

ун-т ; кер. С. Г. Костоґриз ; викон.: Ю. І. Шалапко [та ін.]. – Хмельницький, 2004. – 260 с. – Бібліогр.: с. 249–260. – № ДР 0103U001205. – Інв. № 0502U002288.

25. Механіка вібраційного тертя в номінально нерухомому фрикційному контакті : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.02.04 / С. Г. Костоґриз ; Технол. ун-т Поділля. – Хмельницький, 1995. – 39 с.

26. Еволюційні моделі фретинг-процесів у номінально-нерухомому фрикційному контакті : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.02.04 / Хмельниц. нац. ун-т / Ю. В. Шалапко. – Хмельницький, 2009. – 38 с.

27. Державні стандарти професійної освіти: теорія і методика : монографія / [С. У. Гончаренко, Н. Г. Ничкало, В. Л. Пертенко, С. Г. Костоґриз та ін.]; за ред. Н. Г. Ничкало. – Хмельницький : ТУП, 2002. – 334 с.

28. Віхи поступу : до 40-річчя з дня заснування механічного факультету / [Р. І. Сілін, С. Г. Костоґриз, І. Ф. Ткачук та ін.]; заг. ред. С. С. Ковальчук ; Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький : ХНУ, 2007. – 310 с.

29. Скиба М. Є. Моніторинг якості навчального процесу у вищому закладі освіти : [монографія] / М. Є. Скиба, С. Г. Костоґриз, Г. В. Красильникова. – Хмельницький : ХНУ, 2009. – 219 с.

30. Кіницький Я.Т. Кулачково-цівкові механізми переривчастого обертового руху вихідної ланки : [монографія] / Я. Т. Кіницький, С. Г. Костоґриз, Я. О. Підгайчук. – Хмельницький : ХНУ, 2010. – 194 с.

31. Формування поверхонь шнеків ливарних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.02 / Технол. ун-т Поділля / О. М. Хіблін. – Хмельницький, 1997. – 17 с.

32. Підвищення працездатності циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь у ротаційних системах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.02.02 / Технологічний ун-т Поділля / Е. А. Манзюк. – Хмельницький, 2003. – 22 с.

33. Розробка та синтез кулачково-цівкових механізмів переривчастого обертового руху вихідної ланки : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.02.02 "Машинознавство" / Хмельниц. нац. ун-т / Я. О. Підгайчук. – Хмельницький, 2009. – 23 с.

34. Кіницький Я. Наш загадковий проректор (перший проректор, д.т.н., проф. С. Г. Костоґриз) / Я. Кіницький, В. Ткач // Університет. – 2006. – № 1 (54). – С. 3.

35. Костоґриз С.Г. Кафедра машинознавства за 40 років розбудови : [довідник / уклад. Я. Т. Кіницький]. – Хмельницький : ПП Цюпак А.А., 2009. – С. 13–14.

Надійшла 5.1.2011 р.

УДК 621.81: (621.891+620.194)

В.С. КУРСКОЙ, А.М. ДАВИДОВ, І.М. ПАСТУХ
Хмельницький національний університет

ПЕРЕДУМОВИ ЙМОВІРНІСНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ МОДЕЛІ КОНТАКТУЮЧИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ПОВЕРХНІ

Отримано рішення для параметрів напруженого стану в мікроелементах контактуючих поверхонь з урахуванням ймовірнісної інтерпретації характеристик модельних параболоїдів

A decision for the parameters of the tense consisting is got of oligoelementss of contacting surfaces taking into account probabilistic interpretation of descriptions of model paraboloids.

Ключові слова: пружний контакт, рівнодійна сила, щільність вірогідності випадкових величин.

Одним з найважливіших етапів розв'язку задачі контактування двох модельних еліптичних параболоїдів [1, 2, 4] є визначення результуючої сили пружної взаємодії, що дозволить не лише оцінити міцнісні характеристики реального контакту, а й спрогнозувати його поведінку в умовах динамічного навантаження. В роботі [3] наведено приклад розв'язку задачі визначення рівнодійної сили в модельному контакті з перетворенням системи координат так, що один з елементів розміщується в початку координат, а його осі розташовані паралельно осям координат. Проте у випадку аналізу значної кількості елементів корегування напрямків є проблематичним. Тому доцільним було б розв'язання задачі для довільного розташування елементів.

