

О.А. Вишневський, О.С. Давидов

Київський національний авіаційний університет, Київ

ВИЗНАЧЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МЕТАЛІВ НЕЗАКРІПЛЕНИМ АБРАЗИВОМ

Поставлене і вирішене завдання розробки теорії моделі зношування металів незакріпленим абразивом. Отримані моделі зношування і визначувані параметри цих моделей для кількісного порівняння абразивної зносостійкості металів з врахуванням різних чинників. Відповідно до методу теорії подібності і розмірності, складений перелік всіх визначуваних і визначаючих величин з їх розмірністю. Далі з цих величин скомпоновані безрозмірні комплекси: інтенсивність зносу; знос на одиницю шляху тертя; безрозмірний тиск; безрозмірна швидкість; гомологічна температура в контакті.

Ключові слова: абразив, схема Брінелля-Ховарта, теорія подібності,

Вступ

Постановка проблеми. Визначення зносостійкості металів незакріпленим абразивом здійснюється з використанням різних методів.

Випробування по Брінеллю. Схема випробування полягає в наступному. На горизонтальному валу, що обертається в конусних регульованих підшипниках, закріплений металевий диск. Вал обертається від електродвигуна постійного струму за допомогою ремінної передачі; колова швидкість диска 4 м/хв. Зразок затискається в спеціальному чотириохвучковому патроні. Останній, закріплений на планшайбі, дозволяючи за допомогою гвинтів встановлювати зразок у вертикальній і горизонтальній площині так, щоб його плоска поверхня, дотична поверхні диска, проходила через вісь, довкола якої зразок повертається при утворенні лунки.

Абразив у вигляді порошку певної зернистості, заздалегідь просушений в сушильній шафі і просіяний, наливається в бункер, звідки він надходить у воронку, що має калібрований отвір. Через отвір воронки абразив в одному варіанті потрапляє в своєобразний приймач, обмежений циліндровою поверхнею диска і двома закрілками з боків. З цього приймача абразив потрапляє на поверхні, що труться. У іншому варіанті приймач відсутній, і частина абразиву вільно потрапляє з боків, досягаючи поверхні тертя між диском і зразком. У обох випадках абразив по похилому жолобу надходить у вільну коробку.

Детальне дослідження чинників, що впливають на результати випробувань за схемою Брінелля, викладене в роботі [1]. При цьому методі випробування зносостійкості одного і того ж матеріалу залежить від властивості стираючого диска, а для різних випробовуваних матеріалів і дисків від співвідношення їх твердостей.

Випробування за схемою Брінелля-Ховарта. У 1949 році Ховарт (США) розробив метод випробування по зношуванню, що схожий з методом Брінелля і відрізняється вживанням гумового диска замість металевого [3]. Дослідження цього методу, було проведене в Інституті машинознавства показало, що спосіб подачі абразиву до поверхні тертя по Ховарту є незадовільним. Тому була розроблена нова схема, в якій поєднувалися гумовий диск по Ховарту і подачі абразиву по Брінеллю.

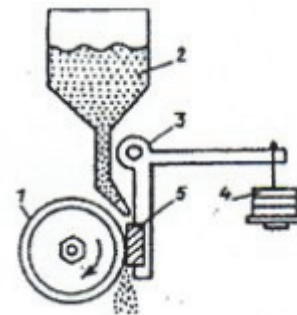


Рис. 1. Схема випробувань на знос по гумі з сухим абразивом: 1 – гумове колесо; 2 – абразив; 3 – важіль; 4 – вантаж; 5 – зразок

Знос визначається по втраті ваги зразка при певній кількості абразиву [4]. У таких же умовах випробовується еталонний матеріал, при цьому відносна зносостійкість визначається як відношення зносів еталонного і випробовуваного матеріалів.

Приведені схеми конструкцій методу випробувань на абразивний знос за схемою Брінелля-Ховарта були стандартизовані в багатьох країнах [5].

