

Точність і якість у машинобудуванні

1 Поняття про точність, економічна і досяжна точність

Проектування ТП виготовлення виробу обов'язково повинно враховувати вимоги як до точності виготовлення деталей, так і до точності складання вузлів і машин.

Точність – основна характеристика деталей, машин чи приладів. Абсолютно точно виготовити деталь неможливо, так як при її обробці виникають різноманітні погрішності. Тому точність обробки деталей залежить від багатьох факторів і буває різною.

Трудомісткість і собівартість обробки деталей в значній мірі залежить від точності і вони суттєво зростають з підвищенням вимог до точності виробів. Оскільки точність обробки у виробничих умовах залежить від багатьох факторів, обробку зазвичай проводять не з досяжною, а з економічною точністю.

Під досяжною точністю розуміють таку точність, яку можливо досягнути при обробці в особливих, найбільш сприятливих і незвичайних для даного виробництва умовах, висококваліфікованими виконавцями, не зважаючи на затрати часу і собівартість обробки.

Економічна точність досягається при мінімальній собівартості, в нормальних виробничих умовах, які передбачають роботу на справних верстатах з використанням необхідного оснащення і інструментів при нормальній затраті часу і нормальній кваліфікації виконавців.

У масовому і крупносерійному виробництві при виготовленні взаємозамінних деталей необхідна точність забезпечується відповідним налагодженням верстатів. В малосерійному і одиничному виробництві висока точність досягається за допомогою допоміжних викінчувальних операцій і за рахунок використання виконавців високої кваліфікації.

2 Класифікація поверхонь деталей, параметри їх якості і методи досягнення

Без чіткого уявлення про поверхні деталі, яка підлягає обробці, параметрах якості, які визначають її призначення, шляхи і методи вирішення задач технологічного проектування, неможливо грамотно і обґрунтовано спроектувати ТП виготовлення деталі.

Класифікація поверхонь деталей за призначенням дає можливість обґрунтовано задати вимоги до точності, шорсткості, твердості, зносостійкості та іншим параметрам якості. За призначенням поверхні деталей розділяють на:

- виконавчі поверхні (вони можуть між собою сполучатись, або не сполучатись) - це поверхні або їх сполучення за допомогою яких деталь виконує своє службове призначення (шийка валу, поверхні зубів, кромки ножів, бігові доріжки підшипників тощо);

- вільні поверхні – вони не контактують з поверхнями других деталей під час роботи, але вони пов'язують виконавчі поверхні деталі для придання їй форми, яка відповідає службовому призначенню деталі.

До виконавчих поверхонь завжди висуваються високі вимоги до якості, досягнення яких вимагає найбільш складного і довгого маршруту обробки. До вільних поверхонь особливих вимог зазвичай не висувається, вимоги до точності їх взаємного розташування також невисокі.

Класифікація поверхонь за формою дозволяє технологі обґрунтувати метод її обробки. Згідно з цією класифікацією поверхні поділяють на типові і нормалізовані. Типовими поверхнями являються плоскі, поверхні обертання, гвинтові, зубчасті, нелінійні поверхні. Форма поверхні визначає вид утворюючої і закон її переміщення у просторі.

До нормалізованих відносяться поверхні, утворені сполученнями типових поверхонь – канавок, пазів, шліців, виточок тощо. Кожному класу поверхонь властивий набір методів обробки.

Параметри поверхонь:

- 1) - форма: циліндрична, конічна, сферична, зубчаста, плоска, фасонна, різьбова;
- 2) – розмір: діаметр, довжина, ширина, товщина, глибина;...
- 3) – точність: квалітети розмірів (19 квалітетів по ISO), допуски форми і розташування;
- 4) – параметри шорсткості: R_z , R_a , S , t ;...
- 5) – фізико-механічні властивості: твердість, зносостійкість, залишкові напруження
- 6) – вид термічної чи хіміко-термічної обробки, вид покриття (Cr, Zn, Cd, N, Si і т.д.), вид наплавленого матеріалу тощо.

У загальному виді ТП виготовлення деталі повинен забезпечити вирішення трьох груп задач:

- 1) – забезпечити необхідну якість обробки поверхонь;
- 2) – забезпечити необхідну точність їх розмірів;
- 3) - забезпечити необхідну точність їх взаємного розташування і форми, а також їх точність відносно тих поверхонь, що залишаються необробленими.

