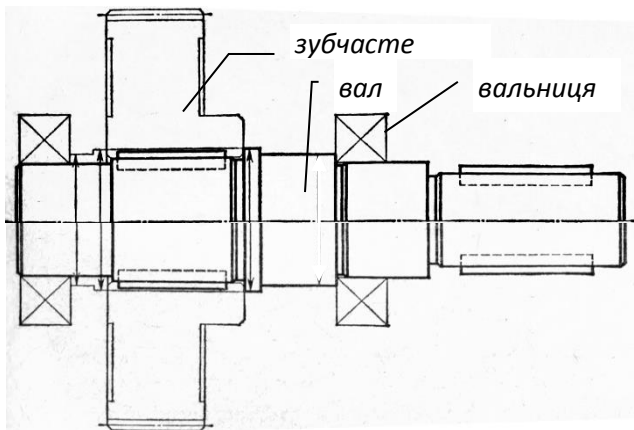


## 5иВАЛИ ТА ВІСІ

### 5.1 Призначення валів і вісей

Окремі деталі машин (зубчасті колеса, шківви, зірочки ланцюгових передач тощо), що здійснюють обертовий рух, розміщують на валах і вісях, які забезпечують для них постійне положення геометричної вісі обертання, рис.3.2.

*Вал* - деталь, призначена для підтримки закріплених на неї інших деталей



і для передачі обертового чи крутного моменту вздовж своєї осьової лінії. Існують деякі види валів, наприклад, гнучкі дротяні та торсіонні, які не підтримують деталей, а лише передають крутний момент. При роботі вал зазнає згин і кручення, а в окремих випадках додатково розтяг або стискання.

Рисунок 3.2

*Вісь* - деталь, яка підтримує інші розташовані на неї деталі без

передавання крутного моменту (на відміну від вала). Вісі зазнають лише деформації згину.

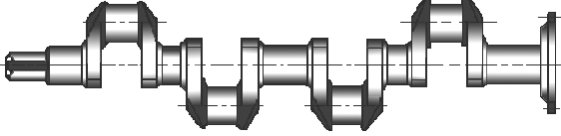
Вісі є окремим випадком валів і можуть бути рухомими та нерухомими, вали – лише рухомими.

Довжина вісей звичайно не перевищує 3 м, а довжина суцільних валів за умовами виготовлення, транспортування і монтажу не повинна перевищувати 7 м.

### 5.2 Класифікація валів

За призначенням вали ділять на вали механічних передач (на них установлюють деталі передач) і корінні вали (на них установлюють додатково ще й робочі органи машини: шатуни, диски турбін та ін.). В курсі «Деталі машин» розглядаються вали механічних передач.

Найчастіше вали поділяють за *формою повздожньої геометричної вісі* на:

<i>прямі</i>	<i>непрямі</i> або <i>колінчасті</i> (повздожня геометрична вісь розділена на декілька відрізків, паралельних між собою і зміщених відносно один до одного в радіальному напрямку)	<i>гнучкі</i> (повздожня геометрична вісь є лінія змінної кривини, яка може змінюватися в процесі роботи механізму чи при монтажно-демонтажних робіт).
		

Вісі, як правило, виготовляють прямими.

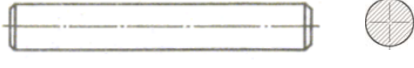

*Прямі вали* класифікують за наступними ознаками:

- за конструкцією:

<i>гладкі</i> (мають однаковий діаметр по всій довжині)	<i>ступінчасті</i> (мають ділянки, які відрізняються одна від одної діаметрами)	з нарізаними на них <i>зубчастими вінцями</i> (вал-шестірня, вал-черв'як)
		

Ступінчаста форма сприяє рівній напруженості окремих ділянок, спрощує виготовлення і встановлення деталей на валу, дозволяє виконувати осьову фіксацію деталей і поділити та реалізувати технічні вимоги на виготовлення вала за поверхнями щодо точності та шорсткості. Форма вала визначається розподілом згінних та крутних моментів по його довжині. Правильно спроектований вал уявляє собою балку рівного опору.