Випробування на абразивний знос за допомогою гумового колеса і сухого піску (ASTM G-65-83). Відповідно до цього стандарту проводять випробування, аналогічні регламентованим ГОСТ 23.208-79 "Метод испытання материалов на износостойкость"

при тренні о нежестко закрепленные абразивные частицы” [2]. Відмінність полягає в тому, що замість гумового ролика застосовують колесо, покрите хлорбутінової гумою. Частота обертання колеса 200 ± 10 об/мін. Навантаження $45-130$ Н, шлях тертя $71,8-4309$ м, тривалість випробувань 30 ± 5 хв.

Метод випробувань на знос за схемою вологий пісок – гумове колесо (ASTM G-65-89) [6]. Метод випробувань відрізняється від випробувань на абразивний знос за допомогою гумового колеса (ASTM G-65-83) тим, що зразок зношують, занурюючи вузол тертя наполовину в суміш абразиву з рідиною. Діаметр обгумованого колеса 178 мм. Швидкість обертання колеса 245 ± 5 об/хв, навантаження $224,4 \pm 3,6$ Н, тривалість випробувань від 40 до 60 хв. при 153°C [7].

Аналіз застосування методу випробувань за схемою Брінелля-Ховарта (Вг-Нв) свідчить, що враховуючи простоту реалізації за 100 років застосування він набув широкого поширення та введений у стандарти з трибології в ряді провідних країн [8]. При цьому метод Вг-Нв в основному використовується як експрес метод для порівняльної оцінки абразивної зносостійкості металевих матеріалів [9]. В той же час, очевидно, що порівняння абразивної зносостійкості по методу Вг-Нв має грубо наближений характер [10].

Мета статті: розробка моделі зношування металів незакріпленим абразивом, з метою визначення параметрів кількісного порівняння абразивної зносостійкості металів з врахуванням різних чинників.

Виклад основного матеріалу

Побудова багатофакторної узагальноної моделі абразивного зношування з використанням методів теорії подібності і розмірності.

Побудова багатофакторної узагальноної моделі абразивного зношування з використанням методів теорії подібності і розмірності (ТПР) включає три етапи.

Перший етап. Складання переліку визначальних та визначаючих величин.

Визначальна величина – інтенсивність зносу:

$$du_s / ds,$$

де u_w – знос зразка, мм;

s – шлях тертя часток піску зі зразком, мм.

Визначаючі величини:

σ – тиск піску на зразок, $\text{кг}/\text{мм}^2$;

HB – твердість матеріалу зразка, $\text{кг}/\text{мм}^2$;

v – швидкість ковзання абразивних часток за зразком, $\text{мм}/\text{с}$;

δ – розмір абразивних часток, мм;

V_0 – кінематична в'язкість сипкого середовища (піску), $\text{мм}^2/\text{с}$;

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{води}}}{V_{\text{піску}}} \quad \text{або} \quad \frac{V_{\text{піску}}}{(V_{\text{води}} + V_{\text{піску}})} - \text{відношення}$$

об'єму води до об'єму піску в суміші, $\text{мм}^3/\text{мм}^3$ [1];

T_C – температура абразивної суміші, $^\circ\text{C}$;

$T_{\text{пл}}$ – температура плавлення металу зразка, $^\circ\text{C}$;

R – радіус циліндра зразка, мм.

Другий етап: визначення безрозмірних комплексів за допомогою визначальних та визначаючих величин.

Визначаючий безрозмірний комплекс – це інтенсивність зносу [12]:

$$\Pi_w = \frac{du_w}{ds}, \quad \left[\frac{\text{мм}}{\text{мм}} \right], \quad (1)$$

або знос на одиницю шляху тертя:

$$\frac{u_w}{s}, \quad \left[\frac{\text{мм}}{\text{мм}} \right]. \quad (2)$$

З визначаючих величин можна скласти наступні безрозмірні комплекси:

– безрозмірний тиск [12]:

$$\Pi_\sigma = \frac{\sigma}{HB}, \quad \left[\frac{\text{кг}/\text{мм}^2}{\text{кг}/\text{мм}^2} \right]; \quad (3)$$

