

техн. наук.-Пенза, 1995 г., -18 с.

1. Тихан М. О., Малець Р. Б., Шинкаренко Г. А. Моделювання термомеханічних процесів в конструктивних елементах вимірювачів тиску // *Машинознавство. Всеукраїнський щомісячний науково-технічний і виробничий журнал.* – 2008. - №6. - С. 26-31.
2. Тихан М. О. Спосіб вимірювання тиску в умовах нестационарних температур. *Приладобудування // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія приладобудування.* - 2008. – Вип. 35, - С. 77-84.

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Тихан М.А. Коррекция температурной погрешности тензорезистивного датчика давления при нестационарном термовлиянии.</b><br/>Показано, что термодетформация корпуса датчика давления является существенной причиной определенного слагаемого температурной погрешности и предложен способ быстродействующей коррекции выходного сигнала датчика исходя из этой погрешности<br/><b>Ключевые слова:</b> температурная погрешность, датчик давления, коррекция</p> | <p><b>Tykhon M.O. The compensation of piezoresistive pressure sensors temperatures error under nonstationary temperatures.</b><br/>The thermodeflections of pressure sensors body is important source of temperatures error has been show. The method of fast compensation of sensors output signal relevant to temperatures error has been proposed.<br/><b>Keywords:</b> temperatures error, pressure sensor, compensation</p> |
|---|--|

*Надійшло до редакції  
15 березня 2010 року*

## **ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ**

УДК 621.923

### **МЕТОДИКА РЕЄСТРАЦІЇ КУТОВИХ ДІАГРАМ ВІДБИВАННЯ І РОЗСІЯННЯ СВІТЛА ПРЕЦИЗІЙНИХ ОПТИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ**

<sup>1)Яцук В.П., <sup>1)Пригодюк О.А., <sup>2)Філатов О.Ю., <sup>2)Філатов Ю.Д., <sup>3)Хайзель У.,  
<sup>3)Сторчак М., <sup>4)Монтей Г., <sup>1)Київський Національний Університет ім. Тараса Шевченка,  
м. Київ, Україна, <sup>2)Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ,  
Україна, <sup>3)Штуттгартський університет, м. Штуттгарт, Німеччина, <sup>4)Національна Вища  
школа механіки і мікротехніки, м. Безансон, Франція</sup></sup></sup></sup></sup></sup></sup></sup></sup></sup></sup>

*Описано методику реєстрації кутових діаграм відбивання і розсіяння світла і показано, що за індикатрисами розсіяння при оптимальному напрямку спостереження можна оцінити шорсткість оптичних поверхонь за шириною піка, що спостерігається на фоні незмінного  $n'$  едесталу*

**Ключові слова:** *методика реєстрації кутових діаграм, прецизійні оптичні поверхні.*

#### **Вступ. Постановка завдання**

При поліруванні поверхонь деталей з неметалевих матеріалів найважливішим завданням є контроль шорсткості обробленої поверхні, яка кількісно характеризує

якість обробки. З цією метою зазвичай використовують профілометричні методи [1–3], а останнім часом – методи атомно-силової мікроскопії [4]. Ці методи дозволяють отримати детальну характеристику профілю обробленої поверхні.

Проте часто потрібно знати не тільки профіль обробленої поверхні, а й усереднену (інтегральну) характеристику її шорсткості. В таких випадках використання цих методів недоцільне, оскільки вони вимагають достатньо дорого устаткування і тривалих процедур підготовки та вимірювання. В цих випадках можуть бути використані оптичні методи контролю шорсткості, які потребують значно менших витрат часу, простіші в користуванні і можуть бути реалізовані без усіляких ускладнень.

Зв'язок коефіцієнтів відбивання та розсіяння світла обробленою поверхнею неметалевих матеріалів з висотними параметрами її шорсткості  $Ra$ ,  $Rz$  експериментально встановлено в [3, 5, 6]. Зменшення шорсткості поверхні призводить до зменшення коефіцієнта розсіяння і збільшення коефіцієнта відбивання на одиниці або десяті долі відсотка. Зміни цих коефіцієнтів обумовлені відповідними змінами діаграми відбивання (розсіяння) оброблених поверхонь.

