

УДК 620.178.16:519.876.5(045)

О.А. Вишневський

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МОНІТОРИНГ МОДЕЛЕЙ
АБРАЗИВНОГО ЗНОСУ ПОВЕРХОНЬ МАТЕРІАЛІВ**НАУ, кафедра вищої математики
E-mail: eco@nau.edu.ua; www.nau.edu.ua

Експериментально перевірено математичні моделі абразивного зносу поверхонь матеріалів при нежорстко закріплених частинках. Визначено цільову функцію та точність поетапного моделювання абразивного зносу вузлів тертя.

Mathematical models of an abrasive wear of materials surfaces are checked experimentally up with no rigidly fixed particles. Criterion function and an exactitude of stage-by-stage modeling of an abrasive wear of knots of friction are defined.

Постановка проблеми

Експериментальний моніторинг математичних моделей абразивного зносу поверхонь матеріалів та покриттів – невід’ємна частина моделювання такого складного та багатопараметричного явища, як знос поверхонь матеріалів при терті об нежорстко закріплені абразивні частинки.

Багатогранність указанного процесу дозволяє вести моделювання різними шляхами. Головним питанням залишається вибір оптимальної моделі, що поєднує в собі залежність більшості характерних параметрів зносостійкості від простоти використання. Важливість поставленого завдання впливає з можливості передбачення результатів зносу за наперед заданими параметрами, що фактично означає можливість конструювання зносостійких матеріалів із наперед заданими властивостями.

**Огляд публікацій
і аналіз невирішених проблем**

Проблемам побудови моделей абразивного зносу приділялося багато уваги в наукових публікаціях.

Основою одних існуючих моделей є ймовірнісно-статистичний підхід [1], в інших існуючих моделях абразивного зносу не відображено все різноманіття складних фізичних процесів, що відбуваються при абразивному зносі з нежорстко закріпленим абразивом [2]. Недоліком цих моделей є громіздкість і незручність у використанні в поєднанні з обмеженістю набору параметрів, які впливають на зносостійкість.

Немає універсальності в побудові цих моделей для різних матеріалів і умов використання.

У праці [3] виявлено зв’язок величини абразивного зносу за масою з розмірами робочої частини експериментальної установки, лінійним зносом, площею поверхні прилягання гумового ролика та зразка.

У праці [4] до перерахованих параметрів добавили зернистість абразиву та навантаження, але

середнє навантаження розглядається в даний момент часу, тобто при даному значенні лінійного зносу h .

У працях [5; 6] визначено залежність величини зносу від деформації робочої частини устаткування для оцінки абразивної зносостійкості матеріалів.

У праці [7] розглянуто середнє навантаження на середню поверхню тертя під час проведення всього експерименту щодо встановлення рівня зносостійкості матеріалів. У цій роботі побудовано узагальнену модель процесу зношування поверхонь матеріалів, але не зроблено експериментальної апробації математичних моделей.

У праці [8] визначено критерій зносостійкості матеріалів з подальшим уточненням основних принципів побудови банку даних їх абразивної зносостійкості.

Мета дослідження – експериментальна перевірка математичних моделей абразивного зносу поверхонь матеріалів, визначення точності моделювання та цільової функції поетапного моделювання цього фрикційного процесу.

За наявності моделі зношування при нежорстко закріплених абразивних частинках можна передбачити величину зношування за масою залежно від параметрів, які впливають на зносостійкість:

- лінійного зносу;
- площі поверхні стикання гумового ролика зі зразком;
- навантаження P ;
- твердості абразиву та зразка;
- розмірів гумового ролика, що використовується у дослідницькому обладнанні для випробування матеріалів на абразивну зносостійкість.

Результати досліджень

Процес стандартного випробування матеріалів на абразивну зносостійкість при нежорстко закріплених частинках є складовою прогнозування термінів роботи вузлів тертя.

Математичне моделювання процесу зносу поверхонь матеріалів дає можливість задіяти більшість визначальних параметрів, що впливають на підвищення зносостійкості.

Математична модель дозволяє визначити взаємний вплив цих параметрів на кінцевий результат зносу та рівень зносостійкості матеріалів.

