

Міністерство освіти і науки України
Державний університет "Житомирська політехніка"
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

МЕТРОЛОГІЯ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ

Лекція №6 на тему:

Шорсткість і хвилястість поверхонь.

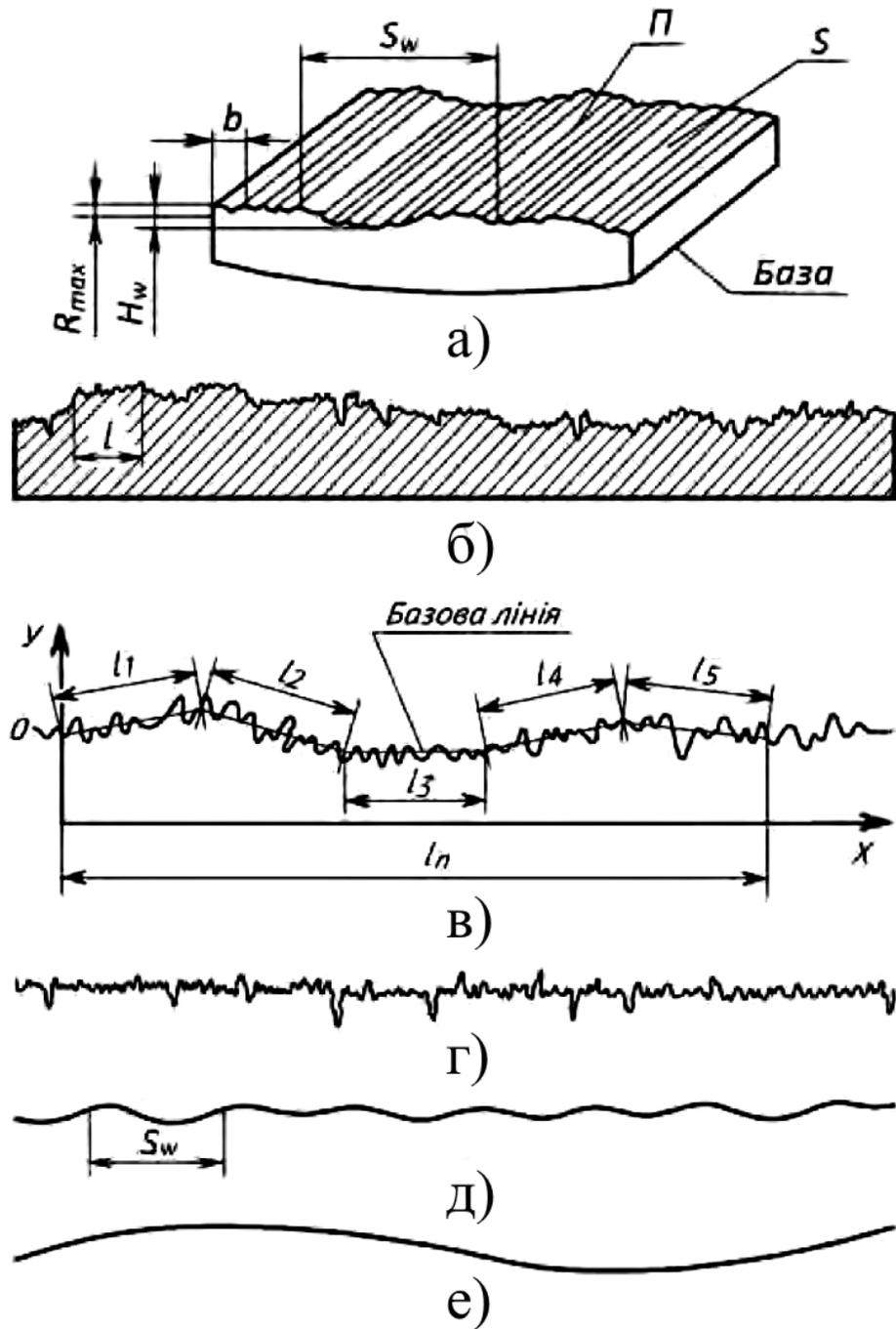
1. Що таке хвилястість та шорсткість поверхні? Їх визначення.
2. Розходження між хвилястістю та шорсткістю поверхні.
3. Що таке середня лінія шорсткості поверхні та як вона проводиться?
4. Які параметри кількісної оцінки шорсткості та як вони визначаються?
5. Позначення шорсткості поверхні на кресленнях. Приклади.
6. Типи та умовні позначення на кресленнях напрямків нерівностей поверхні.
7. Основні методи та засоби вимірювань шорсткості поверхні.
8. Залежність величини шорсткості від способу обробки поверхні.
9. Визначення параметрів шорсткості в процесі конструювання деталей машин різного призначення.

1. Основні терміни та визначення.

Поверхні деталей, оброблених на металорізальних верстатах, мають нерівності у **поздовжньому і поперечному напрямках.**

Поздовжні нерівності визначаються в напрямку головного робочого руху при різанні, а поперечні – в напрямку, перпендикулярному до нього. Ці неточності, їх форма, розміри, частота повторення залежать від різального інструмента, методів і режимів обробки, матеріалу деталі, жорсткості обладнання.

