

УДК 620.179.118

М.А. Зенкін, д.т.н., проф.
А.С. Назаренко**СУЧАСНІ ОПТИЧНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ШОРСТКОСТІ
ВІДПОВІДАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ,
alinanazarenko.ru19@mail.ru

У роботі проаналізовані і розглянуті відомі сучасні методи контролю шорсткості відповідальних деталей машин. Зроблено висновок щодо перспектив використання зазначених методів.

Ключові слова: шорсткість, контроль, оптичний метод, деталі машин.

Постановка проблеми

Підвищення якості продукції, яка випускається, вимагає вирішення багатьох проблем в різних галузях [1, 2]. Розробка сучасних високотехнологічних виробів, матеріалів та режимів їх обробки, що надають нової якості перспективним виробам провідних галузей промисловості, потребує ефективних методів і приладів контролю основних показників якості виробів безпосередньо в процесі їх виготовлення в заводських умовах. Поява нових високих технологій, пов'язаних з виробництвом виробів, що не допускають контакту з вимірювальним датчиком, вимагає використання безконтактних дистанційних вимірювачів.

Проведення досліджень зі встановлення найбільш достовірних критеріїв шорсткості, а також розробка методик і пристроїв, які дозволяють автоматизувати процес вимірювання, є актуальним завданням, спрямованим на підвищення якості продукції та розвиток виробництва.

Аналіз досліджень та публікацій

Аналіз літературних джерел показав, що методи для вимірювання характеристик шорсткості поверхні, залежно від конструктивних особливостей приладів поділяють на контактні та безконтактні [3]. При тому, зважаючи на можливості мікропроцесорної обробки, останні мають суттєву перевагу та поділяються на візуальні, лазерні та оптичні.

Шорсткість поверхні при обробці заготовки деталі залежить від багатьох технологічних факторів: режимів обробки (швидкості різання, подачі); геометрії (переднього і заднього кутів), матеріалу і якості поверхні інструменту; механічних властивостей, хімічного складу і структури матеріалу заготовки; складу змащувально-охолоджувальної рідини та ін. У той же час шорсткість поверхонь в значній мірі визначає основні експлуатаційні властивості деталей і вузлів - зносостійкість, опір втоми, надійність посадок, контактну жорсткість і теплопровідність стиків сполучених деталей, корозійну стійкість, герметичність з'єднань, відображає і поглинає здатність поверхонь та ін. Тому характеристики шорсткості поверхні строго нормуються і піддаються постійному аналізу в технологічних дослідженнях і контролі в процесі виробництва [4 - 6].

Оцінка точності результатів вимірювань мікронерівностей поверхонь проводиться загальноприйнятими в метрології методами. Однак при оцінці шорсткості поверхні виникають і деякі специфічні метрологічні проблеми [7].

Для вимірювання параметрів шорсткості оптичними приладами найбільшого поширення набули методи світлового перетину, тіньового перетину, мікроінтерференційні, із застосуванням растрів [4, 8].

Зважаючи на це, порівняльні та оптичні безконтактні методи є найбільш перспективними як найбільш прості і вимагають найменших затрат.

Метою статті є вивчення та аналіз відомих оптичних методів контролю шорсткості відповідальних деталей машин.

Викладення основного матеріалу

Шорсткість поверхні — характеристика нерівностей, виражена у числових величинах, яка визначає ступінь їхнього відхилення на базовій довжині від теоретично гладких поверхонь заданої геометричної форми [3]. Ще одне важливе уточнення - крок нерівності щодо базової довжини дуже і дуже малий.

Існують два основні методи, які дозволяють визначити шорсткість поверхні виробу - оптичний і механічний.

Механічний метод (щуповий) заснований на роботі спеціального приладу – профілометра [3, 4].

Це пристрій дуже крихкий і має велику вартість. Одним з його недоліків є безпосередній контакт з поверхнею. Це може призвести до появи подряпин на поверхні досліджуваної деталі, в результаті чого прилад може неточно оцінити наявність шорсткості.

Оптичний метод дозволяє досліджувати поверхню безконтактним способом [8]. Такі пристрої зчитують інформацію про наявність шорсткості завдяки відображенню світла від поверхні деталі. При цьому, лічильна інформація автоматично обробляється за допомогою комп'ютера. Реалізація оптичних методів не вимагає великих фінансових вкладень для досягнення високої точності, зокрема складних оптичних або механічних пристроїв. Обробка даних комп'ютером істотно прискорює процес, тому оптичні методи вимірювання шорсткості можуть бути застосовані в умовах безперервного виробництва.