При цьому задачею обробки являється досягнення технологічними засобами числових значень параметрів якості і їхніх зв'язків у межах відхилень, які допускає службове призначення деталі.

Параметри якості – це розмір, відхилення розміру, шорсткість, твердість, не співвісність, дисбаланс, ексцентриситет тощо. Зв'язки між поверхнями здійснюються через їх лінійні і кутові розміри. Набір різнойменних параметрів, які характеризують поверхню і є комплект параметрів якості. Наприклад, для шийки вала – це діаметр, відхилення його розміру, овальність, конусність, биття, шорсткість і твердість його поверхні.

Основною ознакою, яка об'єднує параметри якості в комплекти – це їх одночасне досягнення за рахунок певних технологічних дій. Не можливо по черзі вирішувати задачі забезпечення точності, потім шорсткості, потім погрішності форми тощо. Усі ці параметри досягаються використанням певних методів обробки (у тому числі і забезпечення заданої твердості).

Власне вимоги до точності і якості поверхонь деталей і визначають сам ТП їхньої обробки. Досвід роботи машинобудівних підприємств показав доцільність розділення ТП виготовлення деталей на стадії:

- чорнову обробку;
- чистову обробку;
- завершальну обробку або оздоблення.

3 Розміри, відхилення розмірів, допуски, квалітети точності

Для оцінки відхилення розмірів, форми та розташування поверхонь використовують наступні поняття:

Реальна поверхня – поверхня, яка обмежує деталь і відокремлює її від навколишнього середовища;

Номінальна поверхня – ідеальна поверхня, номінальна форма та розміри якої задані кресленням або іншою технічною документацією. Її розміри визначаються конструктивними розрахунками, розрахунками на міцність, жорсткість. Від цих розмірів визначаються дійсні відхилення розмірів.

Розмір – числове значення лінійної чи кутової величини у вибраних одиницях вимірювання.

Дійсний розмір – розмір, який встановлено вимірюванням з допустимою погрішністю.

Номінальний - розмір, завданий кресленням. Відносно до нього визначаються відхилення розміру. Зі збільшенням точності вимірювання дійсний розмір наближається до істинного розміру.

Відхилення розміру – алгебраїчна різниця між розміром та його номінальним значенням.

Верхнє і нижнє граничні відхилення - алгебраїчна різниця між відповідно найбільшим або найменшим граничним розміром та номінальним.

Допуск (Т) – абсолютна величина алгебраїчної різниці між верхнім та нижнім граничними відхиленнями, вони бувають симетричними та несиметричними, плюсовими та мінусовими.

Зазор - різниця розмірів відвернення і валу, коли розмір відвернення більший за розмір валу.

Натяг - така ж різниця, але розмір відвернення менший, ніж розмір валу.

Посадка - характер з'єднання деталей, що визначається величинами зазорів чи натягів.

Посадки з зазором передбачають зазор у з'єднанні, посадки з натягом – коли розмір відверстия менший за розмір валу (поле допуску відвернення розташоване нижче поля допуску

валу). Перехідні посадки – посадки при яких можливе отримання як зазорів, так і натягів у з'єднаннях.

Відхилення форми – відхилення реальної поверхні (або профілю) від номінальної поверхні (профілю) оцінюють по найбільшому відстані від точок реальної поверхні за нормаллю до неї.

Величина допуску (поле допуску) характеризує ступінь точності виготовлення деталі. Точність є однією з найважливіших характеристик деталі і взагалі будь-якого виробу. Щоб можна було виконувати обробку деталей з різною точністю до 1973р. було встановлено десять класів точності, вони мали власні назва та порядкові номери, перший клас був самим точним. Далі, у зв'язку зі зростанням вимог до точності, перейшли на міжнародну систему допусків та посадок ISA, з'явилося поняття квалітет допуску до розміру.

Квалітет – сукупність допусків, що відповідають однакової точності для всіх номінальних розмірів. Квалітет характеризується числом одиниць допуску, він відображає точність технологічного процесу виготовлення виробу.

Одиниця допуску – множник у формулі допусків системи, залежить від розміру D і для розмірів до 500 мм.

