

## 2.6. Точність геометричних параметрів

1. *Основні параметри, що характеризують деталь як геометричне тіло або їх сукупність. Точність обробки.*
2. *Відхилення форми та розташування, його визначення і види.*
3. *Допуски форми і розташування поверхонь. Правила позначення на кресленні допусків форми і розташування поверхонь.*
4. *Вплив відхилень геометричних параметрів на експлуатаційні показники машин.*
5. *Хвилястість поверхонь. Шорсткість поверхонь. Параметри, що характеризують шорсткість поверхонь.*
6. *Позначення шорсткості поверхонь на кресленнях.*
7. *Вплив хвилястості і шорсткості на надійність і довговічність машин.*

**1. Основні параметри, що характеризують деталь як геометричне тіло або їх сукупність.** Одним з найважливіших показників якості машинобудівної продукції є точність всіх її складових частин і виробів у цілому.

Розвиток науково-технічного прогресу ставить підвищені вимоги до показників якості машин, а особливо до їх надійності та довговічності, які в свою чергу залежать від точності оброблення деталей при їх виготовленні або відновленні під час ремонту.

Основні параметри, що характеризують деталь як геометричне тіло або їх сукупність є розмір, форма, взаємне розташування поверхонь (осей), хвилястість і шорсткість поверхонь.

**Точність обробки** – ступінь відповідності (наближення) дійсних значень геометричних параметрів (розмірів, форми та ін.) їх номінальним значенням (значенням, заданим кресленням).

**Похибки оброблення ( $\Delta x$ )** – ступінь невідповідності значень дійсних параметрів ( $x_i$ ) їх номінальним значенням ( $x$ ), або це різниця між дійсним ( $x_i$ ) і номінальним ( $x$ ) значенням параметру (розміру, форми та ін.).

**Грубі похибки** виникають при допущених грубих помилках. Вони найчастіше виникають через неуважність оператора (робітника): помилки при відліку поділок на лімбі верстату чи вимірювального засобу, при налагодженні верстату тощо. Виявляють наявність грубих похибок через їх явну невідповідність процесові оброблення або вимірювання.

**Неминучі похибки** поділяються на систематичні та випадкові.

**Систематичні похибки** – похибки оброблення або вимірювання, які залишаються сталими за величиною і знаком, або змінюються за певною закономірністю.

Джерелом систематичних похибок може бути неправильне налагодження верстата, спрацювання різального чи вимірювального інструменту, похибки верстата та ін. Наприклад, при обробленні циліндричних поверхонь спрацювання різця або зміщення задньої бабки верстата в горизонтальній

площині призводить до утворення поверхні конусоподібної форми. Зміщення задньої бабки у вертикальній площині призводить до утворення поверхні ввігнутої форми тощо.

Значення та знак систематичної похибки можна виявити і врахувати, якщо її неможливо усунути (наприклад, спрацювання різця).

**Випадкові похибки** – похибки, які не є сталими за величиною і знаком. Вони виникають внаслідок впливу значного числа не пов'язаних між собою факторів. Тому передбачити наперед величину і знак таких похибок неможливо, а отже, і неможливо виключити їх з процесу оброблення або вимірювання.

Основним джерелом випадкових похибок є пружні деформації системи ВПІД (верстат-пристосування-інструмент-деталь), неоднорідність структури та механічних властивостей матеріалів, величина припуску на оброблення тощо.

Запобігти похибкам оброблення неможливо, тому при виготовленні чи відновленні деталей відхилення геометричних параметрів від заданих обмежують призначенням допустимих меж цих відхилень (допусків), чим забезпечують необхідну точність оброблення.

## 2. Відхилення форми, його визначення і види.

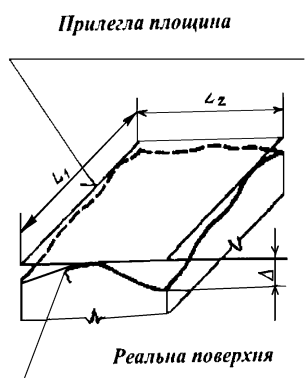
Основні терміни і визначення, що стосуються допусків форми і розташування поверхонь наведені в ДСТУ 2498-94.

У деталях машин розрізняють два види поверхонь: номінальні і дійсні (реальні), поверхні.

**Номінальна поверхня** – ідеальна поверхня, розміри та форма якої відповідають заданим номінальним розмірам і номінальній формі.

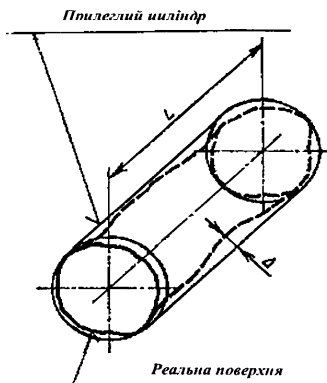
**Реальна поверхня** – поверхня, яка обмежує деталь і відокремлює її від навколишнього середовища. Реальні поверхні за розмірами і формою відрізняються від номінальних внаслідок похибок оброблення.

**Відхилення форми EF** – відхилення форми реальної поверхні або реального профілю від форми номінальної поверхні або номінального профілю.



