

Лекція 3. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ВІДХИЛЕНЬ ФОРМИ І РОЗМІЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ТА ОСЕЙ

При аналізі точності геометричних параметрів деталей розрізняють поверхні: номінальні (тобто ідеальні, які не мають відхилень форми і розмірів), форма яких задана кресленням, і реальні (дійсні), які обмежують деталь, відділяючи її від зовнішнього середовища.

Реальні поверхні деталей отримують при обробці або в результаті зміни вигляду при експлуатації машин.

Аналогічно розрізняють номінальний і реальний профіль, номінальне і реальне розміщення поверхонь і осей. Номінальне розміщення поверхні визначається номінальними лінійними і кутовими розмірами між ними і базами або між поверхнями, які розглядаються, якщо бази не вказані.

База - це поверхня, лінія, точка деталі, яка визначає одну з площин або осей системи координат, в відношенні до якої задається допуск розміщення або визначається відхилення розміщення.

Профіль поверхні – це лінія перетину поверхні з площиною або заданою поверхнею. Реальні поверхні та профілі відрізняються від номінальних. В результаті відхилень реальної (дійсної) форми поверхні від номінальної конкретний розмір в різних перетинах деталі може бути різним (рис.6.1).

Відхилення ΔR розміру R_D (для вибраного значення x) від номінального розміру R можна виразити залежністю

$$\Delta R = R_D - R = f(\varphi)$$

де $f(\varphi)$ - функція, яка характеризує похибку профілю (φ - полярний кут).

Контур поперечного перетину деталі задовільняє умову замкнутості, тобто

$$f(\varphi + 2\pi) = f(\varphi)$$

отже функція має період 2π

Розглядаючи відхилення ΔR радіуса-вектора в полярній системі координат як функцію полярного кута φ , можна представити відхилення контуру поперечного перетину деталі у вигляді ряду Фур'є [1]

Відхилення геометричних параметрів можна класифікувати (див. рис.6.1.): відхилення власне розміру (ΔD) - відхилення нульового порядку; відхилення розміщення поверхонь (e) - відхилення 1-го порядку; відхилення форми поверхні ($\Delta\Phi$) - відхилення 2-го порядку; хвилястість - відхилення 3-го порядку; шорсткість - відхилення 4-го порядку.

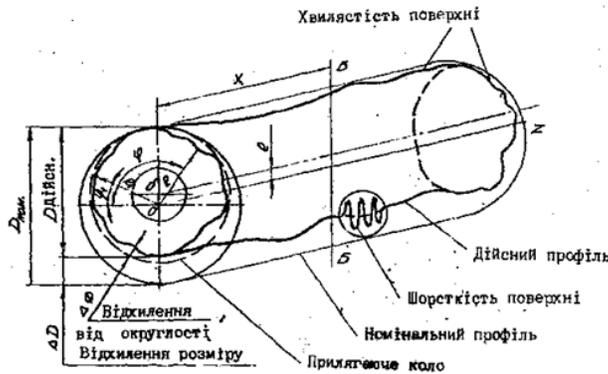


Рисунок 6.1 - Відхилення геометричних параметрів різних порядків

Похибки форми і розміщення поверхонь характеризуються відхиленням реальних поверхонь від номінальних форм і розміщень.

Сукупність виступів і впадин на поверхні деталі утворює рельєф (макро- і

мікрогеометрію). Макро- і мікрогеометрія поверхні характеризуються висотою W_z кроком S_w (рис.6.2.)

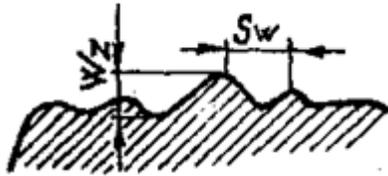


Рисунок 6.2

Умовна класифікація похибок така:

$$\frac{S_w}{W_z} > 1000 \text{ - відхилення форми;}$$

$$1000 \geq \frac{S_w}{W_z} \geq 40 \text{ - хвилястість;}$$

$$\frac{S_w}{W_z} < 40 \text{ - шорсткість.}$$

Похибки форми, хвилястість і шорсткість поверхонь впливають на експлуатаційні та технологічні показники виробів (нерівномірність припусків, питомого тиску, зазорів чи натягів, тертя, тощо).

Відхилення форми, допуски форми. Відхилення форми - це невідповідність реальної форми номінальній.

В основу нормування та кількісної оцінки відхилень форми покладений принцип прилягаючих прямих, поверхонь, профілів.

Прилягаюча пряма - це пряма, яка дотикається до реального профілю поза матеріалом деталі і розміщена відносно реального профілю так, щоб відстань від найвіддаленішої точки його до прилягаючої прямої була найменшою в межах нормованої ділянки (рис.6.3, а).



Рисунок 6.3 - Прилягаюча пряма (а), і прилягаючі кола (б, в)

Прилягаюче коло - це коло мінімального діаметру, описане навколо реального профілю зовнішньої поверхні обертання (рис.6.3,б), або максимального діаметру, вписаного в реальний профіль внутрішньої поверхні обертання (рис.6.3,в).