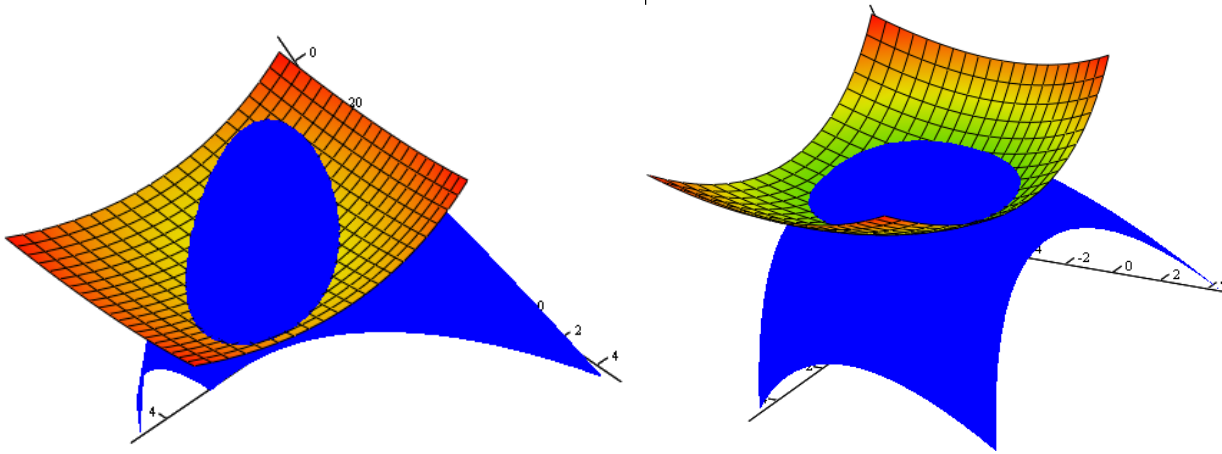
Лінія взаємного проникнення двох еліптичних параболоїдів визначається розв'язком системи рівнянь:

$$\begin{cases} z = \frac{(x \cdot \cos(\alpha_1) - y \cdot \sin(\alpha_1))^2}{a} + \frac{(x \cdot \sin(\alpha_1) - y \cdot \cos(\alpha_1))^2}{b} + \Delta z \\ z = \frac{(x \cdot \cos(\alpha_2) - y \cdot \sin(\alpha_2) - \Delta x)^2}{c} + \frac{(x \cdot \sin(\alpha_2) - y \cdot \cos(\alpha_2) - \Delta y)^2}{d} \end{cases}, \quad (1)$$

де a, b, c, d – коефіцієнти відповідно матриці та пуансона;

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – зміщення пуансона одне відносно матриці по осях x, y та z відповідно;

α_1, α_2 – кути поворотів для параболоїдів пуансона та матриці.

Рис. 1. Загальний вигляд тривимірного представлення модельного контакту для відносного кута повороту 0° та 45° відповідно

Розв'язання системи рівнянь дозволяє отримати залежність для визначення абсцис, яка в загальному вигляді може бути представлена у вигляді:

$$A \cdot x^2 + B \cdot x + C \cdot y^2 + D \cdot y + G \cdot x \cdot y + F = 0, \quad (2)$$