Схему установки експериментального дослідження матеріалів на абразивну зносостійкість при нежорстко закріплених абразивних частинках показано на рис. 1.

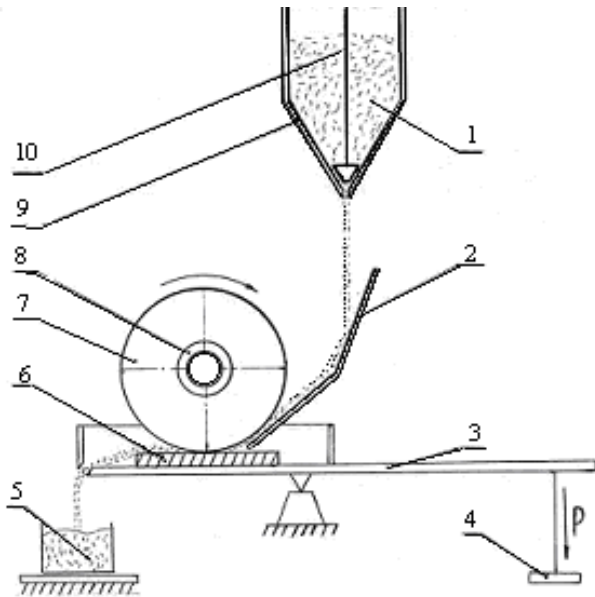


Рис. 1. Схема експериментальної установки Бринеля:

1 – вільний абразив; 2 – лоток для подавання абразиву; 3 – важіль для регулювання зусилля притискування ролика до поверхні зразка; 4 – навантаження P; 5 – бункер для збирання відпрацьованого абразиву; 6 – зразок досліджуваного матеріалу; 7 – гумовий ролик; 8 – втулка для ролика; 9 – бункер для вільного абразиву; 10 – важіль для регулювання швидкості подавання абразиву

Розглянемо моделі залежності абразивного зносу матеріалів за масою від лінійного зносу та площі поверхні тертя [3].

$$W_m = \rho b R^2 \left(\arcsin \sqrt{2 \frac{h}{R} - \left(\frac{h}{R}\right)^2} - \left(1 - \frac{h}{R}\right) \sqrt{2 \frac{h}{R} - \left(\frac{h}{R}\right)^2} \right) \quad (1)$$

Модифікацією моделі (1) є модель:

$$W_m = \frac{1}{2} \rho R \left(Q - b R \sin \frac{Q}{b R} \right) \quad (2)$$

Моделі (1), (2) є різними за формою запису однієї залежності, а саме моделі абразивного зносу поверхонь матеріалів за масою.

Залежність (2) можна отримати із залежності (1), користуючись формулою переходу від лінійного зносу h до площі поверхні тертя Q [3].

$$Q = 2bR \arcsin \sqrt{2 \frac{h}{R} - \left(\frac{h}{R}\right)^2}$$

Результати експериментальних випробувань сталі Ст.30 на абразивну зносостійкість з абразивними частинками 160, 200 мкм і радіусом ролика 2,5 см та експериментальний моніторинг математичних моделей (1), (2) наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Результати експериментальних випробувань

Шлях тертя, м	Лінійний знос, м	Експериментальний знос за масою, кг	Змодельований знос за масою, кг	
			з урахуванням деформації	без урахування деформації
30	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$4,1 \cdot 10^{-6}$
60	$3,6 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-6}$	$7,7 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$
90	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$1,12 \cdot 10^{-5}$	$1,07 \cdot 10^{-5}$	$1,04 \cdot 10^{-5}$
120	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$1,37 \cdot 10^{-5}$	$1,31 \cdot 10^{-5}$	$1,27 \cdot 10^{-5}$
150	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$1,56 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,45 \cdot 10^{-5}$

Абразивний знос за масою при врахуванні деформації ролика визначають за виразом

$$W_m = \rho R^2 d \left(\arcsin \sqrt{2 \frac{h}{R - \Delta R} - \left(\frac{h}{R - \Delta R}\right)^2} - \left(1 - \frac{h}{R - \Delta R}\right) \sqrt{2 \frac{h}{R - \Delta R} - \left(\frac{h}{R - \Delta R}\right)^2} \right) \quad (3)$$

Експериментальний моніторинг моделей абразивного зносу (1), (2), (3) і реальні дані випробування показано на рис. 2.