Прилягаюча площина - це площина, яка дотикається до реальної поверхні поза матеріалом і розміщена відносно реальної поверхні так, щоб відстань від найвіддаленішої точки реальної поверхні до прилягаючої площини була найменшою в границях нормованої ділянки.

Прилягаючий циліндр - це циліндр мінімального діаметру, описаний навколо реальної зовнішньої поверхні; або максимального діаметру, вписаний в реальну внутрішню поверхню.

Прилягаючі поверхні та профілі відповідають умовам спряження деталей при посадках з нульовим зазором.

Кількісно відхилення форми оцінюють найбільшою віддаллю Δ від точок реальної поверхні (профілю) до прилягаючої поверхні (профілю) по нормалі до останньої.

Прийняті такі позначення: Δ - відхилення форми або розміщення поверхонь; T - допуск форми або розміщення; L - довжина нормованої ділянки.

Відхилення форми циліндричних поверхонь.

Відхилення від круглості - це найбільша віддаль Δ точок реального профілю до прилягаючого кола (рис.6.4,а). Допуск круглості T - найбільше допустиме значення відхилення від круглості.

Окремими видами відхилень від круглості є овальність і огранка. Овальність - це є відхилення від круглості при якому реальний профіль представляє собою овалоподібну фігуру, найбільший і найменший діаметри якої знаходяться у взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 6.4,б).

Огранка - це відхилення від круглості, при якому реальний профіль представляє собою багатогранну фігуру (рис.6,4,в).

Відхилення від круглості є диференційованим показником відхилення форми поверхні. Допуск круглості має умовний знак, передбачений ГОСТ 2.306-79. (див.табл.6.І). При умовному позначенні знак помішають в прямокутній рамці.



Рисунок 6.4 - Відхилення форми циліндричних поверхонь в поперечному перетині

Рамку рекомендується розміщати на кресленні горизонтально, висота всіх позначень в ній повинна відповідати прийнятому на кресленні розміру чисел (рис.6.5.). Рамку з'єднують одною прямою або ламаною лінією з елементом деталі, до якого відносяться вимоги. Кінцевий відрізок з'єднувальної лінії повинен закінчуватися стрілкою і відповідати напряму вимірювання відхилень.

Нормування окремих видів відхилення від круглості слід обмежувати. Умовні позначення на кресленнях для них не передбачені. При необхідності допуски окремих видів відхилення від круглості вказують текстом в технічних вимогах, наприклад: "Допуск овальності поверхні A - 0,01 мм, допуск огранки - 0,006 мм.

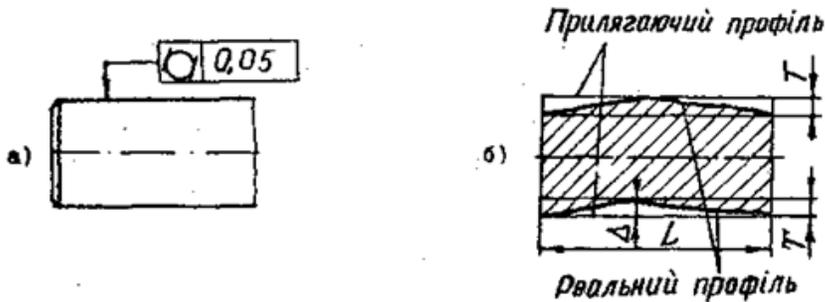


Рисунок 6.5

Відхилення від циліндричності - найбільша віддаль Δ від точок реальної поверхні до прилягаючого циліндра в межах нормованої ділянки (рис.6.6.а). На рис.6.6,б показане поле допуску циліндричності, яке визначається простором, обмеженим співвісними циліндрами 1 і 2, віддаленими один від одного на віддалі, що дорівнює допуску циліндричності T.

Допуск циліндричності застосовується в основному тоді, коли потрібно комплексно обмежити сукупність відхилень форми всієї поверхні, а не відхилень в окремих перетинах, як допуск круглості або допуск профілю поздовжнього перетину. Допуск циліндричності має умовний знак (див.табл.6.1.). Приклад позначення допуску циліндричності - на рис.6.5, а

При відсутності вказівки про допуски форми для спряжених поверхонь відхилення від циліндричності обмежуються полем допуску діаметра на довжині, яка дорівнює довжині спряження.

Відхилення профілю поздовжнього перетину - найбільша віддаль Δ від точок реальної поверхні, які лежать в площині, що проходить через її вісь, до відповідної сторони прилягаючого профілю в межах нормованої ділянки (рис6.6,б). Поле допуску T такого відхилення показано на рис. 6.5.

Відхилення профілю поздовжнього перетину характеризує відхилення від прямолінійності та паралельності твірних.

Відхилення профілю поздовжнього перетину є диференційованим показником відхилення поверхні і має умовний знак (див. табл.6.1.).