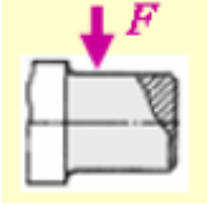
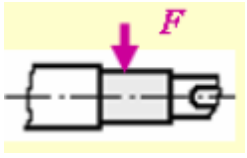
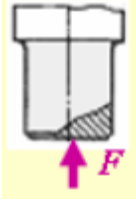
- за видом поперечного перерізу:

<i>суцільні</i>	<i>порожнисті</i> (застосовуються для зменшення маси (наприклад, якщо відношення внутрішнього діаметру вала до зовнішнього $d_o/d = 0,5...0,6$ , то його маса зменшується на 22-30 %) і для розміщення в них інших деталей)
	

### 5.3 Основні конструктивні елементи валів і вісей

Вздовж вала чи вісі розрізняють такі ділянки (конструктивні елементи): *опорні ділянки*; *несучі ділянки*, на яких закріплюють обертові деталі (зубчасті колеса, шків, зірочки ланцюгових передач тощо); *перехідні ділянки*, які з'єднують опорні ділянки з несучими.

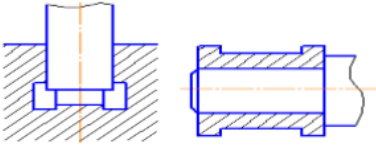
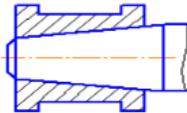
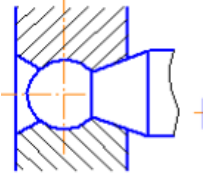
Опорні ділянки вала чи вісі називають *цапфами*. Розрізняють 3 види цапф:

<i>шип</i>	<i>шийка</i>	<i>п'ята</i>
кінцева цапфа, сприймає радіальну силу	проміжна цапфа, сприймає радіальну силу	кінцева цапфа, сприймає осьову силу
		

Шипи і шийки опираються на вальниці, опірною частиною для п'яти є підп'ятник.

За формою цапфи можуть бути:

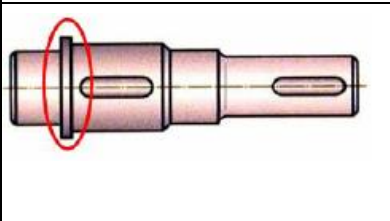
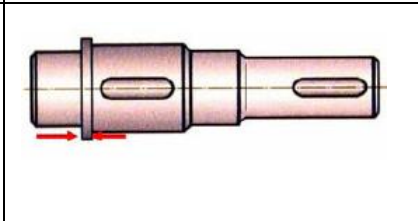
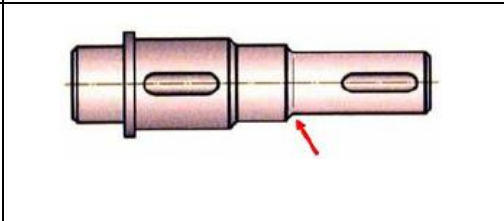
Цапфи валів, що працюють у вальницях ковзання, можуть бути:

циліндричні	конічні	Сферичні
		

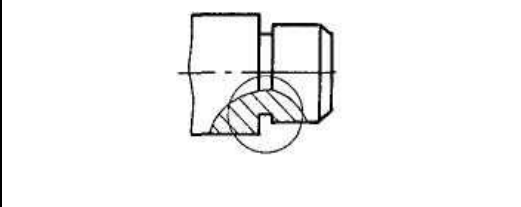
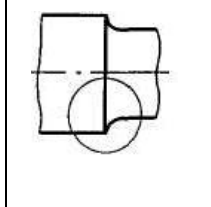
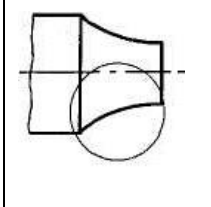
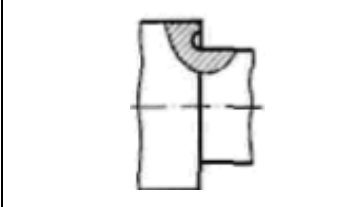
Цапфи валів і вісей, які працюють в вальницях кочення, майже завжди циліндричні, а в вальницях ковзання – циліндричні, конічні або сферичні.

Конічні цапфи використовують для регулювання зазорів у вальницях, а інколи й для осьової фіксації вала. Сферичні цапфи, дуже обмежено (через складність виготовлення) застосовують у разі значних кутових переміщень вала чи вісі.

Перехідними ділянками між двома ступенями різних діаметрів валів є:

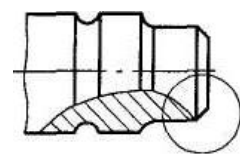
буртик	запечик	галтель
кільцеве стовщення валу, яке складає з ним одне ціле і призначене для обмеження осевого переміщення самого валу або закріплених на ньому деталей	перехідна поверхня від меншого діаметру валу до більшого, яка служить для упирання насаджених на вал деталей	перехідна поверхня від циліндричної частини валу до запечика, виконана без відділення матеріалу з циліндричної торцевої поверхні.
		

