

### Відхилення форми і розташування поверхонь

Форма деталі, що обробляється завжди має деякі відхилення від правильної геометричної форми, заданої кресленням. Відхилення форми: відхилення від площини, не прямолінійність, не циліндричність, не круглість. Допустиму величину таких відхилень указують на кресленнях надписами в технічних вимогах, наприклад «овальність шийки d25H7 не більше 0,02 мм».

Але більш доцільно її показувати умовними знаками на кресленнях. Дані про граничні відхилення форми і розташування поверхонь вказують в рамці де поміщають: а) знак відхилення, б) величину відхилення в мм, в) базу, до якої відноситься відхилення.

Таблиця .1.

Умовні означення допусків форми і розташування поверхонь на кресленнях

Група допусків	Вид допуску	Означення
Допуски форми	Допуск на прямолінійність	—
	Допуск на площину	▭
	Допуск на круглість	○
	Допуск на циліндричність	⊠
	Допуск на профіль подовжнього перетину	=
Допуски розташування	Допуск на паралельність	∥
	Допуск на перпендикулярність	⊥
	Допуск на наклони	∠
	Допуск на співвісність	◎
	Допуск на симетричність	≡
	Позиційний допуск	⊕
	Допуск на перехрещування осей	×
	Допуск на радіальне, торцеве биття, на биття в заданім напрямку	/
Сумарні допуски	Допуск на повне радіальне и торцеве биття	└┘
	Допуск на форму заданої поверхні	⌒

Відхилення розташування поверхонь: непаралельність, не перпендикулярність, не співвісність, биття торцеве чи радіальне, несиметричність, відхилення від пересічення осей. Ці відхилення також вказують в рамці і відносять до всієї довжини поверхні, або указують її значення у виді дробі, наприклад 0,1/100, тобто 0,1 мм на довжині 100 мм.

Допуски розмірів, форм і розташування поверхонь в залежності від квалітетів допусків розмірів і рівнів геометричної точності регламентуються ДСТ 25346. При відсутності на кресленнях вказівок на допустимі відхилення форми і розташування поверхонь, ці відхилення обмежують полем допуску на розмір.

### Якість поверхонь деталей машин після механічної обробки і її значення

Реальна поверхня утворюється в процесі обробки деталі і на відміну від номінальної поверхні, зображеної на кресленні, має нерівності різної форми і висоти. В процесі механічної обробки від дії ріжучого інструменту на поверхні деталі залишаються гребінці і впадини, структура поверхні змінюється - в результаті пластичних деформацій виникають внутрішні

напруги, утворюється наклеп, твердість поверхні підвищується. Степінь наклепу металу і глибина проникнень пластичних деформацій залежать від методу обробки і режиму різання. При підвищенні подачі і глибини різання товщина наклепаного шару збільшується, при підвищенні швидкості різання - зменшується.

По геометричним признакам відрізняють наступні відхилення форми оброблених поверхонь:

Макрогеометрія – розглядається на великих ділянках реальної поверхні і характеризує точність виготовлення деталі, а точніше – відхиленнями реальної поверхні від правильної геометричної форми (овальність, конусність, бочкоподібність) в межах габаритних розмірів цієї поверхні. Основна причина їх виникнення - неточності обробки.

Хвилястість – наявність на поверхні періодично повторюваних і приблизно однакових хвилеподібних відхилень. Вона виникає при обробці внаслідок вібрації технологічної системи верстат – пристрій – інструмент – деталь, нерівномірності процесу різання, биття інструменту, нерівномірного його зношування або неправильної заточки чи правки. Характерна для поверхонь значних розмірів при обробці струганням, фрезеруванням, точінням, шліфуванням.

Мікрогеометрія (мікронерівності) поверхні або її шорсткість обумовлена наявністю невеличких гребінців і впадин. Величина мікронерівностей характеризує чистоту обробленої поверхні, яка може бути хвилястою і в той же час грубою, чи гладенькою, так же як і рівна поверхня може бути шорсткою або чистою. Мікрогеометрія оцінюється на невеличких ділянках реальної поверхні з довжиною сторони квадрату від 10 мкм до 1 мм.

Відхилення форми поверхонь умовно відрізняють в залежності від відношення шагу  $S$  до висоти  $H$  нерівностей: при  $S:H \geq 1000$  - відхилення форми, при  $S:H = 50 \div 1000$  - хвилястість поверхні, а при  $S:H < 50$  - шорсткість поверхні.