Окремими видами відхилення профілю поздовжнього перетину є конусоподібність, бочкоподібність та сідлоподібність.

Конусоподібність – це відхилення профілю поздовжнього перетину, при якому твірні прямолінійні, але не паралельні (рис.6.6,в)

Бочкоподібність - це відхилений профілю поздовжнього перетину, при якому твірні непрямолінійні і діаметри збільшуються від країв до середини перетину (рис.6.6,г).

Сідлоподібність - відхилення профілю поздовжнього перетину, при якому твірні непрямолінійні і діаметри зменшуються від країв до середини перетину (рис.6.6,д).

$$\Delta = \frac{d \max - d \min}{2}$$

Умовні позначення окремих видів відхилення профілю поздовжнього перетину стандартами не передбачені. При необхідності допуски окремих видів відхилень вказують текстом в технічних вимогах.

Відхилення Δ від прямолінійності осі (або лінії) в просторі і поле допуску прямолінійності осі T показані на рис.6.7,а. На рис. 6.7,б позначені такі вимоги: для поверхні А - допуск прямолінійності осі в діаметральному виразі $\varnothing 0,01$ мм (допуск залежний) (сполучна лінія від рамки є продовженням розмірної лінії); для поверхні Б - допуск прямолінійності твірної поверхні 0,01 мм на довжині 100 мм.

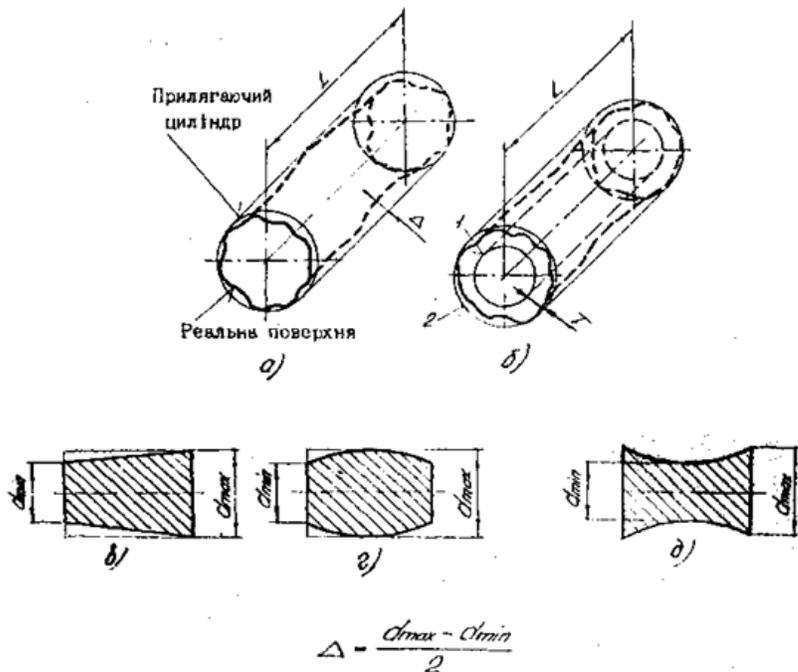


Рисунок 6.6

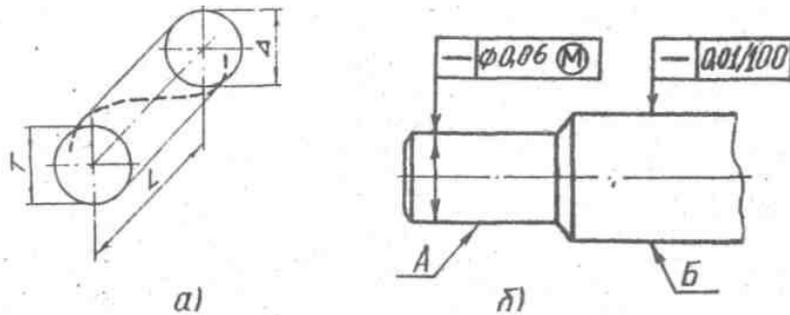


Рисунок 6.7 - Відхилення від прямолінійності

Відхилення від площинності визначають як найбільшу відстань Δ від точок реальної поверхні до прилягаючої площини в межах нормованої ділянки рис.6.8,а). Поле допуску площинності - це область у просторі, обмежена двома паралельними площинами, віддаленими одна від другої на відстань, що дорівнює допуску площинності T (рис.б.8,б).

