

УДК 519.876.5:620.178.16(045)

О.А.Вишневський, асист.

ЗАЛЕЖНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ АБРАЗИВНОГО ЗНОСУ ВІД ТВЕРДОСТІ МАТЕРІАЛІВ

Визначено середнє навантаження та тиск на поверхню тертя під час проведення всього експерименту з визначення абразивної зносостійкості матеріалів. Нерівномірний процес зношування поверхонь матеріалів замінений рівномірним. Знайдено залежність інтенсивності лінійного зносу від твердості матеріалів.

Average loading and average pressure upon the friction surface during running of all experiment for determination of materials abrasive wearing quality are defined. Non-uniform materials surfaces wear process is replaced with uniform process. Dependence of linear wear intensity upon the material hardness was determined.

Постановка проблеми

Застосування методу поетапного моделювання нерівномірного процесу випробування матеріалів на абразивну зносостійкість при нежорстко закріплених частинках дає можливість:

- упорядкувати експерименти;
- виділити основні напрями досліджень;
- визначити параметри, які впливають на зносостійкість матеріалів та покриттів.

У роботі [1] розглянуто обернено пропорційну залежність інтенсивності лінійного зносу від твердості матеріалів.

Для побудови моделі середнього навантаження на поверхню тертя, а в перспективі побудови узагальненої моделі абразивного зносу поверхонь матеріалів треба коректно замінити нерівномірний процес рівномірним, що значно спрощує вигляд та зміст математичних викладок.

Після такої заміни результати випробувань стають більш прогнозованими, а організація експериментів спрощується.

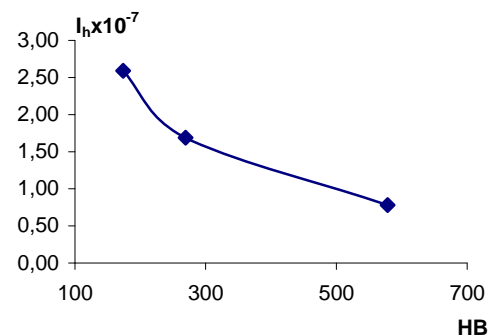
Мета дослідження – теоретичне обґрунтування та виведення моделі середнього навантаження та тиску на поверхню тертя при випробуванні матеріалів на абразивну зносостійкість і встановлення аналітичної залежності між інтенсивністю лінійного зносу та твердістю при випробуваннях сталі 45, а також тиску на поверхню тертя.

Результати досліджень

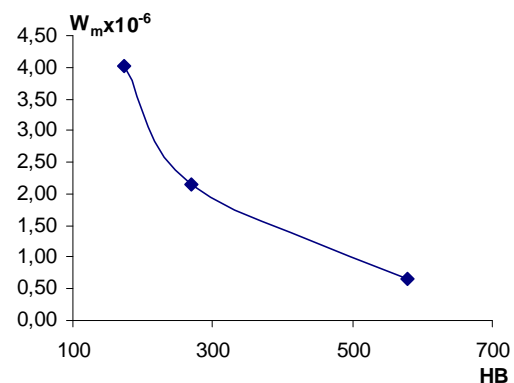
Розгляд впливу геометричних форм та розмірів робочої частини випробувальної установки на результати випробування відрізняє цей підхід моделювання від подібних моделей.

У результаті випробувань сталі 45 на абразивну зносостійкість отримано залежності інтенсивності лінійного та масового зносу від твердості. Відповідні співвідношення зображені на рис. 1.

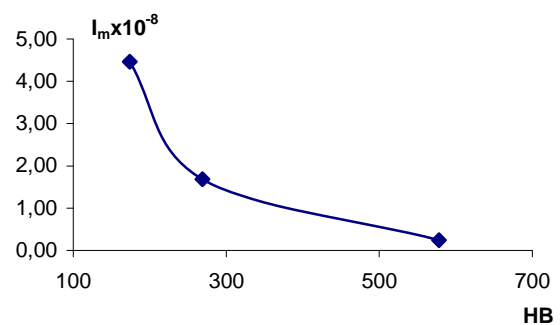
Під час взаємодії ролика та зразка сума проєкцій функції розподіленого вздовж осі Oy навантаження $\vec{P}_1(y)$ має дорівнювати $|\vec{P}_0|$.