– безрозмірна швидкість [12]:

$$\Pi_v = \frac{v\delta}{v_0}, \quad \left[\frac{\text{мм}^2/\text{с}}{\text{мм}^2/\text{с}} \right], \quad (4)$$

відповідає числу або критерію Рейнольдса;

– об'єднаний комплекс [12]:

$$\Pi_{\sigma v} = \frac{\sigma}{HB} \cdot \frac{v\delta}{v_0}; \quad (5)$$

– гомологічна температура в контакті:

$$\Pi_T = \frac{T_C}{T_{\text{пл}}}, \quad \left[\frac{^\circ\text{C}}{^\circ\text{C}} \right]. \quad (6)$$

На третьому етапі:

1) Експериментально встановлюється залежність між безрозмірними комплексами, що грають роль критеріїв подібності.

2) Основна форма залежності між безрозмірними критеріями визначається за допомогою обраної функції:

$$\frac{du_w}{ds} = k_w \left(\frac{\sigma}{HB} \right)^m \left(\frac{v\delta}{v_0} \right)^n \varepsilon^k. \quad (7)$$

3) Враховуючи базові значення визначальних величин (HB_δ , δ_δ , v_0) проводяться випробування і приймаємо залежність (7) у вигляді:

$$\frac{du_w}{ds} = k'_w \sigma^m v^n \varepsilon^k. \quad (8)$$

4) В якості першого варіанту моделі приймаємо $\varepsilon = 1$ (сухий пісок), $v = v_\delta$, $n = 1$, тоді:

$$\frac{du_w}{ds} = k'_w \sigma^m. \quad (9)$$

Контактна взаємодія циліндра покритого гумою із плоскістю з врахуванням абразивного зносу.

1. Розрахункова схема.

1) Розглядається контактна взаємодія жорсткого циліндра радіусу R , покритого шаром гуми, що не зношується, і жорсткою зношеною плоскою поверхнею, що обертається. Між циліндром і площиною розташовується тонкий шар абразиву (пісок), так, що на розподіл тиску абразив не має істотного впливу.

2) В процесі зношування площина контакту є функція шляху тертя. При цьому тиску $\sigma(s)$ міняється розмір $2\bar{a}$ майданчика контакту, що утворюється. Так, що $a(s)$ також безперервно змінюється. В результаті випробувань необхідно визначити параметри k_w, m моделі зношування (9).

2. Математична постановка завдання.

1) Припущення: вважатимемо, що у будь-який момент часу і шляху тертя розподіл тиску по майданчику контакту $\sigma(s)$ є рівномірним;

2) Враховуючи припущення, умова рівноваги в контакті може бути записана у вигляді:

$$Q = \sigma(s) = 2a(s)b, \quad (10)$$

або

$$\sigma(s) = \frac{Q}{2a(s)b}. \quad (11)$$

3) З геометричних співвідношень умова сплошності в контакті може бути записана у вигляді:

$$u_w(s) = u(s), \quad (12)$$

$$u_w = \frac{a^2(s)}{2R}. \quad (13)$$

4) Закономірність зношування в кожній точці контакту може бути записано у диференціальній формі (9):

$$\frac{du_w}{ds} = k_w \sigma^m, \quad (14)$$

або в інтегральній формі при тиску, що незалежний від шляху тертя:

$$u_w = k_w \sigma^m s, \quad (15)$$

де k_w, m – параметри моделі, що підлягають визначенню.

5) Вважаємо, що за результатами експерименту визначена залежність розміру майданчика контакту від шляху тертя:

$$a = a(s). \quad (16)$$

Зокрема при $a(s=0) = a_0 = 0$ залежність $a(s)$ може бути представлена у вигляді статичної функції:

$$a(s) = cs^\beta. \quad (17)$$

Таким чином, загальна постановка контактної задачі про взаємодію із зносом циліндра і плоскої

поверхні описується системою рівнянь

- рівноваги (11);
- сплошності в контакті (13);
- зношування в крапці (14);
- експериментальній залежності (17).