**Прилегла поверхня** (чи профіль) – поверхня (чи профіль), яка має форму номінальної поверхні (чи профілю), що дотикається до реальної поверхні (чи профілю) і розташована поза матеріалом деталі так, щоб відхилення від неї найбільш віддаленої точки реальної поверхні в межах ділянки, що нормується, мало мінімальне значення.

**Ділянка, що нормується** – ділянка поверхні або профілю, до якої відноситься допуск і на якій визначаються відхилення форми або розташування поверхонь.



илеглий циліндр

**Прилегла пряма** – пряма, що дотикається до реального профілю і розташована поза матеріалом деталі так, щоб відхилення  $\Delta$  від неї найбільш віддаленої точки реального профілю в межах ділянки, що нормується, мало мінімальне значення.

**Прилегла площина** – площина, що дотикається до реальної поверхні і розташована поза матеріалом деталі так, щоб відхилення  $\Delta$  від неї найбільш віддаленої точки реальної поверхні в межах ділянки, що нормується, мало мінімальне значення (рис.20).

**Прилеглий циліндр** – циліндр мінімального діаметра, описаний навколо зовнішньої реальної поверхні, або циліндр максимального діаметру, вписаний у внутрішню реальну поверхню (рис. 21).

**Прилегле коло** – коло мінімального діаметра, описане навколо реального профілю (для зовнішніх поверхонь обертання) (рис. 22), або коло максимального діаметру, вписане в реальний профіль (для внутрішніх

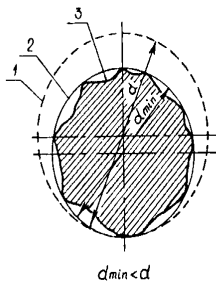


Рис. 22. Прилегле коло для зовнішніх поверхонь обертання

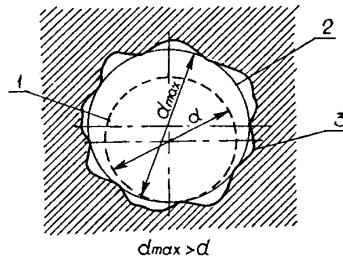


Рис. 23. Прилегле коло для внутрішніх поверхонь обертання

поверхонь обертання) (рис. 23).

### **Відхилення і допуски форми плоских поверхонь.**

Комплексним показником відхилення форми плоских поверхонь є відхилення від площинності. Кількісно він дорівнює найбільшій відстані  $\Delta$  від точок реальної поверхні до прилеглої площини в межах ділянки, що нормується.

Окремими видами відхилень від площинності є ввігнутість і опуклість (рис. 24 а, б).

Комплексним показником відхилення профілю перерізу плоских поверхонь є відхилення від прямолінійності.

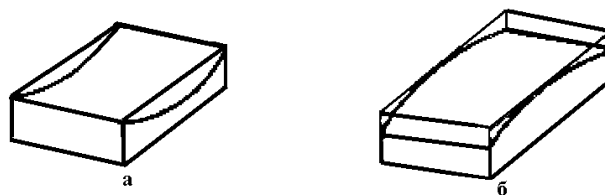


Рис. 24. Комплексні показники відхилення: ввігнутість і опуклість

Кількісно він дорівнює найбільшій відстані  $\Delta$  від точок реального профілю до прилеглої прямої в межах ділянки, що нормується. Одиничними (окремими) видами відхилень від прямо-лінійності плоских поверхонь є опуклість і ввігнутість (рис. 25 а, б).

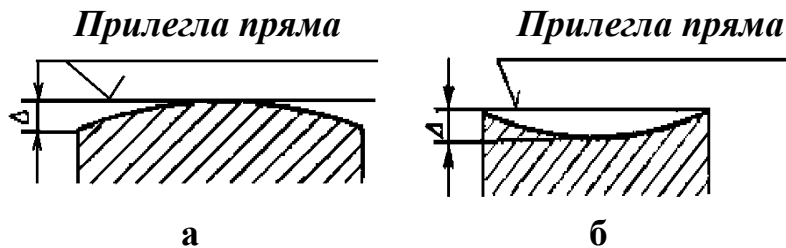


Рис. 25. Одиничні види відхилень

Відхилення форми деталей кількісно оцінюється допуском форми ( $T$ ).

**Допуск форми** – найбільше допустиме значення відхилення форми.

Для обмеження відхилень форми встановлені допуски форми.

**Допуск площинності** – найбільше допустиме значення відхилення від площинності (рис. 26).

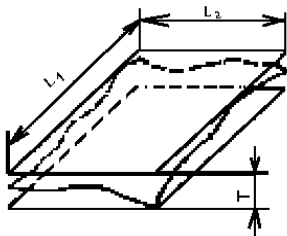
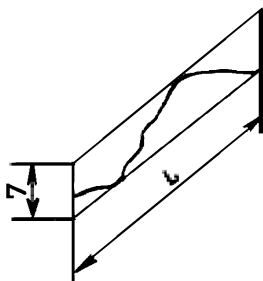


Рис. 26. Допуск площинності

**Допуск прямолінійності** – найбільше допустиме значення відхилення від прямолінійності (рис. 27).

Допуски форми (допуски площинності і допуски прямолінійності) плоских поверхонь нормуються (встановлені) ГОСТ 24643-81 залежно від номінальної довжини  $L$  ділянки, що нормується, плоскої поверхні і

ступеня її точності.