де введені заміною константи:

$$A = \frac{1}{b} + \frac{1}{d} + \frac{\sin(\alpha_1)^2 - 1}{a} + \frac{\sin(\alpha_1)^2 - 1}{b} + \frac{\sin(\alpha_2)^2 - 1}{c} + \frac{\sin(\alpha_2)^2 - 1}{d}, \quad (3)$$

$$B = \frac{2 \cdot \Delta y \cdot \cos(\alpha_2)}{d} + \frac{4 \cdot \Delta x \cdot (\cos(\frac{\alpha_2}{2})^2 - 1)}{c}, \quad (4)$$

$$C = \frac{1}{a} + \frac{1}{c} + \frac{\sin(\alpha_1)^2 - 1}{a} + \frac{\sin(\alpha_1)^2 - 1}{b} + \frac{\sin(\alpha_2)^2 - 1}{c} + \frac{\sin(\alpha_2)^2 - 1}{d}, \quad (5)$$

$$D = -\frac{2 \cdot \Delta x \cdot \sin(\alpha_2)}{c} + \frac{4 \cdot \Delta x \cdot (\cos(\frac{\alpha_2}{2})^2 - 1)}{d}, \quad (6)$$

$$G = -\frac{\sin(2\alpha_1)}{a} - \frac{\sin(2\alpha_1)}{b} + \frac{\sin(2\alpha_2)}{c} + \frac{\sin(2\alpha_2)}{d}, \quad (7)$$

$$F = -\frac{\Delta x^2}{c} - \frac{\Delta y^2}{d} + \Delta z. \quad (8)$$

$$y(x) = -\frac{D + G \cdot x \pm \sqrt{D^2 + 2 \cdot D \cdot G \cdot x + G^2 \cdot x^2 - 4 \cdot A \cdot C \cdot x^2 - 4 \cdot B \cdot C \cdot x - 4 \cdot C \cdot F}}{2 \cdot C}. \quad (9)$$

Область визначення отриманої функції, а отже і область перетину фігур визначається розв'язком нерівності з урахуванням того, що всі сталі коефіцієнти рівнянь еліптичних параболоїдів більші нуля.

$$D^2 + 2 \cdot D \cdot G \cdot x + G^2 \cdot x^2 - 4 \cdot A \cdot C \cdot x^2 - 4 \cdot B \cdot C \cdot x - 4 \cdot C \cdot F \geq 0. \quad (10)$$

В загальному вигляді нулі отриманого квадратного тричлену мають вигляд

$$x = \pm \frac{(2 \cdot B \cdot C - D \cdot G) \mp \sqrt{(2 \cdot D \cdot G - 4 \cdot B \cdot C)^2 - 4 \cdot (G^2 - 4 \cdot A \cdot C) \cdot (D^2 - 4 \cdot C \cdot F)}}{G^2 - 4 \cdot A \cdot C}. \quad (11)$$

Тоді діапазон абсцис перетину, який потрібно визначити: $[x_{\min}; x_{\max}]$.

Аналогічно визначаємо діапазон ординат:

$$x(y) = -\frac{B + G \cdot y \pm \sqrt{B^2 + 2 \cdot B \cdot G \cdot y + 2 \cdot G^2 \cdot y^2 - 4 \cdot A \cdot C \cdot y^2 - 4 \cdot A \cdot D \cdot y - 4 \cdot A \cdot F}}{2 \cdot A}. \quad (12)$$

Область визначення отриманої функції, а отже і область перетину фігур визначається з нерівності з урахуванням того, що всі сталі коефіцієнти рівнянь еліптичних параболоїдів більші нуля:

$$B^2 + 2 \cdot B \cdot G \cdot y + 2 \cdot G^2 \cdot y^2 - 4 \cdot A \cdot C \cdot y^2 - 4 \cdot A \cdot D \cdot y - 4 \cdot A \cdot F \geq 0, \quad (13)$$

$$y = \pm \frac{(2 \cdot A \cdot D - B \cdot G) \mp \sqrt{A^2 \cdot D^2 - 4 \cdot C \cdot F \cdot A^2 - C \cdot A \cdot B^2 - A \cdot B \cdot D \cdot G + F \cdot A \cdot G^2}}{G^2 - 4 \cdot A \cdot C}. \quad (14)$$

Межі перетину по осі ординат $[y_{\min}; y_{\max}]$.

Загальний об'єм зони перетину визначаємо з формули:

$$V = \iint_D (f_1(x, y) - f_2(x, y)) dx dy, \quad (15)$$

де D – область перетину параболоїдів, межі якої визначаються як $[x_{\min}, x_{\max}]$ та $[y_{\min}, y_{\max}]$ для абсцис та ординат відповідно.