Завдання полягає у визначенні параметрів k_w, m з цієї системи рівнянь.

3. Рішення зворотної контактної задачі за умови $a_0 = 0$.

1) Інтегруючи (14) по шляху тертя при тиску $\sigma(s)$, отримуємо:

$$u_w = k_w \int_0^A (\sigma(s))^m ds. \quad (18)$$

2) Підставляючи (11) і (13) в (18), отримуємо:

$$\frac{a^2(s)}{2R} = k_w \int \frac{(Q/2b)^m}{a^m(s)} ds. \quad (19)$$

3) З врахуванням залежності (17) у виразі (19):

$$\frac{c^2 s^{2\beta}}{2R} = k_w \int \frac{(Q/2b)^m}{c^m s^{\beta m}} dx. \quad (20)$$

4) У результаті інтегрування отримуємо одне нелінійне рівняння з двома невідомими k_w, m .

$$\frac{c^{2+m} s^{2\beta}}{2Rk_w (Q/(2b))^m} = \frac{s^{1-\beta m}}{1-\beta m}. \quad (21)$$

5) З умови виконуєності цього рівняння при будь-яких значеннях шляху тертя s рішення має вигляд:

$$2\beta = 1 - \beta m, \quad (22)$$

звідки

$$m = \frac{1-2\beta}{\beta}. \quad (23)$$

6) Параметр моделі k_w визначаємо з врахуванням (23) з (21):

$$k_w = \frac{c^{m+2\beta}}{R(Q/(2b))^m}. \quad (24)$$

4. Рішення прямої контактної задачі за умови $a_0 \neq 0$.

1. Постановка завдання.

Пряме контактне завдання полягає у визначенні розміру $a(s)$ майданчику контакту при заданих параметрах k_w, m моделі зношування і шляху тертя s для зношуваних точок площини;

Математична постановка прямого завдання складається з визначення *або врахування*:

- 1) моделі зношування (вираз 14);
- 4) умови сплошності (вираз 13);
- 5) умови рівноваги (вираз 11).

2. Рішення задачі складається з таких етапів:

1) Диференціюючи (13) по шляху тертя s , маємо:

$$\frac{du_w}{ds} = a(a) \frac{da(s)}{Rds}. \quad (25)$$

2) Прирівнюючи (14) і (25) маємо:

$$k_w \sigma^m = a(a) \frac{da(s)}{Rds}, \quad (26)$$

звідси:

$$\sigma^m = \frac{a(s) da(s)}{Rk_w ds}. \quad (27)$$

3) Прирівнюючи (27) і (11), отримуємо:

$$\left(\frac{Q}{2ab}\right)^m = \frac{a da}{Rk_w ds}, \quad (28)$$

або

$$\left(Q/(2ab)\right)^m = Rk_w \frac{a^{m+1} da}{ds}; \quad (29)$$

це звичайне диференціальне рівняння із змінними, що розділяються.

4) Інтегруючи (29), отримуємо:

$$\frac{a^{m+2}}{m+2} = (Q/(2ab))^m Rk_w s + c. \quad (30)$$

5) При $a(s=0) = 0$ маємо $a(s=0) = 0$, маємо $c = 0$ рішення:

$$a^{m+2} = (m+2)(Q/2b)^m Rk_w s. \quad (31)$$

6) При $a(s=0) = a_0 \neq 0$

$$c = \frac{a_0^{m+2}}{m+2}. \quad (32)$$

8) Рішення (30) набирає вигляду:

$$a^{m+2} - a_0^{m+2} = (m+2)(Q/2b)^m Rk_w s. \quad (33)$$

5. Рішення зворотної задачі для випадку $a_0 \neq 0$.

