

МЕТОДИКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОВЕРХОНЬ ФРЕТИНГ-КОНТАКТУ

*Предложена методика определения параметров поверхностей, работающих в условиях фреттинга.
The procedure of definition by parameters of the surfaces working in requirements fretting is offered.*

Ключові слова: фреттинг, контакт поверхонь.

Вступ та постановка задачі. Задача визначення фактичної площі контакту є чи не центральною проблемою дослідження цілісності номінально-нерухомого з'єднання. Якщо навіть в найпростішому варіанті розглядати пару як сукупність мікроповерхні з ідеальною площиною (рис. 1), то фактична площа контакту (ФПК) формується як сума кінцевих елементарних площадок, причому в цьому варіанті вони всі паралельні контрповерхні K_p , в якості якої і виступає ідеальна площина. Проте роль кожної елементарної площадки різна, оскільки величина номінальних, максимальних напружень стиску, а також геометричних характеристик перетинів та їх співвідношення по цих площадках суттєво відрізняється.

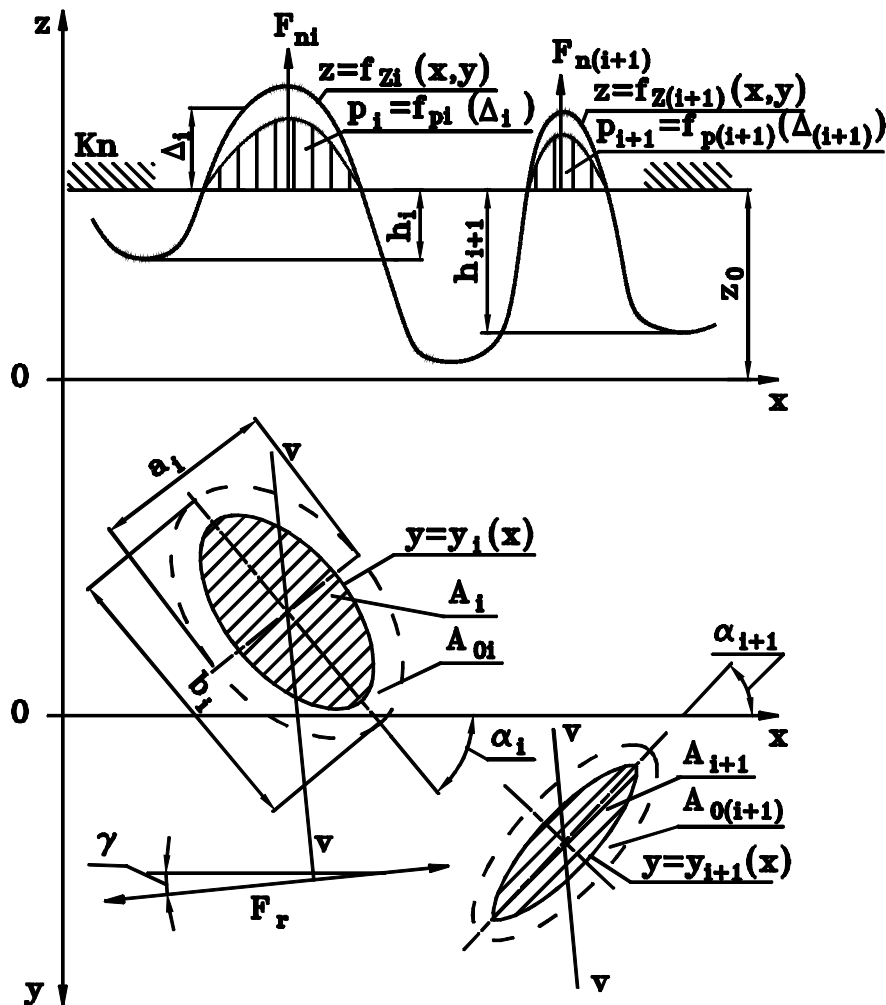


Рис. 1. Схема взаємодії мікропрофілю з ідеалізованою площиною

В загальному вигляді реальна поверхня складається з мікроелементів поверхні (МП), орієнтованих стосовно певної системи координат довільно. Ця орієнтація характеризується не тільки координатами якоїсь характерної точки прив'язки мікроелемента, але і кутами повороту фігури МП α_i , α_{i+1} тощо. Відповідно перетин МП теж може бути довільним і характеризуватись деякими розмірами a_i , b_i , площами основи A_{0i} , $A_{0(i+1)}$, а також геометричними характеристиками перетинів, які визначають міцність та жорсткість окремих елементів (осьовий момент опору, моменти інерції). Останні характеристики як важливий параметр, що впливає на сукупну жорсткість, витривалість при дії циклічних напружень та міцність всієї системи, слід визначати стосовно осей $V-V$, котрі перпендикулярні напрямку дії фрикційного збурювання F_r . Цей напрямок теж може характеризуватись певною орієнтацією, яка фіксується кутом між напрямком дії сили збурювання та однією з осей координат γ (тією ж, що вибиралась для вимірювання кутів α).

Кожний з МП може мати довільну форму, описану певною закономірністю виду $z = f_{zi}(x, y)$. Проте, виходячи з умови рівномірності всіх перетинів МП, слід зупинити вибір на формі параболоїда, а з врахуванням відзначеного вище стосовно різних геометричних розмірів та характеристик осей найбільш реально зупинитись на формі МП у вигляді параболоїда, в основі котрого лежить еліпс з довжинами осей a_i, b_i . З врахуванням реально незначних абсолютних значень розмірів МП таке допущення цілком обґрунтоване.

