



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 108524

(13) U

(51) МПК

G01N 3/56 (2006.01)

G01N 15/10 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2015 12575**

(22) Дата подання заявки: **21.12.2015**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **25.07.2016**

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **25.07.2016, Бюл.№ 14**

(72) Винахідник(и):

**Балицький Олексій Олександрович (UA),  
Колесніков Валерій Олександрович (UA),  
Гаврилюк Марія Романівна (UA),  
Погорелов Олег Олексійович (UA),  
Колеснікова Єлизавета Борисівна (UA)**

(73) Власник(и):

**ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Г.В.  
КАРПЕНКА НАН УКРАЇНИ,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060 (UA)**

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ПОВЕРХНІ ЧАСТИНОК ПІСЛЯ СУХОГО ТА ВОДНЕВОГО ЗНОШУВАННЯ СИСТЕМОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

(57) Реферат:

Спосіб визначення форми поверхні частинок після сухого та водневого зношування за їх півтоновим зображенням для встановлення інтенсивності зношування деталей, що працюють в умовах ковзання та кочення, в якому ідентифікація продуктів зношування відбувається завдяки системі комп'ютерного зору, призначеній для визначення форми частинок зношування за допомогою півтонового зображення, одержаного методами цифрової мікроскопії.

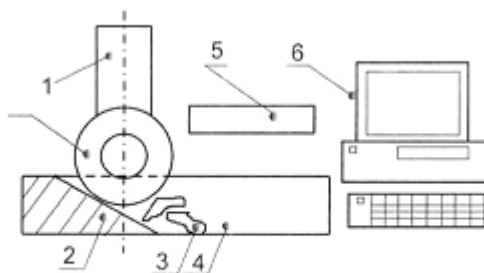


Fig. 1

UA 108524 U



Корисна модель належить до способів діагностування вузлів тертя, зокрема підшипників ковзання або кочення, які зазнали тривалої експлуатації у воденьовмісному середовищі та прогнозування їх зношування в умовах сухого тертя, і може широко застосовуватись в енергетиці, машинобудівній, металургійній, будівельній та інших галузях промисловості.

Найближчим за технічною суттю до запропонованого є спосіб визначення зносостійкості сталей і сплавів [1], який полягає в у визначенні коерцитивної сили, яку використовують для визначення зносостійкості по отриманій раніше залежності коерцитивної сили від зносостійкості. Однак наведений спосіб є трудомістким і довготривалим, бо передбачає довготривалі випробування зразків.

Відомо, що одним з найінформативніших джерел інформації стосовно визначення процесів зношування та руйнування матеріалів в умовах тертя є дослідження продуктів зношування. Значна увага при вивченні проблеми руйнування поверхневих шарів матеріалів приділяється вивченню продуктів зношування. Вивчення їх параметрів несе інформацію про природу і інтенсивність процесу [2].

Відомі способи оцінки міри забруднення моторного масла продуктами зношування вузлів тертя [3, 4], але ці способи не стосуються сухого тертя.

Відомий спосіб визначення зносостійкості трибоелементів ковзання в активному середовищі [5] (прототип), але цей спосіб потребує застосування профілографа. Авторами для вирішення задачі запропонована наступна процедура:

- необхідно в процесі експлуатації машин і механізмів фіксувати появу частинок зношування і отримувати їх зображення в цифровому вигляді;
- визначати розміри частинок зношування (це дозволить враховувати, визначати і контролювати інтенсивність процесів руйнування);
- визначати за допомогою аналізу зображень площу (по кількості пікселів) і характер руйнування частинок;
- визначати критичну кількість частинок зношування (визначається в ході проведення експериментів), яке веде до катастрофічного зношування вузла тертя механізмів, що приводить до поломки;
- аналізуючи отримані дані можна регулювати експлуатаційні характеристики механізмів з метою мінімізації процесів зношування.

Зносотривкість визначали на машині тертя СМТ-1 (2070). Швидкість ковзання нижнього ролика становила 1480 обертів за хвилину, а верхнього 1240 (проковзування складало 15 %). Для проведення експерименту металографічні дослідження (продуктів зношування) проводили на мікроскопі Ncorphot 2 з підключенням ноутбука та цифрового фотоапарату Canon EOS 30D. Поверхні тертя знімали на електронному мікроскопі EVO-40XVP із системою мікроаналізу INCA Energy 350 [6].