а



б



в

Рис.1. Залежність інтенсивності лінійного (а), масового зносу (б), інтенсивності масового зносу (в) від твердості сталі 45 під час випробувань на абразивну зносостійкість

Функцію навантаження \vec{P}_1 можна отримати як розв'язок інтегрального рівняння з крайовими умовами:

$$\frac{1}{\sqrt{2Rh-h^2}} \int_0^{\sqrt{2Rh-h^2}} P_1(y) dy = \frac{P_0}{2}; \quad (1)$$

$$\begin{cases} P_1(0) = P_0, \\ P_1(\sqrt{2Rh-h^2}) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Ядро інтегрального рівняння (1) подамо у вигляді $P_1(y) = ay + b$.

Коефіцієнти a і b знайдемо з системи рівнянь отриманої із крайових умов (2):

$$\begin{cases} a + b = P_0, \\ a\sqrt{2Rh-h^2} + b = 0. \end{cases}$$

Після алгебричних перетворень отримаємо

$$\begin{cases} b = P_0 \\ a = -\frac{P_0}{\sqrt{2Rh-h^2}} \end{cases}$$

Функція розподіленого вздовж осі Oy навантаження $\vec{P}_1(y)$ має вигляд

$$P_1(y) = P_0 \frac{\sqrt{2Rh-h^2} - y}{\sqrt{2Rh-h^2}}. \quad (3)$$

Для перевірки знайдемо суму проєкцій розподіленого вздовж осі Oy навантаження (3):

$$\frac{1}{\sqrt{2Rh-h^2}} \int_0^{\sqrt{2Rh-h^2}} P_0 \frac{\sqrt{2Rh-h^2} - y}{\sqrt{2Rh-h^2}} dy = \frac{P_0}{2}.$$

Зауважимо, що для

$$-\sqrt{2Rh-h^2} \leq y < 0$$

функція розподіленого навантаження $\vec{P}_1(y)$ буде мати вигляд:

$$P_1(y) = P_0 \frac{\sqrt{2Rh-h^2} + y}{\sqrt{2Rh-h^2}}.$$

Сума всіх проєкцій розподіленого навантаження $\vec{P}(y)$ на вісь Ox , за

$$-\sqrt{2Rh-h^2} \leq y \leq \sqrt{2Rh-h^2},$$

дорівнює P_0 .

Величину середнього навантаження визначимо, враховуючи працю [2], за формулою

$$P_{\text{сеп}} = \frac{AD}{l}, \quad (4)$$

де l – довжина дуги тертя.

Для обчислення середнього навантаження зробимо заміни:

$$x = R - h = R \cos \alpha; \quad (5)$$

$$y = R \sin \alpha.$$

Підставивши формулу (5) у вираз (4), одержимо на підставі праці [3] формулу середнього навантаження на дугу тертя за певного значення лінійного зносу:

$$P_{\text{сеп}} = \frac{\int_0^{\arccos\left(1-\frac{h}{R}\right)} P_0 \frac{\sqrt{2\frac{h}{R}-\left(\frac{h}{R}\right)^2} - \sin \alpha}{\sqrt{2\frac{h}{R}-\left(\frac{h}{R}\right)^2}} \cos \alpha R d\alpha}{\alpha R}.$$

Виконуючи алгебричні перетворення, одержимо:

$$P_{\text{сеп}} = \frac{P_0 \sqrt{2\frac{h}{R}-\left(\frac{h}{R}\right)^2}}{2 \arccos\left(1-\frac{h}{R}\right)}. \quad (6)$$

Перевіримо роботу моделі у граничних умовах:

– за $h \rightarrow 0$ (початковий момент зносу);

– за $h \rightarrow R$ (половина гумового ролика стикається з поверхнею зразка).

