

УДК620.179.118(045)

ПОРІВНЯННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ МЕТОДУ ДИНАМІЧНОГО ФОКУСУВАННЯ ТА ДИФЕРЕНЦІЙНО-ФАЗОВОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХОНЬ

О. У. Стельмах, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.;
О. С. Софронов, С. О. Чернишова

Національний авіаційний університет
int2080@ukr.net

Розглянуто диференційно-фазовий метод та метод динамічного фокусування, які використовуються у приладах: диференційно-фазовий лазерний скануючий профілограф-профілометр (ДФЛСПП) та мікроскоп «Мікроскан» відповідно. Проведено експериментальне порівняння визначення тривимірного мікро- та нано-геометричного стану поверхні та стандартизованих параметрів шорсткості поверхонь за допомогою цих методів.

Ключові слова: зображення шорстких поверхонь; диференціально-фазовий лазерний сканувальний профілограф-профілометр (ДФЛСПП), мікроскоп «Мікроскан», шорсткість; акусто-оптичний метод сканування.

In this work is considered differential-phase method and method of autofocusing, which are used on differential-phase laser scanning profilograph-profilometer (DFLSPP) and microscope «MICROSCAN» correspondently. Also is considered experimental comparison of defining of 3D micro- and nano-geometrical surface conditions and standardized roughness parameters of surface with the help of those methods.

Keywords: image of rough surfaces, differential-phase laser scanning profilograph-profilometer (DFLSPP), microscope «Microscan», roughness, akusto-optical method of scanning.

Вступ

Практично всі сучасні машини та механізми являють собою сукупність вузлів тертя, які реалізують контактну взаємодію деталей їх робочими поверхнями, що знаходяться у відносному русі. З трибології граничного змащування відомо про надзвичайно великий вплив вихідної шорсткості поверхонь тертя на трибологічні властивості трибосистеми ковзання або кочення. У зв'язку з цим, при виготовленні деталей на виробництві широко застосовують різноманітні методи кількісного визначення параметрів шорсткості. У виробництві найчастіше застосовуються контактні профілографи-профілометри типу «Калібр», моделі 201, «ТЕЙЛОР ХОБСОН», «SURTRONIC-10». Контактні методи дають змогу описувати мікрогеометричний стан поверхонь лише за однією профілограмою і не дають уявлення про об'ємний стан поверхні, який залежно від напрямку експлуатації при терті є визначальним фактором, що впливає на зносостійкість трибосистеми [1].

Постановка проблеми

На зміну контактним, малоінформативним та руйнівним методам приходять сучасні безконтактні оптичні методи та засоби, зокрема лазерний безконтактний диференційно-фазовий метод та метод динамічного фокусування, які використовуються у ДФЛСПП вітчизняного виробництва [2] та в мікроскопі «Мікроскан» (Німеччина). Ці прилади та методи дають принципово нову, якісно та високоточно-кількісну інформацію про

об'ємний тривимірний мікро- та нанометровий геометричний стан поверхонь.

У цій статті наведено результати експериментальних досліджень шорстких поверхонь з використанням двох приладів (ДФЛСПП та «Мікроскан») за відповідними методиками.

Основна частина

Сьогодні для контролю шорсткості робочих поверхонь деталей вузлів тертя та зразків використовується контактний метод, у якому голка, що має радіус закруглення 2...4 мкм, ковзає по прямолінійній траскторії по поверхні зразка. Цей самий метод використовується для вимірювання величини зношення сліду тертя після проведення триботехнічних випробувань.

Проведені на приладі тертя АСК-01 експерименти, де зберігається постійний лінійний контакт, радіальні відхилення не перевищують 1 мкм, а осеві 0,1 мкм, показали, що основним та найважливішим фактором, який впливає на результати трибологічних випробувань паливно-мастильних матеріалів (ПММ), є вихідний стан робочих поверхонь тертя зразків.

При цьому застосування контактного методу не забезпечує належний контроль стану поверхні, не дає змогу отримати повну інформацію про поверхні, особливо таку як шорсткість відносно напрямку ковзання, що має принциповий вплив на характер та величину зношення [1].

Крім того, прилади, які ґрунтуються на цьому методі, сканують поверхню, за одним напрямком, по лінії. При такому типі контролю об'ємна та

просторова оцінки стану поверхні є надто трудномісткою. Індентор, який використовується як щуп для оцінювання поверхні тертя, має радіус закруглення (близько 2 мкм). Це пов'язано з технологічними особливостями та конструкцією приладів та чутливих елементів, що реалізують метод. Але такий підхід призводить до того, що апаратна частина принципово не може адекватно фіксувати геометричний характер поверхні, якщо він має нерівності менші за діаметр заокруглення чутливого елемента. Таким чином, тільки безконтактний метод, який забезпечується оптичними методами вимірювання та контролю стану поверхні, має можливість повною мірою відображати та описувати 3-D стан поверхні.

Диференційно-фазовий метод

Прилад вітчизняного виробництва ДФЛСПП був створений для отримання достовірних даних про стан поверхні та отримання диференційно-фазового зображення. Принцип дії приладу побудований на акусто-оптичному скануванні об'єкта лазерним променем, що поділяється на два промені за допомогою кристалу парателуриту, де вони розчіплюються по двох ортогональних напрямках (рис. 1).