### **Методика експерименту**

Експериментальна установка для реєстрації діаграм відбивання та розсіяння світла на базі стандартного гоніометра Г5 [2] (рис. 1) включала джерело зондуючого випромінювання – напівпровідниковий лазер 1 з довжиною хвилі  $\lambda=618$  нм, діафрагму 2, світлоподільну пластинку 6, юстувальний механізм тримача 4 з вібратором 5а, світлоподільну пластинку 6 та кутовий аналізатор (КА) 7, принципова схема якого зображена на рис. 2, світловод 8 та подвійний призмий монохроматор (ДМР-4) 9, налаштований на довжину хвилі випромінювання лазера. З виходу монохроматора випромінювання попадало на фотоелектронний помножувач (ФЭУ-136) 10, сигнал якого після підсилення в підсилювачі постійного струму 11 та перетворення в числовий код амплітудно-цифровим перетворювачем 12 записувалось в файл даних на персональному комп'ютері 13. Після запису значення сигналу відбувалось кероване повертання аліади гоніометра на заданий кут за допомогою крокового двигуна 14. Відповідно до заданих параметрів задавались крок і межі сканування по куту, коефіцієнт підсилення підсилювача, необхідна кількість зчитувань сигналу при кожному значенні кута, визначалась величина шумового сигналу для його віднімання від амплітуди сигналу, записувались параметри реєстрації та кутова діаграма відбивання (розсіяння). Кут спостереження розсіяного випромінювання визначається за допомогою вимірювального механізму гоніометра.

Для зменшення впливу спеклової структури поля відбитого та розсіяного випромінювання на реєстрацію діаграм відбивання перед кутовим аналізатором розташовувався прозорий пластмасовий диск обтюратора 5б. При реєстрації діаграм розсіяння іноді замість диска використовувалася електровібратор 5а, до якого кріпиться досліджуваний зразок. В обох випадках – обертання диска в пучку відбитого випромінювання і вібрація розсіювального зразка – періодично

змінюють оптичну різницю ходу пучків, які інтерферують, що призводить до осциляції спеклової структури світлового поля відносно вихідної щілини кутового аналізатора з частотою 100 Гц. При тривалості реєстрації відбитого (розсіяного) світла 1с кількість осциляцій становить 100, що призводить до усереднення інтенсивності розсіяного світла по спеклах.