Для випадку $h \rightarrow 0$ отримаємо

$$\lim_{h \rightarrow 0} P_c = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{P_0 \sqrt{2\frac{h}{R}-\left(\frac{h}{R}\right)^2}}{\arccos\left(1-\frac{h}{R}\right)} = P_0,$$

що є цілком логічно, бо початковий момент зносу навантаження P_0 прикладається до точки дотику ролика та зразка і дорівнює P_0 .

Для випадку $h \rightarrow R$ одержуємо

$$\lim_{h \rightarrow R} P_c = \lim_{h \rightarrow R} \frac{P_0 \sqrt{2\frac{h}{R}-\left(\frac{h}{R}\right)^2}}{\arccos\left(1-\frac{h}{R}\right)} = \frac{2P_0}{\pi}.$$

Визначимо середні навантаження та площу вздовж напрямку лінійного зносу.

Середнє розподільне навантаження вздовж кола, по якому рухаються абразивні частинки $P_{\text{сеп}}(l)$,

можна розподілити вздовж напрямку лінійного зносу h .

Середнє значення площі відносно лінійного зносу h , можна подати як

$$Q_{\text{сеп}}(h) = \frac{\int_0^h 2bR \arcsin \sqrt{2\frac{z}{R}-\left(\frac{z}{R}\right)^2} dz}{h}.$$

Для знаходження середнього тиску використаємо залежність [4]:

$$N_{\text{сер}} = \frac{P_{\text{сер}}(l, h)}{Q_{\text{сер}}} \quad (7)$$

Після підстановки у формулу (7) відповідних значень $P_{\text{сер}}(l, h)$ і $Q_{\text{сер}}$ отримаємо залежність

$$N_{\text{сер}} = \frac{P_0 \int_0^{\arccos\left(1-\frac{h}{R}\right)} \frac{\sin^2 t}{t} dt}{2b \int_0^h \arcsin \sqrt{2\frac{z}{R} - \left(\frac{z}{R}\right)^2} dz}$$

Під час проведення експериментальних випробувань на зносостійкість було встановлено залежності інтенсивності лінійного та масового зносу від середнього тиску на поверхню зразка. Причому середній тиск розглядається під час проведення всього експерименту. Результати випробувань зображено на рис. 2, 3.

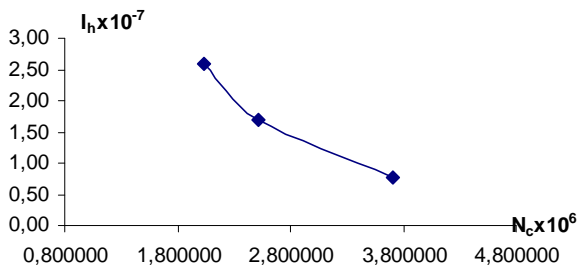


Рис. 2. Залежність інтенсивності лінійного зносу від середнього тиску на поверхню тертя при різній твердості сталі 45

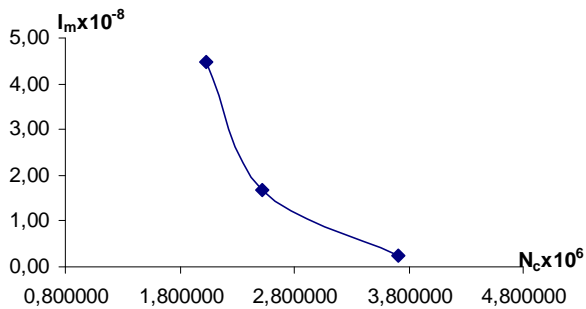


Рис. 3. Залежність інтенсивності масового зносу від середнього тиску на поверхню тертя за весь час проведення експерименту