Наводнювали зразки з високоазотної сталі Р 900 за густини струму 0,5 А/см<sup>2</sup> у 26 %-му розчині сірчаної кислоти впродовж 3-х годин. Мета електролітичного наводнення сплавів - наситити воднем їх поверхневі та підповерхневі шари, здійснити триботехнічні випробування, з імітування тертя за максимальної дії водневого середовища [7].

Поставлена задача вирішується тим, що відбувається обробка зображень частинок сухого та водневого зношування за допомогою методу комп'ютерного зору, який відрізняється тим, що ідентифікація продуктів зношування відбувається завдяки системі комп'ютерного зору, призначеній для визначення форми частинок зношування за допомогою півтонового зображення, одержаного методами цифрової мікроскопії.

У корисній моделі, що заявляється розроблено спосіб обробки зображень частинок водневого зношування за допомогою системи комп'ютерного зору для визначення форми частинок зношування по півтоновому зображенню, отриманому за допомогою мікроскопа та цифрової камери.

В основу корисної моделі поставлено створення способу визначення форми поверхні частинок зношування за допомогою системи комп'ютерного зору по півтонному зображенню, що отримують за допомогою мікроскопа та цифрової камери, що приводить до можливості прогнозування інтенсивності руйнування трибоз'єднання.

Поставлена задача досягається тим, що у способі визначення форми поверхні частинок зношування по його півтоновому зображенню обчислюють по голчастій діаграмі об'єкта, на підставі якої розраховують каргу дальності, що містить інформацію про форму поверхні частинки зношування, а остаточне визначення форми поверхні об'єкта по півтоновому зображенню проводять за інформацією у карті відбивної здатності. Отримані дані передають у систему комп'ютерного зору, де програмним забезпеченням контролюють морфологію продуктів зношування, розміри продуктів зношування, визначають їх площу.

Суть корисної моделі пояснюється на фотографіях, де на фіг. 1 зображено схему пристрою для здійснення способу визначення форми поверхні часток зношування по півтоновому зображенню, на фіг. 2 - вихідне зображення, на фіг. 3 - бінарне зображення, фіг. 4 - голчаста діаграма, фіг. 5 - карта дальності. Фігури 6-9 містять вихідні зображення і відповідні карти дальності двох сталевих частинок зношування.

Принцип запропонованого способу визначення зносостійкості трибоелементів кочення або ковзання, в умовах сухого тертя наступний: трибоз'єднання (1), яке складається з двох деталей - колодки та ролика (за умов ковзання), або ролик по ролик по ролику (за умов кочення). Ролик здійснює обертальні рухи. Похила площина (2) у "ванні" допомагає відокремленим частинкам зношування (3) потрапити до ділянки (4), де за допомогою цифрової камери (5) дані передаються на комп'ютер (6). На комп'ютері за допомогою розробленого програмного забезпечення контролюються морфологія та розміри продуктів зношування (фіг. 11), визначається їх площа, що забезпечує контроль інтенсивності зношування. Наприклад, поява великої кількості частинок зношування, що мають більш великі розміри у порівнянні з попередніми, свідчить про інтенсивне руйнування. Також зміна морфології продуктів зношування може свідчити про перехід від одного виду руйнування до іншого.

Для оцінки форми поверхні частинок зношування використовують наступний алгоритм. На вихідному зображенні (фіг. 2) виділяють область, відповідну об'єкту, що вивчається (фіг. 3). При цьому використовують високу відбивну здатність частинок зношування у порівнянні з фоном і порогове розділення.

Потім обчислюють голчасту діаграму об'єкта (фіг. 4), на підставі якої розраховують карту дальності (фіг. 5). Карту дальності представляють таким чином, що чим світліший піксель зображення, тим ближче у цьому місці поверхня об'єкта до спостерігача. Карта дальності містить інформацію про форму поверхні частки зношування, яка в даній системі є виходом.

Отримані результати дозволяють відновлювати форму поверхні частинок зношування сталей в півтоновому зображенні, що дає можливість автоматизувати процес ідентифікації характеру руйнування металевих матеріалів в умовах тертя. Інформація може автоматично застосовуватись для зменшення навантаження або швидкості обертання пари тертя.

Для отримання більш точних даних за продуктами зношування можна проводити окремий вибір частинок зношування та стаціонарно за описаною методикою проводити їх дослідження.

Для опису форми поверхні розпізнаваних графічних об'єктів використовують декілька різних способів [8]. Застосовуємо функцію, задану в декартовій прямокутній системі координат. Площина збігається з площиною зображення, а вісь направлена до спостерігача [9]. У комп'ютері функція представлена в дискретному вигляді та називається картою дальності.