При оцінці нерівностей розрізняють хвилястість і шорсткість поверхонь.



На (рис. б) зображений профіль поверхні (рис. а). Даний профіль (рис. б) можна розкласти на шорсткість (рис. г), хвилястість (рис. д) та відхилення форми (рис. е).

Спосіб виділення шорсткості аоврехні (рис. г) з профілю (рис. б) за допомогою базової довжини l показано на (рис. в), де профіль поділений на кілька однакових відрізків (на малюнку 5 відрізків) довжини l . На кожному з них окремо визначено шорсткість, та потім профіль випрямлений, як показано на (рис. г).

Базову довжину l вибирають з ряду 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25 мм (ДСТУ 2413-94 Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення, ДСТУ EN ISO 21920-2:2022 Геометричні специфікації виробу (GPS). Текстура поверхні: профіль. Частина 2. Терміни, визначення та параметри текстури поверхні); вона визначає ступінь виключення з профілю довгохвилястої частини нерівностей – відхилення форми та хвилястості.

2. Шорсткість поверхні.

Шорсткість поверхні – сукупність нерівностей поверхні з відносно малими кроками, виділена, наприклад, за допомогою базової довжини.

Збільшене зображення реального профілю, отримане під час вимірювання шорсткості, називають профілограмою (рис. 2). Профілограму розглядають на базовій довжині l .

Базова довжина l – довжина базової лінії, що використовується для відокремлення нерівностей, які характеризують шорсткість поверхні.

Базова лінія (поверхня) – лінія (поверхня), відносно якої проводиться оцінювання параметрів шорсткості поверхні. Базова поверхня має форму номінальної поверхні, а її положення відповідає загальному напрямку реальної поверхні в просторі. Математично вона може бути визначена, наприклад, за допомогою методу найменших квадратів.

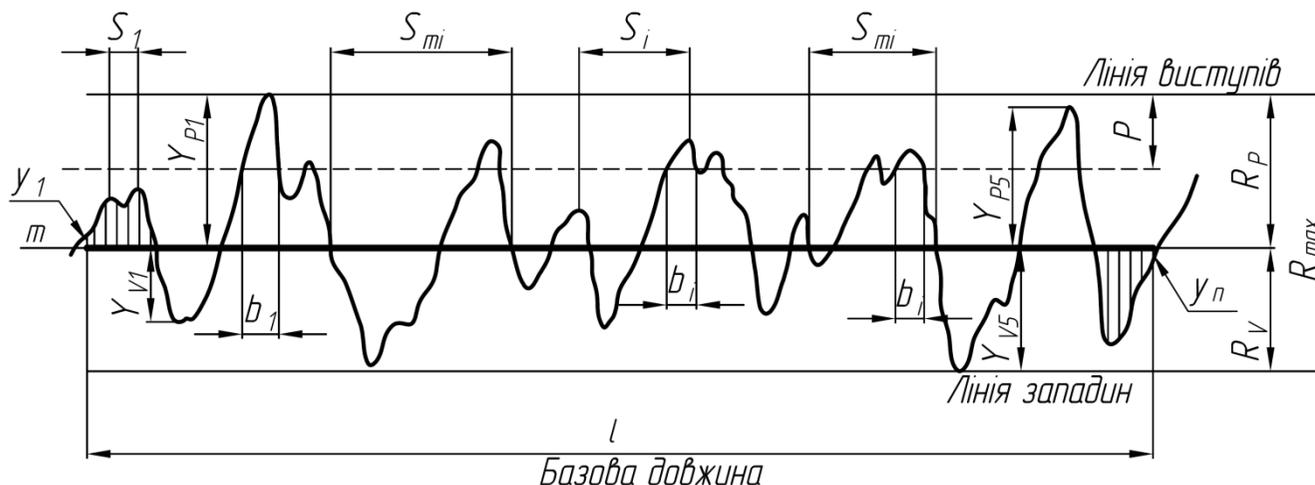


Рис. 2 - Профілограма реального профілю

Нормування шорсткості поверхонь базується на системі середньої лінії – системі відліку, що використана для оцінювання параметрів шорсткості поверхні, в якій за базову лінію вибрана середня лінія профілю.

Середня лінія профілю m – базова лінія, яка має форму номінального профілю та ділить реальний профіль так, що в межах базової довжини сума квадратів відхилень профілю від цієї лінії є мінімальна (рис. 2).

Відхилення профілю Y – відстань між точкою реального профілю та базовою лінією.

Виступ профілю – частина реального профілю, що з'єднує дві сусідні точки перерізу його з середньою лінією профілю і направлена із тіла.

Западина профілю – частина реального профілю, що з'єднує дві сусідні точки перерізу його з середньою лінією профілю та направлення в тіло.

Місцевий виступ профілю – частина реального профілю, розташована між двома сусідніми мінімумами профілю.

Місцева западина профілю – частина реального профілю, розташована між двома сусідніми максимумами профілю.

Лінія виступів профілю – лінія, що еквідистантна середній лінії та проходить через найвищу точку профілю в межах базової довжини.

Лінія западини профілю – лінія, що еквідистантна середній лінії та проходить через нижчу точку профілю в межах базової довжини.