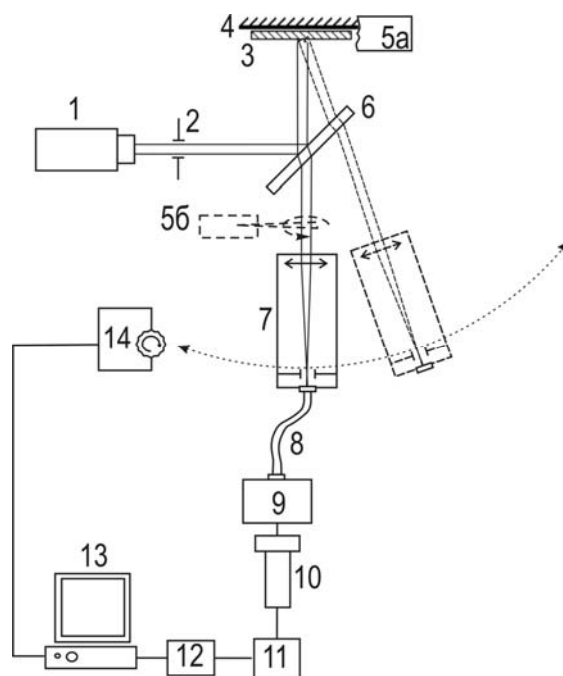


Рис. 1. Схема реєстрації кутової діаграми відбивання та розсіяння, де: 1 – лазер; 2 – діафрагма; 3 – досліджуваний зразок; 4 – тримач зразків з юстувальним механізмом; 5а – тримач зразків з вібратором; 5б – обтюратор; 6 – світлоподільна пластина; 7 – кутовий аналізатор; 8 – світловод; 9 – подвійний монохроматор ДМР-4; 10 – фотоелектричний помножувач; 11 – підсилювач постійного струму; 12 – АЦП; 13 – ПК; 14 – кроковий двигун з блоком керування.

На рис. 2 наведено оптичну схему кутового аналізатора, що складається із збираючої лінзи, поляроїда та діафрагм. Вихідна діафрагма 6 розташована в фокусі лінзи і пропускає лише той паралельний пучок, що падає на лінзу вздовж її осі. Інші паралельні пучки затримуються нею або діафрагмами 4, 5, які також усувають розсіяне світло. Поляроїд, розташований між вихідною діафрагмою та вихідним отвором, слугує для вибору поляризації відбитого (розсіяного) світла, що реєструється. Оскільки відбите світло лінійно поляризоване, а розсіяне – деполаризоване, то поворот поляризатора дозволяє ослабити відбиту компоненту пучка на фоні розсіяної складової, що важливо при реєстрації кутових діаграм розсіяння. Роздільна здатність кутового аналізатора визначається відношенням діаметра  $d$  вихідної діафрагми 6 до фокусної відстані  $f$  лінзи і складає  $\delta\varphi = d/2f = 1,5'$ .

Для реєстрації кутових діаграм відбивання використовувалась також видозмінена схема з кутом падіння променя зондування на поверхню зразка  $45^\circ$ . В цій схемі усунута світлоподільна пластинка 6 а зразок розвернутий на  $45^\circ$ . Кожний із варіантів вимірювань має свої переваги. Перший варіант – більш універсальний, оскільки дозволяє реєструвати діаграми і відбивання і розсіяння. Однак для прозорих зразків його використати ускладнюється, оскільки при куті падіння  $0^\circ$  на відбитий пучок впливає тильна поверхня зразка та від другої поверхні світлоподільної пластинки. Другий варіант вільний від цього недоліку, оскільки при куті падіння  $45^\circ$  відбитий від тильної поверхні пучок зміщений відносно відбитого від передньої поверхні пучка і тому легко екранується.

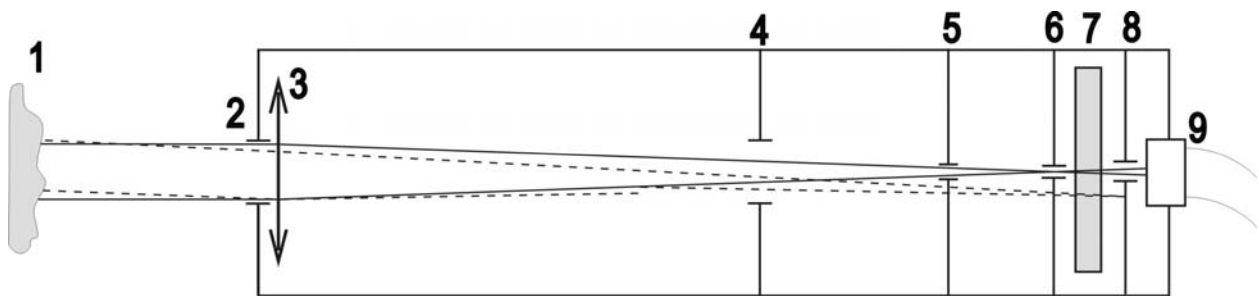


Рис. 2. Схема кутового аналізатора, де: 1 – досліджуваний зразок; 2 – вхідний отвір; 3 – лінза; 4, 5, 6 – діфрагми; 7 – поляроїд; 8 – вихідний отвір; 9 – вхід світловода