Стандартом передбачено 16 ступенів точності: 1,2,3...16 у порядку зменшення точності. Наприклад, робочі поверхні кінцевих мір довжини, лекальних лінійок за відхиленнями форми повинні відповідати 1–2 ступеню точності, робочі поверхні повірочних лінійок, плит і мікрометрів 3–4 ступеню точності.

Рис. 27. Допуск прямолінійності

**Відхилення і допуски форми циліндричних поверхонь.**

Відхилення форми циліндричних поверхонь розглядають у поперечному і в поздовжньому перерізах.

Комплексним показником відхилення форми циліндричної поверхні в поперечному перерізі є відхилення від круглості.

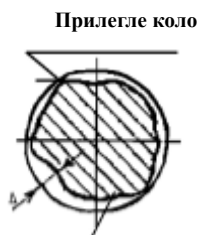


Рис. 28. Відхилення від круглості

Рис. 28. Відхилення від круглості

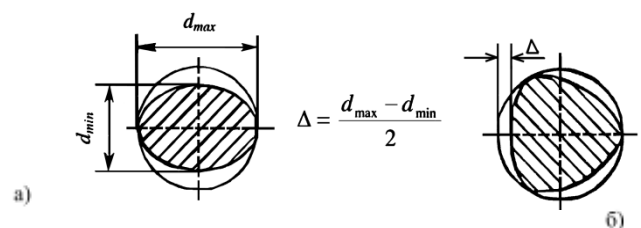


Рис. 29. Овальність і огранювання

Кількісно він дорівнює найбільшій відстані  $\Delta$  від точок реального профілю (поверхні) до прилеглого кола (рис. 28).

Окремими видами відхилення форми циліндричної поверхні у поперечному перерізі є овальність і огранювання (рис. 29 а, б).

**Овальність** – відхилення від круглості, за якого реальний профіль є овалоподібною фігурою, найбільший і найменший діаметри якої мають взаємоперпендикулярні напрями.

**Огранювання** – відхилення від круглості, за якого реальний профіль є багатогранною фігурою.

Комплексним показником відхилення форми циліндричної поверхні у поздовжньому перерізі є відхилення від циліндричності, який кількісно дорівнює найбільшій відстані  $\Delta$  від точок реальної поверхні до прилеглого циліндра в межах ділянки, що нормується (рис. 30).

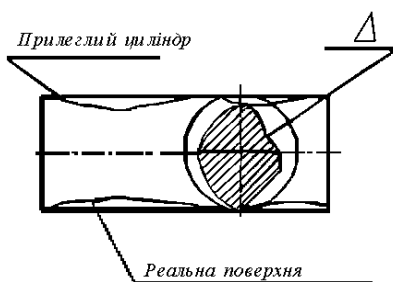


Рис. 30. Відхилення від циліндричності

Одиничними (окремими) видами відхилень форми циліндричної поверхні у поздовжньому перерізі є бочкоподібність, сідлоподібність, конусоподібність і відхилення від прямолінійності осі, в тому числі і відхилення від круглості (рис. 31 а, б, в, г).

**Бочкоподібність** – відхилення профілю поздовжнього перерізу, за якого твірні не є прямолінійними і діаметри збільшуються від країв до середини перерізу.

**Сідлоподібність** – відхилення профілю, поздовжнього перерізу, твірні якого не є прямолінійними і діаметри зменшуються від країв до середини перерізу.

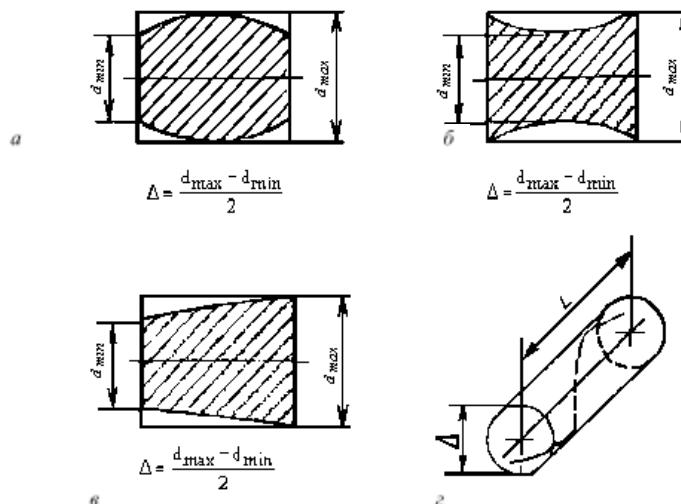


Рис. 31. Одиничні відхилення від циліндричності: а – бочкоподібність; б – сідлоподібність; в – конусоподібність; г – відхилення від прямолінійності осі

**Конусоподібність** – відхилення профілю поздовжнього перерізу, за якого твірні є прямолінійними, але не паралельними між собою.

Відхилення форми циліндричних поверхонь нормуються допусками форми (допусками круглості, допусками циліндричності і допусками профілю поздовжнього перерізу).

### **3. Допуски форми і розташування поверхонь.**

Відхилення форми циліндричних поверхонь нормуються допусками форми (допусками круглості, допусками циліндричності і допусками профілю поздовжнього перерізу).