Мікроелемент поверхні контакту (МПК) для схеми, показаної на рис. 1, з врахуванням запропонованої параболоїдної моделі МП теж мати форму еліпса, довжини осей якого визначаються на основі розмірів осей з врахуванням параболічної форми всіх осьових перетинів.

Стан рівноваги системи контактуючих поверхонь має місце для певного положення контрповерхні K_p , яке відзначається деяким характерним розміром базової координати Z_0 , яка відмірюється від довільного, але стабільного, початкового положення. Відповідно це положення визначає залишкову висоту кожного МП стосовно його осей h_i, h_{i+1} тощо. При цьому кожний МП буде zdeформовано на величину Δ_i , яка буде змінюватись по поверхні МПК з врахуванням закону, за допомогою якого описана початкова поверхня МП. Тоді напруження стиску на поверхні МПК будуть змінюватись по закону виду $p_i = f_{pi}(\Delta_i)$. Проте при цьому слід врахувати одну суттєву обставину, яка полягає в тому, що напруження стиску на поверхні МПК $p_i = E_i e_i$ залежать не тільки від відносної деформації $e_i = \Delta_i / (\Delta_i + h_i)$, але також від модуля пружності, який при ущільненні поверхні теж буде змінюватись. З врахуванням мікророзмірів МП, що неминуче на перший план висуне питання масштабного фактора, котрий при таких незначних розмірах врахувати буде практично неможливо, ймовірно вихід полягатиме в тому, що модуль пружності в тій чи іншій мірі залежатиме від характеристики ущільнення поверхні, якою, наприклад може служити характер зміни мікроповерхневої твердості $H_i = H_0 + f_H(e_i)$, де H_0 – початкова мікроповерхнева твердість, а $f_H(e_i)$ – характер зміни її залежно від відносної деформації. Останній для спрощення задачі, а також з врахуванням локальності дії напружень стиску дуже імовірно може бути лінійним, хоча це питання може бути вирішене експериментально, наприклад шляхом визначення відповідних показників для двох поверхонь, форма яких наближається до ідеальних площин, після стиснення їх при певних значеннях контактних напружень.

Сума нормальних до площадок контакту рівнодійних F_{ni}, F_{ni+1} тощо повинна врівноважувати зовнішню силу, яка номінально направлена перпендикулярно до поверхні контакту. В подальшому історія поведінки пари фретинг-контакту складатиметься з безлічі історій перетворень в кожному з МПК. Залежно від величин напружень стиску та їх рівнодійної, жорсткості МП на згин (з врахуванням притискуючої дії рівнодійної), втомної витривалості МП, а також міцності його на згин в зоні МПК можливе взаємне переміщення за рахунок пружної деформації МП, проковзування по МПК, а також у зв'язку з руйнуванням МП. Останнє призводить до перерозподілу напружень стиску і продовження історії поведінки пари фретинг-контакту вже по новому сценарію.

