

Дворук В.І.

Національний авіаційний університет,

м. Київ, Україна.

E-mail: vidvoruk@gmail.com

**МОДЕЛЮВАННЯ ЗНОШУВАННЯ МЕТАЛІВ
ПРИ РУСІ В АБРАЗИВНІЙ МАСІ**

УДК 621.891

За допомогою статистичного методу отримано адекватні моделі зношування металів при русі в абразивній масі, які ураховують реальний характер взаємодії абразивної частинки зі зношуваною поверхнею та специфіку розвитку процесу руйнування при пружному та пластичному контакті.

Ключові слова: зношування, знос, абразивна маса, взаємодія, абразивна частинка, втома, пружний контакт, пластичний контакт, модель.

Вступ

При русі деталей машин в абразивній масі відбувається інтенсивне зношування металу, яке супроводжується швидким зменшенням їх розмірів.

Причиною високої інтенсивності зношування є специфічна взаємодія металу з абразивом, частинки якого з великою швидкістю ковзають поверхнею деталі і з певною силою, що залежить від їх розмірів та густини діють на метал. Кожна частинка, яка в даний момент часу прийшла у дотик з поверхнею залишає на ній слід у вигляді подряпини, довжина якої, як правило, не перевищує декількох міліметрів. Поверхня металу виявляється покритою множиною таких подряпин, що мають однакове спрямування та зливаються за довжиною.

Механізм їх утворення визначається умовами взаємодії металу з абразивною масою, серед яких найсуттєвішими слід вважати: податливість абразивного середовища; незначний опір руху переміщуваної деталі; невисокий рівень статичного навантаження на одну частинку абразиву; відтиснення частинки в масі рухомою деталлю зі шляху переміщення, завдяки чому зусилля на контакті визначатиметься швидкістю руху деталі в абразивній масі, густиною цієї маси, розміром та твердістю її частинок [1]. За таких умов елементарною складовою механізму зношування є руйнуюча та деформуюча дія одиначної абразивної частинки. При взаємодії металу з масою абразиву округлені частинки останньої під загальним її тиском 0,1 - 0,5 Мн/м² залишають на поверхні металу, як правило, пластично видавлений слід.

В процесі формування подряпини на її дні відбувається зміцнення металу за рахунок наклепу, виділення дисперсних твердих частинок або утворення білого шару. Вид зміцнення визначається вихідною структурою та властивостями металу. По краях подряпини накопичується видавлений метал, що піддається повторній деформації наступними абразивними частинками. Відокремлення металевих частинок при цьому можливе в результаті викришування зміцнених мікрооб'ємів металу, які містять у собі тріщини та надриви, або вилучення їх у вигляді продуктів руйнування. В обох випадках відокремлення металевих частинок є вторинним процесом, якому передують граничне викривлення та руйнування структури металу у зв'язку з повторною пружною та пластичною деформацією. Таким чином, на підставі викладеного вище можна констатувати, що зношування металів при русі в абразивній масі пов'язане головним чином з втомою поверхневих шарів металу [2].

Для керування зношуванням та створення ефективних методів захисту деталей машин необхідно вивчити закономірності цього процесу. Великий науково-практичний інтерес представляє встановлення залежностей між параметрами, що визначають зовнішній вплив (питоме навантаження, шлях тертя, фізико-механічні властивості металу) та вихідними параметрами (знос) процесу. Пов'язано це з необхідністю вибору зазначених параметрів на стадії проектування конкретного вузла тертя. Зважаючи на те, що зношування металів при русі в абразивній масі має множинну функціональну залежність і характеризується як вельми складний процес, найраціональніший шлях встановлення таких закономірностей – це залучення методів моделювання. Як показали результати досліджень [3, 4] абразивний знос доцільно моделювати статистичним методом. Важливою особливістю цього методу є те, що з його допомогою завдання оцінки зносу можна звести до визначення дії, що виробляється однією абразивною частинкою (механіка частинки) та підсумовування цих незалежних пошкоджень (статистика частинок).