Конструктивні різновиди перехідних ділянок між ступенями валів і вісей виконують:

із канавкою (заглиблення малої довжини на циліндричній поверхні валу, виконане по радіусу до вісі валу (для виходу шліфувального круга))	з галтеллю :		
	постійного радіусу	змінного радіусу	з піднутренням (з галтеллю, заглиблену за плоску частину запечика)
			

Галтель призначена для зниження концентрації напружень в перехідній зоні, що в свою чергу призводить до збільшення втомної міцності валу.

Для полегшення процесу збирання, пошкодження рук робітників від порізів гострими кромками, надання виробам естетичного вигляду торці валів і вісей роблять з *фаскою* – тобто з конічними або плоскими зрізами гострих кромок деталей.



Перехідні ділянки валів і вісей – це місця різкої зміни форми і зони максимального напруження в перерізі валу, тому їх називають *концентраторами напружень*. Для зменшення концентрацій напружень і підвищення міцності, місця зміни діаметрів валів і вісей роблять плавними.

## 5.4 Матеріали валів та вісей

Заготівки валів:  $\varnothing \leq 150$  - круглий прокат,  $\varnothing > 150$  мм – поковки.

Для виготовлення валів (осей) використовують сталі вуглецеві (переважно 30, 40, 45 і 50) і леговані (40Х, 40ХН, 40ХНМА та ін.) у вигляді прокату або поковок. Вид термічної обробки – покращання. Вали, які працюють у парі з вальницями ковзання, а також шліцьові вали виготовляють зі сталей марок 20Х, 20ХН із цементацією і подальшим загартовуванням.

## 5.5 Критерії роботоздатності і розрахунок валів і рухомих вісей

Вали і рухомі вісі при роботі зазнають циклічні змінні напруги. Практикою встановлено, що руйнування валів і вісей швидкохідних машин у більшості випадків має втомний характер. Іноді мають місце поломки і від нестачі статичної міцності при одиничних пікових навантаженнях. Вали, що мають значні (порівняно з діаметром) відстані між опорами, можуть бути недостатньо жорсткими в поперечному напрямку. Це може спричинити порушення геометрії зачеплень зубчастих коліс, заклинювання валів в опорах або недопустимі поперечні коливання валів. В силу цього, *основними критеріями працездатності валів і рухомих вісей є втомна міцність і жорсткість*. Міцність оцінюється *коефіцієнтом запасу втомної міцності*, а жорсткість – *величиною прогину під дією робочих навантажень, кутами повороту або закручування поперечних перетинів під дією крутного моменту в місцях встановлення деталей (частіше опірних перетинів цапф)*. Крім того, їх розраховують на вібростійкість.

Основними розрахунковими силовими чинниками є крутні  $T$  і згинальні  $M$  моменти. Вплив розтягуючих і стискаючих сил, як правило, невеликий і в більшості випадків не враховується.

При розрахунку вала вважають, що нормальні напруження в ньому змінюються за симетричним циклом. Дотичні напруження приймають змінними за пульсуючим циклом, а при частому реверсі – за симетричним знакозмінним.

Розрахунок валів і рухомих вісей виконують у кілька етапів:

- *проектний розрахунок* проводять на статичну міцність з метою орієнтовного визначення діаметрів валу; він необхідний для розробки його конструкції;
- *перевірочний розрахунок* валів проводять на опір втоми і жорсткість.

В деяких випадках до цих трьох етапів розрахунку додаються інші, наприклад, для швидкохідних валів виконують розрахунок на коливання

(розрахунок вібраційної стійкості); для валів, які працюють у парі з вальницями ковзання, важливо забезпечити зносостійкість цапф; для валів, що працюють в широкому температурному діапазоні, - розрахунок теплових деформацій, теплостійкості і ін..

### 5.5.1 Проектний розрахунок валів

Проектний розрахунок виконують *на статичну міцність за передавальним крутним моментом  $T$* .

Проектний розрахунок виконують тільки на кручення, оскільки згинальний момент невідомий, тому що невідомо розташування опор та місця прикладення навантаження.