При відлагодженні методики реєстрації кутових діаграм відбивання особлива увага зосереджувалась на максимальному усуненні потрапляння розсіяного в КА світла на його вихід. Це особливо важливо при реєстрації розсіяної складової діаграми відбивання зразків з малою шорсткістю поверхні, оскільки навіть невелика частина розсіяного в КА пучка, що потрапляє на його вихідний отвір, може бути суттєвою порівняно з цією мало інтенсивною складовою. При недостатньо відлагоджених діфрагмах 4–6 (рис. 2) розсіяне в КА світло може призвести до появи додаткових гострих піків на діаграмі відбивання (розсіяння), якщо розсіяння відбувається на краю діфрагм (бліки), і у вигляді низьких розлогих максимумів, якщо розсіяння відбувається на стінках трубки КА. Розташування цих піків на діаграмі визначається кутовою орієнтацією розсіювальних країв діфрагми. Розсіяння на діфрагмі 6, що має найменші кутові розміри, може призвести до накладання розсіяного піка на пік діаграми відбивання і тим самим призвести до розширення останнього.

Реєстрація діаграм відбивання при  $45^\circ$  куті падіння пучка зондування на еталонну поверхню деталі з оптичного скла марки К8, оброблену з відхиленням від площини менше  $\lambda/10$ , шорсткістю  $Rz$  0,05 та оптичною чистотою РІІ за ГОСТ 11141-84, здійснювалось при орієнтації оптичної осі КА вздовж площини дзеркального відбиття (рис. 3) і при роз'юстуванні її відносно цієї площини на кути  $\alpha = 2'$ ,  $4'$  та  $6'$ , що відповідно дорівнює кутовій роздільній здатності КА та перевищує її вдвічі та втричі (Рис. 4, 5). Реальне співвідношення висот макси-

мумів діаграм для вказаних кутів становить  $1:0,3:0,019:0,0025$ . В останньому випадку прямий пучок повністю затримується діафрагмами 4–6 (рис. 2) і увесь розсіюється в КА. На вихідний отвір 8 може попадати лише розсіяне в КА світло, яке в цьому випадку має максимальну величину.

Як видно із рис. 3, внесок розсіяного в КА світла у кутову діаграму розсіяння при орієнтації осі КА вздовж площини дзеркального відбиття практично не проявляється. Кутова ширина діаграми відбивання становить  $\delta\theta = 0,73$  мрад ( $2'$ ), що приблизно відповідає реальній кутовій роздільній здатності КА. При відхиленні осі КА від площини дзеркального відбиття висота максимуму діаграми відбивання швидко спадає (рис. 4) і при трикратному перевищенні ( $6'$ ) кутової ширини діаграми відбивання ( $2'$ ) становить 0,25% її величини в площині дзеркального відбиття. Форма діаграми розсіяння при цьому залишається практично незмінною (рис. 5). Лише при найбільшому куті ( $\alpha = 6'$ ) з'являється ледь помітний широкий п'єдестал, висотою менше 5% від максимуму піка діаграми, що становить  $\sim 0,01\%$  від висоти максимуму діаграми в площині дзеркального відбиття. Велика кутова ширина п'єдесталу свідчить про те, що розсіяння на великі кути відбувається в початкових ділянках КА (до діафрагми 5).

Практична незмінність форми основного піка діаграми розсіяння від кута нахилу оптичної осі КА до площини дзеркального відбиття (рис. 5) свідчить, що розсіяння на останній обмежуючій діафрагмі 6 незначно впливає на його форму.