За допомогою такого підходу побудовано [5] модель зносу при терті ковзання о грунт. До числа недоліків цієї моделі слід віднести таке:

1. Неприпустимо спрощені уявлення щодо характеру взаємодії абразивної частинки з поверхнею зношування, покладені до її підґрунтя.

Відомо [1, 6], що в характері дії абразивного зношування на контакті можна виділити два самостійних елементарних етапи: пряме занурення в поверхню і наступне переміщення нею за відносного руху абразивної частинки поверхнею зношування. При побудові моделі [5] вважали, що вказані етапи реалізуються поступово один за одним. Однак таке припущення є спрощеним, оскільки характер взаємодії

абразивної частинки з поверхнею зношування істотно ускладнюється тим, що вказані два етапи, як правило, проявляються одночасно.

2. Відсутність урахування специфіки розвитку процесу абразивного руйнування.

Відомо [7], що розвиток процесу руйнування відбувається у два етапи – зародження та розповсюдження тріщин. Такий розвиток процесу визначає утворення в металі, що руйнується двох якісно різних зон: зони зруйнованого металу та зони пластичної деформації в околі тріщини.

В умовах зношування при русі в абразивній масі модель пошкодженого шару металу можна уявити у вигляді двох шарів. Перший шар – зовнішній (тріщинуватий) має найбільші порушення у вигляді тріщин або осередків їх зародження, тобто зв'язок між окремими мікрооб'ємами послаблений унаслідок порушення суцільності металу. Тому для цієї зони, вочевидь, не можуть бути застосовані закони механіки суцільних середовищ. Зважаючи на свою «несуцільність» цей шар володітиме найменшою міцністю. Оскільки умовою розповсюдження тріщин є наявність деформованої пластичної зони у вершині тріщини за сильної концентрації напружень та деформацій в цій зоні, то до першого тріщинуватого шару повинен безпосередньо примикати другий шар, що представляє собою пластично деформовану зону, яка безпосередньо переходить у недеформований метал. Другий шар представляє собою сукупність смуг та ліній ковзання, сбросу двійників та рідкісних мікротріщин.

Вказані недоліки негативно відбиваються на адекватності моделі [5]. Тому їх усунення є актуальним завданням, яке потребує свого розв'язку.

Постановка проблеми

Метою даної статті є побудова моделі для розрахунку зносу металів при русі в абразивній масі статистичним методом яка урахує характер взаємодії абразиву зі зношеною поверхнею та специфіку розвитку процесу руйнування поверхні при пружному і пластичному контакті.

Основний матеріал

При розгляді напруженого стану поверхневого шару металу під час руху в абразивній масі виділяли дві системи сил та деформацій – загальну (I) та локальну (II) (рис. 1).

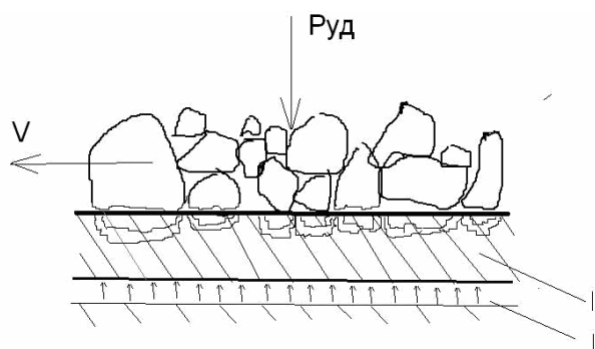


Рис. 1 – Система сил та деформацій при взаємодії абразивної маси з металом: I – загальна; II – локальна

Загальна система характеризувала опорну поверхню контакту (абразивна маса – зношена деталь), тобто визначала кількість одиничних взаємодій. Локальна система визначала взаємодію одиничної абразивної частинки з поверхневим шаром металу. Для аналізу зносу використовували принцип динамічної рівноваги, тобто вважали, що кількість абразивних частинок, які вийшли з контакту дорівнює кількості, що увійшли, а величина суми деформованих мікрооб'ємів зберігається за відносного переміщення металу в абразивній масі. Ця обставина надає можливість вважати обидві системи сил та деформацій незалежними і провести їх послідовний розгляд.