Величина загальних відносних деформацій буде визначатися із співвідношення

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{V \Delta}{V_1 + V_2}, \quad (16)$$

де V_1 та V_2 – об'єми, що охоплюються еліптичними параболоїдами та площинами основ.

Для визначення напрямку вектору рівнодійної сил необхідно визначити реальну поверхню контакту з урахуванням пружних характеристик модельних фігур. Для цього було застосовано методики наведену в [1]. Загальний вигляд отриманої поверхні представлено на рис. 2.

Для визначення результуючого вектора розглянемо контакт двох параболоїдів, представивши його як суму дискретних контактів.

Результуючий вектор взаємодії може бути представлений у вигляді:

$$\vec{F}_r = |F| \cdot \vec{N}, \quad (17)$$

де $|F|$ – модуль сили пружної взаємодії, який визначається з геометричних та пружних характеристик матеріалу;

\vec{N} – рівнодійний нормальний одиничний вектор в даній точці.

Визначення модулю сили в контакті виконуємо за наступною формулою:

$$|F| = E \cdot \varepsilon \cdot S, \quad (18)$$

де S – площа поверхні, що деформується.

Величини відносних деформацій для конкретного параболоїда визначаються так:

$$\varepsilon_i = \frac{V_i \Delta}{V_i}, \quad (19)$$

де $V_i \Delta$ – об'єм частини параболоїда, що деформується в перетині, який визначається як різниця об'ємів загальної зони перетину та зони, що відсікається поверхнею розподілу.

Критерієм визначення дискретного одиничного вектора є кути відносно осей координат. Визначення кута нахилу результуючого вектору відносно системи виконується визначенням нормального результуючого вектора та знаходженням кутів між знайденим вектором та осями координат.

Побудова нормального вектора в заданій точці визначеної поверхні виконується наступним чином:

$$\vec{N}_i = \begin{pmatrix} \frac{d}{dx} f_R(x_i, y_i) \\ \frac{d}{dy} f_R(x_i, y_i) \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (20)$$

Тоді результуючий вектор може бути представлений у вигляді:

$$\vec{N} = \begin{pmatrix} \int_{y \min}^{y \max} \int_{x \min}^{x \max} \left(\frac{d}{dx} f_R(x, y) \right) dx dy \\ \int_{y \min}^{y \max} \int_{x \min}^{x \max} \left(\frac{d}{dy} f_R(x, y) \right) dx dy \\ \int_{y \min}^{y \max} \int_{x \min}^{x \max} dx dy \end{pmatrix}. \quad (21)$$

Аналіз геометричних характеристик реальних поверхонь свідчить про те, що практично всі вони є величинами випадковими, звідки слідє висновок, що подальше розв'язання задачі контакту мікроелементів слід реалізовувати на основі математичного апарату випадкових величин. Головні передумови цієї частини рішення зводяться до наступного.

Розглянемо випадкову величину Y , утворену в результаті функціонального перетворення сукупності незалежних випадкових величин X_1, \dots, X_n , так що значення величини Y :

$$y = f(x_1, \dots, x_n), \quad (22)$$

де x_1, \dots, x_n – значення величин X_1, \dots, X_n , а f – невідповідна функція. Передбачається відома n – мірна щільність вірогідності

$$w(x_1, \dots, x_n) = \prod_{k=1}^n w(x_k),$$

де $w(x_k)$ – одновимірна щільність відповідних випадкових величин.

Потрібно знайти щільність вірогідності $w(y)$ випадкових величин Y .