1) Визначення параметрів k_w, m моделі здійснюється з використанням рівняння (33), яке записується для двох окремих точок:

$$(a_1, s_1), (a_2, s_2);$$

2) система двох рівнянь має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} a_1^{m+2} - a_0^{m+2} &= (m+2)(Q/(2b))^m k_w s_1; \\ a_2^{m+2} - a_0^{m+2} &= (m+2)(Q/(2b))^m k_w s_2; \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

3) Рішенням системи (34) є нелінійне відносно параметра m рівняння

$$\frac{(a_1/a_0)^{m+2} - 1}{(a_2/a_0)^{m+2} - 1} = \frac{s_1}{s_2}, \quad (35)$$

яке вирішується чисельно інтеграційним методом.

5) Параметр k_w визначається як рішення одного з рівнянь системи (34), наприклад:

$$k_w = \frac{a_1^{m+2} - a_0^{m+2}}{(m+2)(Q/2b)^m s_1}. \quad (36)$$

Висновки

Проведений аналіз методу випробувань на абразивний знос за схемою Брінелля-Ховарта (Вr-Нv) свідчить, що його застосування дозволяє отримати дані лише для наближеного порівняння абразивної зносостійкості металів про незакріплений абразив, при цьому окремі моделі зношування не розглядаються.

Запропонована безрозмірна багатофакторна узагальнена модель абразивного зношування незакріпленим абразивом, яка побудована на основі рішень прямою і зворотною контактних задач для взаємодії циліндра і площини із зносом. Отримані розрахункові залежності для визначення параметрів моделі зношування металу незакріпленим абразивом. Визначена принципова процедура проведення випробувань і визначення параметрів моделі зношування.

Список літератури

1. Gee M. Measurement in Tribology / M. Gee // Int. Conf. "50" Anniversary of the "Jost Report". – London: IMechE, 2014. – 257 p.
2. Jost P. Brief Notes / P. Jost // Int Conf "50" Anniversary of the "Jost Report". – London: IMechE, 2016. – P. 35-37.
3. Spikes H. Liquid Lubrication Research: 1966 to the Present Day / H. Spikes // Int. Conf. "50" Anniversary of the "Jost Report". – London: IMechE, 2016. – 287 p.
4. Cann P. Biotribology: Opportunities and Challenges / P. Cann // Int. Conf. "50" Anniversary of the "Jost Report". – London, IMechE, 2016. – 257 p.
5. Holmberg K. Global Energy Consumption due to Friction in Passenger Car / K. Holmberg, P. Andersson, A. Erdemir // Tribology International. – 2012. – No. 47. – P. 221-234.
6. Свириденко А.И. Актуальные направления развития трибологии на страницах журнала / А.И. Свириденко, Н.К. Мушкин, И.Р. Ковалева // Трение и износ. – 2015. – № 6. – С. 591-594.
7. Жесткость упругопластического контакта деталей машин: монография / М.М. Матлин, А.И. Мозгунова, Е.Н. Казанкина, В.А. Казанкин. – М.: Машиностроение, 2015. – 423 p.
8. Крупиц Б. Naciski na scianki formy zamknietej podczas zageszczania mieszanki wapienno-piaskowej / Б. Крупиц, В. Тарасюк // Трибология. – 2011. – № 6. – С. 125-131.

9. Демкин Н.Б. Некоторые результаты моделирования контакта шероховатых поверхностей / Н.Б. Демкин, В.В. Измайлов // Межвуз. сб. научн. тр. Тверь ТГТУ. – 2009. – № 2. – С. 29-35.
10. Jane Q. Encyclopedian of Tribology / Q. Jane, Wang Chung. – New York: Springer, 2013. – 385 p.
11. Кузьменко А.Г. Теоретические основы и экспериментальная реализация метода испытаний на абразивный износ с определением параметров моделей изнашивания по схеме Malysheva-Vellingera-Uettsa / А.Г. Кузьменко, О.А. Вишнеvский // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 3. – С. 7-19.
12. Кузьменко А.Г. Моделирование и прогнозирование изнашивания материалов незакрепленным абразивом / А.Г. Кузьменко, И.П. Белокур, О.А. Вишнеvский // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – С. 20-25.

