. Березняков А. И. Уравнение интенсивности изнашивания трибоузла / А. И. Березняков // Трение и износ. – 1996. – Т. 17, № 8 – С. 43-49.