Цільовою функцією поетапного моделювання логічно виступає функція, що мінімізує середньоквадратичну похибку моделювання:

$$\partial_N = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^N (y_a(N) - y_m(N))^2}{N - 1}} \quad (4)$$

де $y_e(N)$ – експериментальні дані абразивного зносу поверхонь матеріалів за масою.

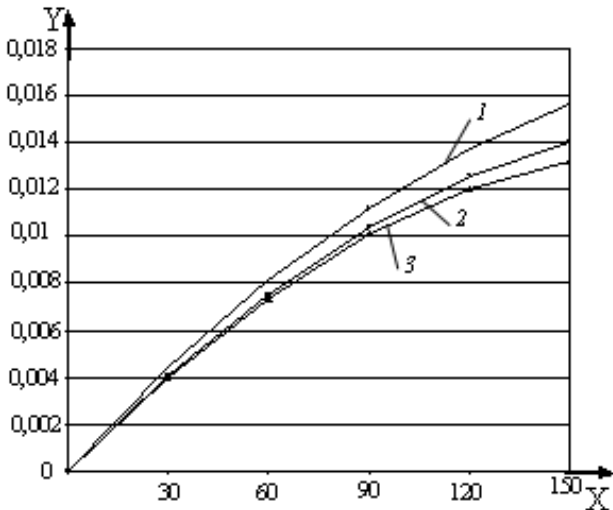


Рис. 2. Експериментальні залежності абразивного зносу Y поверхонь матеріалів за масою від величини шляху тертя X для нормалізованої сталі Ст. 30: 1 – $f_1(x)$; 2 – $f_3(x)$; 3 – $f_2(x)$

Похибка моделювання в першому наближенні (без урахування деформації) становить 7,1%, а у другому (з урахуванням деформації) – 4,4%.

Робочу частину експериментальної установки для визначення абразивної зносостійкості поверхонь матеріалів прив'яжемо до прямокутної системи координат (рис. 3).

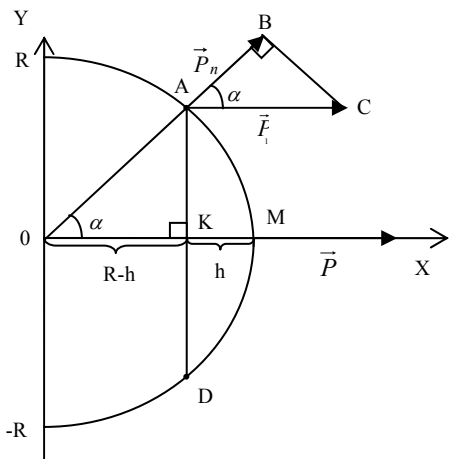


Рис. 3. Прив'язка ролика експериментальної установки і поверхні зразка до декартової системи координат: AD – рівень поверхні зразка; O – проекція осі ролика на площину XOY

Експериментально встановлено, що знос за об'ємом пропорційний середньому тиску з коефіцієнтом пропорційності k , що залежить від властивостей матеріалу (твердості, пластичності). Крім цього, знос за об'ємом прямо пропорційний ширині випробувального ролика при постійному значенні лінійного зносу h .

Таким чином, модель, яка визначає величину зносу за об'ємом, можна подати у такому вигляді

$$W_m = \frac{\rho P k \int_0^{\arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right)} (\sin t)^2 dt}{2 \int_0^h \arcsin \sqrt{2 \frac{z}{R} - \left(\frac{z}{R}\right)^2}} \quad (5)$$

Модель (5) показує, що знос за масою не залежить від ширини ролика. Це підтверджують результати експерименту з випробовування нормалізованої сталі Ст. 30 на абразивну зносостійкість. Результати експерименту були виконані при терті протяжністю 50 м (зернистість 200–250 мкм) і занесені у табл. 2.