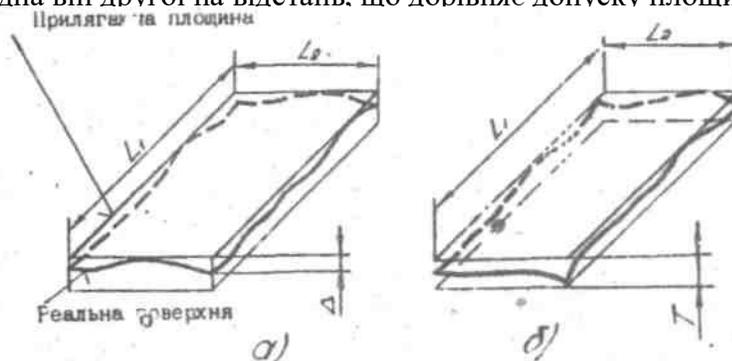


Рисунок 6.8 - Відхилення від площинності

Таблиця - Умовні позначення допусків форми і розміщення поверхонь (осей) за ГОСТ 24642-81

Група допусків	Вид допуску	Знак
Допуски форми	Допуск прямолінійності	
	Допуск площинності	
	Допуск круглості	
	Допуск циліндричності	
	Допуск профілю поздовжнього, перерізу	
Допуски розміщення	Допуск паралельності	
	Допуск перпендикулярності	
	Допуск нахилу	
	Допуск співвісності	
	Допуск симетричності	
	Позиційний допуск	
Сумарні допуски форми і розміщення	Допуск перехрещення осей	
	Допуск радіального биття	
	Допуск торцевого биття	
	Допуск биття в заданому напрямку	
	Допуск повного радіального биття	
Допуск повного торцевого биття	Допуск повного торцевого биття	
	Допуск форми заданого профілю	
Допуск форми заданої поверхні	Допуск форми заданої поверхні	

Частковими видами відхилень від площинності є випуклість (рис.6.9.а) та угнутість (рис.6.9.б). Умовні позначення випуклості та угнутості стандартами не передбачені. Величини відхилень цих часткових видів відхилень обмежують комплексним допуском - допуском площинності і вказують текстом в технічних вимогах на кресленні. Приклади позначення комплексного допуску площинності показані на рис. 6.10.

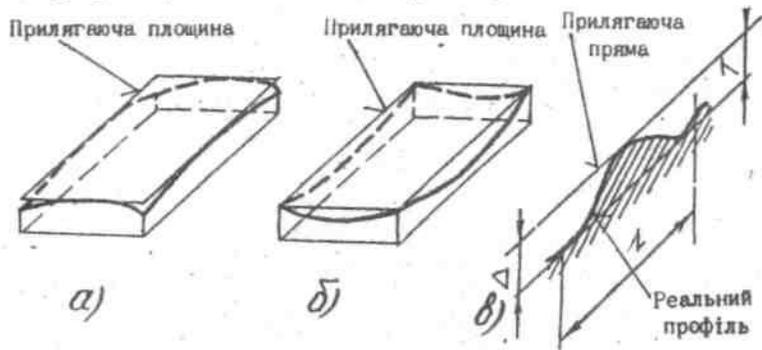


Рисунок 6.9 - Часткові види відхилень від площинності

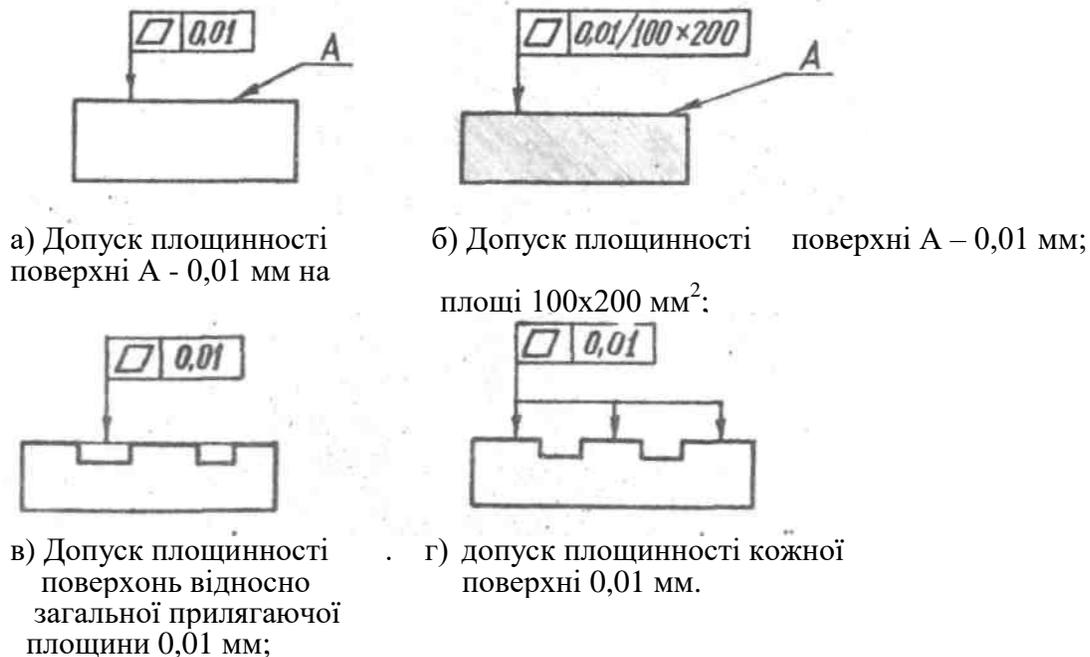


Рисунок 6.10 - Приклади позначення допуску площинності

Відхилення від прямолінійності в площині (рис.6.9,в) визначають як найбільшу відстань від точок реального профілю до прилягаючої прямої. Поле допуску прямолінійності в площині показане теж на цьому рисунку.