Ще значно складнішою буде картина взаємодії елементів пари фретинг-контакту, якщо вони обидва матимуть форму, відмінну від ідеалізованої площини. Тоді конфігурація МПК буде просторовою, а нормальна до поверхні МПК сила розкладатиметься на декілька напрямків, орієнтованих певним чином стосовно напрямку дії сили збурювання F_r .

Викладене вище підтверджує важливість задачі ідентифікації поверхні шляхом характеристики її за допомогою системи певних параметрів.

Основні положення методики ідентифікації. Зміна тих чи інших характеристик поверхневого шару контактуючих деталей в результаті його модифікації, в певній мірі змінює рельєф поверхневого шару. В зв'язку з цим при проектуванні вузлів та конструкцій, що мають в своєму складі з'єднання, поверхні яких модифікувались, слід враховувати отриманий внаслідок обробки рельєф та його вплив на експлуатаційні властивості машини в цілому. Вихідна якість поверхні, отримана при технологічній обробці, має характеристики, які відрізняються від характеристик в процесі експлуатації. Це пов'язано з тим, що внаслідок впливу високоенергетичного потоку часток на поверхню та нанесення певного покриття (імплантація) відбувається зміна макрогеометричних характеристик поверхні. Макрогеометричні характеристики особливо важливі для початкових умов роботи оскільки в значній мірі впливають на фактичну площу контакту. Внаслідок технологічної обробки поверхня деталі набуває певної форми, яке не відповідає ідеальній поверхні, на поверхні виникає мікрорельєф, який формують шорсткість та хвилястість. При контакті таких поверхонь площа контакту не буде суцільною, а навантаження сприйматимуть лише певні ділянки поверхні. Сума площ таких ділянок складає фактичну площу контакту. Формування ФПК відбувається внаслідок зминання та взаємного проникнення окремих мікронерівностей. Визначення ФПК є важливим при проектуванні номінально нерухомих фрикційних з'єднань, оскільки величина відносних мікропереміщень в значній мірі залежить від нормального тиску. У зв'язку зі значною зміною ФПК змінюється сила тертя в контакті, а отже властивість контакту опиратися відносному тангенціальному зміщенню.

Макропрофіль поверхні, що утворюється в процесі обробки поверхневого шару високоенергетичними методами має характер регулярних западин та підйомів. Як було зазначено вище, ця особливість рельєфу в значній мірі впливає на розподіл сил в нерухомому з'єднанні в бік підвищення механічної складової.

Тому для кількісної та якісної оцінки робочих поверхонь на стадії проектування та початкових циклах навантаження доцільно застосувати методи математичного аналізу для формалізації геометрії поверхні. Оскільки при дослідженні фретингостійкості було застосовано широкий спектр методів модифікації поверхні, які в свою чергу змінюють геометрію поверхневого шару в широкому діапазоні значень – від зміни шорсткості до надання специфічної макрогеометричної форми (рис. 2) доцільно визначити критерії, що дозволять порівняти геометрію поверхні при різних способах модифікації поверхні.