Рівень перерізу профілю R – відстань між лінією виступів профілю та лінією, що перетинає профіль еквідистантно лінії виступів профілю.

Встановлено біля 40 параметрів шорсткості поверхні, та поділені на три групи: параметри, які зв'язані з висотними властивостями нерівностей; параметри, які зв'язані з властивостями нерівностей в напрямку довжини профілю; параметри, які зв'язані з формою нерівностей профілю.

Числові значення і граничні відхилення встановлено для параметрів:

– параметри, які зв'язані з висотними властивостями нерівностей:

R_a – середнє арифметичне відхилення профілю;

R_z – висота нерівностей профілю по десяти точках;

R_{max} – найбільша висота нерівностей профілю;

– параметри, які зв'язані з властивостями нерівностей в напрямку довжини профілю:

S_m – середній крок нерівностей профілю;

S – середній крок місцевих виступів профілю;

– параметри, які зв'язані з формою нерівностей профілю:

t_p – відносна опорна довжина профілю.

Середнє арифметичне відхилення профілю Ra – середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини:

$$Ra = \frac{1}{l} \cdot \int_0^1 |y(x)| \cdot dx$$

або за дискретного способу оцінювання

$$Ra \approx \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |y_i|$$

де y – відхилення профілю – відстань між будь-якою точкою профілю і середньою лінією, яка виміряна по нормалі, що проведена до середньої лінії через цю точку профілю;

y_i – відхилення профілю у вибраних (дискретних) точках (рис. 2);

n – кількість дискретних відхилень профілю;

l – базова довжина.

Найбільша висота нерівностей профілю $Rmax$ – відстань між лінією виступів і лінією западин профілю в межах базової довжини (рис. 2).

Висота нерівностей профілю по десяти точках Rz – сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю та глибин п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини:

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{\vartheta i}|}{5}$$

де y_{pi} – висота i -го найбільшого виступу профілю (рис. 2);

$y_{\vartheta i}$ – глибина i -ї найбільшої западини профілю (рис. 2).

Середній крок нерівностей профілю Sm – середнє значення кроку нерівностей профілю в межах базової довжини:

$$Sm = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Sm_i$$

де Sm_i – крок нерівностей профілю – відрізок середньої лінії профілю, що обмежує нерівність профілю (рис. 2);

n – кількість кроків нерівностей профілю на базовій довжині.

Середній крок місцевих виступів профілю S – середнє значення кроку місцевих виступів профілю в межах базової довжини:

$$S = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n S_i$$

де S_i – крок місцевих виступів профілю - відрізок середньої лінії між проєкціями на неї найвищих точок сусідніх місцевих виступів профілю (рис. 2);

n – кількість місцевих виступів профілю на базовій довжині.

Відносна опорна довжина профілю t_p – відношення опорної довжини профілю до базової довжини:

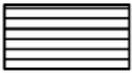
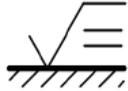
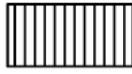
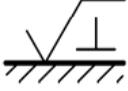
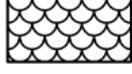
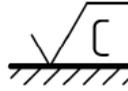
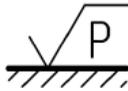
$$t_p = \frac{\eta_p}{l}; \quad \eta_p = \sum_{i=1}^n b_i$$

де η_p – опорна довжина профілю – сума довжин відрізків b_i , що відсікаються на заданому рівні профілю деталі лінією, еквідистантною до середньої лінії, в межах базової довжини (рис. 2);

l – базова довжина.

За необхідності, додатково до параметрів шорсткості поверхні встановлюються вимоги до напрямку нерівностей поверхні (табл. 1), до способу або послідовності способів отримання (обробки) поверхні.

Типи напрямків нерівностей поверхні вибираються з табл. 1.

Тип напрямку нерівностей	Схематичне зображення	Пояснення	Позначення
Паралельне		Паралельно лінії, що зображує на кресленні поверхню, до шорсткості якої встановлюються вимоги.	
Перпендикулярне		Перпендикулярно до лінії, що зображує на кресленні поверхню, до шорсткості якої встановлюються вимоги.	
Перехресне		Перехреснується у двох напрямках, з нахилом до лінії, що зображує на кресленні поверхню, до шорсткості якої встановлюються вимоги.	
Довільне		Різні за напрямком по відношенню до лінії, що зображує на кресленні поверхню, до шорсткості якої встановлюються вимоги.	
Колоподібне		Приблизно колоподібно по відношенню до центра поверхні, до шорсткості якої встановлюються вимоги.	
Радіальне		Приблизно радіальне по відношенню до центру поверхні, до шорсткості якої встановлюються вимоги.	
Точкове		На поверхні є місцеві опуклості.	

3. Хвилястість поверхні.

Хвилястість – це сукупність періодичних виступів і западин, у яких відстань між сусідніми виступами чи западинами перевищує базову довжину l . Хвилястість займає проміжне положення між відхилами форми і шорсткістю поверхні.