Основні фактори, від яких залежить якість обробки поверхонь - це:

- а) рід і властивості матеріалу, що обробляється;
- б) спосіб обробки (точіння, фрезерування, шліфування);
- в) режим різання (швидкість, подача, глибина);
- г) жорсткість системи верстат – пристрій – інструмент – деталь;
- д) геометричні параметри інструменту і його матеріал.

Параметри і умови роботи сучасних машин висувають високі вимоги до якості поверхонь, що сполучаються. Сюди відносяться:

- а) швидкохідність машин;
- б) високі питомі навантаження при постійній тенденції зменшення ваги;
- в) високий тиск і температура;
- г) вимоги до довговічності і надійності роботи машини;
- д) висока точність роботи окремих механізмів і всієї машини.

Якість поверхонь здійснює значний вплив на експлуатаційні властивості деталей.

Так, зносоустійкість деталей, окрім інших факторів, в значній мірі залежить від якості їх поверхонь. На зношування поверхонь впливають макронерівності, хвилястість і мікронерівності. При макронерівностях і хвилястості зношування поверхонь нерівномірне. При мікронерівностях у першу чергу деформуються і зношуються гребінці. Шар мастила утримується на поверхні до тих пір, поки питомий тиск не перевершить певного значення. Оскільки поверхні тертя контактують в окремих виступаючих точках, то змазка в цих точках видавлюється і виникає сухе тертя.

Залежність зношування від часу роботи при терті описується законом Антона: спочатку за досить короткий період часу приробки протікає процес стирання виступаючих нерівностей, тобто протікає початковий період зношування - приробка поверхонь. Потім зношування протікає повільно, і цей час визначає період служби сполучення. Подовженість періодів приробки поверхонь і строку служби різняться в залежності від матеріалу пари тертя, умов його експлуатації, але однозначно залежать від якості обробки поверхонь. Величина початкового зношування поверхонь за короткий час приробки зазвичай значно більша зношування за увесь строк служби сполучення. Отже при значній шорсткості зазори в сполученні швидко збільшуються і до кінця приробки можуть досягати граничних для роботи

вузла значень, внаслідок чого подальший строк служби значно скорочується. Підвищення якості поверхонь тертя подовжує надійність і строк служби машин.

Якість нерухомих сполучень. Для отримання міцного нерухомого сполучення двох деталей необхідно, щоб шорсткість їхніх поверхонь була як можна меншою. При запресовуванні гребінці зминаються і розміри з'єднаних поверхонь змінюються - отвір збільшується, а вал - зменшується. Натяг у сполученні отримують інший, ніж сподівались, оскільки для розрахунків приймали розміри, поміряні по вершинам гребінців. При чистих поверхнях деталей, коли висота гребінців мала, надійність і якість нерухомих посадок збільшується. При повторних запресовуваннях гребінці згладжуються, натяг зменшується і сполучення стає слабшим.

Міцність деталей. Якість поверхонь в значній мірі впливає на контактну жорсткість, вібростійкість і особливо на міцність деталей, працюючих при змінних навантаженнях. Концентрація напружень, які визивають руйнацію деталі, виникає внаслідок нерівностей поверхонь деталі.

Висока чистота поверхні, яку отримують внаслідок чистової обробки, значно підвищує міцність проти стомлення, так як чим менші мікронерівності, тим менша можливість виникнення тріщин від стомлення металу.

Опір корозії. Корозія поверхонь металів визивається дією газів, рідин, атмосферним впливом. Чим більша шорсткість поверхонь, тим більша їх площа, тим більша сорбція речовин, які визивають корозію ( згадаємо капілярну конденсацію ). Ці речовини осаджуються в поглибленнях і впадинах, корозія поглиблюється в глибину металу, виникають нові зародки корозії і руйнування. Антикорозійна стійкість металів значно зростає з підвищенням чистоти їх поверхонь.

Експлуатаційні характеристики. Вимоги високої чистоти визначаються інколи особливими умовами роботи деталей в машинах (лопатки турбін, коліс насосів) або приладів і вимірювальних інструментів, особливими вимогами до щільності і герметичності сполучень, міцності зчеплення різних покриттів при декоративнім оздобленні поверхонь деталей тощо. Так, при надмірній шорсткості поверхонь валів, плунжерів, штоків і т.д. швидко виходять з ладу ущільнення, що з ними контактують.

### **Критерії і класифікація шорсткості поверхонь**

Шорсткість поверхні після механічної обробки - це понад усе геометричний слід ріжучого інструменту, який змінюється внаслідок пластичної та пружної деформації та супутнього процесу різання деформації технологічної системи.

