

ПРИЛАДИ

УДК 620.179.118

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.3/06>

Альховик О.В.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

СУЧАСНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ МІКРОГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ І ВИРОБІВ

У статті проаналізовано застосування сучасних приладів, призначених для безконтактного та контактного вимірів мікрогеометрії поверхні деталей та виробів – шорсткості, яка впливає на експлуатаційні властивості механізмів: корозійну стійкість, витривалість, стійкість до зносу.

Розглянуто сучасні методи контролю мікрогеометричних параметрів поверхонь деталей – параметрів шорсткості, важливого показника технічної характеристики виробу та точності його виготовлення. Описано контактні та безконтактні методи вимірювання показників шорсткості.

Контактний (щуповий) метод вимірювання шорсткості поверхні – це метод, за якого вимірювання шорсткості проводять за допомогою профілометрів та профілографів. Під час застосування контактної методи вимірювання шорсткості можливе пошкодження поверхонь деталей, які підлягають контролю. Оптичний метод – це безконтактний метод вимірювання шорсткості, який складається з групи методів: методу світлового та тіньового світіння, мікроінтерференційного методу, растрового методу. Найбільш поширений оптичний метод вимірювання шорсткості – метод світлового та тіньового світіння. Мікроінтерференційний метод реалізується за допомогою спеціального вимірювального приладу, який складається з мікроскопа та інтерферометра. За растрового методу застосовується скляна пластина з нанесеною растровою сіткою, шорсткість поверхні визначається за допомогою спеціального растрового мікроскопа. Для безконтактного вимірювання шорсткості поверхні матеріалів також застосовуються лазерні прилади. Для оцінювання шорсткості різноманітних важкодоступних поверхонь, та поверхонь, які мають складну будову, застосовується метод зліпків – метод зняття негативних копій поверхні за допомогою воску, парафіну чи гіпсу з подальшим вимірюванням безконтактними або контактними методами.

На підставі проведеного аналізу визначено, що для виготовлення якісної та надійної техніки необхідно проводити контроль мікрогеометричних параметрів поверхні деталей – параметрів шорсткості. Вибір методів та засобів вимірювання шорсткості залежить від фізико-механічних властивостей матеріалів деталей, їхніх геометричних розмірів та форм, а також від сфери та умов їх застосування. Оптичні безконтактні методи контролю більш придатні для використання на виробництві, тому що вони не псують поверхню деталей і на вимірювання шорсткості витрачається значно менше часу, ніж під час проведення вимірювань контактними методами.

Ключові слова: *поверхня, шорсткість, якість, надійність, профілометр, профілограф.*

Постановка проблеми. До геометричних параметрів деталей відносять макро- та мікрогеометрію поверхні. Макрогеометрія поверхні характеризується похибками форми (овальність, конусність, бочкоподібність), які відносяться до параметрів точності обробки. Мікрогеометрія поверхні – шорсткість – зумовлена наявністю мікронерівностей, які виникають у результаті взаємодії поверхні, яка обробляється, з робочими інструментами під час фінішних операцій.

Шорсткість поверхні – характеристика нерівностей, виражена у числових величинах, які визначають ступінь їх відхилення на базовій довжині від теоретично гладких поверхонь заданої геометричної форми [3].

Параметр шорсткості поверхні деталей та складових одиниць – один із головних показників якості, надійності та терміну експлуатації виробів. Він – важлива експлуатаційна характеристика рухомих механізмів, вузлів, електричних двигунів, двигунів внутрішнього згоряння та інших

виробів. Від шорсткості залежать стійкість до зносу поверхонь тертя, корозійна стійкість, збереження натягу в нерухомих з'єднаннях та інші механічні характеристики виробів, які впливають на надійність, довговічність і точність роботи механізмів. Вимоги до шорсткості деталей та виробів висуваються залежно від призначення деталей та їхніх конструктивних особливостей; особливо високі вимоги до якості поверхонь деталей та виробів, які працюють із великими швидкостями, за високих температур, а також в агресивних середовищах.

Під час експлуатації на поверхнях робочих деталей відбуваються процеси, які негативно впливають на роботу всього виробу і можуть призвести до виходу його з ладу. Це можлива поява тріщин, корозія й ерозія металів, механічний знос, змінання, поява задирок.

Фінішна технологічна обробка поверхні деталей, яка забезпечує хороші експлуатаційні характеристики, проводиться шляхом шліфування. Перевірку якості результатів такої технологічної обробки необхідно проводити за допомогою приладів, які вимірюють шорсткість поверхні.