Локальна система

Форму абразивної частинки апроксиміювали овалюїдом Кассіні (рис. 2, а). Враховуючи, що руйнування металу в абразивній масі схоже на руйнування при терті по закріпленому абразиву [8], абразивну частинку уявляли у вигляді консольної балки з опорою типу жорсткої закріпки, що навантажена системою осьових та поперечних сил. Для спрощення розгляду бокову поверхню овалюїду Кассіні апроксиміювали конічними поверхнями (рис. 2, б).

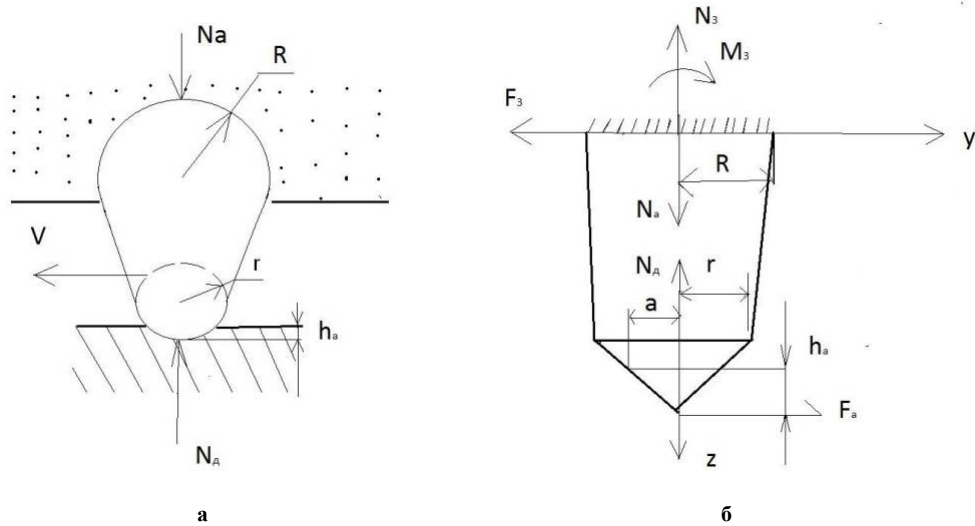


Рис. 2 – Схема до визначення об'єму металу, зруйнованого одиничним абразивом:
 а – взаємодія абразиву з поверхневим шаром металу;
 б – навантаження закріпленого абразиву

Рівняння рівноваги балки були такими:

$$1. \quad -N_3 - N_d + N_a = 0, \quad (1)$$

де N_3 – нормальна сила реакції закріплення;

N_d – реакція металу на занурення абразивної частинки;

N_a – нормальне навантаження на абразивну частинку.

Оскільки після занурення абразивної частинки встановлюється баланс нормальних сил, то:

$$N_d = N_a \quad (2)$$

$$\text{Тому} \quad N_3 = 0 \quad (3)$$

$$2. \quad F_a - F_3 = 0, \quad (4)$$

де F_a – тангенціальне консольне навантаження абразивної частинки;

F_3 – тангенціальна сила реакції закріплення.

$$\text{Звідки:} \quad F_a = F_3 \quad (5)$$

$$3. \quad -M_3 + F_a(R+r) = 0. \quad (6)$$

$$\text{Звідси} \quad M_3 = F_a(R+r), \quad (7)$$

де M_3 – реактивний момент закріплення;

$R; r$ – великий та малий радіус абразивної частинки.

У рівнянні (5):

$$F_a = \sigma_d A_r, \quad (8)$$

де σ_d – тангенціальне напруження на плямі контакту;

A_r – площа поздовжнього перерізу плями контакту.

Тангенціальне напруження на плямі контакту дорівнювало:

$$\sigma_d = f \sigma_a, \quad (9)$$

де f – коефіцієнт тертя;

σ_a – нормальне навантаження на плямі контакту.