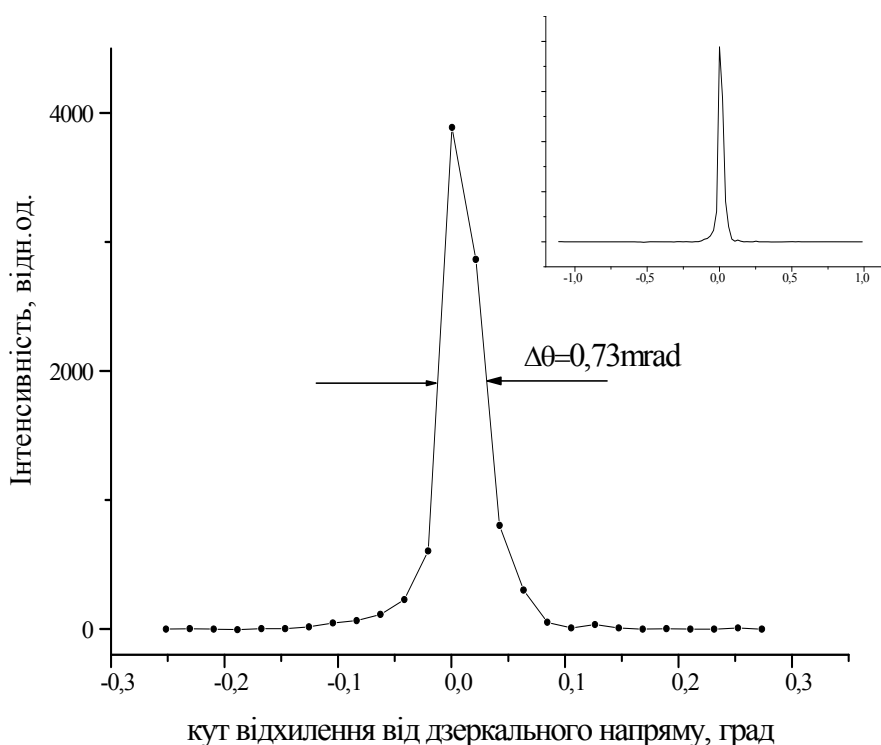


Рис. 3. Кутова діаграма відбивання еталонної поверхні скла марки К8 при орієнтації осі КА в площині ходу променів поблизу максимуму (основний рисунок) і в широкому діапазоні (вставка)

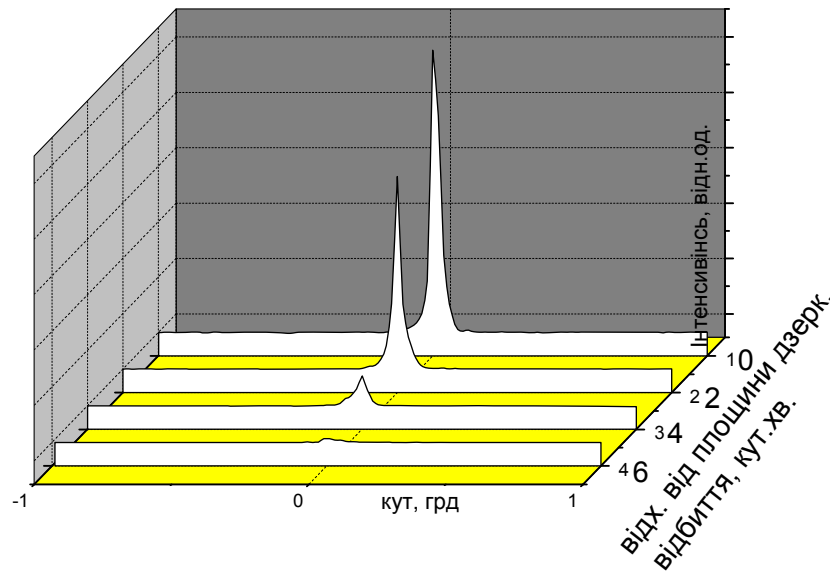


Рис. 4. Кутові діаграми відбивання світла еталонної поверхні при  $\alpha = 0', 2', 4'$  та  $6'$