Сьогодні застосовуються контактний і безконтактний методи вимірювання шорсткості поверхні. За контактного (супового) механічного методу використовуються спеціальні прилади – профілометри та профілографи. Основні недоліки під час вимірювання шорсткості за допомогою профілометрів та профілографів: безпосередній контакт із поверхнею деталі датчиків, що може призвести до появи подряпин на поверхні деталі, у результаті чого прилади можуть неточно оцінити показники шорсткості; досить тривалий час процесу вимірювання [2, с. 220–224].

Безконтактний (оптичний) метод дає змогу проводити контроль поверхні способом, за якого не пошкоджується деталь або виріб у цілому; затрати часу на проведення вимірювань значно менші, ніж під час вимірювання контактним методом.

У даній роботі проаналізовано методи і засоби, які використовуються для визначення шорсткості поверхні. Приведено переваги застосування оптичних методів вимірювання, указано сфери використання приладів для вимірювання шорсткості, саме тому тема даної наукової роботи є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливий етап під час виготовлення та експлуатації механізмів – контроль якості продукції. На якість і надійність засобів техніки великий вплив мають фізико-механічні та геометричні властивості деталей та виробів, передусім точність їх

виготовлення – геометричні розміри і шорсткість деталей, від цього залежать якість, ресурс роботи і експлуатаційні властивості техніки. Тому на виробництві необхідно постійно контролювати геометричні розміри та шорсткість деталей на відповідність указаним у робочих кресленнях.

У 1935 р. К.Л. Аммон (1887–1957), радянський учений-винахідник, к.т.н., сконструював оригінальний прилад – профілограф, призначений для вимірювання шорсткості поверхні і представлення результатів у вигляді кривої лінії (профілограми). Отримана профілограма точно характеризувала хвилястість і шорсткість обробленої поверхні різних виробів. Прилад був названий його ім'ям – профілограф Аммона.

Науковими дослідженнями шорсткості поверхні матеріалів займалися д.т.н. Г.С. Гун, д.т.н. В.Н. Перетяцько, Е.А. Гарбер та інші вчені. У їхніх працях описано методи вимірювання шорсткості поверхні матеріалів та засоби для визначення мікрогеометричних характеристик поверхні матеріалів. Незважаючи на велику кількість публікацій, майже в усіх публікаціях описано контактні методи визначення шорсткості, але мало уваги приділяється приладам, в яких застосовуються безконтактні (оптичні) методи вимірювання, тому існує необхідність у подальших дослідженнях сфер та умов застосування даних приладів.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз сфер застосування контактного і безконтактного методів вимірювання шорсткості матеріалів для підвищення якості та надійності механізмів, які виготовляються на промислових підприємствах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Шорсткість – це сукупність мікронерівностей, які з'являються на поверхнях готових виробів або деталей.

Виділяють три види шорсткості об'єкта:

а) вихідна шорсткість – виникає у результаті технологічної обробки виробу різними інструментами та абразивами;

б) експлуатаційна шорсткість – з'являється під час експлуатації в результаті зносу та робочого тертя;

в) стабільна шорсткість – це вид експлуатаційної шорсткості, яка встановлюється на фрикційному контакті після завершення попереднього притирання.

Шорсткість поверхні деталей та виробів дуже впливає на експлуатаційні характеристики та термін експлуатації двигунів машин, а також деталей та вузлів різного устаткування. Точне визначення значення шорсткості поверхні – одне з найважливіших завдань метрології.

Поверхня обробленої деталі не буває ідеально рівною та геометрично правильною. Вона відрізняється від номінальної (заданої кресленням) мікро- і макрогеометричними відхиленнями. Мікрогеометричні відхилення визначають шорсткість поверхні, макрогеометричні – характеризують хвилястість і відхилення форми. Шорсткість поверхні під час обробки заготовки деталі залежить від технологічного процесу: режимів обробки (швидкості різання, подачі); матеріалу й якості поверхні інструменту; механічних властивостей, хімічного складу і структури матеріалу заготовки; складу мастильно-охолоджувальної рідини та інших чинників. Шорсткість впливає на основні експлуатаційні властивості деталей і вузлів: зносостійкість, опір втомі, надійність посадки, контактну жорсткість і теплопровідність стиків сполучених деталей, корозійну стійкість. Тому характеристики шорсткості поверхні нормуються і піддаються постійному аналізу в технологічних дослідженнях та контролі в процесі виробництва [1, с. 145–147].