При відновленні форми поверхні по півтоновому зображенню зручно користуватися так званою голчастою діаграмою - проекцією одиничних нормалей до поверхні об'єкта на площину зображення. Напрямок кожної нормалі визначається всього двома параметрами  $p = \partial z / \partial x$  і  $q = \partial z / \partial y$ , оскільки ці вектори мають одиничну довжину [9]. Якщо відома карта дальності  $z(x, y)$ , то по ній можна відновити голчасту діаграму - досить знайти перші часткові похідні  $p$  і  $q$  від цієї функції. Зворотнє завдання володіє нестійкістю, проте методи регуляризації дозволяють впоратися з цією проблемою.

Щоб однозначно вирішити завдання визначення форми поверхні об'єкта по півтоновому зображенню, необхідно мати в своєму розпорядженні дані про відбивні властивості поверхні і положення джерела освітлення. Ця інформація міститься в карті відбивної здатності об'єкта [9]. Карта відбивної здатності є нормованою на одиницю функцією  $R(p, q)$ , яка зв'язує яскравість пікселя на зображенні з відповідною цьому пікселю орієнтацією елементарної площадки об'єкта.

Розрізняють дифузне і дзеркальне віддзеркалення світла від різних поверхонь. Оскільки частинки зношування металічні, то вони відбивають світло дзеркально. Проте, через те, що поверхні часток не є гладкими, це відбивання великої кількості "дзеркал", орієнтації яких відрізняються. Таке відбивання є глянцеvim. Для опису відбивної здатності частинок зношування в даній роботі використовується наступна індикатриса розсіяння:

$$R(\beta) = (\cos \beta)^n, \quad (1)$$

де  $\beta$  - кут між напрямом "чистого" дзеркального відбивання від елементарної площадки об'єкта і напрямом на спостерігача (віссю  $z$ ), - позитивне ціле число. При  $n \gg 1$  індикатриса (1) сильно видовжена вперед, що є характерною властивістю глянцевого відбиття. Параметр  $n$  є показником цього видовження. Використання теорем евклідової геометрії дозволяє отримати формулу:

$$\cos \beta = 2 \cos \alpha \cdot \cos \theta - \cos \gamma, \quad (2)$$

де

5  $\alpha$  - кут між нормаллю до елементарної площадки об'єкта і напрямом на джерело освітлення,  $\theta$  кут між нормаллю до елементарної площадки і напрямом на спостерігача (віссю  $z$ ),  $\gamma$  - кут між напрямом на джерело освітлення і напрямом на спостерігача.

Кути в правій частині виразу (2) можна виразити через градієнт функції  $z(x, y)$  за допомогою відомих формул [12]:

$$\cos \alpha = \frac{1 + p_s + q_s q}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} \sqrt{1 + p_s^2 + q_s^2}}, \quad \cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + p^2 + q^2}}, \quad \cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 + p_s^2 + q_s^2}},$$

10 де  $p_s, q_s$  - параметри, що визначають напрям на джерело освітлення.

Побудова голчастої діаграми. Координати нормалей до поверхні об'єкта для деяких пікселів можна однозначно відновити по зображенню. Це стосується нормалей на контурі, що обмежує об'єкт, на розривах безперервності поверхні і на "відблисках" - найяскравіших точках на поверхні об'єкта. На контурі і на розривах безперервності нормалі лежать в площині  $x, y$  і 15 направлені ортогонально лінії контуру або розриву. Відблиски відповідають яскравим плямам на зображенні, оскільки тут напрям на спостерігача і напрям дзеркального відбиття збігаються. Нормалі в цих точках відповідно до закону Альхазена лежать в площині, що задається напрямками на джерело освітлення і на спостерігача, їх положення симетричне відносно цих напрямів.