**Допуск круглості** – найбільше допустиме значення відхилення від круглості (рис. 32).

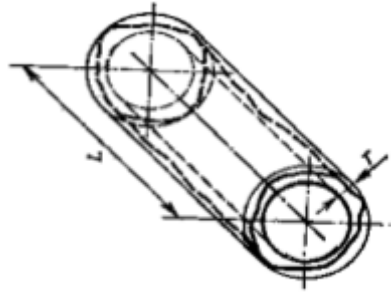


Рис. 32. Допуск круглості

Рис. 33. Допуск циліндричності

**Допуск циліндричності** – найбільше допустиме значення відхилення від циліндричності (рис. 33).

Числові значення допусків форми (допуски круглості, допуски циліндричності і допуски профілю поздовжнього перерізу) циліндричних поверхонь нормуються ГОСТ 24643–81 залежно від номінального значення діаметра циліндричної поверхні і ступеня її точності (передбачено 16 ступенів точності: 1, 2, 3...16 у порядку зменшення точності).

Наприклад, кульки і ролики для підшипників кочення, доріжки кочення і посадкові поверхні підшипників кочення особливо високої точності і з'єднувані з ними посадкові поверхні валів і корпусів за відхиленнями форми поверхонь повинні відповідати 1–2 ступеню точності.

Циліндри, гільзи, поршні і поршневі кільця автомобільних і тракторних двигунів, отвори під втулки в шатунах за відхиленнями форми поверхонь повинні відповідати 7–8 ступеню точності.

**Допуск профілю поздовжнього перерізу** – найбільше допустиме значення відхилення профілю поздовжнього перерізу.

### **Сумарні відхилення і допуски форми та розташування поверхонь.**

У процесі оброблення деталей виникають відхилення не тільки розмірів і форми, але й відхилення розташування поверхонь відносно їх номінального розташування.

**Відхилення розташування** – відхилення реального розташування розглядуваного елементу деталі від його номінального розташування.

**Допуском розташування** називається найбільше допустиме значення відхилення розташування поверхонь.

Для оцінки точності розташування поверхонь, як правило, призначають бази.

**База** – елемент деталі або сполучення елементів, що виконує ту ж функцію, по відношенню до якого задається допуск розташування чи сумарний допуск форми і розташування, а також визначається відповідне відхилення розглядуваного елемента. Найчастіше базами бувають: базова площина, базова вісь, базова площина симетрії.

**Сумарне відхилення форми і розташування** – відхилення, що є результатом сумісного проявлення відхилення форми і відхилення розташування розглядуваних поверхні чи профілю відносно баз.

**Сумарний допуск форми та розташування** – границя, що обмежує допустиме значення сумарного відхилення форми та розташування.

У процесі ремонту машин найчастіше стикаються з такими сумарними відхиленнями форми і розташування поверхонь, як радіальне і торцеве биття.

**Радіальним биттям** називається різниця  $\Delta$  найбільшої і найменшої відстаней від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі в перерізі площиною, перпендикулярною до базової осі (рис. 34).

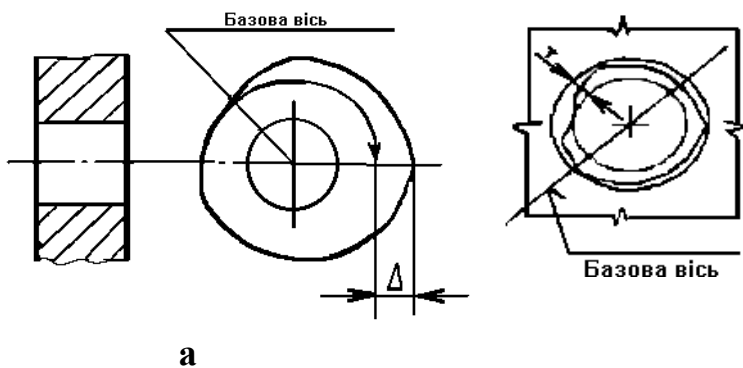


Рис. 34. Радіальне биття

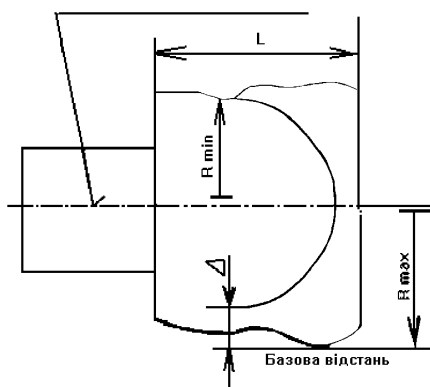


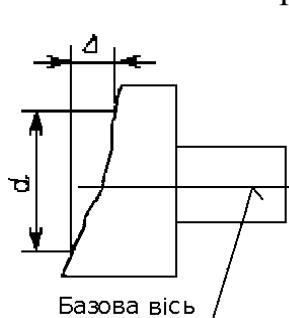
Рис. 35. Повне радіальне биття

**Повне радіальне биття  $E_{CTR}$**  – різниця  $\Delta$  найбільшої і найменшої відстаней від усіх точок реальної поверхні в межах ділянки, що нормується, до базової осі.

Радіальне биття обмежується допуском радіального биття.