Запишемо вираз для сумісної щільності вірогідності величин Y, X_1, \dots, X_n :

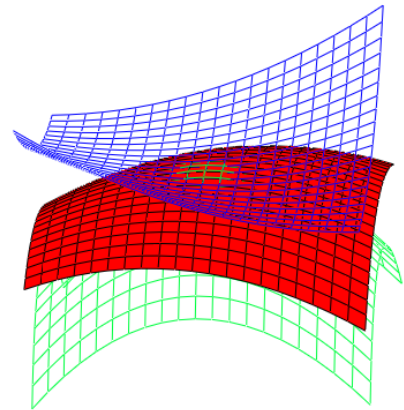


Рис. 2. Деформована поверхня розділу зони контакту

$$w(y, x_1, \dots, x_n) = w(y / x_1, \dots, x_n) w(x_1, \dots, x_n),$$

де $w(y / x_1, \dots, x_n)$ – умовна щільність вірогідності величини Y при заданих значеннях величин X_1, \dots, X_n .

Враховуючи детермінований характер зв'язку (22), ця щільність може бути виражена через дельта-функцію Діраку:

$$w(y / x_1, \dots, x_n) = \delta(y - f(x_1, \dots, x_n)) \prod_{k=1}^n w(x_k).$$

Таким чином

$$w(y, x_1, \dots, x_n) = \delta(y - f(x_1, \dots, x_n)) \prod_{k=1}^n w(x_k)$$

Шукана щільність вірогідності знаходиться n -кратним інтегруванням:

$$w(y) = \int \dots \int_A w(y, x_1, \dots, x_n) dx_1 \dots dx_n = \int \dots \int_A \delta(y - f(x_1, \dots, x_n)) \prod_{k=1}^n w(x_k) dx_1 \dots dx_n,$$

де A – область застосування сукупності x_1, \dots, x_n .

Подальше просування завдання в загальному вигляді представляється проблематичним. З огляду на це, можна знизити на одиницю кратність інтеграції, якщо скористатися властивістю дельта-функції, що фільтрує. Для цього введемо заміну змінною інтеграції $z = f(x_1, \dots, x_n)$ у інтегралі за будь-якою змінною, наприклад x_1 :

$$I_1 = \int_{A_1} \delta(y - f(x_1, \dots, x_n)) w(x_1) dx_1$$

де A_1 – область інтегрування за змінною x_1 , тоді

$$dz = \frac{\partial f(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1} dx_1; \quad x_1 = f^{-1}(z, x_2, \dots, x_n)$$

Тут f^{-1} – символ зворотної відносно f -функції змінної x_1 . Якщо зворотна функція однозначна, то:

$$I = \int_{B_1} \delta(y - z) \left[w(x_1) \frac{1}{\frac{\partial f(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1}} \right]_{x_1=f^{-1}(z, x_2, \dots, x_n)} dz = \int_{B_1} \delta(y - z) \left[w(x_1) \frac{1}{\frac{\partial f(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1}} \right]_{x_1=f^{-1}(z, x_2, \dots, x_n)} dz = I(y, x_2, \dots, x_n),$$

де B_1 – область інтегрування за змінною z .

Отже, в цьому випадку:

$$w(y) = \int \dots \int_B I(y, x_2, \dots, x_n) \prod_{k=2}^n w(x_k) dx_2 \dots dx_n,$$

де B – область інтегрування за змінними x_2, \dots, x_n .

Нехай деяка випадкова величина x характеризується рівномірним законом розподілу на інтервалі $(0, v)$ причому v , у свою чергу, також є випадковою величиною із заданим законом розподілу $w(v)$. Таким чином можна записати умовну щільність величини x .

$$\begin{aligned} w(x/v) &= \frac{1}{v} \text{ при } 0 \leq x \leq v, \\ w(x/v) &= 0 \text{ при } 0 < x \text{ и } x > v. \end{aligned} \quad (23)$$

Причому v приймає тільки позитивні значення.