20 Нормалі в останніх точках визначаються за допомогою чисельного ітеративного методу, запропонованого в роботі [11]:

$$f_{kl}^{n+1} = \bar{f}_{kl}^n + \lambda [E_{kl} - R_s(f_{kl}^n, g_{kl}^n)] \partial R_s / \partial f, \quad (3)$$

$$g_{kl}^{n+1} = \bar{g}_{kl}^n + \lambda [E_{kl} - R_s(f_{kl}^n, g_{kl}^n)] \partial R_s / \partial g, \quad (4)$$

25 де  $f = \frac{2p}{1 + \sqrt{1 + p^2 + q^2}}$ ,  $g = \frac{2q}{1 + \sqrt{1 + p^2 + q^2}}$ , - координати стереографічної проекції [5],

$E_{kl}$  - яскравість пікселя з координатами  $k, l$  на зображенні;  $R_s$  - карта відбивної здатності, виражена в стереографічних координатах;  $n$  - номер ітерації,  $\bar{f}, \bar{g}$  - локальні середні  $f$  і  $g$ , визначають за формулами:

$$\bar{f}_{kl} = (1/5) \cdot (f_{k+1,l} + f_{k,l+1} + f_{k-1,l} + f_{k,l-1}) + (1/20) \cdot (f_{k+1,l+1} + f_{k+1,l-1} + f_{k-1,l-1} + f_{k-1,l+1}),$$

$$\bar{g}_{kl} = (1/5) \cdot (g_{k+1,l} + g_{k,l+1} + g_{k-1,l} + g_{k,l-1}) + (1/20) \cdot (g_{k+1,l+1} + g_{k+1,l-1} + g_{k-1,l-1} + g_{k-1,l+1})$$

30 Обчислення карти дальності. Якщо відомі значення  $p$  і  $q$ , ми можемо відновити  $z(x, y)$  шляхом інтеграції уздовж довільних кривих на площині:

$$z(x, y) = z(x_0, y_0) + \int_{(x_0, y_0)}^{(x, y)} (p dx + q dy).$$

Проте  $p$  і  $q$  відновлюють за зашумленими даними. Тому інтеграл може залежати від вибору шляху. Оскільки відомі  $p$ , і  $q$ , ми отримуємо необхідну інформації. Це дозволяє використовувати 35 метод оптимізації для знаходження поверхні, що найкраще відповідної неідеальним оцінкам градієнта [5]. Для цієї мети використовують наступний ітеративний алгоритм:

$$z_{kl}^{n+1} = \bar{z}_{kl}^n - (1/2) \cdot (p_{k+1,l} - p_{k-1,l} + q_{k,l+1} - q_{k,l-1}), \quad (5)$$

де

$$40 \quad \bar{z}_{kl} = (1/5) \cdot (z_{k+1,l} + z_{k,l+1} + z_{k-1,l} + z_{k,l-1}) + (1/20) \cdot (z_{k+1,l+1} + z_{k+1,l-1} + z_{k-1,l-1} + z_{k-1,l+1}).$$

На підставі викладеної теорії розроблена система комп'ютерного зору, що дозволяє визначати форму частинок зношування по півтонових зображеннях, отриманих за

допомогою мікроскопа. Програмне забезпечення системи було написане на мові програмування Object Pascal в середовищі візуального програмування Delphi.

Входом системи є зображення частинки зношування, а виходом - карта дальності, яка міститься в пам'яті комп'ютера і може бути представлена у вигляді півтонового зображення, призначеного для контролю людиною. На фіг. 6-9 показані зображення двох частинок зношування і відповідні їм карти дальності, визначені за допомогою комп'ютера.

Отримані результати дозволяють відновлювати форму поверхні частинок зношування сталей по півтоновому зображенню, що дає можливість автоматизувати процес ідентифікації характеру руйнування металевих матеріалів в умовах тертя. Класифікацію частинок зношування сталей (за морфологією), що утворилися в умовах тертя кочення представлено в Електронному журналі [12]. Приклад застосування даної методики наведено на фіг. 10-15.

Джерела інформації:

1. Пат. 2069343 RU, МПК<sup>6</sup> G01N 3/58 Способ определения износостойкости стали и сплавов - Опубликовано 20.11.1996.

2. Балицкий О.И., Колесников В.О. Дослідження продуктів зношування аустенітних марганцевих чавунів // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - 2004. - № 1 - С. 65-69.

3. Пат. 2419790 (13) RU, МПКС2 G01N 33/26 Способ измерения степени загрязнения моторного масла продуктами износа узлов трения - Опубликовано 27.05.2011.

4. Пат. 2167407 (13) RU C2, МПК<sup>7</sup> G01N 15/06, G01N 33/28 Способ анализа жидкостей на металлы - продукты износа узлов и механизмов, омываемых этими жидкостями. - Опубликовано 20.05.2001.

5. Пат. 36509A UA, МПК G01N 3/56 Спосіб визначення зносостійкості трибоелементів ковзання в активному середовищі - Опубликовано 16.04. 2001, Бюл. № 3.