**Допуск радіального биття** – найбільше допустиме значення радіального биття.

**Допуск повного радіального биття  $T_{CTR}$**  – найбільше допустиме значення повного радіального биття (рис. 35).



Допуски радіального биття (або повного радіального биття) призначаються за ГОСТ 24643–81 залежно від номінального значення діаметру циліндричної поверхні і ступеня її точності (встановлено 16 ступенів точності: 1, 2, 3...16 у порядку зменшення точності).

**Торцеве биття** – різниця  $\Delta$  найбільшої і найменшої відстані від точок реального профілю

Рис. 36. Торцеве биття

торцевої поверхні, до площини, перпендикулярної до базової осі (рис. 36).

Торцеве биття визначається в перерізі торцевої поверхні циліндром заданого діаметра  $d$ , співвісним з базовою віссю, а якщо діаметр не заданий, то в перерізі будь-якого діаметра торцевої поверхні (в тому числі і найбільшого).

Торцеве биття обмежується допуском торцевого биття.

**Допуск торцевого биття** – найбільше допустиме значення торцевого биття.

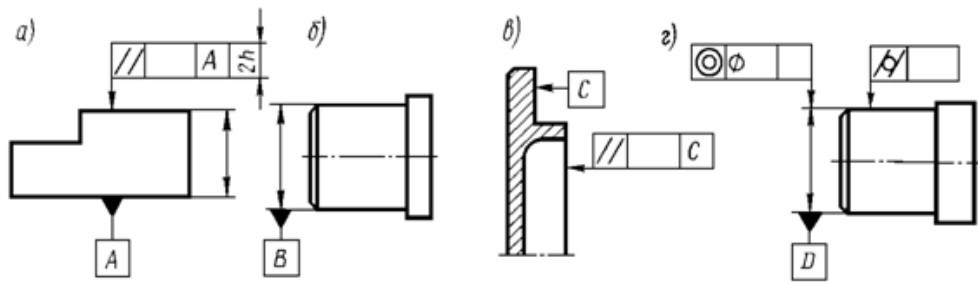
Числові значення допусків торцевого биття, або повного торцевого биття, призначаються за ГОСТ 24643–81 залежно від номінального розміру і ступеня точності торцевої поверхні (встановлено 16 ступенів точності: 1, 2, 3...16 у порядку зменшення точності).

**Правила позначення на кресленні допусків форми і розташування поверхонь.**

Умовні позначення допусків форми і розташування поверхонь на кресленнях встановлені ГОСТ 24643–81.

| Група відхилень та допусків                                  | Допуск                                             | Умовний знак |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------|
| Відхилення та допуски форми поверхонь                        | прямолінійності                                    |              |
|                                                              | плоскостності                                      |              |
|                                                              | круглості                                          |              |
|                                                              | циліндричності                                     |              |
|                                                              | профілю поздовжнього перерізу                      |              |
| Відхилення та допуск розташування поверхонь                  | паралельності                                      |              |
|                                                              | перпендикулярності                                 |              |
|                                                              | нахилу                                             |              |
|                                                              | співвідносності                                    |              |
|                                                              | симетричності                                      |              |
|                                                              | позиційний                                         |              |
|                                                              | перетину осей                                      |              |
| Сумарні відхилення та допуски форми і розташування поверхонь | радіального та торцевого биття в заданому напрямку |              |
|                                                              | повного радіального та торцевого биття             |              |
|                                                              | форми заданого профілю                             |              |
|                                                              | форми заданої поверхні                             |              |

На кресленнях допуски форми і розташування поверхонь позначаються відповідно ГОСТ 2.308–79.



Допуски форми і розташування поверхонь вказують умовним позначенням чи текстом у технічних вимогах. Використання умовних позначень є переважним.

#### **4. Вплив відхилень геометричних параметрів на експлуатаційні показники машин.**

У рухомих з'єднаннях, які змащуються (типу підшипників ковзання) відхилення від площинності плоских поверхонь і відхилення від циліндричності циліндричних поверхонь під дією зовнішніх навантажень змінюється характер зазору, змінюється товщина масляного шару або він може навіть розриватися. Нерівності, які виступають на тертьових поверхнях, входять у безпосередній контакт між собою. Фактична площа контакту тертьових поверхонь значно зменшується, а тиск в точках контакту збільшується. Це призводить до збільшення тертя, внаслідок чого підвищується температура, збільшується інтенсивність спрацювання робочих поверхонь, а відповідно, і прискорюється вихід з ладу з'єднання.

У нерухомих посадках відхилення форми поверхонь порушують герметичність з'єднань, а також знижують надійність з'єднань з натягом.

У посадках підшипників кочення відхилення форми посадкових поверхонь валів і корпусів призводить до деформації кілець підшипників, порушення посадкового зазору між кільцями і тілами кочення, що призводить до швидкого їх спрацювання або навіть до заклинювання підшипників.

Відхилення від паралельності осей валів викликають скошення зубчастих коліс, зірочок привідних ланцюгів, шківів та інших деталей передавальних механізмів, що призводить до передчасного виходу з ладу цих передач.

Наприклад, відремонтована з повною заміною валів, зубчастих коліс, підшипників кочення коробка передач трактора має ресурс не більше 45 відсотків ресурсу нової, якщо у відновлених корпусах коробок передач не дотримані технічні вимоги до розташування поверхонь і осей.