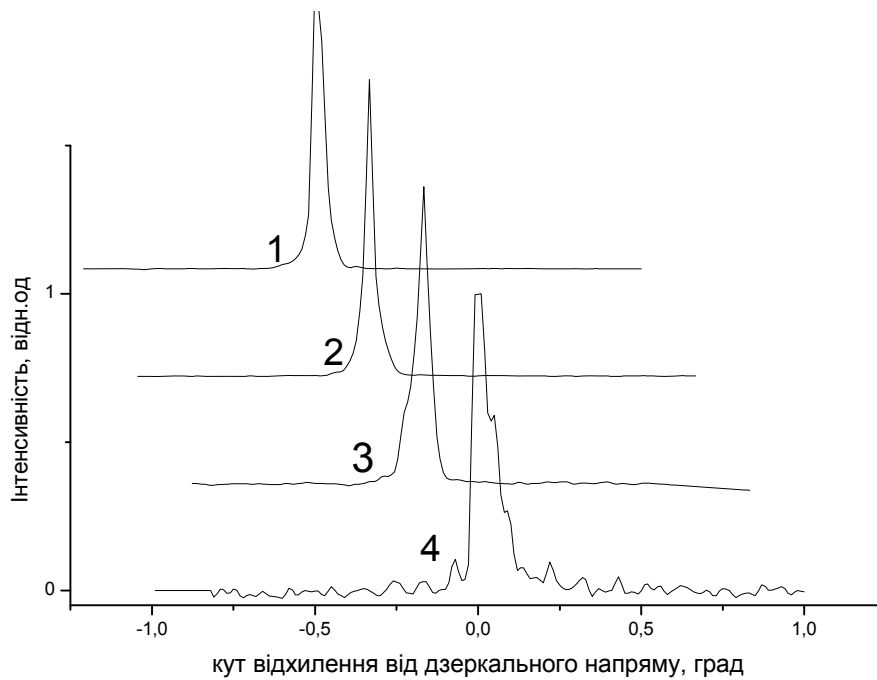


Рис. 5. Нормовані кутові діаграми відбивання еталонної поверхні при куті  $\alpha = 0'$  (1),  $2'$  (2),  $4'$  (3) та  $6'$  (4)

Цей вплив спостерігається лише при наближенні кута нахилу осі КА до трьохкратної кутової ширини діаграми, що проявляється в деякому розширенні

піка діаграми (від 10% до 70% при збільшенні  $\alpha$  від  $2\delta\theta$  до  $3\delta\theta$ ). Інтенсивність розсіяного світла, що попадає на вихідну діафрагму 8, різко спадає і при  $\alpha = 3\delta\theta$  відбивання еталона становить 0,25% (рис. 4). Це дозволяє, змінюючи нахил кутового аналізатора, придушувати пік дзеркального відбиття і реєструвати діаграми розсіяння зразків, усуваючи його домінування в діаграмі відбивання. Зокрема при трьохкратному перевищенні відхилення оптичної осі КА реальної роздільної здатності можна реєструвати діаграми розсіяння зразків на фоні піка дзеркального відбиття, що перевищує висоту діаграми розсіяння до 400 раз.

Відповідно до наведеного реєструвались діаграми відбивання ( $\alpha=0^\circ$ ) та розсіяння ( $\alpha=3\delta\theta$ ) прецизійних оптичних поверхонь із скла. Для усунення шуму отримані діаграми згладжувались шляхом усунення високочастотних компонент із Фур'є перетворення експериментальних кривих. Підсумкова діаграма відбивання отримувалась усередненням згладжених кривих.

### **Кутові діаграми відбивання оптичних поверхонь**

Індикатриси розсіяння поверхні оптичного скла К8, які зареєстровані в описаних умовах при куті  $45^\circ$  падіння пучка зондування, наведено на рис. 6. На цих діаграмах спостерігається чітко виражене різке звуження (більше ніж в 30 разів) індикатриси від  $1^\circ 50'$  до  $3'$  в діапазоні шорсткості за  $Ra$  від 0,25 до 0,05 мкм. При цьому ширина піка індикатриси практично зрівнюється з шириною піка дзеркального відбиття. На індикатрисі розсіяння скла відсутні будь-які піки, що свідчить про відсутність скупчень спеклів, хоча сама спеклова картинка пучка існує.