Для урахування в моделі специфіки розвитку процесу руйнування, виходячи з прийнятої моделі пошкодженого шару металу (див. вище), вважали, що безпосередньо у вершині тріщини зовнішнього

шару напруження дорівнюють границі текучості, після чого в межах пластичної зони, що з'являється в околі тріщини, вони різко підвищуються до рівня ефективної границі текучості $3\sigma_m$. Тому нормальне напруження на плямі контакту приймали рівним:

$$\sigma_a = 3\sigma_m = 3 \frac{K_{Ic0}}{\sqrt{2\pi h_{n0}}} = 1,2 \frac{K_{Ic0}}{h_{n0}^{1/2}}, \quad (10)$$

де K_{Ic0} – в'язкість руйнування металу зношуваної поверхні;

h_{n0} – товщина пластично деформованого шару металу зношувальної поверхні.

Площину поперечного перерізу плями контакту визначали як:

$$A_r = ah_a \approx h_a^2, \quad (11)$$

де a – напівширина плями контакту;

h_a – глибина занурення абразивної частинки у метал.

Після підстановки формул (10), (11) вираз (8) записали так:

$$F_a = 1,2 \frac{K_{Ic0}}{h_{n0}^{1/2}} h_a^2. \quad (12)$$

З урахуванням (12) рівняння (7) набуло вигляду:

$$M_3 = 1,2 \frac{K_{Ic0}}{h_{n0}^{1/2}} h_a^2 (R + r). \quad (13)$$

Розглядали баланс нормальних сил (2), що діють на абразивну частинку, занурену в метал. Взявши до уваги, що обидва етапи її силової дії на зношувану поверхню – занурення в поверхню та переміщення уздовж неї, проявляються одночасно (див. вище), вказана частинка зазнавала спільної дії згинання та центрального стиснення. За таких умов небезпечним був кореневий переріз частинки у закріпінні, де діяв найбільший момент згинання. У найнавантажених точках цього перерізу підсумовувались напруження від стиснення і найбільших розтягуючих напружень від згинання. Тому умова опору матеріалу частинки виглядала так:

$$\sigma_{\max} = k\sigma_{cm}, \quad (14)$$

де σ_{\max} – максимальне напруження у небезпечних точках кореневого перерізу частинки;

$k < 1$ – який урахує відсутність руйнування частинки.

σ_{cm} – границя міцності на стиснення матеріалу абразивної частинки.

Умову (14) записали у такому вигляді:

$$-\frac{N_a}{A_3} + \frac{M_3}{W_3} = k\sigma_{cm}, \quad (15)$$

де A_3 – площа кореневого перерізу частинки;

W_3 – момент опору кореневого перерізу частинки.

Звідки нормальне навантаження на частинку:

$$N_a = A_3 \left(\frac{M_3}{W_3} - k\sigma_{cm} \right). \quad (16)$$

Сила реакції металу на занурення в нього абразивної частинки:

$$N_d = \sigma_a A_m = 1,2 \left(\frac{K_{Ic0}}{h_{n0}^{1/2}} \right) \pi h_a^2, \quad (17)$$

де $A_m = \pi h_a^2$ – площа поперечного перерізу плями контакту.

Після підстановки рівнянь (16), (17) у вираз (2) отримали:

$$A_3 \left(\frac{M_3}{W_3} - k\sigma_{cm} \right) = 1,2 \frac{K_{Ic0}}{h_{n0}^{1/2}} \pi h_a^2, \quad (18)$$

$$\text{де } A_3 = \frac{\pi D^2}{4}; \quad (19)$$

$$W_3 = 0,1D^3, \quad (20)$$

де D – діаметр кореневого перерізу абразивної частинки.

Врахування формул (13), (19), (20) у рівнянні (18) та відповідні перетворення дали таке:

$$h_a = \sqrt{\frac{kD^3 h_{nd}^{1/2} \sigma_{cm}}{4K_{Icd} [2,5f(R+r) - D]}}. \quad (21)$$

В результаті силової взаємодії частинки зі зношуваною поверхнею на ній залишиться слід, об'єм якого з врахуванням (21) дорівнює:

$$V_{ca} = \frac{4}{3} h_a^2 \Delta L = \frac{0,33kD^3 h_{nd}^{1/2} \sigma_{cm} \Delta L}{K_{Icd} [2,5f(R+r) - D]}, \quad (22)$$

де ΔL – довжина сліду.