Відхилення форми заданого профілю (поверхні). У випадках, коли профіль (поверхня) задано номінальними розмірами, наприклад, координатами окремих точок профілю (поверхні) без граничних відхилень цих розмірів, відхилення форми заданого профілю (поверхні) є найбільше відхилення Δ точок реального профілю (поверхні) від номінального, яке визначається по нормалі до номінального профілю (поверхні) (рис.6.11.,а). Допуск форми T можна задавати в діаметральному виразі як подвоєне найбільше допустиме відхилення форми заданого профілю (поверхні) або в радіусному виразі як найбільше допустиме значення відхилення форми заданого профілю (поверхні). Поле допуску форми заданого профілю - це область на заданій площині перетину поверхні, яка обмежена двома лініями, еквідистантними до номінального профілю і віддаленими одна від другої на відстань, що дорівнює допуску форми заданого профілю в діаметральному виразі T або подвоєному допуску форми при радіусному виразі $T/2$. Лінії, які обмежують поле допуску, є обвідними сімействами кіл, діаметри яких дорівнюють

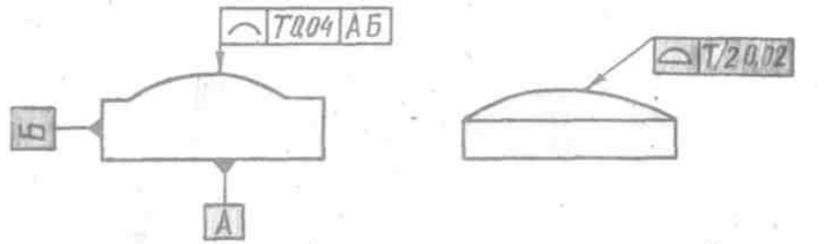
допуску форми заданого профілю при діаметральному виразі T , а центри знаходяться на номінальному профілі (рис.6.11.6).



Рисунок 6.11 - Відхилення форми заданого профілю

Відхилення форми заданого профілю (поверхні) є результатом суміщення прояву відхилень розмірів і форми профілю поверхні), а також відхилень розміщення його відносно заданих баз. Тому відхилення і допуски форми заданого профілю і заданої поверхні віднесені в ГОСТ 24642-81 до груп сумарних відхилень і допусків форми та розміщення.

Приклади умовних позначень допусків форми заданого профілю (поверхні) показані на рис.6.12.



а) Допуск форми заданого профілю $T 0,04$ мм (діаметральний вираз допуску).
Базі – поверхні А та Б

б) Допуск форми заданої поверхні $T/2 2,02$ мм (радіусний вира допуску)

Рисунок 6.12. - Умовне позначення допусків форми заданого профілю (поверхні)

Відхиленням розміщення поверхні або профілю називають відхилення реального розміщення поверхні (профілю) від його номінального розміщення

Існують відхилення розміщення поверхонь таких видів: від паралельності; від перпендикулярності; від співвісності; від симетричності; від перетину осей, від позиційного розміщення поверхонь, радіальне і торцеве биття.

Відхилення від паралельності площин - це різниця Δ найбільшої a і найменшої b відстані між прилягаючими площинами в межах нормованої ділянки (рис. 6.13,а). Полем допуску паралельності площин називають область в просторі, обмежену двома паралельними площинами, які знаходяться одна від другої на відстані, що дорівнює допуску паралельності T , і паралельними базі (рис.6.13, б)

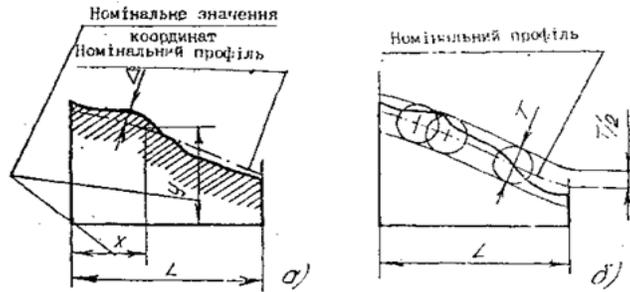
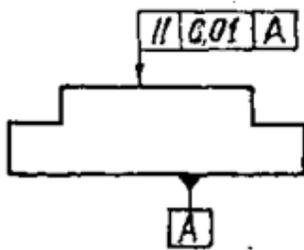
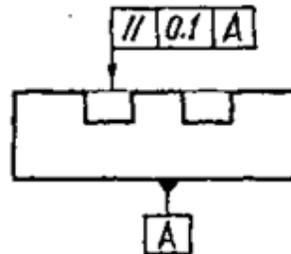


Рисунок 6.13 - Відхилення від паралельності площин
41

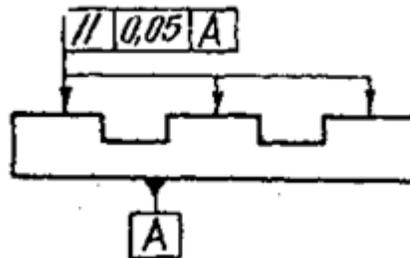
Приклади умовних позначень допуску паралельності площин показані на рис. 6.14.