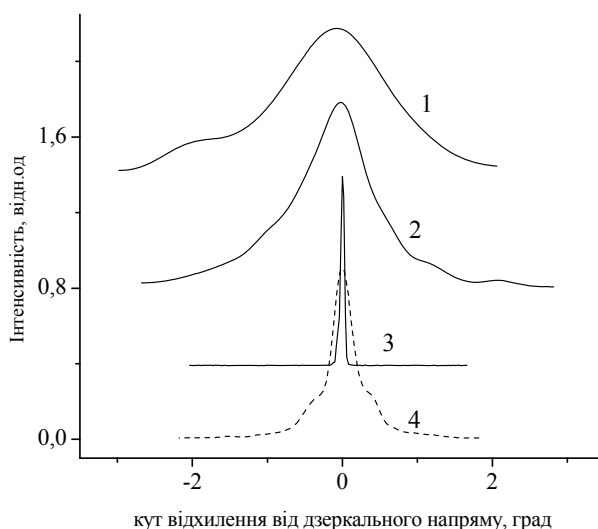


Рис. 6. Індикатриси розсіяння поверхні оптичного скла К8 ( $\alpha=6'$ ):  
 $Ra$  0,25 (1), 0,07 (2), 0,05 (3), 0,02 (4)

При подальшому зменшенні шорсткості поверхні оптичного скла відбувається суттєва зміна форми індикатриси розсіяння: в ній з'являється п'єдестал,

на фоні якого виникає розширений пік. Це є наслідком загострення діаграми відбивання із зменшенням величини  $Ra$ , внаслідок чого різко зменшується інтенсивність сигналу, що проходить на вихід КА при відхиленні його оптичної осі від площини дзеркального відбиття. В результаті інтенсивність сигналу знижується до рівня інтенсивності розсіяного в КА випромінювання, що спричиняє виникнення п'єдесталу. В той же час на вихід КА попадає розсіяне на обмежуючій діафрагмі 5 (рис. 6) світло, розширюючи основний пік. Звідси випливає, що при реєстрації індикатриси розсіяння існують оптимальні кути нахилу оптичної осі КА до площини дзеркального відбиття. Величина цього кута вибирається з міркувань найкращого придушення дзеркального піка при достатній інтенсивності розсіяного на даний кут випромінювання (порівняно з розсіяним в КА).

### **Висновки**

Розроблено методику та створено макет автоматизованої установки для реєстрації кутових діаграм відбивання і розсіяння поверхонь деталей з оптичного скла та інших неметалевих матеріалів. Проведено тестування розробленої методики та макету установки і визначено, що вона має кутову роздільну здатність не гірше  $2'$ , хороше придушення розсіяного в кутовому аналізаторі світла та високу ступінь придушення розсіяного дзеркально відбитого пучка при нахилі оптичної осі кутового аналізатора (в 400 раз при куті нахилу  $6'$ ). Такі параметри установки дозволяють реєструвати індикатриси розсіяння прецизійних полірованих поверхонь на фоні їх піка дзеркального відбиття.

Показано, що при реєстрації індикатрис розсіяння оптичних поверхонь існує оптимальний напрям спостереження, який можна вибирати нахилом оптичної осі кутового аналізатора до площини дзеркального відбиття пучка. Проведено дослідження кутових діаграм відбивання та розсіяння поверхонь оптичного скла залежно від шорсткості поверхні і показано, що параметром, який реагує на зміну  $Ra$  є ширина піка, що спостерігається в індикатрисі розсіяння на фоні практично незмінного п'єдесталу.