**5.** Поверхні деталей після оброблення на металорізальних верстатах не є ідеально гладенькими, оскільки ріжучі кромки різальних інструментів і зерна шліфувальних кругів залишають на поверхні сліди у вигляді нерівностей, розміри, форма і частота повторення яких залежить від різального інструменту, методів і режимів оброблення, матеріалу деталі, жорсткості обладнання тощо.

**Хвилястість поверхні** – сукупність нерівностей на поверхні деталі, які періодично повторюються, при цьому їх крок перевищує базову довжину (рис. 38).

Параметри хвилястості регламентовані (встановлені) рекомендаціями РЕВ (РС 3951-73).

Встановлені наступні параметри хвилястості:

**Висота хвилястості  $W_z$**  – середнє арифметичне з п'яти її значень, визначених на довжині ділянки вимірювання хвилястості  $L_w$ , яка дорівнює не менше п'яти найбільших дійсних кроків  $S_w$  хвилястості, тобто:

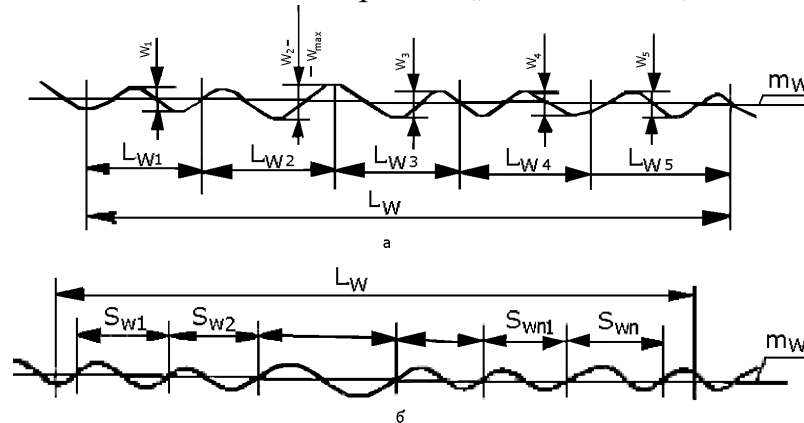


Рис. 38. Хвилястість поверхні:  
а – до визначення висоти; б – до визначення кроку

**Найбільша висота хвилястості  $W_{max}$**  – відстань між найвищою і найнижчою точками вимірюваного профілю в межах довжини ділянки вимірювання хвилястості  $L_w$ .

**Середній крок хвилястості  $S_w$**  – середнє арифметичне значення довжини відрізків середньої лінії, обмежених точками їх перетину з сусідніми ділянками профілю  $n_w$ , тобто:

хвилястість займає проміжне положення між відхиленнями форми і шорсткістю поверхонь, хоч цей поділ є умовним, оскільки при зміні базової довжини  $\ell$  вимірювання шорсткості, яку призначають з експлуатаційних міркувань, значення параметрів хвилястості та шорсткості також будуть змінюватися. У зв'язку з цим прийнято вважати: якщо відношення  $S_w/W_z < 40$ , то відхилення профілю відносяться до шорсткості; якщо  $40 < S_w/W_z < 1000$ , то відхилення профілю відносяться до хвилястості, якщо  $S_w/W_z > 1000$ , то відхилення профілю відносяться до відхилень форми.

Хвилястість поверхонь вимірюють за допомогою приладів хвильомірів або за допомогою спеціальних пристосувань до профілографа-профілометра.

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

Графічне зображення дійсного профілю, одержаного внаслідок вимірювання, називається профілограмою (рис. 39).

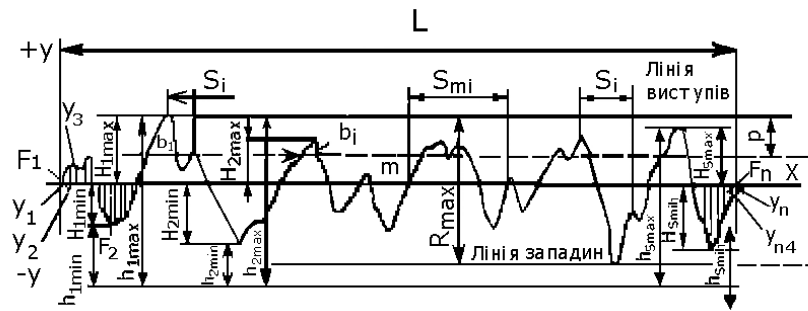


Рис. 39. Дійсний профіль поверхні при визначенні шорсткості

Терміни та визначення, що стосуються шорсткості поверхонь, наведені в ДСТУ 2413-94.

**Середня лінія (найменших квадратів) 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 мінімальна.

**Базова довжина  $\ell$**  – довжина базової лінії, яка використовується для вирізнення нерівностей, що характеризують шорсткість поверхні.

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

Існує декілька систем визначення числових значень параметрів шорсткості поверхонь, однак найпоширенішою з них є система середньої лінії (система M), яка відповідає рекомендаціям ISO і врахована ДСТУ 2413–94 та ГОСТ 2789–73.

**Система середньої лінії** – система відліку, що використана для оцінювання параметрів шорсткості поверхні, в якій, як базова лінія, використовується середня лінія.

