

РОЗДІЛ «МАШИНОБУДУВАННЯ. МЕХАНІКА»

УДК 621.891

DOI 10.31319/2519-2884.32.2018.165

СОЛОД В.Ю., к.т.н., доцент
НІКУЛІН О.В., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

НАБЛИЖЕНЕ ІНТЕГРУВАННЯ
ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ

Вступ. Розв'язання комплексних дослідницьких і прикладних задач триботехніки, як правило, включає розгляд макро- і мікрогеометрії контактуючих поверхонь деталей машин і виробів. Будь-яка реальна поверхня має нерівності: чергуються виступи і западини при малих відстанях між ними (рис. 1). Нерівності, що утворюють в сукупності рельєф поверхні, називаються шорсткістю поверхні [1, 2]. Вимірювання нерівностей поверхні належать до лінійно-кутових вимірювань. Основна їх особливість полягає в малості вимірюваних величин. Виміру на виробництві підлягають значення висот нерівностей R від 0,025 мкм і кроків S , починаючи від 2 мкм. Найменша висота нерівностей в десятки разів менша від самого малого діаметрального розміру, а найменший крок – на два порядки менший від самого малого кроку різьблення.

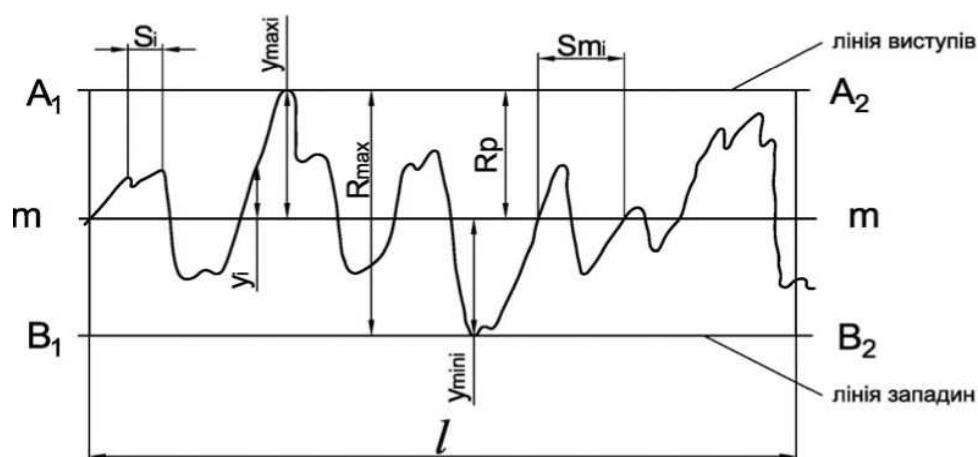


Рисунок 1 – Ділянка профілограми та її характеристики

Макроскопічна поведінка матеріалу безпосередньо залежить від особливостей його мікроструктури. Кількісний підхід при аналізі дозволяє виявити ту оптимальну структуру, яка в найбільшій мірі відповідає умовам служби матеріалу [3]. В даний час існує величезна кількість методів оцінки мікронерівностей поверхні. У кожного з них є свої плюси і мінуси, але їх головний спільний недолік полягає в неточності визначення дійсних значень досліджуваних величин і параметрів шорсткості профілю поверхонь [4]. Шорсткість поверхні характеризується набором показників, які визначаються даними вимірювання стану нерівностей поверхні по малим відрізкамі при базовій величині довжини на профілограмі. Сукупність характеристик, зазначених в нормативних документах, поширюється на вироби, виготовлені з використанням різних матеріалів, технологій та методів обробки, за винятком наявних дефектів. Для вимірювання нерівностей поверхні використовуються три визначальні параметри:

- R_a – середнє арифметичне відхилення досліджуваного профілю, мкм;

- R_z – висота вимірюваних нерівностей, яка визначається по 10 основних точках (сума середніх арифметичних абсолютних відхилень точок п'яти найбільших мінімумів і п'яти найбільших максимумів), мкм;

- R_{\max} – найбільша висота нерівностей профілю, мкм.