Занурення абразивної частинки в поверхню та переміщення її уздовж неї, які відбуваються одночасно супроводжується видавленням металу з-під частинки та пружно-пластичною деформацією шару, що прилягає до сліду. Тому об'єм деформованого шару був:

$$V_{дефа} = k_V V_{ca}, \quad (23)$$

де k_V – коефіцієнт.

Руйнування деформованого об'єму металу відбувалось в результаті фрикційної втоми, виходячи з чого він дорівнював [3]:

$$V_{ра} = \frac{V_{дефа}}{n}, \quad (24)$$

де n – кількість циклів навантаження до руйнування.

При пружному контакті:

$$n_{np} = \left(\frac{\sigma_g}{\sigma} \right)^t, \quad (25)$$

де $t = 12$ – показник фрикційної втоми (багатоциклова втома) сталі [9];

σ_g – границя міцності сталі

σ – діюче напруження розтягу.

При пластичному контакті:

$$n_{nl} = \left(\frac{\delta}{\Delta_\varepsilon} \right)^t, \quad (26)$$

де t показник фрикційної втоми (малоциклова втома) сталі [9];

δ – відносне видовження сталі при розтягу;

Δ_ε – діюча непружна деформація.

Після підстановки (23), (25) та (26) у (24) отримали:

- при пружному контакті:

$$V_{ранп} = \frac{V_{дефа}}{n_{np}} = \frac{V_{дефа}}{\left(\frac{\sigma_g}{\sigma} \right)^t} = \frac{k_V V_{ca}}{\left(\frac{\sigma_g}{\sigma} \right)^t} = \frac{0,33kk_V D^3 h_{nd}^{1/2} \sigma_{cm} \Delta L}{K_{Icd} [2,5f(R+r) - D]} \left(\frac{\sigma}{\sigma_g} \right)^t; \quad (27)$$

- при пластичному контакті:

$$V_{ранл} = \frac{V_{дефа}}{n_{nl}} = \frac{V_{дефа}}{\left(\frac{\delta}{\Delta_\varepsilon} \right)^t} = \frac{k_V V_{ca}}{\left(\frac{\delta}{\Delta_\varepsilon} \right)^t} = \frac{0,33kk_V D^3 h_{nd}^{1/2} \sigma_{cm} \Delta L}{K_{Icd} [2,5f(R+r) - D]} \left(\frac{\Delta_\varepsilon}{\delta} \right)^t. \quad (28)$$

Загальна система

Оскільки при русі металу в абразивній масі кількість частинок, що вийшли з контакту, дорівнює числу, що увійшли, рівняння динамічної рівноваги з врахуванням (2) мало такий вигляд:

$$\sum_{i=1}^{n_{ay\delta}} N_{ai} = \sum_{i=1}^{n_{ay\delta}} N_{\delta i} = P_{y\delta}, \quad (29)$$

де $n_{ay\delta}$ – кількість абразивних частинок, що знаходяться в контакті з металом на площині 1 м^2 ;

N_{ai} – нормальне навантаження на i -ту абразивну частинку;

$N_{\delta i}$ – нормальна реакція металу на занурення в нього i -тої абразивної частинки.

Звідки з врахуванням (17) та (21) отримали:

$$n_{ay\delta} = \frac{P_{y\delta}}{N_{\delta i}} = \frac{1,06 P_{y\delta}}{k \sigma_{cm} D^3} [2,5 f (R + r) - D]. \quad (30)$$

Тоді рівняння зносу металу під дією n_a абразивних частинок на довжині сліду ΔL , що дорівнює елементарному шляху тертя записали:

- при пружному контакті:

$$V_{prp} = n_a V_{ranp} = n_{ay\delta} A V_{ranp} = \frac{0,35 P_{y\delta} h_{n\delta}^{1/2}}{K_{Ic\delta}} \left(\frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^t A \Delta L; \quad (31)$$

- при пластичному контакті:

$$V_{pnl} = n_a V_{ranl} = n_{ay\delta} A V_{ranl} = \frac{0,35 P_{y\delta} h_{n\delta}^{1/2}}{K_{Ic\delta}} \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\delta} \right)^t A \Delta L, \quad (32)$$

де n_a – загальна кількість абразивних частинок;

A – площа зношеної поверхні.