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D_i} + 0,001 \cdot D_i \quad (1)$$

Для розмірів більших 500 мм

$$i = 0,5 \cdot \sqrt[3]{D}, \text{ мкм} \quad (2)$$

де $D_i = \sqrt{D_{i \min} \cdot D_{i \max}}$, мм - середнє геометричне крайніх розмірів $D_{i \min}$ і $D_{i \max}$ інтервалу, до якого входить розмір, що розглядається.

Одиниця допуску є мірою точності, оскільки допуск T_d (Tolerance) отримують множенням одиниці допуску на їх число:

$$T_d = i \cdot a \quad (3)$$

де a – число одиниць допуску є рядом геометричної прогресії зі знаменником (R5) $= \phi = \sqrt[5]{10} \approx 1,6$. Таким чином число одиниць допуску $a = \phi^{N-1}$ де N – номер квалітету. Звідси і співвідношення між квалітетом і допуском (числом одиниць допуску):

Квалітети	01	0	1	5	6	7	8	9	10	11	12	16	18
Число одиниць	0,4	0,7	1	7	10	16	25	40	64	100	160	1000	2500

Загалом можна вказати на наступне застосування квалітетів:

Самі точні квалітети використовують для виготовлення зразкових мір, калібрів, деталей типу ділільних коліс і дисків, еталонів, вимірювальних гвинтів, робочих шийок валів прецизійних механізмів, шкал з оптичним відліком, дзеркальних валиків координатних станків тощо.

Квалітети 4 і 5 застосовуються порівняно рідко, в особливо точних з'єднаннях, що вимагають високої однорідності зазору або натягу (приладові підшипники в корпусах та на валах, високоточні зубчасті колеса на валах та оправках у вимірювальних приладах).

Квалітети 6 і 7 застосовуються для відповідальних з'єднань у механізмах, де до посадок пред'являються високі вимоги щодо визначеності зазорів і натягів для забезпечення точності переміщень, плавного ходу, герметичності з'єднання, механічної міцності деталей, що з'єднуються, а також для забезпечення точного складання деталей.

Квалітети 8 і 9 застосовуються для посадок при відносно менших вимогах до однорідності зазорів або натягів і для посадок, що забезпечують середню точність складання.

Квалітет 10 застосовується в посадках із зазором і в тих же випадках, що й 9, якщо умови експлуатації допускають деяке збільшення коливання зазорів у з'єднаннях.

Квалітети 11, 12 застосовуються в з'єднаннях, де необхідні більші зазори та припустимі їх значні коливання (грубе складання). Ці квалітети поширені у невідповідальних з'єднаннях машин (кришки, фланці, дистанційні кільця тощо).

Таким чином, квалитети 5-12 використовують для деталей, що працюють у сполученнях, а квалитети з 13 по 18 – для вільних поверхонь деталей, які не сполучаються.

Діапазон розмірів 1 – 500 мм розбито на тринадцять інтервалів і для них при заданих значеннях квалітетів у довідниках наведено значення допусків у мікрометрах (мікронах).

Допуск можна легко підрахувати, наприклад, симетричний допуск для $D=64$, у якого одиниця допуску $i = 0,5 (64)^{0,33} = 2$ мкм, для наступних квалітетів на складі:

Означення допуску	IT1	IT6	IT8	IT11	IT16
Число одиниць допуску a	1	10	25	100	1000
Допуск T_d , мкм	2	20	50	200	2000
Значення розміру, мм при симетричному допуску	$\varnothing 64 \pm_{0,001}$	$\varnothing 64 \pm_{0,01}$	$\varnothing 64 \pm_{0,025}$	$\varnothing 64 \pm_{0,1}$	$\varnothing 64 \pm^1$

Але навіть такого різноманіття регламентованих допусків недостатньо для того, щоб задати потрібну точність на кресленнях. Необхідно знати положення поля допуску щодо нульової лінії. Цій задачі слугує поняття **основне відхилення** – це відстань найближчої межі поля допуску до нульової лінії.

Всі розміри в системі допусків на типові з'єднання деталей виробів розділяються на ті що охоплюють – розміри, які в результаті обробки збільшуються (**відчини**) і охоплюються вимірювальними засобами при вимірюваннях (**вали**) - розміри яких при обробці зменшуються.