**Параметри, що характеризують шорсткість поверхонь.**

Кількісно шорсткість поверхонь оцінюється наступними основними параметрами:

**Середнє арифметичне відхилення профілю  $R_a$**  – середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини.

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

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

**Середній крок нерівностей профілю  $S_m$**  – середнє значення кроку нерівностей профілю в межах базової довжини.

**Середній крок місцевих виступів профілю  $S$**  – середнє значення кроку місцевих виступів профілю в межах базової довжини.

**Опорна довжина профілю  $\eta_p$**  – сума довжин відрізків, що відсікаються на заданому рівні профілю деталі лінією, еквідистантною (рівновіддаленою) до середньої лінії в межах базової довжини.

**Відносна опорна довжина профілю  $t_p$**  – відношення опорної довжини профілю до базової довжини.

**Рівень перерізу профілю  $R$**  – відстань між лінією виступів і лінією  $m_p$ , яка перетинає профіль еквідистантно лінії виступів профілю.

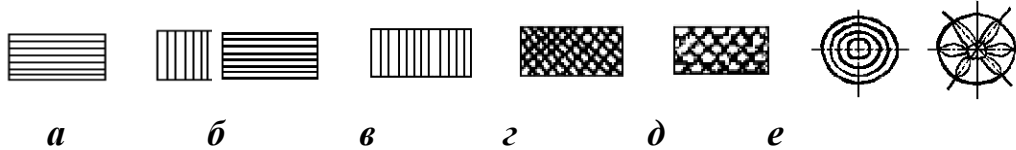


Рис. 40. а – паралельний; б – перпендикулярний; в – Х-перехресний; г – М-довільний; д – С-колоподібний; е – R-радіальний

**Напрямок нерівностей поверхні** – умовний рисунок, що утворений нормальними проекціями екстремальних точок нерівностей поверхні на середню поверхню.

Для основних типів напрямків нерівностей ГОСТ 2789–73 встановлені назви, умовні позначення на кресленнях і схематичне їх зображення (рис. 40).

Вибір параметрів для нормування шорсткості є досить складним і повинен провадитись з урахуванням призначення та експлуатаційних властивостей поверхонь. Основним в усіх випадках є нормування висотних параметрів шорсткості ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ ).

**Вибір числових значень параметрів шорсткості.** При нормуванні параметрів  $R_a$  і  $R_z$  слід застосовувати в першу чергу переважні їх значення.

#### 6. Позначення шорсткості поверхонь на кресленнях.

Умовні позначення шорсткості поверхонь встановлені ГОСТ 2.309–73. На кресленнях шорсткість поверхонь позначається одним з трьох знаків (рис. 41).

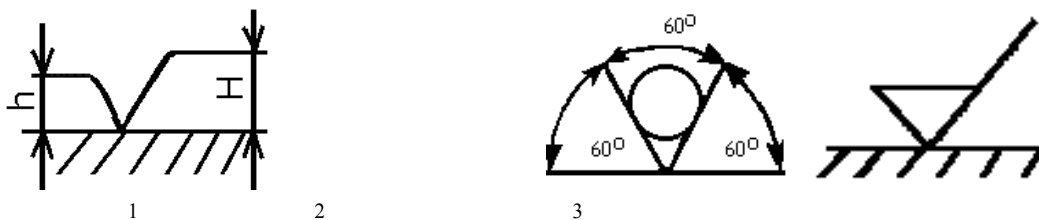


Рис. 41. Знаки шорсткості

1 – основний знак позначення шорсткості, якщо метод оброблення кресленням не встановлюється. Зазначаються лише граничні значення параметрів шорсткості;

2 – якщо поверхня повинна бути утворена видаленням поверхневого шару матеріалу. Крім параметрів шорсткості може зазначатися вид оброблення (наприклад, точіння, шліфування, полірування тощо);

3 – якщо поверхня повинна бути утворена без видалення поверхневого шару матеріалу, наприклад, литво, поковки, штамповки, прокат тощо або поверхня за даним кресленням не оброблюється.

Висота  $h$  повинна бути приблизно рівна висоті цифр розмірних чисел, що застосовуються на кресленнях, а висота  $H = (1,5 \dots 3,0) h$ . Значення параметрів шорсткості  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $S$  та ін. зазначають над знаком (1) (рис. 42);

параметр  $R_a$  – тільки числовим значенням у мкм, решту параметрів зазначають літерним позначенням, а потім і числовим значенням.

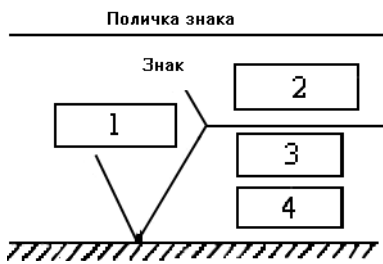


Рис. 42. Позначення параметрів шорсткості

При зазначенні одночасно кількох параметрів шорсткості зверху ставлять позначення висоти профілю, нижче – крок і ще нижче – позначення відносної опорної довжини профілю (рис. 43, а).

Вид обробки зазначають над полочкою знаку шорсткості (2).

Значення базової довжини  $\ell$  зазначають під полочкою знаку шорсткості (3), а умовне позначення напрямку нерівностей при необхідності зазначають під значенням базової довжини (4).