Залежність характерних параметрів абразивного зносу від твердості матеріалів

Твердість, HB	Лінійний знос, м	Масовий знос, кг	Інтенсивність лінійного зносу	Інтенсивність масового зносу	Середній тиск на поверхню тертя, Па
174	$2,33 \cdot 10^{-5}$	$4,02 \cdot 10^{-6}$	$2,589 \cdot 10^{-7}$	$4,46 \cdot 10^{-8}$	$2,035155 \cdot 10^6$
269	$1,52 \cdot 10^{-5}$	$2,15 \cdot 10^{-6}$	$6,44 \cdot 10^{-7}$	$1,69 \cdot 10^{-8}$	$2,519904 \cdot 10^6$
578	$7,00 \cdot 10^{-6}$	$6,51 \cdot 10^{-7}$	$7,780 \cdot 10^{-8}$	$2,39 \cdot 10^{-9}$	$3,713534 \cdot 10^6$

Під час випробувань на абразивну зносостійкість знайдено залежність інтенсивності масового зносу від середнього тиску на поверхню тертя.

Взаємозалежність характерних параметрів, що впливають на зношення, при випробуваннях сталі 45 на абразивну зносостійкість наведено в таблиці.

Матеріал – сталь 45 – зношувався за навантаження $P_0 = 44,1 \text{ Н}$, зернистості абразиву 160–200 мкм. Випробувався матеріал різної твердості.

Якщо враховувати зернистість абразивних частинок, то радіус стане дорівнювати $R + 2r$ в залежностях, які містять R .

Шлях тертя склав 90 м під час виконання кожного експерименту.

За системою Mathcad можна отримати апроксимацію шуканої залежності інтенсивності лінійного зносу від твердості сталі 45:

$$data := \begin{pmatrix} 174 & 2.589 \cdot 10^{-7} \\ 269 & 1.689 \cdot 10^{-7} \\ 578 & 0.778 \cdot 10^{-7} \end{pmatrix}$$

Компоненти апроксимуючої функції подамо як

$$f(x) := \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{1}{x} \end{pmatrix}$$

Продовження комп'ютерної реалізації набуває вигляду:

$$X := data^{<0>};$$

$$Y := data^{<1>};$$

$$S := \text{linfit}(X, Y, f).$$

Результуючі значення коефіцієнтів шуканої залежності дає матриця:

$$S := \begin{pmatrix} 3.12349 \cdot 10^{-10} \\ 4.5080515579 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix}$$

Шукана залежність інтенсивності лінійного зносу від твердості сталі 45 може бути подана у вигляді функції:

$$I_h := 3.12349 \cdot 10^{-10} + \frac{4.5080515579 \cdot 10^{-5}}{HB}$$

Висновки

У результаті поетапного моделювання вдалося значно спростити математичні моделі абразивного зносу поверхонь матеріалів у разі не жорстко закріплених частинок. Нерівномірний процес випробування матеріалів на абразивну зносостійкість замінений рівномірним процесом із визначеним середнім навантаженням та тиском. Подібне моделювання значно спрощує математичні викладки та обрахунки результатів експерименту.

Проведені експериментальні випробування на зносостійкість встановили обернено пропорційну залежність інтенсивності лінійного зносу інтенсивності масового зносу від твердості сталі 45.

Встановлено обернено пропорційну залежність між інтенсивністю лінійного і масового зносу та середнім тиском на поверхню тертя за різних значень твердості сталі 45.

Виведено аналітичну залежність інтенсивності лінійного зносу від твердості сталі 45.

Література

1. *Справочник по триботехнике*: В 3 т./ под общ. ред. М.Хебды, А.В.Чичинадзе, Теоретические основы. – Т. 1. – 400 с.
2. *Вишневецький О.А.* Модель залежності оцінки абразивної зносостійкості матеріалів від навантаження та густини // Вісн. НАУ, – 2004. – № 2 – С. 86–90.
3. *Вишневецький О.А.* Узагальнена модель абразивного зносу поверхонь матеріалів // Вісн. НАУ. – 2005. – № 4. – С. 112–116.
4. *Вишневецький О.А.* Модель критерію та основні принципи побудови банку даних абразивної зносостійкості матеріалів // Вісн. НАУ. – 2006. – № 1. – С. 145–149.

Стаття надійшла до редакції 19.11.07.