Шорсткість поверхні визначають за її профілем, який утворюється в перетині цієї поверхні плоскістю, перпендикулярною до номінальної поверхні. При цьому профіль розглядається на довжині базової лінії, щодо якої визначаються і оцінюються параметри шорсткості поверхні. При стандартизації шорсткості поверхонь в основу прийнято систему "М", в якій в якості базової лінії служить середня лінія профілю, тобто лінія, що має форму номінального профілю і проведена так, що в межах базової довжини середнє квадратичне відхилення профілю від цієї лінії мінімальне.

Стандартом встановлено шість параметрів шорсткості поверхні:  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ ,  $S_m$ ,  $S_{itp}$ .

*Середнє арифметичне відхилення профілю  $R_a$  визначається із абсолютних значень відхилень профілю  $H$  в межах базової тривалості  $l$ :*

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |H(x)| dx = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |H_i| \quad (1)$$

де відхилення профілю  $H_i$  визначають відстанню між точкою та базовою лінією, виміряні за нормаллю до середньої лінії;  $n$  - число вібраних для вимірювання точок у межах базової довжини.

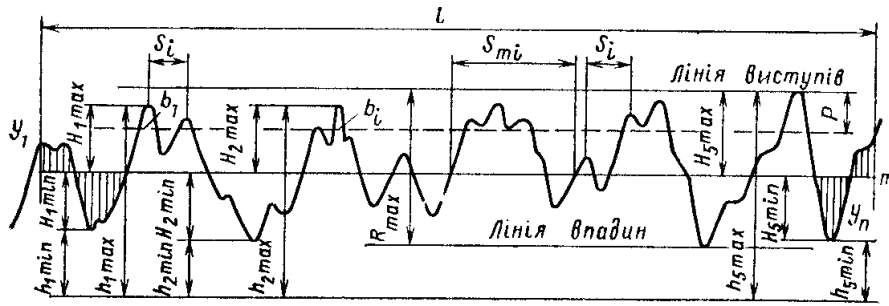


Рис.1 - Мікропрофіль поверхні

Висота нерівностей по десяти точках визначається сумою середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю та п'яти найбільших западин у межах базової довжини:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |H_{\theta}| + \sum_{i=1}^5 |H_H|}{5} = \frac{(H_1 + H_3 + H_5 + H_7 + H_9) - (H_2 + H_4 + \dots + H_{10})}{5} \quad (2)$$

Найбільша висота нерівностей профілю  $R_{max}$  - відстань між лінією виступів і лінією западин профілю в межах базової довжини.

Відрізок середньої лінії профілю, в якому розміщена нерівність профілю, називається кроком нерівностей профілю. Середній крок нерівностей профілю  $S_m$  - це середнє значення кроку нерівностей профілю в межах базової довжини.

Середній крок нерівностей по вершинах - середнє значення кроку виступів профілю  $S$  у межах базової довжини.

Опорна довжина профілю  $\eta$  - сума довжин відрізків  $b_i$ , які відсікаються на виступах у матеріалі профілю лінією, еквідистантною (рівновіддаленою) середньої лінії в межах базової довжини:

$$\eta = \sum b_i \quad (3)$$

Лінія, рівновіддалена від середньої лінії проводиться на відстані від верхньої лінії виступів. Розмір  $p$  задається у відсотках до  $R_{max}$ .

Для порівняння розмірів опорних поверхонь, які оброблені різними методами, зручно користуватися поняттям відносної опорної довжини профілю  $t_p$ , яка визначається відношенням опорної довжини профілю до базової довжини:

$$t_p = \eta / L \quad (4)$$

Стандартом регламентовані наступні інтервали числових значень параметрів шорсткості поверхонь:  $L = 0,01 - 25$  мм,  $R_a = 0,008 - 100$  мкм,  $R_{max} = R_z = 0,025 - 1600$  мкм,  $S$  і  $S_m = 0,002 - 12,5$  мм,  $t_p = 10 - 90\%$  при  $p = 5 - 90\%$  від  $R_{max}$ .

При необхідності встановлюють вимоги до напрямку нерівностей поверхонь: паралельне, перпендикулярне, кругоподібне, радіальне, будь-яке.

Вимоги до шорсткості встановлюються за одним або кількома параметрами указуванням їх числових значень (найбільшого, номінального або діапазону значень) та значень базової тривалості на якій визначаються параметри.