References

1. Gee, M. (2014), Measurement in Tribology, *Int Conf“50” Anniversary of the “Jost Report”*, IMechE, London, 257 p.
2. Jost, P. (2016), Brief Notes, *Int Conf“50” Anniversary of the “Jost Report”*, IMechE, London, pp. 35-37.
3. Spikes, H. (2016), Liquid Lubrication Research: 1966 to the Present Day, *Int. Conf. “50” Anniversary of the “Jost Report”*, London, IMechE, 287 p.
4. Cann, P. (2016), Biotribology: Opportunities and Challenges, *Int. Conf. “50” Anniversary of the “Jost Report”*, IMechE, London, 257 p.
5. Holmberg, K., Andersson, P. and Erdemir, A. (2012), GlobalEnergy Consumption due to Friction in Passenger Car, *Tribology International*, No. 47, pp. 221-234.
6. Sviridenok, A.I., Myshkin, N.K. and Kovaleva, I.N. (2015), “Aktual'nyye napravleniya razvitiya tribologii na stranitsakh zhurnala “Treniye i iznos” [Actual trends in the development of tribology in the pages of the journal Friction and Wear], *Friction and Wear*, No. 6, pp. 591-594.
7. Matlin, M.M., Mozgunova, A.I., Kazankina, Ye.N. and Kazankin, V.A. (2015), “Zhestkost' uprugoplasticheskogo kontakta detaley mashin” [Stiffness of the elastoplastic contact of machine parts. Monograph], Mashinostroyeniye, Moscow, 423 p.
8. Krupicz, B. and Tarasiuk, W. (2011), Naciski na scianki formy zamknietej podczas zageszczania mieszanek wapienno-piaskowej, *Tribologia*, No. 6, pp. 125-131.
9. Demkin, N.B. and Izmaylov, V.V. (2009), “Nekotoryye rezul'taty modelirovaniya kontakta sherokhovatykh poverkhnostey”, [Some Results of Modeling Contact of Rough Surfaces], *Interuniversity Collection of Scientific Papers Tver GTU*, No. 2, pp. 29-35.
10. Jane, Q. and Wang, Chung (2013), *Encyclopedian of Tribology*, New York, Springer, 385 p.
11. Kuz'menko, A.G. and Vishnevskiy, O.A. (2011), “Teoreticheskiye osnovy i eksperimental'naya realizatsiya metoda ispytaniy na abrazivnyy iznos s opredeleniyem parametrov modeley iznashchivaniya po skheme Malysheva–Vellingera–Uettsa” [Theoretical foundations and experimental implementation of the test method for abrasive wear with the definition of the parameters of the models of the Malyshev-Wellinger-Wetzes pattern], *Bulletin of Khmel'nitsky National University*, No. 3, pp. 7-19.
12. Kuz'menko, A.G., Bilokur, I.P. and Vishnevskiy, O.A. (2013), “Modelirovaniye i prognozirovaniye iznashivaniya materialov nezakreplennym abrazivo” [Modeling and forecasting of wear of materials by loose abrasive], *Eastern European Journal of Advanced Technology*, pp. 20-25.

Надійшла до редколегії 11.04.2019

Схвалена до друку 21.05.2019

Відомості про авторів:

Вишнеvський Олег Анатолійович
викладач
Промислово-Економічного коледжу
Національного авіаційного університету,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5591-0106>

Давидов Олександр Сергійович
кандидат технічних наук доцент
Національного авіаційного університету,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7232-4926>

Information about the authors:

Oleg Vishnevsky
Assistant Lecturer Instructor
of the Industrial and Economic College
of the National Aviation University,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5591-0106>

Olexander Davydov
Candidate of Technical Sciences Senior Lecturer
of the National Aviation University,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7232-4926>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОВ НЕЗАКРЕПЛЁННЫМ АБРАЗИВОМ