Сумісна щільність вірогідності величин x і v може бути виражена як

$$w(x, v) = w(x/v) w(v).$$

А безумовна щільність вірогідності величини x знаходиться шляхом інтеграції

$$w(x) = \int_0^{\infty} w(x/v) w(v) dv.$$

У даному конкретному випадку, враховуючи умову (1), отримаємо

$$w(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{v} w(v) dv.$$

Приклад. Нехай $w(v)$ є релеєвским законом розподілу з параметром σ :

$$w(v) = \frac{v}{\sigma^2} e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}} \quad 0 < v < \infty,$$

$$w(x) = \int_x^\infty \frac{1}{v} \cdot \frac{v}{\sigma^2} e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}} dv = \frac{\sqrt{2}}{\sigma} \int_{x/\sqrt{2}\sigma}^\infty e^{-t^2} dt = \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}\sigma} \left[1 - \operatorname{erf} \frac{x}{\sqrt{2}\sigma} \right].$$

Висновок. Викладена методика створює передумови для розв'язання задачі контакту мікроелементів поверхні, створеної на основі концепції еліптичних параболоїдів як сукупності випадкових факторів. З врахуванням того, що раніше встановлено характер розподілу головних з цих характеристик, можливе отримання рішення для параметрів напруженого стану в мікроелементах. В цьому випадку стає вірогідним створення моделі поведінки певної сукупності мікроелементів в координатах тривалості циклічних навантажень, тобто прогнозування розкриття стику.

Література

1. Пастух І.М., Курской В.С. Методика ідентифікації поверхонь фретинг-контакту / І. М. Пастух, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 1. – С. 47-50.
2. Пастух І.М., Курской В.С. Модель контакту мікроелементів поверхонь / І. М. Пастух, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 2. – С. 23-30.
3. Курской В.С., Пастух І.М. Результуюча сила пружного контакту мікроелементів поверхні / В. С. Курской, І. М. Пастух // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 4. – С. 44-49.
4. Курской В.С. Формування моделі поверхні контакту та її характеристик / Курской В.С // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 3. – С. 11-15.

Надійшла 28.1.2011 р.

УДК 621.78/(66.088+537.52+66.046)

Н.С. МАШОВЕЦЬ, І.М. ПАСТУХ, В.Г. КАПЛУН

Хмельницький національний університет

С.М. ВОЛОШКО

Національний технічний університет "Київський політехнічний інститут"

ОБґРУНТУВАННЯ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКОВАНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Методами рентгеноструктурного аналізу, рентгенівської фотоелектронної спектроскопії та електронної оже-спектроскопії досліджені фазові перетворення на поверхні титанового сплаву VT8 після низькотемпературного безводневого азотування в тліючому розряді.

X-ray diffraction analysis, X-ray photoelectron spectroscopy and Electron Auger-spectroscopy investigation of phase transformation on the surface of titanium alloy VT8 after the low temperature hydrogen-free nitriding in the glow discharge.

Ключові слова: модифікація поверхні титанового сплаву, безводневе азотування, рентгеноструктурний аналіз, рентгенівська фотоелектронна спектроскопія, електронна оже-спектроскопія.

Вступ та постановка задачі

Традиційно поверхнева модифікація титанових сплавів азотуванням в тліючому розряді виконувалась при відносно високій температурі [1], проте, при цьому поверхневий шар стає крихким, що суттєво звужує ареал практичного використання методу. Низькотемпературним безводневим азотуванням в тліючому розряді (БАТР), не дивлячись на те, що на поверхні утворюється відносно тонкий шар нітридних структур і спостерігається порівняно невелика глибина дифузійної зони, завдяки саме більшій пластичності відкриваються нові можливості для використання модифікованих титанових сплавів в різних галузях промисловості. Дана робота присвячена дослідженню результатів низькотемпературного БАТР з метою напрацювання рекомендацій для подальшого їх практичного використання.

Експериментальні дослідження

Дослідження фазового складу проводилось методами рентгеноструктурного аналізу, рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (РФЕС) та електронної оже-спектроскопії (ЕОС). Зйомка рентгенівських дифракційних максимумів проводилась на ДРОН-3М в СоК_α випромінюванні, за схемою θ-2θ в інтервалі кутів 30°-100° з шагом 0,05° і експозицією 2 с. По результатам рентгеноструктурного методу також було визначено товщину покриття [2]. Пошаровий аналіз методом ЕОС проводився шляхом травлення поверхні зразків пучком іонів аргону діаметром 1,5 мм з енергією 3000 еВ та щільністю струму 400 мкА/см². Система