Крім того, використовуються крокові параметри S_m і S_i та опорна довжина досліджуваного профілю t_p . Дані параметри вказуються при необхідності враховувати умови експлуатації деталей.

Величини R_a і R_z наведено в спеціальних таблицях і при необхідності можуть використовуватися при проведенні проектних або технологічних розрахунків. Згідно з діючими нормативними матеріалами існує шкала, в якій наведено значення шорсткості поверхні різних деталей, що мають детальну розбивку на ряди номінальних значень параметра R_a в залежності від способу обробки.

Постановка задачі. Прилади, які базуються на контактних методах вимірювання (профілометр, профілографи) використовуються порівняно тривалий час. Класичною технікою для вимірювання мікроповерхонь є контактний (профільний) метод [3]. При визначенні шорсткості, як правило, використовується параметр середнього арифметичного відхилення профілю. Варто відзначити, що саме шорсткість найбільше впливає на експлуатаційні характеристики двигунів машин, а також деталей і вузлів різного устаткування. Саме тому точне визначення значення шорсткості – одна з найважливіших задач метрології в триботехніці [5].

Теоретично і практично актуально точне визначення параметрів шорсткості. Розгляд математичних аспектів обробки результатів профілограм направлено на підвищення адекватності результатів.

Результати роботи. За визначенням $R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$. Для практичних розрахунків [1, 2] рекомендується формула

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|. \quad (1)$$

Однак можна скористатися геометричним змістом інтеграла як площі фігури A і уточнити результати. Формулу (1) можна отримати, якщо для наближеного обчислення інтеграла скористатися формулою прямокутників (рис.2, а). Дійсно, $\Delta A_i = |y_i| \Delta x$ – площа прямокутного елемента, $A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i$ – площа фігури. Після підстановки отримуємо

$$\frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx = \frac{1}{l} A = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n |y_i| \Delta x = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n |y_i| \frac{l}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|.$$

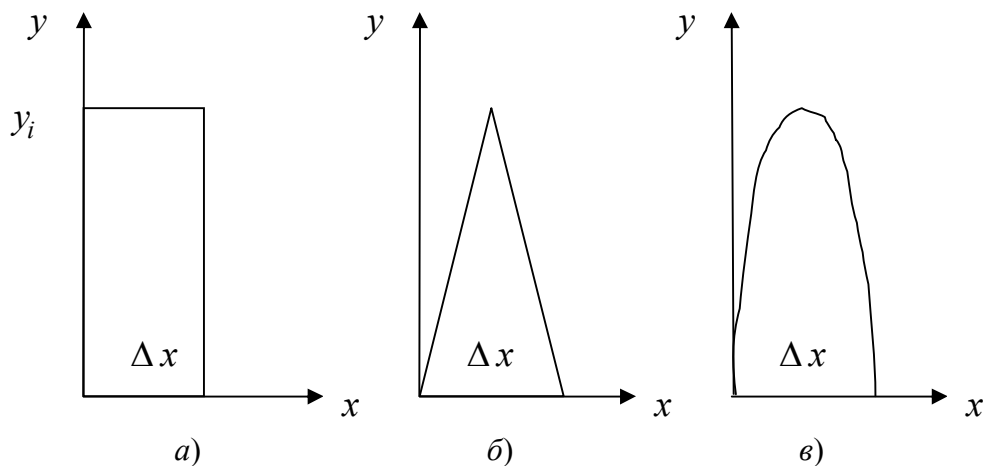
Проте, як показує типова профілограма (рис.1), краще, ніж прямокутне, наближення виступам і западинам рельєфу дають трикутники (рис.2, б) або криволінійні трапеції (рис.2, в).