6. Балицкий О.И., Колесников В.О. Дослідження продуктів зношування високоазотних марганцевих сталей // Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 2009, Т. 45. - № 4. - С. 93-99.

7. Балицкий О.И., Колесников В.О., Я. Еліаш, М.Р. Гаврилюк Особливості руйнування наводнених високоазотних марганцевих сталей в умовах тертя кочення // Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 2014, Т. 50. - № 4. - С. 110-116.

8. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный поход / пер. с англ. А.В. Назаренко, И.Ю. Дорошенко. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. - 928 с.

9. Хорн Б.К.П. Зрение роботов. - М: Мир, 1989. - 487 с.

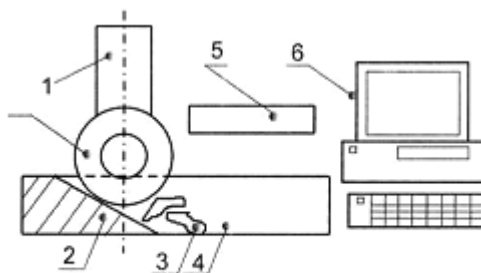
10. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB - М: Техносфера, 2006. - 616 с.

11. Ikeuchi K., Horn B. K. P., Numerical Shape from Shading and Occluding Boundaries, Artificial Intelligence, 17, 1981, № 1-3, P. 141-184.

12. Колесников В.А., Балицкий А.И., Погорелов О.А. Классификация частиц износа сталей (по морфологии), образовавшихся в условиях трения качения// Наукові вісті Далівського університету // Електронний журнал СНУ ім. В. Даля, 2011. - № 4. Режим доступу: [http://www.nbuv.gov.ua/ejournals/Nvdu/2011\\_4/1\\_lkvakpm.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/ejournals/Nvdu/2011_4/1_lkvakpm.pdf).

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення форми поверхні частинок після сухого та водневого зношування за їх півтоновим зображенням для встановлення інтенсивності зношування деталей, що працюють в умовах ковзання та кочення, який **відрізняється** тим, що ідентифікація продуктів зношування відбувається завдяки системі комп'ютерного зору, призначеній для визначення форми частинок зношування за допомогою півтонового зображення, одержаного методами цифрової мікроскопії.



Фіг. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4

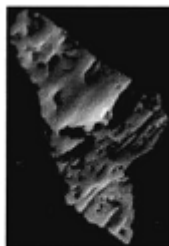


Fig. 5



Fig. 6



Fig. 7



Fig. 8



Fig. 9





Fig. 10

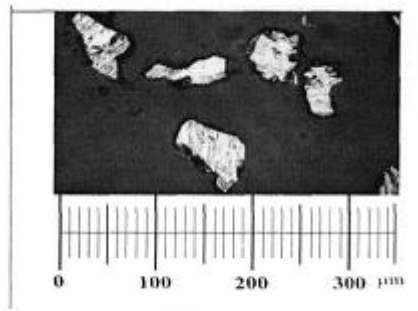


Fig. 11

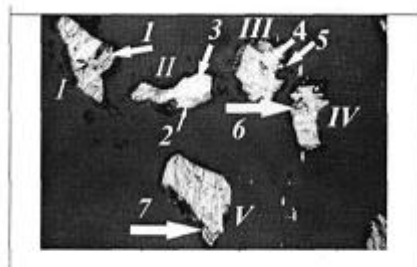
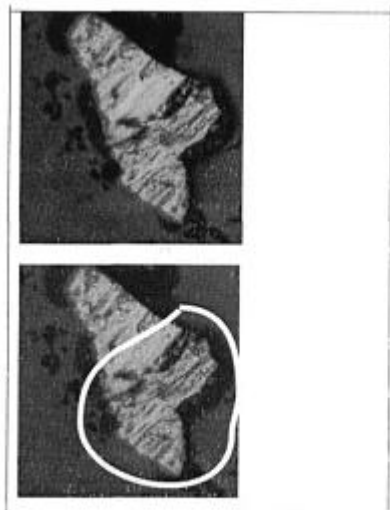


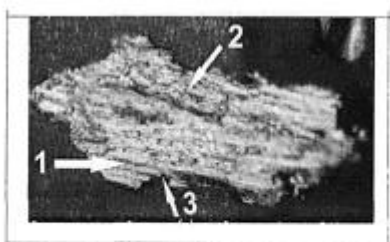
Fig. 12



Fig. 13



Фіг. 14



Фіг. 15

---

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601