а) Допуск паралельності по верхні відносно базової поверхні А 0,01 м;



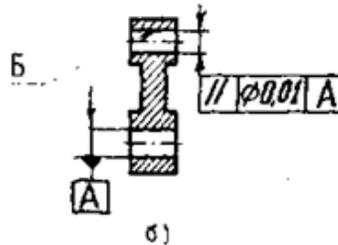
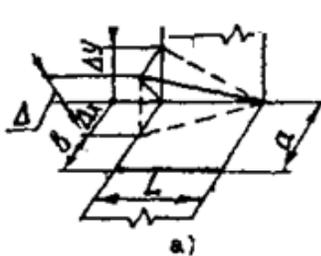
б) Допуск паралельності загальної прилягаючої площини поверхонь відносно базової поверхні А 0,1 мм



в) Допуск паралельності кожної поверхні зокрема відносно базової поверхні А 0,05 мм

Рисунок 6.14 - Умовне позначення допусків паралельності площин.

Відхилення від паралельності осей - це геометрична сума відхилень від паралельності проєкцій осей (у двох взаємно перпендикулярних площинах), рис. 6.15,а; приклад умовного позначення допуску паралельності осей показано на рис.б. 15,б.

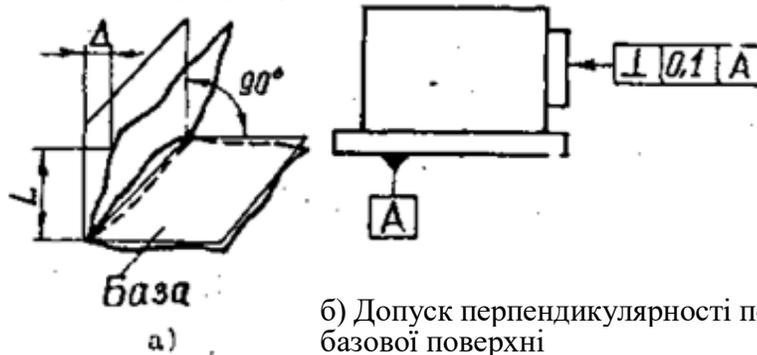


Допуск паралельності осі отвору Б відносно базової

осі отв. А $\varnothing 0,01$ мм
(діаметральний вираз
допуску).

Рисунок 6.15 - Відхилення від паралельності осей.

Відхилення від перпендикулярності площин - це відхилення кута між площинами від 90° , виражене в лінійних одиницях на довжині нормованої ділянки (рис.6.16,а); приклад умовного позначення допуску перпендикулярності показаний на рис.6.16,б.



б) Допуск перпендикулярності поверхні відносно базової поверхні основи 0,1 мм.

Рисунок 6.16 - Відхилення від перпендикулярності площин

Відхилення від співвісності - це найбільша відстань Δ_1 і Δ_2 між віссю поверхонь обертання і загальною віссю двох або кількох поверхонь обертання на довжині нормованої ділянки (рис.6.17). Відхилення від співвісності відносно загальної осі - це найбільша відстань $\Delta_1, \Delta_2 \dots$ між віссю заданої поверхні і загальною віссю двох або декількох поверхонь обертання на довжині нормованої ділянки. Допуск співвісності в діаметральному виразі дорівнює подвоєному найбільшому допустимому значенню відхилення від співвісності, а в радіусному виразі - найбільшому допустимому значенню цього відхилення. Поле допуску співвісності - це область у просторі, обмежена циліндром, діаметр якого дорівнює допуску співвісності в діаметральному виразі T або подвоєному допуску співвісності в радіусному виразі R , а вісь співпадає з базовою віссю (рис.6.17,б). Двояка кількісна оцінка співвісності (в діаметральному і радіусному виразі) прийнята за рекомендаціями ІСО також для симетричності і перетину осей.

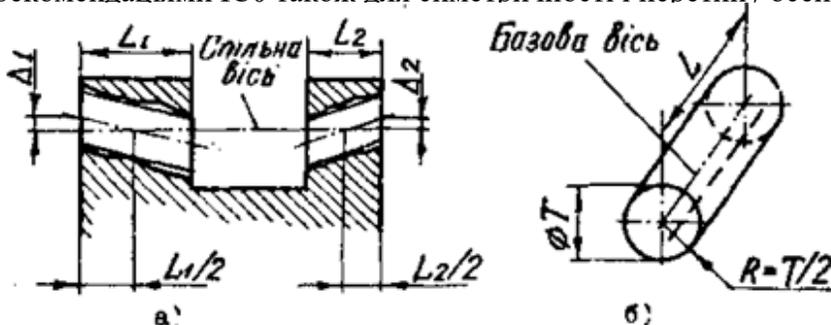
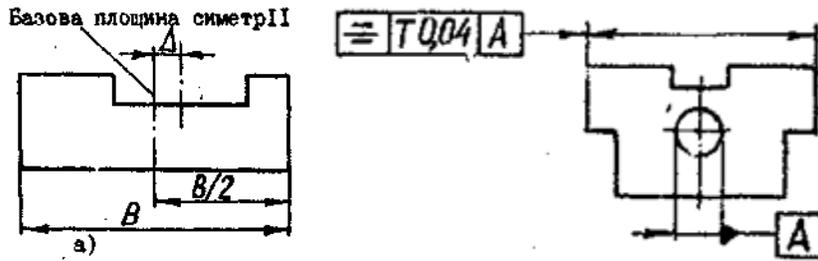