О.А. Вишневский, А.С. Давыдов

Проведен анализ состояния метода испытаний на абразивный износ по схеме Бринеля-Ховарта. Описан один из самых распространенных методов испытания на износ и основные конструктивные элементы установки, которые могут отличаться размерами, геометрией поверхностей и материалами. Отмечен количественный, а не качественный характер результатов метода, что не позволяет переносить результаты испытаний на условия отличные от стандартизованных. На основании анализа сформулированы задачи, направленные на устранения основного недостатка исследований: отсутствие моделей исследуемых процессов и методов определения параметров этих моделей. Устранение этих недостатков позволило распространить результаты исследований на натурные условия отличные от модельных. Поставлена и решена задача разработки теории модели изнашивания металлов незакрепленным абразивом. Получены модели изнашивания и определяемые параметры этих моделей для строгого количественного сравнения абразивной износостойкости металлов с учетом разных факторов. В соответствии с методом теории подобия и размерностей, составлен перечень всех определяемых и определяющих величин с их размерностями. Далее из этих величин скомпонованы безразмерные комплексы: интенсивность износа; износ на единицу пути трения; безразмерное давление; безразмерная скорость; гомологическая температура в контакте. Из экспериментов устанавливается зависимость между безразмерными комплексами, играющими роль критерия подобия. В качестве основной формулы выбраны зависимости между безразмерными критериями. Общая постановка задачи проведена с учетом рассмотрения контактного взаимодействия жесткого вращающегося цилиндра радиуса R , покрытого неизнашивающимся слоем резины и жестко изнашиваемой плоской поверхностью. Между цилиндром и плоскостью располагается тонкий слой абразива (песок), так что на распределение давления абразив не оказывает существенное влияние. Поставлена и решена прямая контактная задача о взаимодействии резинового ролика и стального образца, разделенных слоем песка. Поставлена и решена обратная контактная задача для указанного взаимодействия. В результате чего получили расчетные зависимости для определения параметров моделей изнашивания по результатам лабораторных испытаний. Таким образом создана теоретическая база для проведения лабораторных испытаний на абразивную износостойкость металлов.

Ключевые слова: износостойкость, незакрепленный абразив, теория подобности и размерностей, безразмерные комплексы.

DETERMINATION OF WEAR RESISTANCE OF METALS UNTILED ABRASIVE

O. Vishnevsky, O. Davydov

The analysis of the state of the test method for abrasive wear according to the Brinell-Howarth scheme has been carried out. Described is one of the most common methods of testing for wear and the basic structural elements of an installation, which may differ in size, surface geometry and materials. The quantitative, rather than qualitative, nature of the results of the method is noted, which does not allow transferring the results of tests to conditions other than standardized ones. Based on the analysis, the tasks were formulated to eliminate the main lack of research: the lack of models of the processes under study and methods for determining the parameters of these models. The elimination of these shortcomings allowed us to extend the results of research to natural conditions other than model ones. The problem of developing a theory of a model of metal wear with a loose abrasive is set and solved. The wear models and the determined parameters of these models are obtained for a rigorous quantitative comparison of the abrasive wear resistance of metals taking into account various factors. In accordance with the method of the theory of similarity and dimensions, a list of all defined and determining quantities with their dimensions is compiled. Further, from these values, dimensionless complexes are arranged: wear rate; wear per friction path unit; dimensionless pressure; dimensionless speed; homologous temperature in contact. From the experiments, a relationship is established between the dimensionless complexes that play the role of a similarity criterion. The dependences between the dimensionless criteria are chosen as the main formula. The general formulation of the problem was carried out with consideration of the contact interaction of a rigid rotating cylinder of radius R , covered with a non-wearing rubber layer and a rigidly worn flat surface. Between the cylinder and the plane there is a thin layer of abrasive (sand), so the abrasive does not have a significant effect on the pressure distribution. A direct contact problem on the interaction of a rubber roller and a steel sample separated by a layer of sand was posed and solved. An inverse contact problem for the indicated interaction was posed and solved. As a result, we obtained the calculated dependences for determining the parameters of wear models according to the results of laboratory tests. Thus, a theoretical basis was created for laboratory testing of abrasive wear resistance of metals.

Keywords: wear resistance, loose abrasive, similarity and dimension theory, dimensionless complexes.