Група оптичних - безконтактних - способів вимірювання шорсткості поверхні досить велика. Найпоширенішими методами, які в неї входять є наступні: світлового та тіньового перетину, мікроінтерференційний, растровий, інтерференційний метод.

Розглянемо кожен з цих методів детальніше.

Метод світлового та тіньового перетину.

Метод світлового перетину полягає в наступному: пучок світлових променів, який надходить від джерела світла через вузьку щілину 3 (рис. 1, а) шириною близько 0,1 мм, направляється об'єктивом 2 під кутом α на контрольовану поверхню 1. Відбиваючись від цієї поверхні, промені через об'єктив 5 переносять зображення щілини у площину фокуса окуляра 6. Якщо контрольована поверхня є ідеально рівною, то в окулярі щілину буде мати вигляд світяться прямої лінії (зазвичай зеленого кольору). Якщо на поверхні є канавка, то в площині окуляра спостерігається викривлена лінія, що світяться (рис. 1, б). При глибині канавки, рівній H , її світловий перетин $b = H / \sin \alpha$, розмір же світлового перерізу канавки в площині об'єктива $b_1 = bV^x$, де V^x - збільшення об'єктива мікроскопа.

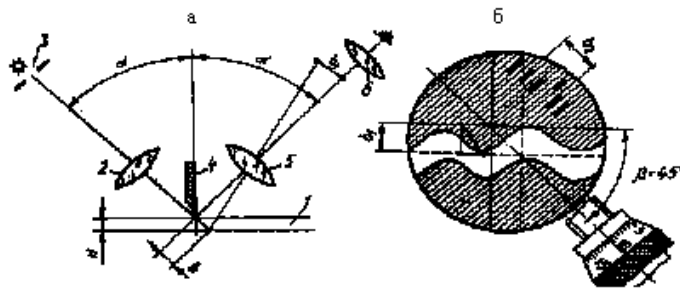


Рис. 1. Схема для визначення шорсткості методом світлового перерізу

Вимірювання b_1 здійснюється за допомогою окулярного мікрометра, перекрісття якого переміщається на кут $b = 45^\circ$ і при цьому оцінюється b_2 . Якщо пучок світлових променів направити на контрольну поверхню під кутом $a = 45^\circ$, то $b_2 = b_1 / \sin b = H / (\sin a \times \sin b) \times V^x$, звідки $H = b_2 / (2 V^x)$.

Якщо на відстані 0,1 мм від контрольованої поверхні встановити лінійку 4 з скошеним ребром, то останнє зріже частина пучка світла, і на контрольованій поверхні буде видно тінь, що відкидається лінійкою. Верхній край тіні, яка є як би лезом ножа, відображає профіль досліджуваної поверхні, який і розглядають в мікроскоп (метод тіньового перетину).

За принципом світлового перетину працюють подвійний мікроскоп МИС-11 і прилад ПСС-2, за принципом тіньового перетину - прилад ПТС-1. Ці прилади дозволяють вимірювати нерівності поверхні висотою від 0,8 до 63 мкм при похибках показів від 24 до 7,5% при наявності чотирьох пар змінних об'єктивів ОС-39, ОС-40, ОС-41, ОС-42. Прилад ПСС-2 являє собою вдосконалену модель приладу МИС-11, що випускався раніше. Обидва прилади дозволяють визначати параметри R_z , R_{max} і S , а також фотографувати микронерівності.

Прилад ПТС-1 застосовується для оцінки параметрів шорсткості грубо оброблених поверхонь з висотою нерівностей R_z від 320 до 80 мкм. Прилад накладний, що дозволяє контролювати деталі без зняття їх з верстата.

Мікроінтерференційний метод.

Для реалізації мікроінтерференційного методу використовують вимірювальний прилад, до складу якого входить інтерферометр і вимірювальний мікроскоп []. За допомогою першого пристрою формується інтерференційна картина досліджуваної поверхні з викривленнями смуг в

місцях нерівностей. Збільшуючи в рази отриману картину мікроскоп дозволяє виміряти параметри шорсткості.