### **Література**

1. Филатов Ю.Д. Полирование прецизионных поверхностей деталей из неметаллических материалов инструментом со связанным полировальным порошком.– Сверхтвердые материалы, 2008. - № 1. – С. 59–66.
2. Топорец А.С. Оптика шероховатой поверхности.– Л.: Машиностроение, 1988. – 191 с.
3. Филатов Ю.Д., Сидорко В. И., Филатов А. Ю., Ящук В. П., Хайзель У., Сторчак М. Рефлектометрия поверхностей деталей из неметаллических материалов при финишной алмазно-абразивной обработке // Вісник НТУУ «КПІ» серія приладобудування. - 2008. – Вип. 36.– С. 95 – 104.
4. F. Giessibl, Advances in Atomic Force Microscopy, Reviews of Modern Physics 75 (3), 949-983 (2003).
5. Филатов Ю.Д., Сидорко В. И., Ковалев С. В., Філатов А. Ю., Ящук В. П. Оценка качества обработанных поверхностей деталей из неметаллических материалов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. - 2008. – Вип. 5 (139). – С. 127–133.



6. Филатов Ю.Д., Сидорко В.И., Ковалев С.В., Філатов А.Ю., Ящук В.П., Пригодюк О.А., Хайзель У., Сторчак М. Контроль качества поверхностей неметаллических деталей при финишной алмазно-абразивной обработке // Сверхтвердые материалы. - 2008. – № 3. – С. 75–80.

|   |  |
|---|--|
| <p>Ящук В.П., Пригодюк О.А., Филатов А.Ю., Филатов Ю.Д., Хайзель У., Сторчак М., Монтей Г. <b>Методика регистрации угловых диаграмм отражения и рассеяния света прецизионных оптических поверхностей</b></p> <p>Описана методика регистрации угловых диаграмм отражения и рассеяния света и показано, что по индикатрисам рассеяния при оптимальном направлении наблюдения можно оценить шероховатость оптических поверхностей по ширине пика, который наблюдается на фоне неизменного пьедестала.</p> <p><b>Ключевые слова:</b> методика регистрации угловых диаграмм, прецизионные оптические поверхности</p> | <p>Yashchuk V.P., Prigoduk O.A., Filatov A.Yu., Filatov Yu.D, Heisel U., Storchak M., Monteil G. <b>Technique of registration of angular diagram's of reflexion and dispersion of light of precision optical surfaces</b></p> <p>The technique of registration of angular diagram's of reflexion and dispersion of light is described and is shown, that on in indicatrix dispersion at an optimum direction of supervision it is possible to estimate a roughness of optical surfaces on width of peak which is observed against an invariable pedestal.</p> <p><b>Keywords:</b> technique of registration of angular diagram's, precision optical surfaces</p> |
|---|--|

Надійшла до редакції  
19 травня 2009 року

УДК 620.179.14.(088.8)

## ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ РУХУ ЧУТЛИВОЇ СИСТЕМИ АНБ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З CNC

*Скицюк В.І., Вовк Я.В. Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

*У роботі розглянуто теоретичні засади руху вимірювальної частини пристрою для визначення нульового позиціонування верхівки інструмента у робочому просторі верстата з CNC*

*Ключові слова: верстат, інструмент, вимірювання, знос*

### Вступ

Сучасне верстатобудування має низку проблем, які разом з проблемами стійкості різального інструмента стають на перешкоді отримання високонадійного та точного процесу металообробки. Особливо дошкульною є проблема стійкості різального інструмента (PI) та координати позиціонування робочих крайців різального інструмента у робочому просторі верстата [1]. Реально цю проблему намагаються вирішити за допомогою активних нульових баз (АНБ) [2]. Але зосередження провідних фірм на досконалості чутливого елемента як самої дорогої частини АНБ призвело до того, що механіка транспортування цього елемента була віддана фірмам виробникам верстатів на їх розсуд. Як наслідок механізми транспортування ще і на цей день залишаються недосконалими, не кажучи вже про те, що відсутня теоретична методика подібних механізмів