При трикутних наближеннях

$$\frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx = \frac{1}{l} A = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n \Delta A_i = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n |y_i| \frac{l}{2 \cdot n} = \frac{1}{2 \cdot n} \sum_{i=1}^n |y_i|. \quad (2)$$

Якщо для наближень використовуються криволінійні трапеції, то формула Сімпсона набуває вигляду

$$\frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx = \frac{1}{l} A = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n \Delta A_i = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n |y_i| \frac{2 \cdot l}{3 \cdot n} = \frac{2}{3 \cdot n} \sum_{i=1}^n |y_i|. \quad (3)$$



а) – прямокутне; б) – трикутне; в) – криволінійне

Рисунок 2 – Наближення елементів рельєфу поверхні

З урахуванням формул (2) і (3) пропонується використовувати уточнену з використанням коефіцієнта форми k формулу практичних розрахунків

$$R_a = \frac{k}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (4)$$

де $k = 0,5 \dots 0,67$ і вибирається залежно від переважної форми виступів і западин на профілограмі (трикутники або криволінійні трапеції).

Приймати $k = 1$, як у формулі (1), недоцільно, тому що реальна форма западин і виступів не є прямокутною.

Фактами, що підтверджують правильність коригування формули розрахунку (1) за допомогою (4), є співвідношення між R_a і R_z . За даними таблиць співвідношень

$$\frac{R_z}{R_a} \approx 4.$$

Порівняння розрахункових формул для R_a і R_z дає

$$R_z = \frac{1}{5} \cdot \left(\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right) = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{10} |y_i|,$$

$$R_a = \frac{k}{10} \sum_{i=1}^{10} |y_i|.$$

Після підстановки значень і з урахуванням табличних даних отримуємо

$$\frac{R_z}{R_a} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{10} |y_i| \Big/ \frac{k}{10} \cdot \sum_{i=1}^{10} |y_i| = \frac{2}{k} = 4.$$

Тоді коефіцієнт форми $k = 0,5$.

Для ілюстрації застосування формули (4) і наступних висновків можна використати робочу профілограму з відповідною розміткою (рис.3). Профілограму записано з горизонтальним збільшенням профілографа $K_z = 5000$ і вертикальним збільшенням $K_g = 1000$. Дані вимірювань заносяться у табл.1.