Параметри шорсткості визначені в ДСТУ ISO 4287:2012 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Терміни, визначення понять і параметри структури [3].

Стандартом визначено шість параметрів оцінки шорсткості поверхні.

Висотні:

R_a – середнє арифметичне відхилення профілю;

R_z – висота нерівностей профілю по 10 точках;

R_{max} – найбільша висота профілю.

Крокові:

S – середній крок місцевих виступів профілю;

S_m – середній крок нерівностей профілю по середній лінії.

Висотно-кроковий:

t_p – відносна опорна довжина профілю, де p – значення рівня перерізу профілю.

Шорсткість поверхонь на кресленнях деталей указують для всіх поверхонь, які виконуються по цих кресленнях незалежно від методів їх обробки, крім поверхонь, шорсткість котрих не зумовлена вимогами конструкції.

Оцінку шорсткості можна здійснювати двома способами: поелементно (кількісний метод) – шляхом порівняння окремих параметрів або в комплексі (якісний метод), використовуючи порівняльний аналіз досліджуваного зразка з еталоном.

Кількісний метод проводиться поелементно двома способами:

1. Безконтактно. Способом світлового і тіньового світління, мікроінтерференційним – за допомогою мікроскопа та інтерферометра, растровим – із використанням растрової сітки і променя світла.

2. Контактно. Із використанням спеціальних вимірювачів шорсткості – профілометрів і профілографів.

Якісний метод використовується для всього виробу в комплексі і реалізується декількома способами:

1. Візуальний спосіб. Поверхня виробу, яка підлягає контролю, візуально порівнюється з еталоном шорсткості, а також контроль проводиться за допомогою тактильних відчуттів (обмацування пальцем, нігтем). Візуальний спосіб оцінки шорсткості підходить для виробів із низьким класом чистоти.

2. Безконтактний спосіб. Для контролю поверхні виробів із високим класом чистоти використовують лупу або мікроскоп.

Застосовується також метод зліпків, який використовується для оцінки шорсткості різних важкодоступних поверхонь, а також поверхонь зі складною конструкцією. Метод зліпків базується на знятті негативних копій поверхні за допомогою воску, парафіну, гіпсу або масляно-гутаперчевої маси з подальшим вимірюванням копій щуповим або оптичним методом. Метод зліпків – не самостійний метод, а лише початковий етап під час проведення вимірювань. Він застосовується тільки спільно з одним зі способів вимірювання шорсткості.

Найбільш точний кількісний поелементний спосіб, який може бути здійснений різними методами визначення шорсткості.

Щуповий метод вимірювання шорсткості поверхні – це контактний метод. Вимірювання виконуються за допомогою профілометра. Профілометр – це чутливий датчик, обладнаний тонкою, гостро заточеною алмазною голкою, закріпленою в тримачі. Алмазна голка встановлюється перпендикулярно до поверхні деталі, притискається до виникнення контакту і рухається паралельно поверхні, яка підлягає контролю. У місцях нерівностей (виступів і впадин) виникають механічні коливання вимірювальної голки. Ці коливання передаються на датчик, призначений для перетворення механічної енергії коливання на електричні сигнали, які посилюються перетворювачем і вимірюються. Записані параметри цих сигналів повторюють нерівності на шорсткій поверхні деталі. Профілометри за типом перетворювача сигналів поділяють на п'єзоелектричні, електронні, індукційні та індуктивні. Найбільш поширені прилади з індуктивними перетворювачами сигналів.

У техніці профілометри призначені для вимірювань поверхонь деталей, перетин яких у площині вимірювання становить пряму лінію. До числа таких приладів відносяться електромагнітні профілометри Аббота та Кисельова.

Окрім профілометрів застосовуються також профілографи, які дають змогу виміряти і записати параметри шорсткості профілю у заздалегідь вибраному масштабі. Профілографи – оптико-механічні прилади, засновані на принципі обстеження поверхні датчиком з алмазною голкою. За допомогою оптичного пристрою профіль поверхні записується на фотографічній стрічці. До числа таких приладів відносяться профілографи Аммона та Левіна. У профілографах коливання датчика перетворюються на електричні імпульси за допомогою індуктивних, ємнісних, п'єзоелектричних та інших перетворювачів. Запис профілю у приладах з електричними перетвореннями сигналів найчастіше виконується на металізованому папері. Для зручності розшифрування профілограма виконується у вигляді кресленника в масштабі. Збільшення записів вимірюваних висот нерівностей у вертикальному масштабі можливе в діапазоні від 400 до 200 000 разів. Горизонтальне збільшення здійснюється завдяки більш швидкому переміщенню паперу порівняно зі швидкістю переміщення голки (до 100 000 разів).