При скануванні вони відбиваються від поверхні створюючи тривимірне диференційно-фазове зображення (рис. 2).

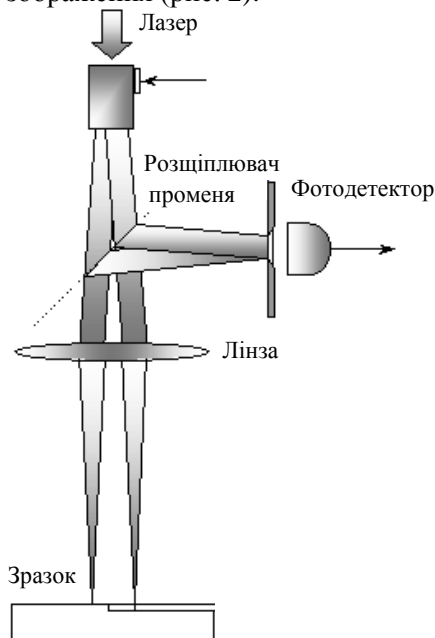


Рис. 1. Принцип дії диференційно-фазового методу

Для дослідження фазових змін, що відбиваються зі світловою хвилею в середовищі, використовують диференційно-фазовий метод, який дозволяє розробити оптичну схему практично нечутливу до вібрацій.

Метод полягає у отриманні інформації про локальну різницю фаз двох променів (опорного та сигнального), з якої можна відтворити інформацію про локальні викривлення поверхні хвильового фронту шляхом її сканування та інтегрування вимірених даних [3].

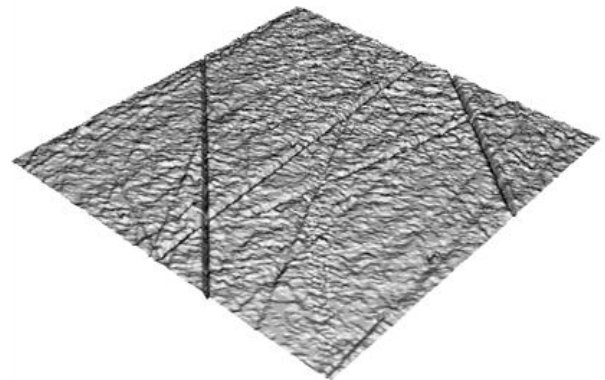


Рис. 2. Тривимірне зображення ділянки об'єкта на ДФЛСПП

Метод динамічного фокусування

Прилад «Мікроскан» (μ scan) німецького виробництва фірми NanoFocus [4] був створений для досягнення тих самих цілей, що і ДФЛСПП. Але принцип дії цього приладу зовсім інший. У ньому є датчик фокусування, що забезпечує автофокусування за допомогою рухомої лінзи, шляхом переміщення повздовж шкали вимірювання (рис. 3).

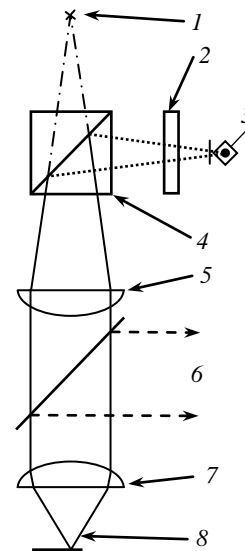


Рис. 3. Принцип дії методу динамічного фокусування:

1 — лазерний діод; 2 — циліндрична лінза;
3 — датчик фокусування; 4 — розщеплювач променя;
5—7 — рухомі лінзи; 8 — фокусований лазерний промінь

Досліджуваний зразок рухається під променем лазера із заданою швидкістю, у комп'ютер

надходить інформація, що визначається шкалою вимірювань про положення рухомої лінзи залежно від висоти рельєфу даного зразку. Чим більше буде отримано сфокусованих точок, тим якісніше буде отримане зображення (рис. 4).

Кількість точок майже не обмежена, але потребує відповідних витрат часу. Максимальне поле зору може сягати ділянки площею $10 \times 10 \text{ см}^2$.

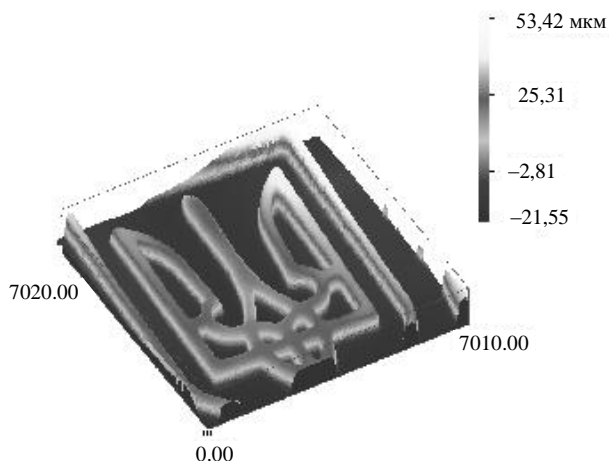


Рис. 4. Тривимірне зображення фрагменту $7 \times 7 \text{ мм}^2$ української 1 копійки на мікроскопі «Мікроскан»

Експериментальне визначення можливостей приладів ДФЛСПП та «Мікроскан»

Важливою особливістю ДФЛСПП та мікроскопа «Мікроскан» є можливість визначення та вимірювання об'ємного стану шорстких поверхонь. Програмне забезпечення обох приладів дає можливість визначати головні параметри шорсткості поверхонь на досліджуваних ділянках зразків. Обидва прилади мають різні принципи вимірювань і технічні характеристики.