Додаючи рівняння (31) та (32) один до одного, отримали рівняння об'ємного зносу на шляху тертя L :

- при пружному контакті:

$$V_{dnp} = \sum V_{prp} = \frac{k_p P_{y\delta} h_{n\delta}^{1/2}}{K_{Ic\delta}} \left(\frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^t AL, \quad (33)$$

де $k_p = 0,35$ – коефіцієнт;

- при пластичному контакті:

$$V_{dni} = \sum V_{pnl} = \frac{k_p P_{y\delta} h_{n\delta}^{1/2}}{K_{Ic\delta}} \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\delta} \right)^t AL. \quad (34)$$

Враховуючи (33) та (34), рівняння лінійного зносу металу на шляху тертя L визначили так:

- при пружному контакті:

$$h_{dnp} = \frac{V_{dnp}}{A} = \frac{k_p P_{y\delta}}{\frac{K_{Ic\delta}}{h_{n\delta}^{1/2}}} \left(\frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^t L = \frac{k_p P_{y\delta}}{R_\delta} \left(\frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^t L, \quad (35)$$

де $R_\delta = \frac{K_{Ic\delta}}{h_{n\delta}^{1/2}}$ – реологічний параметр;

- при пластичному контакті

$$h_{dni} = \frac{V_{dni}}{A} = \frac{k_p P_{y\delta}}{\frac{K_{Ic\delta}}{h_{n\delta}^{1/2}}} \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\delta} \right)^t L = \frac{k_p P_{y\delta}}{R_\delta} \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\delta} \right)^t L. \quad (36)$$

Для аналізу зносу металу в моделях (35) та (36) виділяли дві групи факторів, що характеризували: 1) режим навантаження (Н), 2) механічні властивості металу (М):

- при пружному контакті [модель (35)]:

$$h_{\text{онп}} = K_p \frac{H_{\text{нп}}}{M_{\text{нп}}}, \quad (37)$$

$$H_{\text{нп}} = P_{\text{уд}} \sigma^t L, \quad (38)$$

$$M_{\text{нп}} = R_{\delta} \sigma_{\epsilon}^t; \quad (39)$$

- при пластичному контакті [модель (36)]:

$$h_{\text{онл}} = K_p \frac{H_{\text{нл}}}{M_{\text{нл}}}, \quad (40)$$

$$H_{\text{нл}} = P_{\text{уд}} \Delta \epsilon^t L, \quad (41)$$

$$M_{\text{нл}} = R_{\delta} \delta^t. \quad (42)$$

Група факторів H характеризує режим навантаження металу.

При пружному контакті вона залежала від питомого навантаження $P_{\text{уд}}$, діючого розтягуючого напруження σ утоми, показника фрикційної утоми t та шляху тертя L . Радикальним засобом зниження абразивного зносу є зменшення діючого розтягуючого напруження σ утоми, оскільки цей фактор входить в модель (35) з показником ступеня 12.

При пластичному контакті група факторів, що розглядається залежала від питомого навантаження $P_{\text{уд}}$, діючої непружної деформації $\Delta \epsilon$ утоми, показника фрикційної утоми t та шляху тертя L . Засобом зниження зносу може бути зменшення рівня будь-якого з вказаних факторів, оскільки показники ступеня, з якими вони входять у модель (36) дорівнюють 1 або близькі до неї.

Група факторів M показувала вплив на знос механічних властивостей металу.

При пружному контакті вона залежала від реологічного параметру границі міцності σ_{ϵ} та показника фрикційної утоми. Радикальним засобом зниження абразивного зносу є підвищення границі міцності металу, оскільки σ_{ϵ} входить у модель (35) з показником ступеня 12.