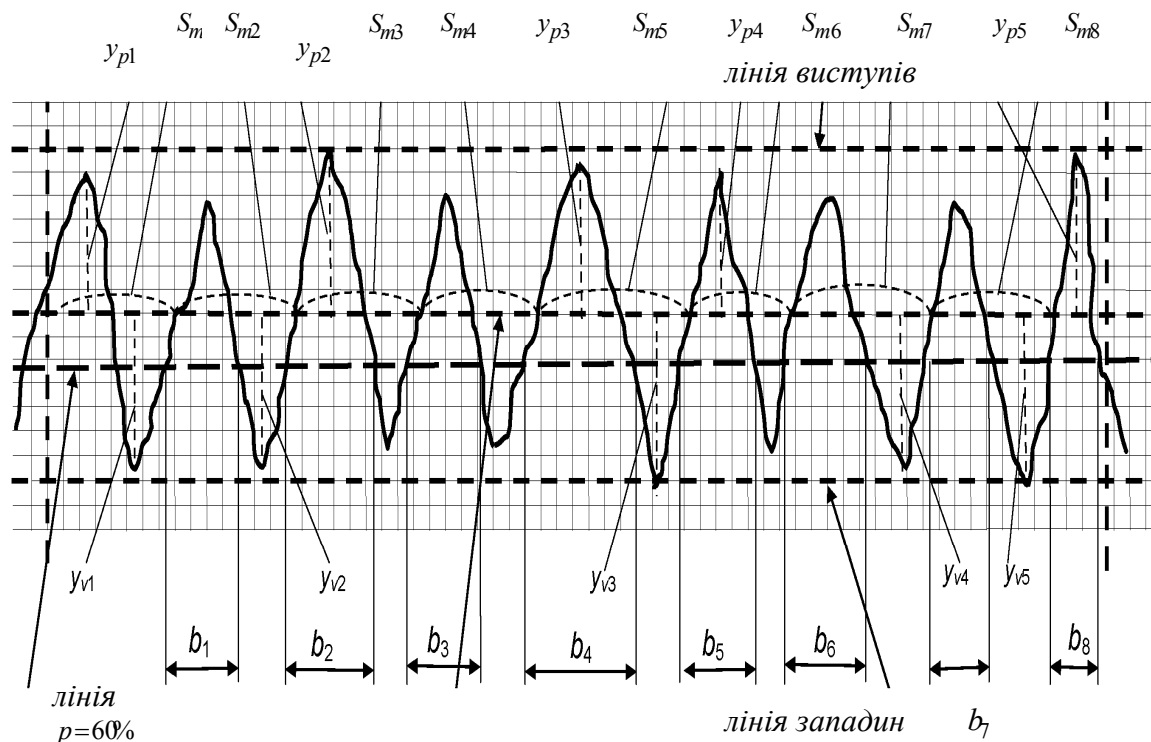


Рисунок 3 – Робоча профілограма

Таблиця 1 – Дані по характеристиках робочої профілографи

Ділянка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$ y_i $, мм	13	15	16	14	15	16	14	15	15	16

Значення параметра розраховується за формулою

$$R_z = \frac{1}{5 \cdot K_g} \sum_{i=1}^{10} |y_i| \cdot 10^3 .$$

Після підстановки табличних даних

$$R_z = \frac{1}{5 \cdot 1000} \cdot (13 + 15 + \dots + 16) \cdot 10^3 = 29,8 \text{ мкм} .$$

Можна помітити, що форма виступів і западин наближується до трикутної (рис.3). У формулі (4) обираємо $k \approx 0,5$, враховуючи, що $K_g = 1000$. Далі отримуємо

$$R_a = \frac{0,5}{10K_g} \sum_{i=1}^{10} |y_i| \cdot 10^3 = 7,45 \text{ мкм} .$$

Відповідно до даних табл.1 за отриманими значеннями R_a і R_z поверхня відноситься до 5 класу шорсткості. Результати узгоджено.

За формулою (1)

$$R_a = \frac{1}{10K_\sigma} \sum_{i=1}^{10} |y_i| \cdot 10^3 = 14,9 \text{ мкм},$$

тобто за значенням R_a треба було б віднести поверхню до попереднього номінального значення в ряді шорсткості.

Тому при знаходженні R_a слід використовувати формулу (4) як більш адекватну.

Висновки. В роботі проаналізовано відомі формули визначення шорсткості поверхні металів і сплавів, на основі методів наближеного інтегрування визначено додаткові критерії оцінки мікрогеометрії поверхонь і запропоновано коригування формули визначення середнього арифметичного відхилення досліджуваного профілю R_a .

Встановлення взаємозв'язків між характеристиками R_a і R_z дає додаткову можливість контролювати процес досягнення заданих експлуатаційних характеристик виробів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Д.Н.Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985. – 424с.
2. Максименко О.П. Теорія і практика змащування металургійних машин: навч. посіб. / О.П.Максименко, В.В.Перемітько, В.М.Самохвал. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007. – 224с.
3. Аналіз сучасних методів визначення структури та топології поверхонь матеріалів / О.Ю.Повстяной, В.Д.Рудь, Ю.А.Мельник, Н.Ю.Імбірович // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2014. – № 2. – С.37-42.
4. Исследование шероховатости поверхности подложек из совершенных монокристаллов $CdTe$ / В.М.Каневский, Ю.М.Иванов, А.Н.Поляков [и др.] // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2006. – № 12. – С.12-14.
5. Методы исследования и контроля шероховатости поверхности металлов и сплавов / Ю.Ф.Назаров, А.М.Шкилько, В.В.Тихоненко, И.В.Компанец // Физическая инженерия поверхности. – 2007. – Т. 5, № 3-4. – С.207-216.

Надійшла до редколегії 22.01.2018.

УДК 621.923

DOI 10.31319/2519-2884.32.2018.166

МОЛЧАНОВ В.Ф. к.т.н., доцент

Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское

ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТЕЙ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Введение. Исследованию механизма образования шероховатости поверхностей при окончательной обработке шлифованием посвящено значительное число работ. Однако механизм образования микропрофиля поверхности с учетом влияния твердых частиц, содержащихся в смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), исследован недостаточно.

Анализ публикаций. Известно, что металлические частицы шлама, попавшие вместе с жидкостью в зону контакта абразивных зерен круга с поверхностью заготовки,