Таким чином, на ДФЛСПП можуть бути визначені стандартизовані параметри шорсткості зразків із R_z (висотою нерівності профілю по 10 точках) та R_{max} (найбільшою висотою нерівності профілю) у діапазоні від 0,005 до 0,320 мкм, а на приладі «Мікроскан» від 0,025 до 1250 мкм (див. таблицю).

Отримані параметри шорсткості на приладі «Мікроскан» автоматично порівнюються із міжнародними стандартами ISO 11562, що дуже зручно у разі використання на виробництві.

Також слід зазначити, що важливим параметром при дослідженні об'єкта є його придатність до віддзеркалення лазерних променів від поверхні зразка. Якщо на ДФЛСПП використовувати інші об'єктиви, не вказані у таблиці, можна досліджувати об'єкти і з меншим коефіцієнтом віддзеркалення.

Технічні параметри мікроскопів

Технічні параметри	Мікроскоп			
	ДФЛСПП		«Мікроскан»	
	Тип об'єктива			
	ПЛАН, F = 6,3, A = 0,65	ПЛАН, F = 16, A = 0,3	автофокус	
AF2			AF5	
Максимальна площа сканування, мм	2,5×2,5 0,8×0,8	5×5 3×3	100×100	
X, Y – розподільна здатність, мкм	0,8	0,6	1	1
Викривлення поверхні, град/ мкм	20	8	26	19
Коефіцієнт віддзеркалення від поверхні, %	≥ 50		0...100	
Висота вимірювання сходинки рельєфу, мкм	≤ 0,32		≤ 1500	
Розподільна здатність по рельєфу, нм	≤ 10		≥ 25	
Тип сканування	Акусто-оптичне		Механічне	

Висновок

При виборі сучасних оптичних мікроскопів для використання на виробництві перед споживачами виникає потреба в техніко-економічному обґрунтуванні придбання того чи іншого оптимального приладу.

Порівняння технічних можливостей показало, що диференційно-фазовий метод сканування (ДФЛСПП) має такі основні переваги над методом динамічного фокусування («Мікроскан»):

- менша чутливість до вібрацій;
- чутливість по висоті рельєфу до 1 нм («Мікроскан» — більше 25 нм);
- можливість досліджувати об'єкти практично будь-яких габаритів;
- сканування відбувається акусто-оптичним методом у кристалі парателуриту, тобто без руху досліджуваного об'єкта та оптичної системи.

При цьому на вітчизняному мікроскопі ДФЛСПП відзначається відсутність автоматичного фокуса, недостатньо великий діапазон вимірювань по висоті профілю (може бути виміряна перпендикулярна сходинок висотою не більше 320 нм), що реалізовано у мікроскопі «Мікроскан» (Німеччина). Ці недоліки принципово можуть бути усунуті в нових модифікаціях ДФЛСПП.

Перевагами німецького мікроскопа є:

- широкий діапазон вимірювань;
- автофокус.

До недоліків приладу «Мікроскан» належать:

- мала чутливість по профілю;
- механічне сканування, що породжує вібрацію та зменшує чутливість по профілю.

Порівняння ціни й технічних характеристик приладів, у яких реалізовані різні методи, свідчать про необхідність проведення подібних досліджень з метою оптимального вибору за критерієм ціна — точність — доцільність, що дозволить зробити правильний вибір споживачам при

закупівлі того чи іншого приладу з тим чи іншим методом визначення шорсткості поверхонь.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лазерний скануючий профілограф-профілометр ДЕДАЛ-ЛСПП // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» / О. У. Стельмах, С. М. Кияшко, Є. М. Смирнов [та ін.]. — К., 2005.

2. Патент 217 9328 С1 РФ, МКИ 7G02 В21/00, G01 В11/30. Способ дифференциально-фазовой профилометрии и/или профилометрии и устройство для его реализации / С. Н. Кияшко (РФ), Е. Н. Смирнов, Л. Н. Ельченко, С. А. Коленов, А. У. Стельмах (Украина). — №2001116525/28; Заявлено 19.06.01; Опубл. 10.02.02, Бюл. № 4. — С. 15.

3. Коленов С. О. Аналіз викривлень хвильового фронту лазерним диференційно-фазовим методом. Автореф. дис... канд. фіз.-мат. наук: 01.04.05 / Київський національний ун-т імені Тараса Шевченка. — К., 2003.

4. [Електронний ресурс]. — Режим доступу <http://www.nanofocus.com>

Стаття надійшла до редакції 29.10.2012.