Мікроінтерференційний метод реалізується за допомогою приладів МІІ-4, МІІ-5, МІІ-15, МІІ-9, МІІ-10, призначених для лабораторних вимірювань параметрів R_z , S і фотографування мікронерівностей чистих поверхонь з $R_z = 0,03 \dots 1$ мкм. Принцип пристрою: мікроінтерферометр В.П. Лінніка - поєднання інтерферометра Майкельсона з вимірювальним мікроскопом, що дозволяє в поле зору мікроскопа збільшене в потрібне число разів зображення інтерференційної картини і вимірювати координатним методом вимальовується нерівності за допомогою звичайного гвинтового окулярного мікрометра. У місцях виступів і западин на досліджуваній поверхні інтерференційні смуги викривляються. Ступінь викривлення смуг і характеризує нерівність поверхні.

На рис.2 наведена інтерферограма поверхні, сфотографована на МІІ.

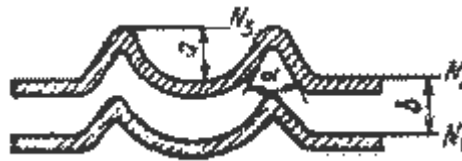


Рис.2. Схема викривлення інтерференційних смуг

Кожна інтерференційна смуга на ній являє собою зображення смуги профілю поверхні. Висоти мікронерівностей (мкм) визначають шляхом вимірювання викривлення інтерференційної смуги a по відношенню до інтервалу смуг b (рис.1.3): $R = a/b \times l/2 = 0,275 a/b$ (l - довжина світлової хвилі; найбільш часто $l = 0,55$ мкм). У тих випадках, коли необхідна визначити і крок нерівностей, його підраховують за формулою $S = 2a \operatorname{tg} (a / 2)$, де a - кут профілю, вимірюваний за допомогою окулярного мікрогвинта.

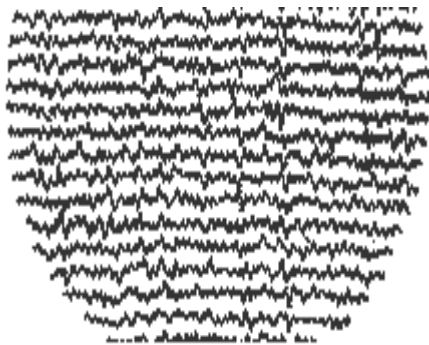


Рис.3. Схема для вимірювання параметрів шорсткості за інтерферограмою

Растровий метод.

Ідея реєстрового методу полягає в наступному. Якщо на випробовувану поверхню накласти скляну пластинку, на яку нанесені з малим кроком штрихи (растрова сітка), при похилому падінні променів відображена растрова сітка накладається на штрихи самої сітки і спостерігаються муарові смуги. На основі цього явища запропоновано методику вимірювання висот нерівностей поверхонь за допомогою растрового мікроскопа. Растровий вимірювальний мікроскоп ОРІМ - 1 призначений для вимірювання висоти нерівностей (від 0,4 до 40 мкм) зовнішніх поверхонь деталей зі слідами обробки, що мають певне переважне напрямком.

Найпростішу растрову оптичну систему представляє комбінація растра R і встановленого за ним дифузно відбиває екрана E (рис. 4). Елементи растра - отвори або лінзи - створюють на екрані безліч більш - менш досконалих зображень об'єкта. Це - первинна множинна властивість растрової оптичної системи. Зворотний хід променів від зображень, отриманих на екрані, відновлює природну форму об'єкта в предметному просторі. Синтезування цілісного просторового образу об'єкта променями від кожного елементарного зображення представляє інтегруючу властивість растрової оптичної системи. У предметному просторі відновлюється не одне зображення, а безліч йому

подібних - це вторинне множинна властивість растрової оптичної системи.