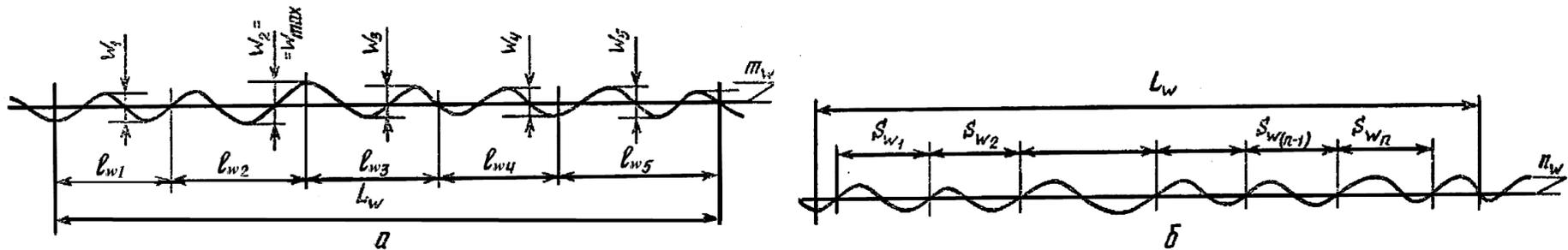


Рис. 3 - Параметри хвилястості

Висота хвилястості W_z – середнє арифметичне з п'яти її значень ($W_1; W_2; W_3; W_4; W_5$), визначених на довжині ділянки вимірювання L_w , яка дорівнює не менше як п'яти дійсним крокам хвилястості:

$$W_z = \frac{1}{5} \cdot (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5)$$

Числові граничні значення хвилястості W_z вибирають з ряду 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25; 50; 100; 200 мкм.

Окремі вимірювання хвилястості здійснюють на довжині L_w , яка дорівнює п'ятій частині довжини L_w .

Найбільша висота хвилястості W_{\max} – відстань між найвищою і найнижчою точками вимірюваного профілю в межах L_w .

Середній крок хвилястості S_w – середнє арифметичне значення довжини відрізків середньої лінії S_w , обмежених точками їх перетину із сусідніми ділянками профілю m_w (рис. 3)

$$S_w = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n S_{mi}$$

Форма хвилястості залежить від обробки поверхні. Вона має, як правило, синусоїдний характер.

Межа між хвилястістю і шорсткістю умовна, оскільки при зміні базової довжини l , яку призначають з експлуатаційних міркувань, значення параметрів хвилястості і шорсткості будуть також змінюватись.

Критерієм їх розпізнавання може бути відношення кроку до висоти:

$$S_w/W_z < 40 \text{ – шорсткість;}$$

$$40 < S_w/W_z < 100 \text{ – хвилястість;}$$

$$1000 < S_w/W_z \text{ – відхилення форми;}$$

4. Позначення шорсткості.

Шорсткість поверхні позначається відповідно до ДСТУ EN ISO 1302:2018 «Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Познака зовнішньої текстурив технічній документації на продукцію»

Шорсткість поверхонь позначають на кресленні для всіх поверхонь виробів, які виконуються за даним кресленням, незалежно від методів їх утворення, крім поверхонь, шорсткість яких не обумовлена вимогами конструкції.

Вимоги до шорсткості поверхні повинні встановлюватися шляхом вказування параметру шорсткості (одного або декількох), значень вибраних параметрів та базових довжин, на яких відбувається визначення параметрів.

Числові значення параметрів шорсткості (найбільші, номінальні або діапазони значень) вибираються із табл. 2, 3, 4, 5.

Для номінальних числових значень параметрів шорсткості повинні встановлюватись допустимі граничні відхилення.

Якщо параметри R_a , R_z визначені на базовій довжині відповідно до стандарту, то ці базові довжини не вказуються у вимогах до шорсткості.

Таблиця 2

Рекомендовані значення середньо арифметичного відхилення профілю R_a , мкм
 (за ДСТУ EN ISO 1302:2018)

100	80	63	50	40	32	25	20	16	12,5
10	8	6,3	5	4	3,2	2,5	2	1,6	1,25
1	0,8	0,63	0,5	0,4	0,32	0,25	0,2	0,16	0,125
0,1	0,08	0,063	0,05	0,04	0,032	0,025	0,02	0,016	0,012
0,01	0,008	-	-	-	-	-	-	-	-

Примітка. Переважні значення параметрів виділені.

Таблиця 3

Рекомендовані значення висоти нерівностей профілю по 10 точкам R_z та найбільшій висоті нерівностей профілю R_{max} , мкм (за ДСТУ EN ISO 1302:2018)

-	-	-	-	-	-	-	-	1600	1250
1000	800	630	500	400	320	250	200	160	125
100	80	63	50	40	32	25	20	16	12,5
1	0,8	0,63	0,5	0,4	0,32	0,25	0,2	0,16	0,125
0,1	0,08	0,063	0,05	0,04	0,032	0,025	-	-	-

Примітка. Переважні значення параметрів виділені.