При пластичному контакті група факторів, що розглядається залежала від реологічного параметру R_{δ} , відносного видовження δ металу при розтягу та показника t фрикційної утоми. Засобом зниження зносу може бути підвищення будь-якого з вказаних факторів, а також добутку реологічного параметру та відносного видовження (реологічної енергоємності).

Врахування вказаних груп факторів надає можливість керувати зносом металів при русі в абразивній масі.

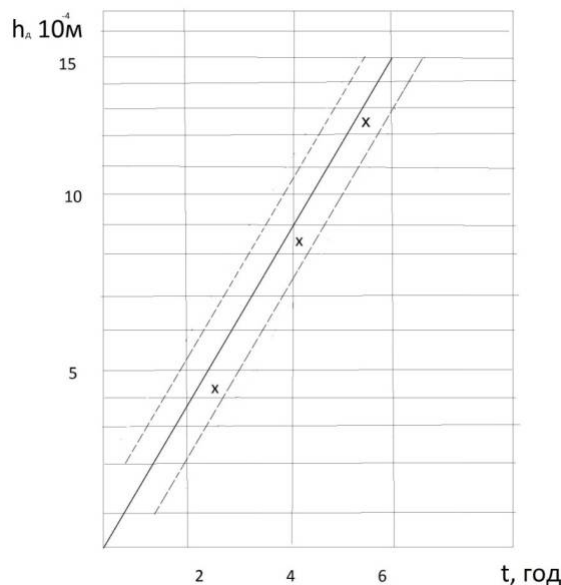


Рис. 3 – Залежність зносу h_a сталі 65Г від тривалості зношування t :
пунктирні лінії – довірчий інтервал;
суцільна лінія – розрахункові дані за моделлю (36);
x – результати випробувань

Перевірку достовірності запропонованих моделей (35) та (36) здійснювали шляхом лабораторних триботехнічних випробувань зразків на установці [10]. Зразки для випробувань виготовляли зі сталі 65Г. Перед випробуваннями їх зміцнювали термічною обробкою на структуру відпущеного мартенситу за таким режимом: температура нагрівання – 1103К, тривалість витримування – 900 с, гартувальне середовище – олива, температура відпуску – 473К. Після термічної обробки зразки шліфували до $R_z 32$. Триботехнічні випробування проводили у режимі: абразив – пісок, розмір абразиву – 0,77 мм, лінійна швидкість обертання зразків – 18 м/с, тривалість зношування – 2, 4 та 6 год. Отримні результати зіставляли з розрахованими за моделлю (36) (рис. 3).

Шляхом статистичного аналізу встановлено, що запропонована розрахункова схема адекватно описувала зношування сталі 65Г при русі в абразивній масі в дослідженому діапазоні тривалостей зношування. При цьому з ймовірністю 0,95 середні значення результатів випробувань уклалися поблизу відповідних розрахункових значень зносу в межах довірчого інтервалу.

Позитивні результати дала також перевірка достовірності моделі (35). Отже, моделі (35) та (36) зношування металів при русі в абразивній масі в умовах пружного та пластичного контакту слід визнати ефективними.

Висновки

1. За допомогою статистичного методу отримано моделі зношування металів при русі в абразивній масі, які враховують реальний характер взаємодії абразиву зі зношуваною поверхнею та розвиток процесу руйнування при пружному та пластичному контакті.
2. З використанням отриманих моделей проведено аналіз факторів, що визначають величину зносу металів при русі в абразивній масі. Визначено радикальні засоби зниження зносу при пружному та пластичному контакті.
3. Результатами лабораторних випробувань доведено ефективність запропонованих розрахункових моделей зносу, що дозволяє рекомендувати їх для практичного використання при підборі металів на стадії проектування вузлів тертя для роботи при русі в абразивній масі.

