

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПОРІВНЯННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНО-ФАЗОВОГО МЕТОДУ ТА МЕТОДУ ДИНАМІЧНОГО ФОКУСУВАННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХОНЬ

Стельмах О. У., канд. техн. наук; Бадір К. К., Андреева Д. В.

Національний авіаційний університет

int2080@ukr.net

*Розглянуто диференціально-фазовий метод та метод динамічного фокусування, які використовуються у приладах: диференціально-фазовий лазерний сканувальний 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:** 3-D зображення шорстких поверхонь; диференціально-фазовий лазерний сканувальний профілограф-профілометр (ДФЛСПП); мікроскоп «МІКРОСКАН»; шорсткість; акустично-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.*

**Key words:** 3-D 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, під час виготовлення 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 чинником, 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 диференціально-фазовий метод та метод динамічного фокусування, які використовуються відповідно 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 праці 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 траєкторії поверхнею зразка. Цей же 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 осьові — 0,1 мкм, показали, що основним та найважливішим чинником, 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 трудомісткими. Індентор, який використовується як щуп для оцінювання поверхні тертя, має радіус закруглення (близько 2 мкм).

Це пов'язано з технологічними особливостями та конструкцією приладів і 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.

### Диференціально-фазовий метод

Прилад вітчизняного виробництва ДФЛСПП був створений для отримання достовірних даних про стан поверхні та отримання диференціально-фазового зображення.

Принцип дії приладу побудований на акустично-оптичному скануванні об'єкта лазерним променем, що поділяється на два промені за допомогою кристалу парателуриту, де вони розчіплюються за двома ортогональними напрямками (рис. 1).

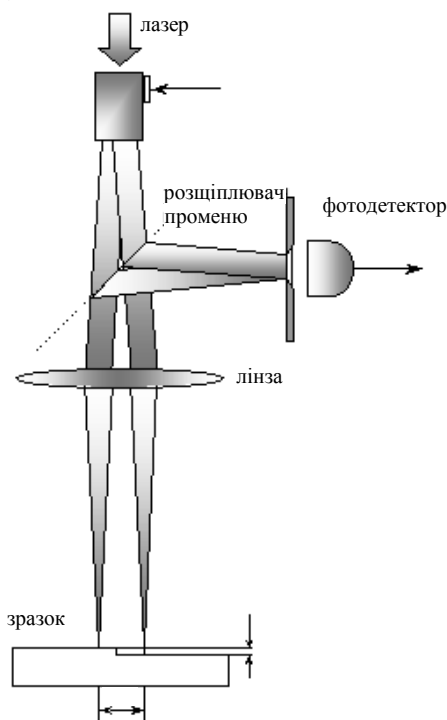


Рис. 1. Принцип дії диференціально-фазового методу

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

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

Метод полягає в отриманні інформації про локальну відмінність 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].

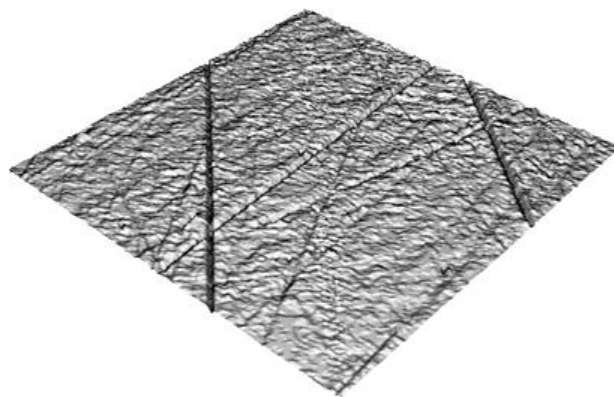


Рис. 2. Тривимірне зображення ділянки об'єкта на ДФЛСПП

### Метод динамічного фокусування

Прилад «МІКРОСКАН» (*µscan*) 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).

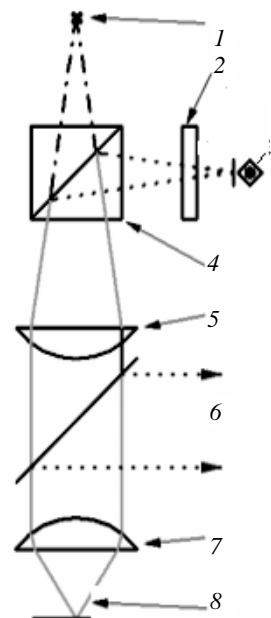


Рис. 3. Принцип дії методу динамічного фокусування:

- 1 — лазерний діод; 2 — циліндрична лінза;
- 3 — датчик фокусування;
- 4 — розщеплювач променю, 5–7 — рухомі лінзи;
- 8 — сфокусований лазерний промінь.