Таблиця 4

Рекомендовані значення середнього кроку нерівностей S_m та середнього кроку місцевих виступів профілю S , мкм (за ДСТУ EN ISO 1302:2018)

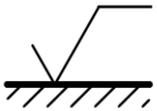
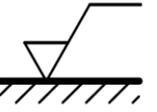
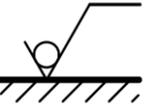
-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,5
10	8	6,3	5	4	3,2	2,5	2	1	1,25
1	0,8	0,63	0,5	0,4	0,32	0,25	0,2	0,16	0,125
0,1	0,08	0,063	0,05	0,04	0,032	0,025	0,02	0,016	0,0125
0,01	0,008	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	-	-	-

Таблиця 5

Рекомендовані числові значення параметрів t_p , p , l (за ДСТУ EN ISO 1302:2018)

Назва параметра	Умовне позначення, одиниці вимірювання	Числові значення
Відносна опорна довжина профілю	t_p , %	10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90
Рівні перерізу профілю	p , % від R_{max}	5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90
Базова довжина профілю	l , мм	0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25

Шорсткість поверхонь позначається одним із знаків (за ДСТУ EN ISO 1302:2018):

	для поверхні, спосіб обробки якої конструктором не встановлений;
	для поверхні, яка повинна бути отримана тільки видаленням шару матеріалу, наприклад, точінням, шліфуванням, травленням, тощо;
	для поверхні, яка повинна бути отримана без видалення шару матеріалу, наприклад, литтям, прокатом, тощо.

Структура позначення шорсткості поверхні показана на рис. 4.

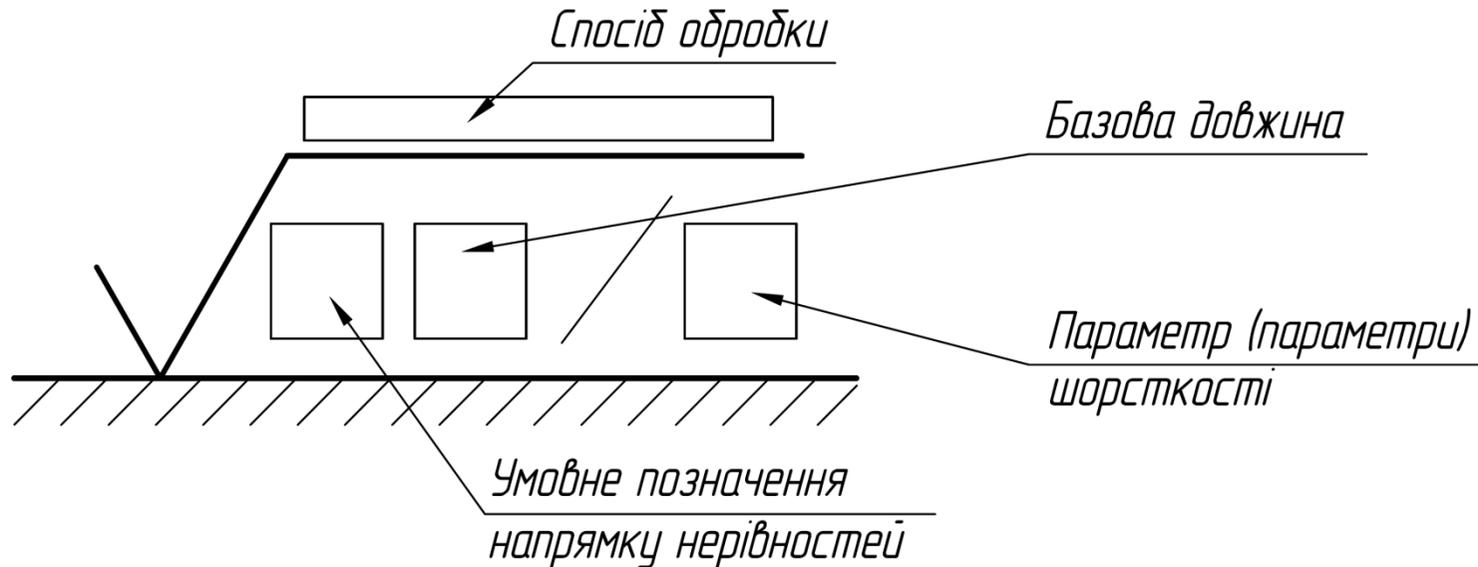


Рис. 4 - Структура позначення шорсткості поверхні

Числові значення параметрів шорсткості вказують під знаком шорсткості після відповідного символу, наприклад: $Ra\ 0,4$; $R_{max}\ 6,3$; $S_m\ 0,63$; $t_{50}\ 70$; $S\ 0,032$; $Rz\ 50$.

Числові значення параметрів Ra , Rz , R_{max} задаються у мікрометрах; параметрів S_m , S та l – у міліметрах; tp та P – у відсотках (%).

Якщо вказують декілька параметрів шорсткості, їх записують згори донизу у послідовності: один з параметрів висоти нерівностей; один з параметрів кроку нерівностей; відносна опорна довжина.

Числові значення параметрів шорсткості можуть бути призначені за одним із способів:

1) найбільшим допустимим значенням параметра, наприклад $\sqrt{Ra_{0,4}}$; $\sqrt{Rz_{50}}$ або найменшим допустимим значенням параметра, наприклад $\sqrt{Ra_{3,2min}}$, $\sqrt{Rz_{50min}}$.