Рисунок 6.17 - Відхилення від співвісності

Відхилення від симетричності відносно базової площини - це найбільша відстань Δ між площиною симетрії поверхні, яка розглядається, і базовою площиною в межах нормованої ділянки, (рис.6.18,а). Допуск симетричності може бути заданим в діаметральному або радіусному виразі. В діаметральному виразі допуск симетричності - це подвоєне найбільше допустиме значення відхилення від симетричності; вказується із знаком T перед числовим значенням допуску. В радіусному виразі - найбільше допустиме

значення відхилення від симетричності вказується із знаком $T/2 >$ перед числовим значенням допуску. Приклад умовного позначення допуску симетричності показаний на рис. 6.18, б.



б) Допуск симетричності поверхонь відносно базової осі отвору $T/0,04$ мм (допуск в діаметральному виразі)
Рисунок 6.18 - Відхилення від симетричності

Відхилення від перетину осей, які номінально повинні перетинатись, визначають як найменшу відстань Δ між віссю, яка розглядається, і базовою (рис.б.19.). Поле допуску перетину осей - це область в просторі, обмежена двома паралельними площинами, які знаходяться одна від другої на відстані, яка дорівнює допуску перетину в діаметральному виразі T або подвоєному допуску перетину в радіусному виразі $T/2$, і розміщені симетрично відносно базової осі.

Позиційне відхилення - це найбільше відхилення Δ реального заміщення елемента, його центра, осі або площини симетрії від його номінального розміщення в межах нормованої ділянки. (рис.6.20).

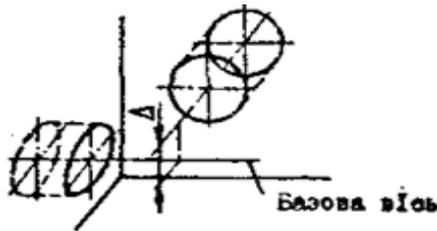
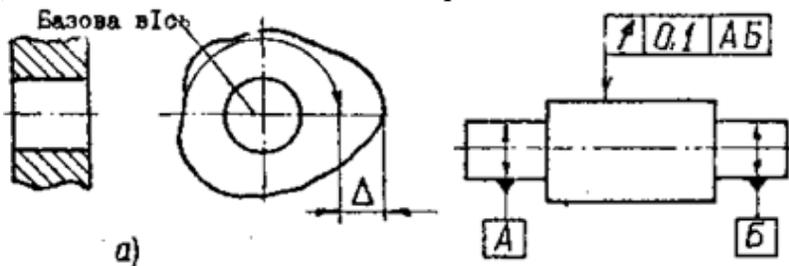


Рисунок 6.19 - Відхилення від перетину осей



Рисунок 6.20 – Позиційне відхилення

Радіальне биття поверхні обертання відносно базової осі є результатом сумісного прояву відхилень від круглості профілю в розглядуваному перетині і відхилення його центра відносно базової осі. Воно дорівнює різниці найбільшої і найменшої відстаней від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі в перетині, перпендикулярному до цієї осі (Δ на рис.6.21,а). Приклад умовного позначення радіального биття показаний на рис.6.21,б.



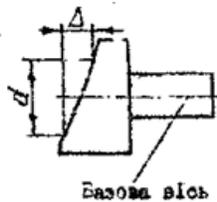
б) Допуск радіального биття поверхні відносно базової осі $A/0,1$ мм
Рисунок 6.21 - Радіальне биття поверхні

Торцеве биття - це є різниця Δ найбільшої і найменшої відстаней від точок реального профілю торцевої поверхні до площини, перпендикулярної до базової осі. Визначається на заданому діаметрі d або на будь якому (в тому числі і найбільшому) діаметрі торцевої поверхні, рис. 6.22.,а. Приклад умовного позначення торцевого биття показаний на рис. 6.22..б.

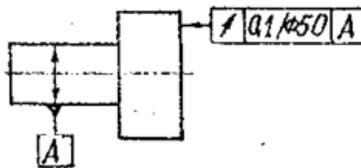
Відхилення, допуски форми і розміщення поверхонь (основні терміни і визначення) нормуються ГОСТ 24642-31.