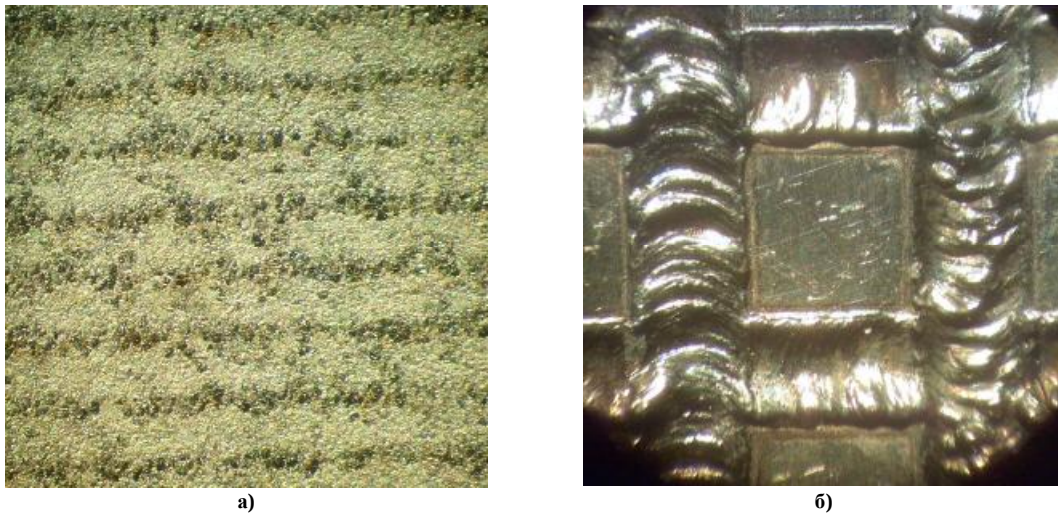


Рис. 2 – Вигляд поверхні після електроіскрового легування (а) та лазерного опромінення (б) (x100)

Для цього доцільно визначити кількісні характеристики профілю поверхні та чисельно виміряти величину та крок нерівностей. При отриманні профілю поверхні деталей після їх поверхневої модифікації він також має значні відхилення від номінальної форми поверхні. Враховуючи значний діапазон зміни висоти профілю, що утворився після обробки, для вимірювання нерівностей поверхні запропоновано вимірювання безконтактним методом, а саме методом світлового січення.

Метод полягає у наступному (рис. 3). Пучок світла, що подається від джерела світла 5 через вузьку щілину направляється окуляром 2 під кутом β на контрольовану поверхню 1 в місце встановлення січної заслінки 3. Відбите зображення переноситься через об'єтив 4 вимірювального мікроскопа, який встановлений під тим же кутом β . Величина нерівності визначається зі співвідношення $h = b \cdot \sin \alpha$.

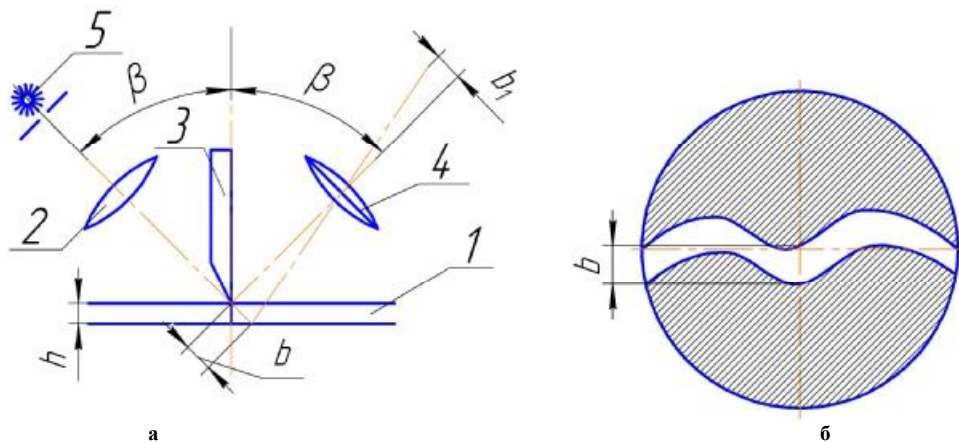


Рис. 3. Схема вимірювання висоти профілю
а – принципова схема вимірювання, б – до визначення ширини видимого контуру

На рис. 4 зображено вигляд контуру, отриманого запропонованим методом. Після цього графічний матеріал піддається обробці і отриманий контур представляється у вигляді числового ряду, графік отриманий на основі такого ряду (рис. 5) відображає форму та висоту відхилень геометричних характеристик поверхні.