Література

1. Сорокин Г.М. Трибология сталей и сплавов / Г.М.Сорокин. – М.: Недра, 2000. – 316 с. – Библиогр.: С. 237-145.
2. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / В.Н.Ткачев. – М.: Машиностроение, 1971. – 263 с. – Библиогр.: С. 257-260.
3. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В.Крагельский, М.Н.Добычин, В.С.Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с. – Библиогр.: С. 483-513.
4. Дворук В.И. Научные основы повышения абразивной износостойкости деталей машин. / В.И.Дворук. – Киев: КМУГА. 1997. – 101 с. – Библиогр.: С. 96-99.
5. Южаков И.В., Ямпольский Г.Я., Надточиев А.Б. Анализ факторов, определяющих величину износа при трении о грунт // Проблемы трения и изнашивания: Сб. научн. Трудов. – Техника. – 1979. - №15. – С. 32-36.
6. Трибофизика: підруч. / В.І.Дворук, В.А.Войтов. – Харків: [б.в], 2014. – 373 с.
7. Колесников Ю.В. Механика контактного разрушения / Ю.В.Колесников, Е.М.Морозов. – М.: Наука, 1989, - 224 с. – Библилгр.: С. 183-219.
8. Кашеев В.Н. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов / В.Н.Кашеев, - М.: Машиностроение, 1978. – 213 с. – Библиогр.: С. 210-212.
9. Крагельский И.В. Трение и износ / И.В.Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
10. Шевеля В.В., Дворук В.И., Посташ А.С., Радченко А.В. Моделирование гидроабразивного изнашивания материалов лабораторным методом // Вісник КМУЦА. – 2000. - №3-4. – С. 39-43.

Поступила в редакцію 27.02.2015

Dvoruk V.I. Modeling of metals wear when driving in abrasive mass.

The purpose of this is to build model to calculate the motion of wear metals in abrasive mass statistical method which takes into account the nature of the interaction with the abrasive wearing surface and specificity of the process of destruction of the surface in elastic and plastic contact.

Using the obtained models analyzed the factors that determine the amount of wear metals in the motion abrasive mass. Detected means reduced wear in elastic and plastic contact

The results of laboratory tests confirmed dosovirnist proposed computational models wear that can recommend them to practical use in the selection of metals at the design stage of friction for the motion in the abrasive mass.

Key words: wear, abrasive mass, interaction, fatigue, elastic contact, plastic contact, model.

References

1. Sorokin G.M. Tribologija stalej i splavov. M.: Nedra, 2000. 316 s. Bibliogr.: S.237-145.
2. Tkachev V.N. Iznos i povyshenie dolgovechnosti detalej sel'skohozyajstvennyh mashin. M.: Mashinostroenie, 1971. 263 s. Bibliogr.: S.257-260.
3. Kragel'skij I.V., Dobychin M.N., Kombalov V.S. Osnovi raschetov na trenie i iznos. M.: Mashinostroenie, 1977. 526 s. Bibliogr.: S.483-513.
4. Dvoruk V.I. Nauchnye osnovy povyshenija abrazivnoj izeosostojkosti detalej mashin. Kiev: KMUGA. 1997. 101 s. Bibliogr.: S.96-99.
5. Juzhakov I.V., Jampo'skij G.Ja., Nadtochiev A.B. Analiz faktorov, opredel'ajushhij velichinu iznosa pri trenii o grunt. Problemy trenija i iznashivaniya: Sb. nauchn. Trudov. Tehnika. 1979. №15. S.32-36.
6. Tribofizika: pidruch. V.I.Dvoruk, V.A.Vojtov. Harkiv: [b.v], 2014. 373 s.
7. Kolesnikov Ju.V., Morozov E.M. Mehanika kontaktного razrushenija.. M.: Nauka, 1989, 224 s. Bibligr.: S.183-219.
8. Kashheev V.N. Processy v zone frikcionnogo kontakta metallov. M.: Mashinostroenie, 1978. 213 s. Bibliogr.: S.210-212.
9. Kragel'skij I.V. Trenie i iznos. M.: Mashinostroenie, 1968. 480 s.
10. Shevelja V.V., Dvoruk V.I., Postash A.S., Radchenko A.V. Modelirovanie gidroabrazivnogo iznashivaniya materialov laboratornym metodom// Visnik KMUCA. 2000. №3-4. S. 39-43.