Для діапазону розмірів до 500мм стандартом передбачено 27 варіантів основних відхилень, які означаються латинськими літерами, великими для отворів, строкковими – для валів. Граничні відхилення розмірів регламентовані для отворів та валів і представлені у ГОСТ 25347-82.

Держстандартом передбачені загальні правила нанесення на кресленнях граничних відхилень лінійних та кутових розмірів. Вони вказуються після номінального розміру умовними означеннями полів допусків і посадок відповідно до стандартів на допуски і посадки, або числовими величинами. Умовним зображенням завдяки простоті і наочності віддають перевагу, наприклад, H7, H9, G6, або в системі валу - g6, h6, j_s 6, k7.

Характер з'єднання двох вставлених одна в одній деталей визначається посадкою. Посадки можуть бути рухомими та нерухомими, рухомі посадки – це посадки із зазором, нерухомі – посадки з натягом. Тип посадки можна отримати шляхом зміни розмірів валу (його граничних відхилень), або шляхом зміни розмірів відвернення.

Якщо граничні розміри відвернення для заданого квалітету незмінні, а необхідні посадки досягаються зміною граничних відхилень валу – використовується система відвернення, при цьому основне відхилення відвернення (для H) приймають рівним нулю. Якщо зберігають граничні відхилення валу для одного квалітету, а змінюють граничні відхилення розмірів відвернення для забезпечення необхідної посадки - це система валу. Ми розглядали приклад з лінійним розміром 64 мм в якому одиниця допуску $i = 2$ мкм, а допуск залежить від квалітету. Так, для IT6 з числом одиниць допуску $a = 10$, допуск $T_d = 20$ мкм = 0,02 мм. Основні відхилення в системі відвернення зменшуються в алфавітному порядку, наприклад:

$\varnothing 64G6$ або $\varnothing 64G6^{0,03}_{0,01}$, або $\varnothing 64^{0,03}_{0,01}$ - основне відхилення (нижнє) щодо нульової лінії 0,01 мм, допуск $T_d = 0,02$ мм.

$\varnothing 64H6$ або $\varnothing 64H6^{0,02}$ або $\varnothing 64^{0,02}$ - основне відхилення - нуль, допуск тієї самої.

$\varnothing 64Js6$ або $\varnothing 64Js6 \pm 0,01$ або $\varnothing 64 \pm 0,01$ - основне відхилення симетричне.

У системі валу основні відхилення в алфавітному порядку зростають:

$\varnothing 64g6$ або $\varnothing 64g6^{-0,01}_{-0,03}$ або $\varnothing 64^{-0,01}_{-0,03}$ - допуск мінусовий, основне відхилення -0,01 мм.

$\varnothing 64h6$, або $\varnothing 64h6^{-0,02}$ або $\varnothing 64h0,02$ - основне відхилення - нульове.

$\varnothing 64js6$, або $\varnothing 64js6 \pm 0,01$, або $\varnothing 64 \pm 0,01$ – симетричні допуски та відхилення.

У ряді випадків необхідно вказувати числові величини – це відноситься до розмірів у системі валу, розмірів для підшипників, шпонок тощо, а також для розмірів, які не включені до ряду

нормальних лінійних розмірів. Числові величини виражають у вигляді десятинного дробу і записують до значної цифри включно, вирівнюючи кількість знаків нулями.

Таким чином, розмір 50H7 може бути проставленим тільки на діаметрі відвернення і означає, що він виконаний по сьомому квалитету для будь-якої посадки.

Можна з'єднувати деталі з будь-якими полями допусків, що розширює кількість можливих варіантів. Вибір системи відвернення чи валу залежить від умов, що історично склалися в конкретній галузі техніки. Все ж таки переважно використання набула система відвернення (H), завдяки цьому скорочується асортимент щодо дорогого інструменту для обробки відвернень – свердлів, зенкерів, розгортків, протяжок, мітчиків тощо, тоді як вали обробляються з необхідною точністю на токарних, фрезерних та шліфувальних станках без заміни різу інструмент.

На кресленнях складальних одиниць граничні відхилення розмірів у сполученнях (посадку) вказують у виді дробу - у чисельнику проставляють відхилення відвернення, у знаменнику - відхилення валу, наприклад посадка $\varnothing 40H8/d8$, замість умовних позначень можуть поставлятися числові величини – $\varnothing 40^{+0,03}_{-0,10}$. Обидва варіанти означають, що розміри відвернення $D 40^{+0,05}_{-0,05}$, вала - $d 40^{-0,03}_{-0,10}$ мм.