Досліджуваний зразок рухається під променем лазера з заданою швидкістю. У комп'ютер надходить інформація, що визначається шкалою вимірювань про положення рухомої лінзи залежно від висоти рельєфу даного зразка. Чим більше буде отримано сфокусованих точок, тим якісніше буде отримане зображення (рис. 4). Кількість точок майже не обмежена, але потребує затрат часу. Максимальне поле зору може сягати ділянки площею  $10 \times 10 \text{ см}^2$ .

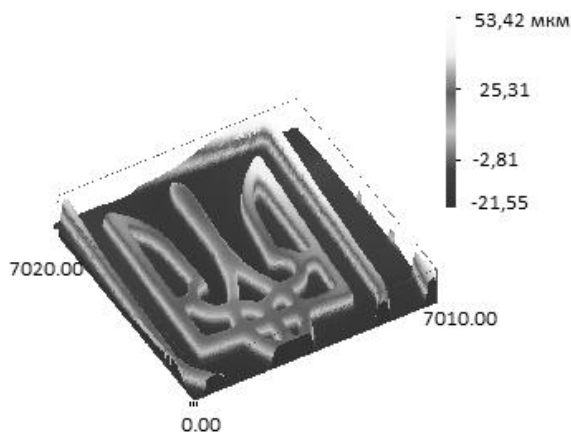


Рис. 4. Тривимірне зображення фрагменту 7x7 української копійки на мікроскопі «МІКРОСКАН»

#### Експериментальне визначення можливостей приладів ДФЛСПП та «МІКРОСКАН»

Важливою особливістю ДФЛСПП та мікроскопу «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 та відповідно технічні характеристики.

Таким чином на ДФЛСПП можуть бути визначені стандартизовані параметри шорсткості зразків із  $R_z$  (висотою нерівності профілю за 10 точками) 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 з міжнародними стандартами ISO 11562, що дуже зручно при використанні на виробництві.

Також слід відзначити, 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 мікроскопа

Технічні параметри	Мікроскоп			
	ДФЛСПП		«МІКРОСКАН»	
	Тип об'єктиву			
	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 – розподільча здатність, мкм	0,8	0,6	1	1
Викривлення поверхні, градус/мкм	20	8	26	19
Коефіцієнт віддзеркалення від поверхні, %	≥ 50		0...100	
Висота вимірювання сходинок рельєфу, мкм	≤ 0,32		≤ 1500	
Розподільча здатність за рельєфом, нм	≤ 10		≥ 25	
Тип сканування	Акустично-оптичне		Механічне	

#### Висновок

Під час вибору 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 диференціально-фазовий метод сканування (ДФЛСПП) має такі основні переваги над методом динамічного фокусування («МІКРОСКАН»):

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

Зокрема на вітчизняному мікроскопі ДФЛСПП відзначається відсутність автоматич-

ного фокусу, недостатньо великий діапазон вимірювань щодо висоти профілю (може бути виміряна перпендикулярна сходинка висотою не більше 320 нм), що реалізовано у мікроскопі «МІКРОСКАН» (Німеччина).

Ці недоліки принципово можуть бути усунуті в нових модифікаціях ДФЛСПП.

Перевагами німецького мікроскопу є:

— широкий діапазон вимірювань;

— автофокус.

До недоліків приладу «МІКРОСКАН» належать:

— мала чутливість щодо профілю;

— механічне сканування, що зумовлює вібрацію та зменшує чутливість по профілю.

Порівняння ціни та технічних характеристик приладів, в яких реалізовані різні методи, свідчать про необхідність проведення подібних досліджень з метою оптимального вибору за критерієм ціна—точність—доцільність, що дасть змогу зробити правильний вибір споживачам під час

закупівлі будь-якого приладу з тим чи іншим методом визначення шорсткості поверхонь.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Стельмах О. У.* Лазерний скануючий профілограф-профілометр ДЕДАЛ-ЛСПП / Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» / О. У. Стельмах, С. М. Кияшко, Є. М. Смірнов [та ін.]. — К., 2005. — С. 136—145.

2. *Патент 217 9328 С1 РФ, МКИ 7G02 В21/00, G01 В11/30.* Спосіб дифференціально-фазової профілометрії и/или профілометрії и устройство для его реализации / С. Н. Кияшко (РФ), Е. Н. Смирнов, Л. Н. Ельченко, С. А. Коленов, А. У. Стельмах (Україна). — 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 ім. Тараса Шевченка. — К., 2003. — С.

4. <http://www.nanofocus.com>

Стаття надійшла до редакції 08.09.10.