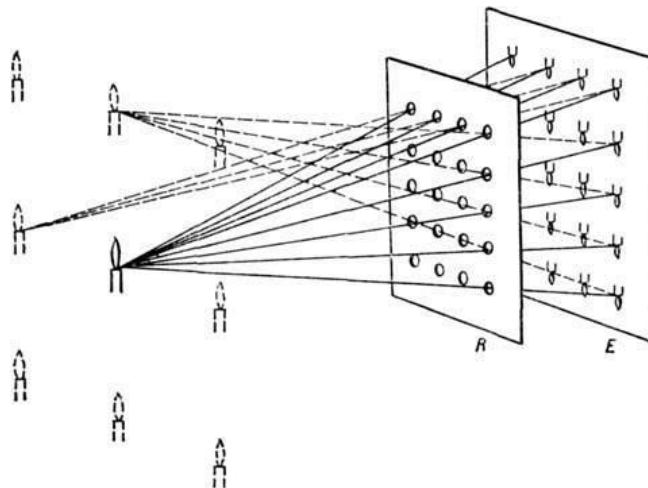


Рис. 4. Найпростіша растрова оптична система: *R*-растр, *E*-екран

При оцінці шорсткості поверхонь складної форми і у випадку важкого доступу до досліджуваної поверхні застосовують так званий метод зліпків, що полягає в знятті копій (як правило, «негативних») поверхонь для подальшого вимірювання по них висоти нерівностей. Нерівності на зліпках можна вимірювати як за допомогою оптичних, так і щупових приладів. Зокрема, для цього використовують прилади МИС-11, ПСС-2, електромеханічні профілографи - профілометри. Матеріали для виготовлення зліпків - легкоплавкі сплави; віск; целулоїд; гіпс; масляно - гутаперчева; парафін; кіноплівка, розчинена в ацетоні, та ін. Найкращим з них є масляно - гутаперчева маса.

Інтерференційний метод.

У інтерференційних засобах вимірювання шорсткості поверхні використовується інтерференція двох або більшого числа когерентних пучків променів (що вийшли з однієї точки джерела світла, що мають однакове напрямок коливань, однакові частоти і постійну різницю фаз).

Явище інтерференції виникає, зокрема, в повітряному проміжку між двома напівпрозорими пластинами. Падаючий на верхню пластину пучок променів розділяється її внутрішньою поверхнею на два когерентних пучка, один з яких відображається у зворотному напрямку, а інший також у зворотному напрямку, інтерферуючи з першим пучком. Якщо вважати для простоти інтенсивності I_1 і I_2 першого і другого пучка рівними один одному, то геометрично легко можна отримати формулу для сумарною інтенсивності у вигляді:

$$I = 4 \cdot I_1 \cdot \cos^2 \frac{\pi \cdot \Delta}{\lambda / 2} \quad (1)$$

де Δ - різниця ходу, тобто різниця оптичних довжин шляху (твір геометричних на показник заломлення середовищ), пов'язана в свою чергу з різницею фаз $\varphi_1 - \varphi_2$ інтерферуючих пучків таким чином (оскільки очевидно, що при $D = \lambda$ різниця $\varphi_1 - \varphi_2$ становить 2π):

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \Delta}{\lambda} \quad (2)$$

де λ - довжина світлової хвилі.

З формули (1) випливає, що якщо D дорівнює нулю або парному числу півхвиль, то $I = 4 \cdot I_1$, тобто має місце посилення сумарною інтенсивності пучків в порівнянні з сумою їх інтенсивностей, а якщо вона дорівнює непарному числу півхвиль, то $I = 0$, тобто сумарна інтенсивність буде нульовий. Це відповідає принципу збереження енергії. При паралельності розглянутих пластин поверхню верхньої пластини буде рівномірно освітленою. Якщо пластини розташувати під кутом α один до одного, тобто створити між їх внутрішніми поверхнями повітряний клин, то на поверхні верхньої пластини будуть видні чергуються світлі й темні інтерференційні смуги, паралельні ребру клина, кожна з яких є геометричним місцем точок однакової товщини проміжку d_i між внутрішніми поверхнями пластин, причому цей проміжок дорівнює:

$$d_i = \frac{\Delta_i}{2} \quad (3)$$

оскільки промінь, що відбився від другої пластини, проходить проміжок двічі. Таким чином, дві сусідні світлі або темні смуги відповідають різниці товщин $\lambda / 2$. Довжини світлових хвиль білого і

зеленого монохроматичного світла приблизно рівні 0,55 мкм. У цьому випадку відстань в одну смугу відповідає різниці товщин $\lambda / 2 \approx 0,275 \approx 0,3$ мкм.

Ширина B інтерференційної смуги залежить від кута клина α наступним чином:

$$B = \frac{\lambda}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \approx \frac{\lambda}{2 \cdot \alpha} \quad (4)$$

так як тангенси малих кутів приблизно рівні самим кутам, вираженим у радіанах.