Якщо треба обмежити не тільки максимальне, але й мінімальне значення параметру шорсткості, його граничні значення розташовують одне над одним: вище – максимальне, нижче – мінімальне. Крім номінального значення параметру шорсткості, можуть бути зазначені граничні відхилення у відсотках (рис. 43, б).

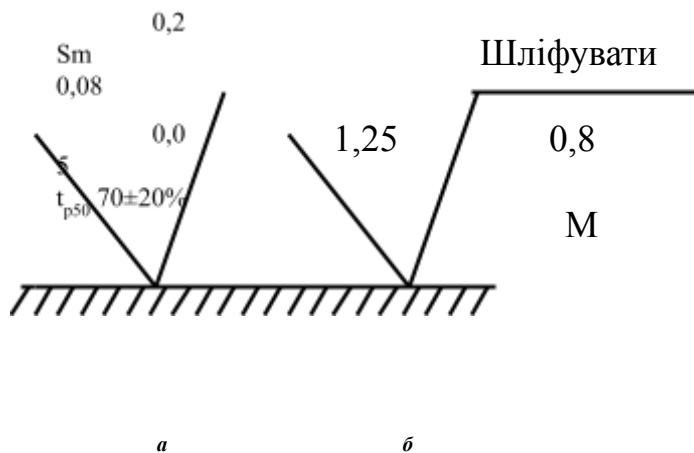


Рис. 43. Приклади позначення шорсткості

При такому позначенні рис. 43 (а) середнє арифметичне відхилення профілю  $R_a \leq 0,2$  мкм; середній крок нерівностей –  $S_{m \max} = 0,08$  мкм;  $S_{min} = 0,05$  мкм; відносна опорна довжина профілю  $t_p$  при рівні перетину профілю поверхні  $P = 50\%$  повинна бути в межах  $70 \pm 20\%$  (50...90%). Спосіб оброблення поверхні, базова довжина і напрямок нерівностей конструктором не встановлені.

На рис. 43 (б) шорсткість поверхні оцінюється висотою нерівностей профілю  $R_z$ , яка повинна бути в межах 1,25. Базова довжина  $\ell$  зазначена граничним значенням, тобто  $\ell \leq 0,8$  мм, напрямок нерівностей довільний (М). Остаточне оброблення поверхні – шліфування.

Шорсткість поверхні, поряд з точністю форми, є однією з основних геометричних характеристик її якості.

**7. Вплив хвилястості і шорсткості на надійність і довговічність машин.**

Хвилястість і шорсткість поверхонь деталей, поряд з точністю форми, є одними з основних геометричних характеристик їх якості.

**Хвилястість** і інші відхилення форми поверхонь деталей рухомих з'єднань призводять до нерівномірності зазору в поздовжньому і поперечному перерізах і, відповідно, до нерівномірності товщини масляного шару, місцевих розривів масляної плівки, до підвищених питомих тисків та ін., внаслідок чого деталі швидко спрацювуються і виходять з ладу.

У з'єднаннях з натягом хвилястість поверхонь деталей призводить до нерівномірності натягу, збільшення питомих тисків у точках дотикання з'єднаних поверхонь, до пластичних деформацій деталей, зменшення натягу і виходу з ладу цих з'єднань.

**Шорсткість** поверхні, поряд з точністю форми, є однією з основних геометричних характеристик її якості.

Шорсткість поверхні відіграє велику роль в рухомих з'єднаннях деталей, яка в значній мірі впливає на величину тертя і спрацювання тертьових поверхонь. При недостатньо гладеньких тертьових поверхнях дотикання між ними відбувається в окремих точках при збільшеному питомому навантаженні, внаслідок чого мастило витискається з поміж тертьових поверхонь, виникає напіврідинне, напівсухе або навіть сухе тертя. Це може призвести до швидкого спрацювання тертьових поверхонь або навіть до заклинювання з'єднання внаслідок зростання температури деталей.

Зменшення шорсткості поверхні вносить більшу визначеність в характер з'єднання деталей. Зазор або натяг, які можна визначити за наслідками вимірювання деталей з'єднання, відрізняється від фактичного (експлуатаційного) їх значення за рахунок швидкого спрацювання нерівностей у рухомих з'єднаннях або зминання їх в процесі складання нерухомих з'єднань.

При цьому зазор збільшується, а натяг зменшується тим більше, чим більшу шорсткість мають з'єднані поверхні.

Міцність деталей також залежить від шорсткості поверхонь. Руйнування деталі, особливо при змінних навантаженнях, в більшості випадків пояснюється концентрацією напружень, які є наслідком наявних нерівностей на її поверхні. Чим менша шорсткість поверхонь, тим більша втомлювальна міцність деталей.

#### □ Питання для самоконтролю

1. Які причини викликають відхилення форми і взаємного розташування поверхонь і осей деталей?
2. Якими комплексними і одиничними параметрами характеризується відхилення форми плоских і циліндричних поверхонь?
3. Залежно від чого призначаються величини допусків форми і розташування поверхонь деталей?
4. Як позначаються допуски форми і розташування поверхонь на кресленнях? Навести приклади.

5. Якими основними параметрами характеризується шорсткість поверхонь і як їх позначають на кресленні? Навести приклади.

6. Як впливає відхилення форми, розташування і шорсткість поверхонь деталей на експлуатаційні показники машин?