4 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 вказують 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 подовжного 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.

5 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, зносостійкість 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 сполучаємих 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.

6 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 і t_p .

Середнє арифметичне відхилення профілю R_a визначається із абсолютних значень відхилень профілю Нв 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.

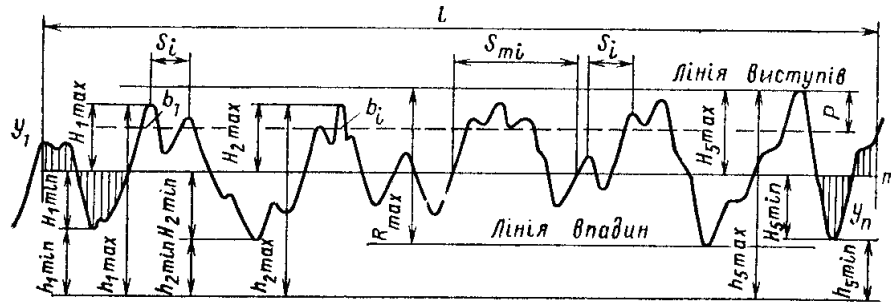


Рис.1 - Мікропрофіль поверхні

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:

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

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 η - 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 3.2.

Таблиця 2

Переважні (**виділені шрифтом**) числові значення параметрів шорсткості

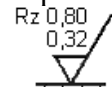
Клас шорсткості	Номинальні значення R_a , мкм	Діапазон значень, мкм		Базова Довжина L , мм
		R_a	R_z	
1 2 3	50 25 12,5	80 - 40 40 - 20 20-10	320 - 160 160 - 80 80-40	8
4 5	6,3 3,2	10-5 5-2,5	40-20 20-10	2,5
6 7 8	1,6 0,8 0,4	2,5-1,25 1,25-0,63 3,2-0,63	10-6,3 6,3-3,2 3,2-1,6	0,8
9 10 11 12	0,2 0,1 0,05 0,025	0,32-0,16 0,16-0,08 0,08-0,04 0,04-0,02	1,6-0,8 0,8-0,4 0,4-0,2 0,2-0,1	0,25
13 14	0,012 0,06	0,02-0,016	0,1-0,05 0,05-0,025	0,08

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 поліції.



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

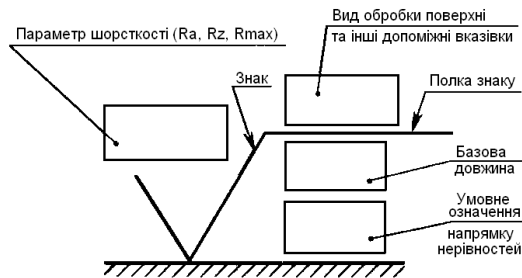


Рис.2. Структура умовного визначення шорсткості поверхні

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

Таблиця 3.

Характерні значення шорсткості для типових поверхонь

Характеристика поверхні	Значення R_a , мкм
Неробочі контури деталей, підосви станин, кромки під зварні шви	R_z 320-80
Відкрий на прохід кріпильних деталей, проточування	R_z 80-40
Торці валів, муфт, втулок, радіуси округлень	R_z 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 (TR). Геометричні відхилення деталі повинні перебувати в межах поля допуску розміру. Тому величину параметра R_z 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_z до параметра R_a 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_a 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_a .

Рішення:

Допуск розміру IT = 16 мкм. Параметр $R_z = 0,33 \text{ IT} = 0,33 \cdot 16 = 5,3 \text{ мкм}$. Параметр $R_a = 0,2 R_z = 0,2 \cdot 5,3 = 1,06 \text{ мкм}$. Для нанесення на кресленні деталі приймаємо найближче менше із переважних значень шорсткості - $R_a = 1,0 \text{ мкм}$.

7 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_a чи R_z , якщо тільки в технічних умовах на даний виріб не визначено напрямку 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 ощупування алмазною голкою. При переміщенні іголки по поверхні обробленої деталі наявність нерівностей призводить до коливань голки впродовж своєї осі, 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 подвійний мікроскоп та мікроінтерферометр академіка В.П. Лінник.

Подвійний 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 мм².

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.