Значення допусків форм і розміщень регламентуються ГОСТ 24643-81. Передбачено 16 ступенів точності: 1, 2, ..., 16. Числові значення допусків від однієї степені до другої змінюються з коефіцієнтом збільшення 1,6.

Вид допуску форми або розміщення за ГОСТ 2.303-79 слід позначати на кресленні знаками, приведеними в таблиці 6.1. Знак і числове значення допуску вписують в рамку, вказуючи



а)

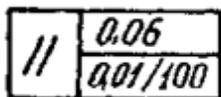


б) Допуск торцьового биття поверхні відносно осі базової поверхні A 0,1 мм на діаметрі 50 мм

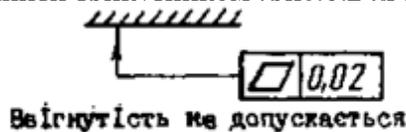
Рисунок 6.22 - Торцеве биття поверхні

на першому місці знак, на другому - числове значення допуску в міліметрах і на третьому - при необхідності позначення буквою бази (баз) або поверхні, з якою зв'язується допуск розміщення (див. рис.6.21.б; 6.22..б). Якщо допуск відноситься до осі або до площини симетрії, сполучна лінія повинна бути продовженням розмірної (рис.6.1д,б); якщо допуск відноситься до спільної осі (площини симетрії) сполучну лінію проводять до спільної осі (рис.6.21,б). Перед числовим значенням допуску треба вказувати: символ \varnothing , якщо поле допуску задано його діаметром (рис.6.15,б); символ R якщо поле допуску задано радіусом; символ T, якщо допуски симетричності, перетину осей, форми заданого профілю(поверхні), а також позиційні задані в діаметральному виразі (рис.6.12,а); символ T/2 для тих же видів допусків, якщо вони задані в радіусному виразі (рис. 6.12,б). Якщо допуск відноситься до ділянки поверхні заданої довжини або площі, то її значення вказують поряд із допуском, відділяючи нахиленою лінією (рис.6.10). Якщо необхідно назначити допуск на всій довжині поверхні і на заданій довжині, то допуск на заданій довжині вказують під допуском на всій довжині (рис.6.23.,б). Написи, які доповнюють дані, приведені в рамці, наприклад, часткові види допусків, наносять, як показано на рис.6.23,б.

Базу позначають затушованим трикутником, який з'єднують сполучною лінією з рамкою допуску (рис.6.24,а). Частіше базу позначають буквою і з'єднують її з трикутником (рис.6.24.,б). Якщо базою є вісь, або площина симетрії, трикутник розташовують у кінці розмірної лінії відповідного розміру поверхні. У випадку, коли нестача місця, стрілку розмірної лінії допускається замінити трикутником (рис.6.24.г).



а)



б)

Рисунок 6.23 - Схеми позначення допусків форми і розміщення

Вибір допусків форми і розміщення поверхонь залежить від конструктивних і технологічних вимог, але крім того, зв'язаний з допуском розміру, бо поле допуску розміру для спряжених поверхонь обмежує також і будь-які відхилення форми і розміщення на довжині з'єднання.

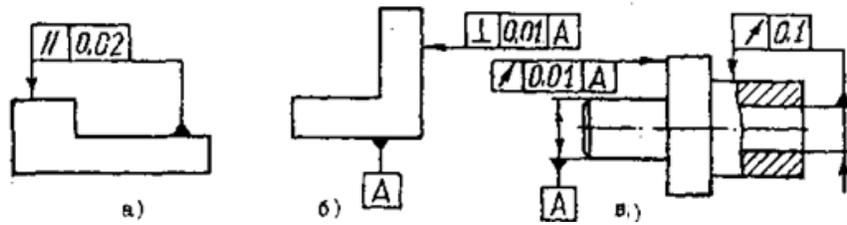


Рисунок 6.24 - Варіанти позначення баз

Допуски форми і розміщення поверхонь назначаються тільки в обґрунтованих випадках, коли вони повинні бути меншими від допуску розміру. При виборі допусків форми (Тф) і розміщення (Троз) можна зв'язувати їх з допуском розміру (Тр).

В залежності від співвідношення Тф/Тр (Троз/Тр) розрізняють нормальну (А), підвищену (В) і високу (С) відносну геометричну точність поверхні (Тф складає відповідно 60, 40 і 25% від Тр).

Допуски форми циліндричних поверхонь, які відповідають рівням відносної геометричної точності А, В, і С, складають приблизно 30, 20 і 12% допуску розміру, бо допуски форми циліндричних поверхонь обмежують відхилення радіуса, а допуск розміру - відхилення діаметру поверхні.

Не вказані на кресленні допуски форми і розміщення поверхонь обмежуються полями допусків відповідних розмірів згідно ГОСТ 25069-81.

Допуски розміщення можуть бути залежними (М) і незалежними (S). Залежні - це такі, величина яких залежить від дійсних розмірів нормованого елемента; незалежні - величина яких не залежить від дійсних розмірів нормованого елемента