З формули (4) випливає, що, змінюючи кут клина α , можна змінювати ширину спостережуваних інтерференційних смуг, які при розглянутому способі виникнення називають смугами рівної товщини. Інший спосіб отримання інтерференційних смуг, званих смугами рівного нахилу полягає в тому, що паралельні світлові пучки, що падають на площину під різними кутами β_1 , поділяють лінзою і збирають в різних місцях фокальній площині, причому кожній окремій смугі відповідає певна, що залежить від нахилу β_1 різниця ходу Δ , а саме для повітряного проміжку:

$$\Delta = 2 \cdot d \cdot \cos \beta \quad (5)$$

У білому світі, який має складний спектр, можна спостерігати центральну ахроматичну (білу або чорну) смугу, по боках від якої розташовуються по дві чорні або білі, а за ними по чотири -п'ять кольорових смуг, що в загальній складності відповідає найбільшому відстані між пластинами порядку $d_i \approx 0,3 \cdot 5 = 1,5$ мкм. При значних різницях ходу світлі смуги однієї складової частини спектру білого світла будуть накладатися на темні смуги іншої його частини, що має іншу довжину хвилі. У результаті цього контрастність інтерференційної картини буде падати до нуля і подальші смуги вже не будуть видні.

За допомогою кольорового фільтра з білого світла можна виділити область спектра з інтервалом 0,1 мкм, що дозволяє спостерігати інтерференційну картину при $d \approx 5$ мкм, а застосування ртутних, кадмієвих та інших газорозрядних джерел світла, які дають лінійчатий спектр, дозволяє з використанням фільтрів спостерігати інтерференційну картину навіть при різниці ходу порядку декількох десятків міліметрів.

Інтерференційні виміри довжин в діапазонах 200 м, 20 м, 1 км здійснюють за допомогою гелій-неонових лазерів, що забезпечують високу монохроматичність, малу розбіжність променів і велику інтенсивність випромінювання. У лазерної інтерферометрії роздільна здатність в метровому діапазоні може бути до 0,1 мкм, а при спеціальних вимірах навіть до 10^{-7} мкм.

Зі сказаного вище про інтерференцію в проміжку між пластинами випливає, що якщо внутрішня поверхня однієї з пластин має які-небудь нерівності, то інтерференційні смуги мають вигляд кілець. Це дозволяє використовувати картину для вимірювання малих нерівностей поверхонь поверхні, застосовуючи необхідні збільшення.

Висновки

Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що оптичні методи контролю шорсткості на сьогодні є більш придатними для використання у виробничих умовах, оскільки вони дають змогу значно прискорити обробку результатів вимірювань і на відміну від механічних методів не псують поверхню деталі.

З розглянутих методів, на наш погляд, найбільш перспективним для використання, перш за все, з метрологічної точки зору є метод світлового та тіньового перетину, оскільки тільки він забезпечує більш точні і обґрунтовані результати досліджень.

Список літературних джерел

1. Клепиков В.В. Качество изделий / В.В. Клепиков, В.В. Порошин, В.А. Голуб - М.: МГИУ, 2008. - 287 с.
2. Зенкін М.А., Здельнік З.А. Розробка системи управління якістю виробництва асосного обладнання. // Вісник Сумського Державного університету, Серія: Технічні науки, №2, 2010, - С.168–173.
3. Дунин-Барковский И.В. Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности / Дунин-Барковский И.В., Карташова А.Н. – М.: Машностроение, 1978. – 232 с.
4. Егоров В.А. Оптические и щуповые приборы для измерения шероховатости поверхности - М.: Машиностроение, 1965. - 222 с.
5. Суслов А.Г., Корсакова И.М. Назначение, обозначение и контроль параметров шероховатости поверхности деталей машин. – М.: МГИУ, 2010. – 111 с.
6. Гарбер Э.А., Диличенский Е.В. Формирование и контроль шероховатости поверхности прокатных валков и холоднокатаных полос: Учебное пособие – М.: Теплотехник, 2009. – 118 с.
7. Приходько В.М. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник для студентов вузов, изд. 3-е, перераб. / В.М. Приходько, Л.И. Карпов, А.И. Аристов. – М.: ИЦ Академия, - 2008. – 384 с.
8. Кучин А.А. Оптические приборы для измерения шероховатости поверхности / Кучин А.А., Обрадович К.А. - Л.: Машиностроение, 1981. - 198 с.