Таблиця 2

Абразивний знос за масою

Ширина ролика, мм	Навантаження P_0 , Н		
	44,1	29,8	16,2
15	0,0042	0,0020	0,0010
10	0,0042	0,0021	0,0009

Результати експериментів показують, що знос за об'ємом і масою не залежить від ширини випробувального ролика, що пояснюється збільшенням тиску при зменшенні площі поверхні тертя. Аналогічні результати отримані при визначенні середньоквадратичної похибки моделювання процесів, які зображені на рис. 4 і визначають експериментальні залежності зносу за масою від протяжності шляху тертя для чотирьох матеріалів, з різною твердістю (табл. 3).

Наведені експериментальні залежності отримано за умов стандартного навантаження ($P = 44,1$ Н) згідно з ГОСТ 23.208-79.

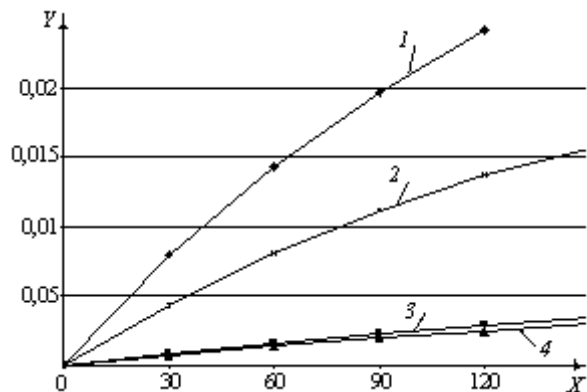


Рис. 4. Експериментальні залежності абразивного зносу поверхонь матеріалів за масою від величини шляху тертя:

1 – мідь М1 $f_1(x)$; 2 – нормалізована сталь Ст. 30 ХГСА $f_4(x)$; 3 – нормалізована сталь Ст. 45 $f_3(x)$; 3 – нормалізована сталь Ст. 30 $f_2(x)$

Таблиця 3

Твердість матеріалів

Матеріал	Стан	НВ(<i>d</i>), мм	НВ _{5/750}
Мідь М1М	–	3,95	78,3
Сталь Ст. 30	Нормалізована	3,0	95,5
Сталь Ст. 45	Нормалізована	2,15	197
Сталь Ст.30 ХГСА	Нормалізована	2,05	217

Співвідношення між величиною абразивного зносу поверхонь матеріалів за масою підтверджується відповідними значеннями твердості даних матеріалів.

Вимірювання твердості проводили на приладі ТШ-2М.

Висновки

1. Проведено експериментальну перевірку математичних моделей абразивного зносу поверхонь матеріалів при нежорстко закріплених частинках.
2. Здійснено порівняльну оцінку точності моделей абразивного зносу матеріалів у першому та другому наближеннях.
3. Експериментально підтверджена незалежність результату випробування матеріалів на абразивну зносостійкість при нежорстко закріплених частинках від ширини робочої частини установки.

4. Визначено цільову функцію для моделей абразивного зносу.

5. Показано експериментальні залежності випробування інших матеріалів з аналогічними оцінками результатів моделювання.

Література

1. Сорокатый П.В. Моделирование поведения трибо-систем методом трибоэлементов // Трение и износ. – 2002. – Т. 23, №1. – С. 16 – 22.
2. Федоров С.В. Обобщенная модель трения // Трение и износ. – 1993. – Т.14, №3. – С. 460 – 470.
3. Вишневецький О.А. Модель залежності величини абразивного зносу від лінійного // Вісн. НАУ. – 2004. – №1. – С. 125 – 129.
4. Вишневецький О.А. Модель залежності оцінки абразивної зносостійкості матеріалів від навантаження та густини // Вісн. НАУ. – 2004. – №2. – С. 86 – 90.
5. Вишневецький О.А., Давидов О.С. Нелінійне математичне моделювання процесу абразивного зносу поверхонь матеріалів // Вісн. НАУ. – 2005. – №1. – С. 101 – 104.
6. Вишневецький О.А., Давидов О.С. Математичне моделювання процесів абразивного зносу поверхонь матеріалів з урахуванням деформації // Вісн. НАУ. – 2005. – №3. – С. 99 – 103.
7. Вишневецький О.А. Узагальнена модель абразивного зносу поверхонь матеріалів // Вісн. НАУ. – 2005. – №4. – С. 112 – 116.
8. 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 01.06.06.