2) найбільшим і найменшим граничними значеннями параметра, наприклад $Ra_{0,4}^{0.8}$, tp_{70}^{50}

3) номінальним значенням параметра з граничними відхиленнями у відсотках, наприклад $Ra_{1+20\%}$, $Rz_{70-20\%}$, $tp\ 70 \pm 40\%$.

Спосіб обробки (рис. 4) вказується тільки у випадку, якщо він є єдиний для отримання потрібної якості поверхні. Також, за необхідності, під знаком шорсткості, відповідно до табл.1, ставиться умовне позначення напрямку нерівностей.

5. Нормування шорсткості.

Вимоги до шорсткості поверхонь деталей та вибір параметрів для її оцінювання визначаються, виходячи із функціонального призначення, умов роботи та конструктивних особливостей поверхні та деталі в цілому. Якщо в цьому немає необхідності, то вимоги до шорсткості поверхні не встановлюються і шорсткість цієї поверхні контролюватись не повинна.

В основному нормуються висотні параметри. Нормування параметру R_a є переважним. Цей параметр визначається за значно більшою кількістю точок, тому більш повно оцінює відхилення профілю.

Параметр R_z нормується, як правило, у випадках, коли контроль параметру R_a ускладнено – коли розміри контрольованої поверхні малі або форма складна, наприклад, різальні кромки інструментів.

В першу чергу застосовують переважні числові значення параметрів шорсткості.

Шорсткість поверхні може бути призначена за одним із способів:

- за рекомендаціями з вибору числових значень параметрів для найбільш типових видів з'єднань наведених у довідковій літературі;
- за стандартами на деталі та вироби, а також на поверхні, з якими вони з'єднуються, наприклад, вимоги до шорсткості поверхонь під підшипники кочення;
- за відсутності рекомендацій з визначення шорсткості поверхні, обмеження шорсткості поверхні можуть залежати від допуску розміру (IT), допуску форми (TF) або допуску розташування (TP). Величину параметру Rz рекомендується призначати не більше 0,33 від величини допуску на розмір або 0,5...0,4 від допуску форми чи розташування.

Перехід від параметра Rz до параметра Ra здійснюється за співвідношеннями:

$$Ra \approx 0,25 \cdot Rz, \text{ якщо } Rz \geq 8 \text{ мкм};$$

$$Ra \approx 0,2 \cdot Rz, \text{ якщо } Rz \geq 8 \text{ мкм};$$

Отримане значення параметра Ra округляють до найближчого числа з ряду стандартних значень (табл. 2).

6. Контроль шорсткості поверхні.

Зразки порівняння параметрів шорсткості поверхні. Параметри шорсткості поверхні оцінюють на робочому місці порівнянням зі зразками шорсткості - брусками з плоскою або циліндричною поверхнею довжиною 30-40 мм і шириною 20 мм (рис. 5) із відомими значеннями параметра шорсткості. Зразки шорсткості комплектують у набори.

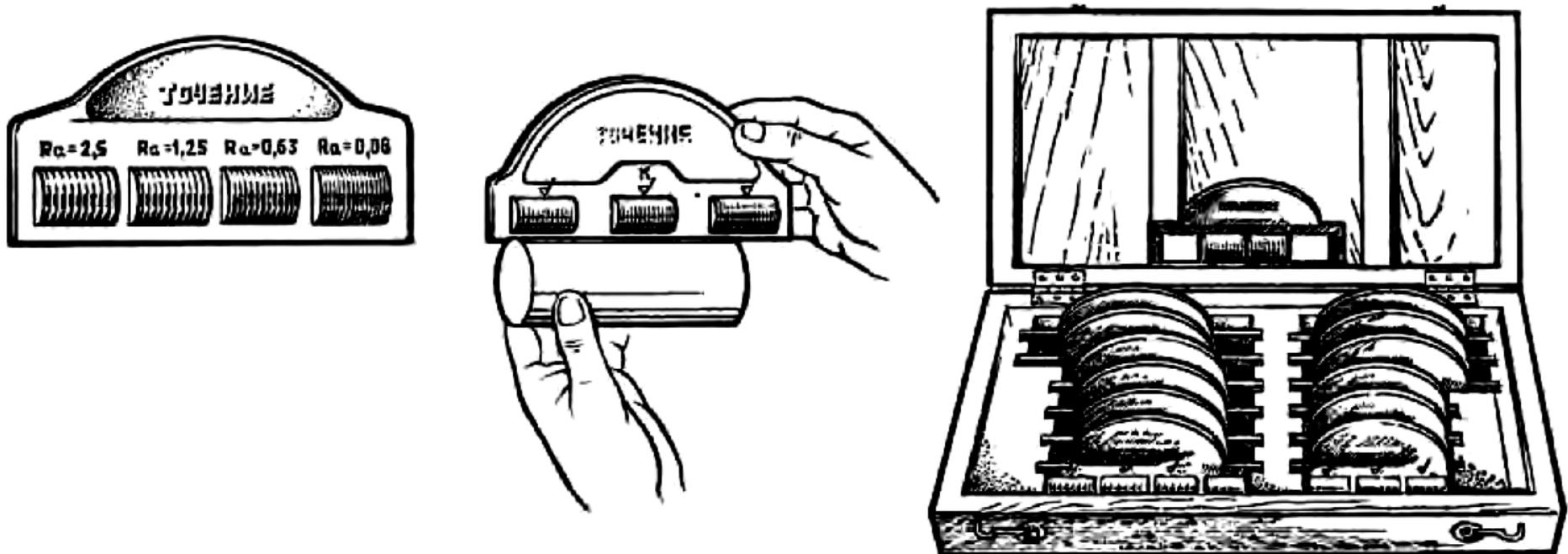


Рис. 5 – Зразки шорсткості поверхні

Прилади для вимірювання параметрів шорсткості поверхні. Засоби вимірювання параметрів шорсткості поверхні поділяють на **оптичні** та **контактні**. Контактні засоби вимірювання більш надійні у цехових умовах роботи.