Для грубих і дуже чистих поверхонь основною є шкала  $R_z$ , а для середньої і малої шорсткості - шкала  $R_a$ . Числові значення параметрів шорсткості наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Переважні ( виділені шрифтом ) числові значення параметрів шорсткості

Клас шорсткості	Номінальні значення $R_a$ , мкм	Діапазон значень, мкм		Базова Довжина $L$ , мм
		$R_a$	$R_z$	
1	50	80 - 40	<b>320 - 160</b>	8
2	25	40 - 20	<b>160 - 80</b>	
3	12,5	20-10	<b>80-40</b>	

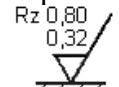
4	6,3	10-5	<b>40-20</b>	2,5
5	3,2	5-2,5	<b>20-10</b>	
6	<b>1,6</b>	2,5-1,25	10-6,3	0,8
7	<b>0,8</b>	1,25-0,63	6,3-3,2	
8	<b>0,4</b>	3,2-0,63	3,2-1,6	
9	<b>0,2</b>	0,32-0,16	1,6-0,8	0,25
10	<b>0,1</b>	0,16-0,08	0,8-0,4	
11	<b>0,05</b>	0,08-0,04	0,4-0,2	
12	<b>0,025</b>	0,04-0,02	0,2-0,1	
13	<b>0,012</b>	0,02-0,016	0,1-0,05	0,08
14	<b>0,06</b>		0,05-0,025	

Шорсткість поверхонь означають на кресленнях для всіх поверхонь виробу, які виконуються за даним кресленням, незалежно від методів їх обробки, крім поверхонь, шорсткість яких не обумовлена вимогами конструкції. Умовне зображення шорсткості на кресленнях показують згідно з ГОСТ 2.309 -73. Числові значення параметрів шорсткості, які нормують вимоги до шорсткості поверхонь, вказуються на кресленнях одним із умовних графічних знаків після відповідного символу ( $R_z$ ,  $R_{max}$ ), крім значень параметра  $R_a$ , що проставляється без символу.

За наявності в означенні шорсткості тільки значення параметра використовують знак без поліці.



- знак використовується найчастіше, він вказує, що параметр  $R_a$  не повинен перевищувати 0,4 мкм, метод утворення поверхні конструктором не встановлюється.



- шорсткість поверхні після відділення з неї шару матеріалу обробкою різанням (точіння, фрезерування, полірування, хімічне травлення тощо), параметр повинен знаходитися в межах 0,32-0,80 мкм;



- знак показує, що поверхня утворена без зняття стружки (кування, штампування, волочіння тощо) та її шорсткість не повинна перевищувати 1,6 мкм;



- знак показує, що поверхня з даного креслення не обробляється.

Базову довжину вказують під поліцею, де за необхідності також вказують умовне зображення напрямку нерівностей. У разі коли вимоги до шорсткості поверхонь нормуються кількома параметрами - їх вказують над поліцею (рис.2):

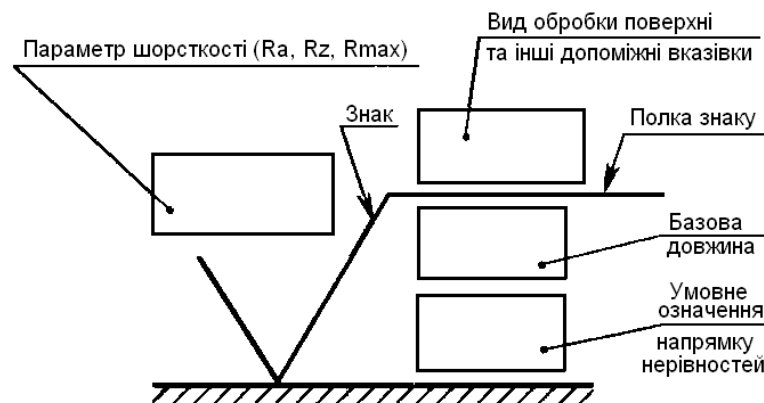


Рис.2. Структура умовного визначення шорсткості поверхні

У довідниках наведені рекомендації щодо вибору числових значень для найбільш характерних видів сполучення, частина яких наведена у таблиці.3.

## . Характерні значення шорсткості для типових поверхонь

Характеристика поверхні	Значення Ra, мкм
Неробочі контури деталей, підшви станин, кромки під зварні шви	R <sub>z</sub> 320-80
Відкрий на прохід кріпильних деталей, проточування	R <sub>z</sub> 80-40
Торці валів, муфт, втулок, радіуси округлень	R <sub>z</sub> 40-10
Посадочні шийки валів під зубчасті колеса	2-1
Поверхні деталей у посадках з натягом	1,6-0,8
Спідниці поршнів насосів, компресорів і ДВЗ, поверхні витків черв'яків	0,8-0,63
Опор під підшипники кочення та ковзання	0,4-0,8
Корінних та шатунних шийок колінчатих валів, пальців поршнів.	0,32-0,25
Поверхні валів під ущільнення	0,4-0,2
Плунжерна пара	0,04 – 0,08