Для вимірювання характеристик шорсткості деталей створено комбіновані пристрої – профілографи-профілометри. Вони одночасно обробляють і фіксують результати вимірювань шорсткості у графічному та цифровому вигляді. Такі прилади – універсальні, у комплект їх поставки може входити оснащення, яке забезпечує вимірювання шорсткості поверхні деталей різної конфігурації.

Дослідження поверхонь контактним щуповим методом проводиться в декілька етапів: спочатку профіль об'єкта, який підлягає контролю, обстежують кілька разів і на підставі серії вимірювань обчислюють середнє значення шорсткості.

У зв'язку з достатньо великим тиском алмазної голки на поверхню деталі, яка підлягає контролю, профілометри Кисельова та Аббота і профілограф Аммона пошкоджують верхній шар металу під час контролю поверхні деталі. За багаторазового проходження голки профілометра або профілографа по одному і тому ж місцю в процесі вимірювання голка проходить по подряпинах, що утворилися під час попередніх проходів, і показання приладу можуть мати значну похибку вимірювань. Для контролю шорсткості поверхонь деталей із невисокою твердістю поверхневого шару і під

час визначення шорсткості методом зліпків рекомендується використовувати профілограф Левіна, в якому тиск голки на поверхню деталі нижчий, аніж в інших приладах.

Оптичний метод – безконтактний метод вимірювання шорсткості, який складається з групи методів: методу світлового та тіньового світіння, мікроінтерференційного методу, растрового методу.

Метод світлового світіння – це метод, у якому світловий потік від джерела світла під час проходження скрізь вузьку щілину перетворюється на тонкий, вузький пучок. За допомогою об'єктива він направляється на поверхню, що випробовується, під визначеним кутом. Відбиваючись, промінь знову проходить через об'єктив і формує зображення щілини в окулярі. При цьому абсолютно рівна поверхня матиме ідеально прямий світловий пучок (лінію), а шорстка поверхня – криву лінію.

Тіньовий метод – це вдосконалений метод світлового світіння. На невеликій відстані від досліджуваної поверхні встановлюється лінійка зі скошеним ребром. Пучок світла долає ту ж відстань, але зрізається ребром лінійки. На поверхні, що досліджується, спостерігають тінь, верхня частина якої з точністю повторює профіль, що досліджується. За допомогою мікроскопа таке зображення порівнюють, аналізують та роблять висновки стосовно параметрів та характеристик шорсткості. Методи світлового та тіньового світіння – найбільш поширені методи вимірювання шорсткості безконтактним способом.

Вимірювання шорсткості мікроінтерференційним методом проводиться за допомогою комплексу спеціальних вимірювальних приладів, який складається з інтерферометра та мікроскопа. За допомогою інтерферометра формується інтерференційна картина досліджуваної поверхні з викривленнями смуг у місцях нерівностей. Отримана картина збільшується в мікроскопі до величини, яка дає змогу виміряти параметри шорсткості за викривленням смуг.

Вимірювання шорсткості растровим методом виконують у такій послідовності. На поверхню, яка випробовується, накладають скляну пластину з нанесеною на неї растровою сіткою. За похилого падіння променів у місцях мікроскопічних нерівностей відображена картина растрової сітки накладається на штрихи самої сітки – виникають муарові смуги, які вказують на наявність виступів та впадин на поверхні, яка підлягає контролю. За допомогою растрового мікроскопа визначають параметри нерівності. Растровий метод

застосовують переважно для обстеження поверхонь, сліди нерівностей на яких мають переважно однаковий напрямок (наприклад, подряпини у циліндрах двигунів внутрішнього згорання, гільзах гідравлічних систем).

Також застосовуються прилади для безконтактного вимірювання шорсткості поверхні матеріалів із використанням лазерного випромінювання методом порівняння. У приладі для контролю шорсткості поверхні лазерний промінь за допомогою розділювальної призми ділиться на два промені, одним з яких зондується еталон, а іншим – поверхня, яка підлягає дослідженню. За допомогою напівпрозорих дзеркал розсіяні еталоном і об'єктом вимірювання світлові потоки направляються на фотоперетворювачі, а отримані з них електричні сигнали на пристрій порівняння та індикатор результатів.