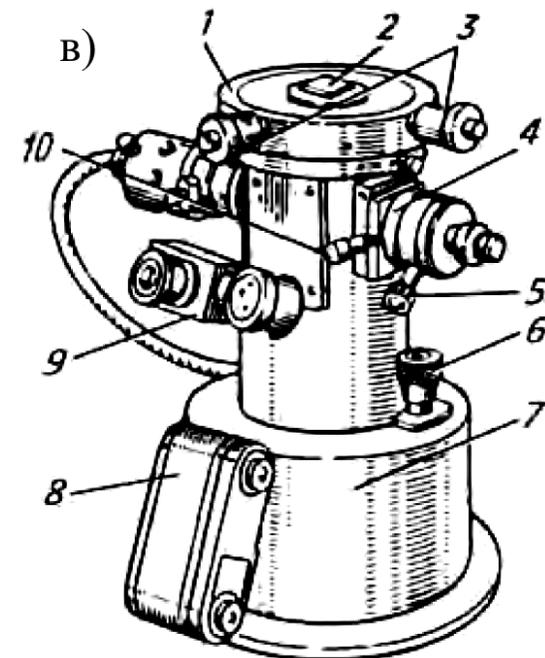
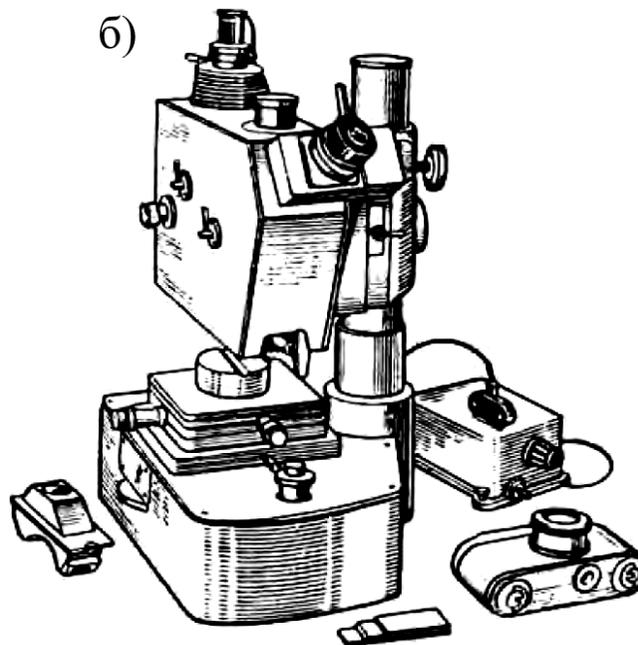
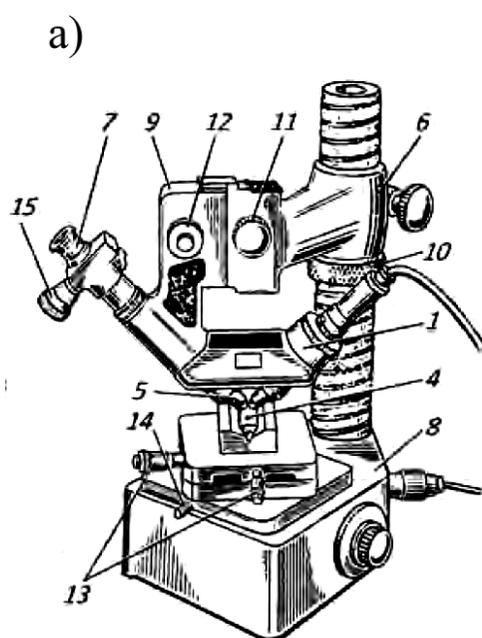
Оптичні засоби вимірювання (оптичні прилади) призначені для визначення трьох параметрів шорсткості: R_z , R_{max} і S у площині, нормальній до напрямку нерівностей поверхні.

Існує п'ять типів оптичних приладів для вимірювання параметрів шорсткості поверхні: ПТС - прилад тіньового перерізу, призначений для вимірювання шорсткості грубо оброблених поверхонь; ПСС - прилад світлового перерізу (подвійний мікроскоп); МОМ - мікроскоп однооб'єктивний муаровий, заснований на вимірюванні викривлення муарових смуг, спричиненого нерівностями поверхні; МІІ - мікроскоп інтерференційний, що використовує під час вимірювання двоприменеву інтерференцію світла; МПІ - мікроскоп-профілометр, дія якого ґрунтується на інтерференції світла з утворенням смуг рівного хроматичного порядку.