Якщо відсутні рекомендації щодо призначення шорсткості поверхні, то обмеження шорсткості повинні бути пов'язані з допуском розміру (IT), форми (TF) або розташування (TP). Геометричні відхилення деталі повинні перебувати в межах поля допуску розміру. Тому величину параметра R<sub>z</sub> рекомендується назначати не більше 0,33 від величини поля допуску на розмір або 0,5-0,4 від допуску розташування або форми. Перехід від параметра R<sub>z</sub> до параметра R<sub>a</sub> виконується за співвідношенням:

$$R_a = 0,25 R_z \text{ при } R_z \geq 8 \text{ мкм}; R_a = 0,2 R_z \text{ при } R_z < 8 \text{ мкм}.$$

Після визначення параметра R<sub>a</sub> округляють до найближчого меншого числа з ряду стандартних значень.

**Приклад:** На кресленні деталі завдань розмір  $\varnothing 42 \text{ k6}^{+0,018+}_{0,002}$ . Визначити параметр шорсткості R<sub>a</sub>.

**Рішення:**

Допуск розміру IT = 16 мкм. Параметр R<sub>z</sub> = 0,33 IT = 0,33 16 = 5,3 мкм. Параметр R<sub>a</sub> = 0,2 R<sub>z</sub> = 0,2 · 5,3 = 1,06 мкм. Для нанесення на кресленні деталі приймаємо найближче менше із переважних значень шорсткості - R<sub>a</sub> = 1,0 мкм.

**Способи оцінки шорсткості поверхонь**

Шорсткість поверхонь оцінюють шляхом вимірювання мікронерівностей. Ці вимірювання здійснюються за допомогою вимірювальних приладів і повинні проводитися в напрямку, яке дає найбільше значення R<sub>a</sub> чи R<sub>z</sub>, якщо тільки в технічних умовах на даний виріб не визначено напрямок вимірювання шорсткості. При вимірюванні шорсткості різні дефекти поверхонь (царапини, раковини тощо) не враховуються.

Для вимірювань використовують в основному профілометри, профілографи та оптичні прилади, а також оцінку шорсткості шляхом порівняння з еталонами чистоти.

Принцип роботи профілометрів підстав для вимірювання мікронерівностей поверхонь шляхом їх оцупування алмазною голкою. При переміщенні іголки по поверхні обробленої деталі наявність нерівностей призводить до коливань іголки впродовж своєї вісі, що реєструє електричний пристрій зі спеціальними датчиками, за допомогою яких автоматично визначається величина середньо квадратичного відхилення від середньої лінії профілю поверхні. Вказані прилади використовують для оцінки шорсткості поверхонь з висотою мікронерівностей не більше 12 мкм та не менше 0,03 мкм. Такими приладами користуються у цехових та лабораторних умовах (5-12 класи).

Профілографи є оптико-механічними приладами. Вони також засновані на принципі ощупування поверхні алмазною голкою. За допомогою оптичного устрою профіль поверхні записується на спеціальній стрічці у збільшеному масштабі, де збільшення у вертикальному напрямку набагато більше, ніж у горизонтальному. Діапазон вимірювань – від 40 до 0,04 мкм (3-12 класи).

З оптичних приладів найбільше використання знайшли підвійний мікроскоп та мікроінтерферометр академіка В.П. Лінник.

Підвійний мікроскоп основ на використанні методу "світлового перерізу"; за його допомогою визначають середню висоту мікронерівностей у межах 3-70 мкм (2-5 класи). Використання мікроінтерферометра для вимірювань нерівностей засноване на явищі інтерференції світла, яке можна зафіксувати за допомогою спеціального устрою. Мікроінтерферометри використовують у лабораторних умовах для оцінки найбільш чистих поверхонь з висотою нерівностей у межах 0,2-2 мкм. Поле зору у цих приладів дуже мало – до 0,5 мм<sup>2</sup>.

У виробничих умовах набагато зручніше шорсткість оброблених поверхонь оцінювати шляхом їх порівняння з еталонами чистоти, які являють собою плоскі, або циліндричні зразки, виготовлені з різних матеріалів (сталь, латунь) та оброблених із заданою шорсткістю. Набори зразків – еталонів виготовляють для різних видів механічної обробки – точіння, фрезерування, шліфування тощо.

Візуальну оцінку шорсткості поверхонь, оброблених викінчувальними методами, при порівнянні зі зразками необхідно проводити за допомогою лупи не менше ніж із п'ятикратним збільшенням. Порівняння з еталоном може бути більш точним при використанні порівняльного мікроскопа, який дозволяє одночасно розглядати поверхні еталону та деталі.