Прилади, призначені для реалізації оптичних методів вимірювання шорсткості, знімають інформацію про шорсткість завдяки відобра-

женню світла від поверхні деталі, дана інформація автоматично обробляється за допомогою комп'ютерної техніки. Обробка даних за допомогою комп'ютерів із відповідним програмним забезпеченням суттєво прискорює процес вимірювання, тому оптичні методи вимірювання шорсткості можуть бути застосовані в умовах безперервного виробництва [2, с. 220–224].

Висновки. Проведений аналіз методів і засобів вимірювання шорсткості показує, що оптичні методи контролю шорсткості більш придатні для використання у виробничих умовах, тому що їх застосування дає змогу значно прискорити обробку результатів вимірювань. Під час застосування оптичних методів не псується поверхня деталі, що можливо за механічних методів контролю. Обробка даних вимірювань шорсткості оптичними методами за допомогою комп'ютерної техніки суттєво прискорює процес вимірювання, тому оптичні методи можуть бути застосовані в умовах безперервного виробництва.

Список літератури:

1. Шкурко В.В., Хейфец И.М., Алексеева Т.А. Анализ технических средств и программного обеспечения для управления физико-механическими и геометрическими параметрами качества продукции. *Инновационные технологии в машиностроении* : электронный сборник материалов Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию научно-технического парка Полоцкого государственного университета, г. Новополоцк, 21–22 апреля 2020 г. / под. редакцией чл.-кор. НАН Беларуси, д.т.н., проф. В.К. Шелега; д. т.н., проф. Н.Н. Попок. С. 145–147.
2. Зенкін М.А., Назаренко А.С. Сучасні оптичні методи контролю шорсткості відповідальних деталей машин. *Вісник Інженерної академії України*. 2014. № 2. С. 220–224.
3. ДСТУ ISO 4287:2012 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Терміни, визначення понять і параметри структури (ISO 4287:1997, IDT + ISO 4287:1997/Cor 1:1998, IDT + ISO 4287:1997/Cor 2:2005, IDT).
4. ДСТУ 2409-94 Вимірювання параметрів шорсткості. Терміни та визначення.
5. ДСТУ ISO 10110-8:2018(ISO 10110-8:2010, IDT) Оптика та оптичні прилади. Розроблення креслень оптичних елементів та систем. Частина 8. Текстура поверхні, шорсткість і хвилястість.
6. ДСТУ 2413-94 Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення.

Alkhovyk O.V. MODERN METHODS AND MEANS TO CONTROL MICROGEOMETRIC PARAMETERS OF SURFACES OF PARTS AND DEVICES

The use of modern devices which are designed for non-contact and contact measurement of microgeometry of the surface of parts and devices - roughness, which affects the operational characteristics of mechanisms - corrosive resistance, durability, wearproof have been analyzed in the article.

There have been considered modern methods to control micro geometric parameters of surfaces of parts which are the parameters of roughness, an important indicator of technical characteristic of the device and its precise manufacturing. Contact and non-contact methods of measuring roughness indices have been described.

Contact (probe) method of measuring surface roughness is a method in which roughness is measured using profilometers and profilographs. When using the contact method of roughness measurement, the surfaces of the parts to be inspected may be damaged. The optical method is a non-contact method of measuring roughness, which consists of the group of methods: the method of light and shadow glowing, the micro interference method, the raster method. The most common is the optical method of measuring roughness which is the method of light and shadow glowing. The micro interference method is implemented using a special measuring device, which consists of a microscope and an interferometer. Under the raster method a glass plate with a raster grid is used, the surface roughness is determined using a special scanning microscope. Laser devices

are also used for non-contact measurement of material surface roughness. To assess the roughness of various hard-to-reach surfaces, and surfaces that have a complex structure, the method of casting is used which is a method of negative copying of the surface with wax, paraffin or gypsum, followed by measurements via non-contact or contact methods.

It is determined based on the analyses that for the manufacture of high-quality and reliable equipment it is necessary to control the micro geometric parameters of the surface of the parts which are the parameters of roughness. The methods and means of measuring roughness are chosen depending on the physical and mechanical characteristics of the materials of parts, their geometric dimensions and shapes, as well as the field and conditions of their application. Optical non-contact control methods are more appropriate for use in production, because they do not damage the surface of the parts and the measurement of roughness takes much less time than when measuring by contact methods.

Key words: surface, roughness, quality, reliability, profilometer, profilograph.