До приладів типу ПСС відносять подвійний мікроскоп Лінника МИС-11 (рис. 6.а), що складається з проєктувального та спостережного мікроскопів, осі яких розміщені під кутом 90° , а бісектриса кута перпендикулярна до контрольованої поверхні.

Мікроскоп ПСС-2 (рис. 6.б), на відміну від мікроскопа МИС-11, має велике збільшення, забезпечений комплектом вбудованих об'єтивів, містить гвинтовий окулярний мікрометр із внутрішнім відліком, змінні щілини і вбудовану фотокамеру. Він призначений для вимірювання та фотографування висоти мікронерівностей на зовнішніх поверхнях деталей.

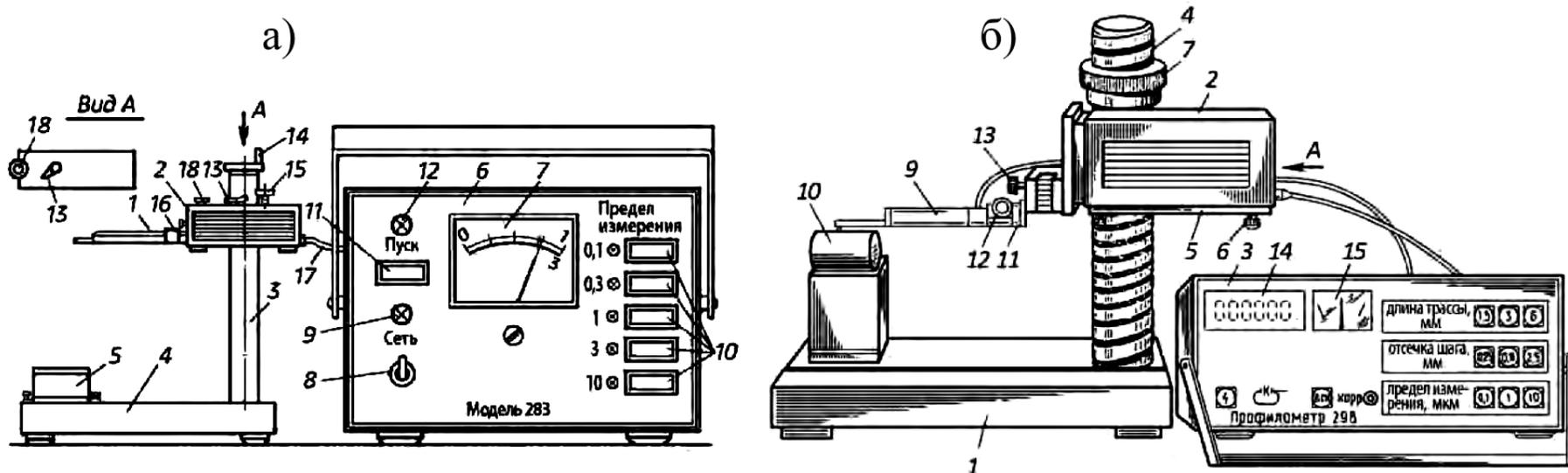
Микроінтерферометри (рис. 6.в) застосовують для вимірювання шорсткості поверхні за параметрами R_a та R_z .



Контактні прилади вимірювання параметрів шорсткості. До контактних приладів відносять **профілометри** та **профілографи**, що випускаються для номінально-прямолінійних профілів поверхонь (тип А) і для номінально-непрямолінійних профілів поверхонь (тип Б). Випускають контактні профілографи-профілометри (мод. 252), в яких передбачено запис профілограми і цифровий відліковий пристрій. За призначенням прилади поділяють на дві групи: I - для дослідницьких робіт і лабораторних вимірювань; II - для вимірювань у цехових умовах.

У профілометрах параметри шорсткості визначають за стрілковими або цифровими відліковими пристроями. Наприклад, до профілометрів зі стрілковим відліковим пристроєм відносять профілометри мод. 253 та 283 (рис. а), у яких шкали проградуєвані за параметром Ra. Завод «Калібр» випускає профілометр мод. 296 (рис. б) із цифровим відліковим пристроєм.

Окрім відлікових пристроїв, профілографи-профілометри забезпечені реєстру-вальним (записувальним) пристроєм. Профіль контрольованої поверхні записують у вигляді кривої, названої профілограмою, що є початковим документом для визначення всіх параметрів шорсткості поверхні.



Література

1. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання (2-е видання доповнене і перероблене): Підручник / За ред. Сірого І.С. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 353 с.
2. Желєзна А.М., Кирилович В.А. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2004. – 796 с.
3. Допуски, посадки та технічні вимірювання: підруч. для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / В.З. Набродов. Київ: Літера ЛТД, 2019. – 224 с.
4. ДСТУ 2413-94 Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення.
5. ДСТУ EN ISO 21920-2:2022 Геометричні специфікації виробу (GPS). Текстура поверхні: профіль. Частина 2. Терміни, визначення та параметри текстури поверхні
6. ДСТУ EN ISO 1302:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Познака зовнішньої текстурив технічній документації на продукцію