Покриття, отримані для досліджень, наносяться з певною періодичністю (кроком), тому профіль поверхні після обробки з певними припущеннями можна вважати періодичним. В кінцевому результаті будь-яка з поверхонь може бути представлена у вигляді ряду Фур'є виду

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nwt + b_n \sin nwt),$$

де
$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt, \quad a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos n\omega t dt, \quad b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin n\omega t dt.$$

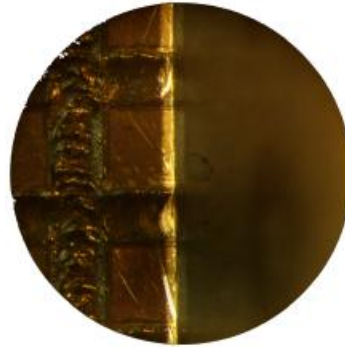
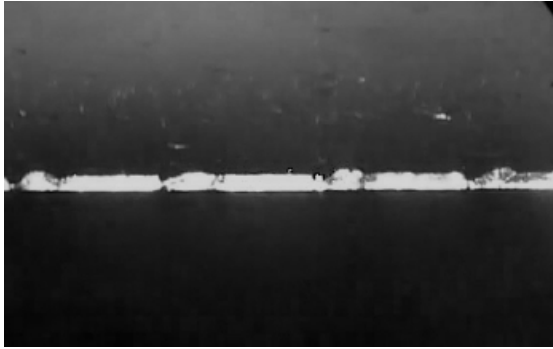


Рис. 4. Вигляд контурів зрізів в процесі вимірювання параметрів поверхні

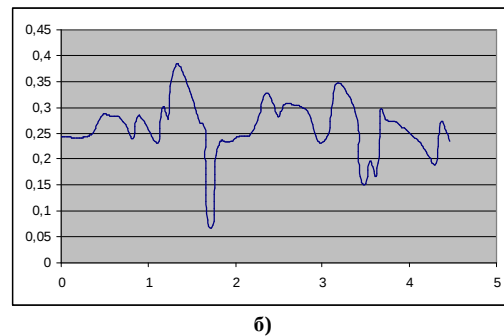
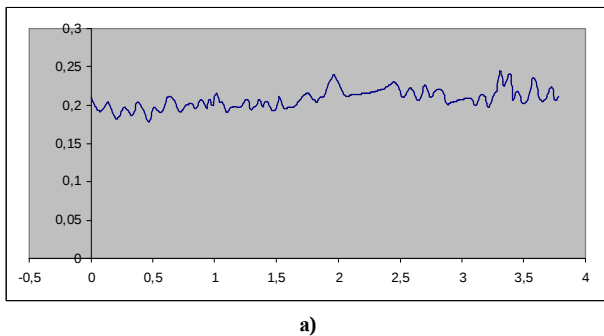


Рис. 5. Профіль поверхні після електроіскрового легування (а) та лазерного опромінення (б)

Висновок. Запропонована методика ідентифікації поверхонь контакту практично апробована і може бути використана для досліджень фретингостійкості номінально нерухомих фрикційних з'єднань. Отримані характеристики передбачається використати для обґрунтування параметрів аналітичної моделі фрикційного контакту.

Література

1. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 608 с.

Надійшла 8.12.2009 р.

УДК 621.78/ (66.088+537.52+66.046)

А.М. ДАВИДОВ, М.В. ЛУК'ЯНЮК, І.М. ПАСТУХ

Хмельницький національний університет

АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЖИМУ АЗОТУВАННЯ В ЦИКЛІЧНО КОМУТОВАНОМУ ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Наведені основні передумови та принципи використання циклічно-комутованого тліючого розряду для азотування металевих поверхонь.

The base requirements and principles of application cyclically – commuted a glow discharge for a nitrogen hardening of metal surfaces are reduced.

Ключові слова: азотування, тліючий розряд

Вступ. Відповідно до даних, які наведені в джерелах [1-4], впровадження режиму циклічної комутації при азотуванні в тліючому розряді відкриває додаткові можливості підвищення ефективності та якості вказаної технології, насамперед:

- розширюється можливість азотування деталей складної форми (наявність глибоких та вузьких пазів, отворів малого діаметра та значної глибини тощо);
- знижується ризик локальних ушкоджень модифікованих поверхонь за рахунок зменшення імовірності виникнення дугових розрядів;
- розширюється допустимий діапазон регулювання таких важливих з точки зору оптимізації технологічного процесу параметрів як тиск в розрядній камері та температура поверхні деталей;