При цьому розрахунку визначається мінімальний зі всіх діаметр валу  $d$  (для швидкохідного і тихохідного валів редуктора - діаметри вихідних кінців, а для проміжних валів – діаметр вала під шестірнею), а з метою компенсації неврахованих згинних навантажень та інших факторів (концентраторів напружень), які впливають на міцність валу, приймають занижені значення припустимих дотичних напружень  $[\tau] = 15 - 25$  МПа:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{T}{0,2[\tau]}}. \quad (3.1)$$

Отриманий діаметр валу округлюють до найближчого більшого значення з ряду нормальних лінійних розмірів за ГОСТ 6636-69 (мм: 22, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 53, 56, 60, 63, 67, 71, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 120, 125, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 240, 250, 260, 280).

Діаметр вхідного кінця вала редуктора можна прийняти рівним або близьким до діаметра вихідного кінця електродвигуна.

Діаметри інших ступенів і довжину ділянок вала установлюють при компонуванні з урахуванням конструктивних і технологічних особливостей вузла (конструктивної розробки).

### 5.5.2 Перевірочний розрахунок валів

Перевірочний розрахунок валів проводять на опір втоми і жорсткість, для швидкохідних валів додатково на вібростійкість. Його проводять після повного конструктивного оформлення валу на основі проектного розрахунку, вибору вальниць, розрахунку з'єднань, які задіяні в передачі обертового моменту, розробки різноманітних конструктивних елементів, пов'язаних з фіксацією і

регулюванням встановлених на валу деталей, призначення виду механічної обробки і якості поверхонь окремих ділянок.

Перевірочний розрахунок валу виконують по його розрахунковій схемі. При її складенні вали розглядають як прямі балки на шарнірних опорах, які навантажені поперечними та осьовими силами, що виникають у зачепленні й установлених на них зубчастих коліс, від натягу віток пасової чи ланцюгової передачі, від дії власної ваги шківів, барабанів та інших установлених на валу деталей.

### 5.5.3 Уточнений розрахунок валів на опір втоми

Перевірочний розрахунок на опір втоми (витривалість) проводять за коефіцієнтом запасу міцності  $S$  в можливих небезпечних перетинах.

При розрахунках враховують:

- характер зміни напружень,
- вплив абсолютних розмірів,
- вплив концентрації напружень,
- вплив шорсткості поверхні й поверхневого зміцнення.

Уточнений розрахунок валів на витривалість є основним розрахунком і зводиться до визначення запасу втомної міцності  $S$ , який ще називають коефіцієнтом безпеки за опором втоми, і порівняння його з допустимим  $[S]$ :

$$s = \frac{S_{\sigma} \cdot S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}} \geq [s] \approx 1,5 \dots 2,6 \quad (3.2)$$

де  $S_{\sigma}$ ,  $S_{\tau}$  - коефіцієнти запасу втомної міцності за нормальними і дотичними напруженнями відповідно.

Допустимий запас міцності  $[S]$  залежить від точності складання розрахункової схеми, ступеня відповідальності вала та однорідності матеріалу.

### 5.5.4 Розрахунок валів на жорсткість

Вали зазнають згинальних і крутильних деформацій. Переміщення (лінійні та кутові) при цих деформаціях впливають на роботу вальниць і передач (більшою мірою зубчастих, черв'ячних і меншою – ланцюгових, пасових).

Жорсткість валів характеризується параметрами: прогином вала  $y$ , кутом повороту поперечного перерізу  $\theta$  (при згині), рис.; кутом скручування  $\varphi$  (крутильна жорсткість). Ці параметри визначаються звичайними методами опору матеріалів.

Прогини валів зубчастих передач спричиняють взаємний нахил коліс і концентрацію навантаження по довжині зубця, зміну міжосьової відстані.

Поворот поперечних перерізів може спричинити защемлення тіл кочення в підшипниках. Кут закручування вала може вплинути на точність роботи машини (гвинторізні і зуборізні верстати, ділильні машини тощо).

Мета розрахунку – визначити пружні переміщення, які відповідають виду деформації, і порівняти їх із допустимими значеннями, тобто перевірити забезпечення умов жорсткості вала:

$$y \leq [y], \quad \theta \leq [\theta], \quad \varphi \leq [\varphi].$$

Для більшості валів приводів крутильна жорсткість не перевіряється.

Припустимий прогин під зубчастими колесами  $[y]=(0,01-0,03)t$ , конічними і глобоїдними -  $[y]=(0,005-0,007)t$ , де  $t$  – модуль передачі; величина прогинів для валів загального призначення  $[y]=(0,0002-0,0003)l$ , де  $l$  – відстань між опорами.

Припустимий кут перекосу зубчастих коліс і опор ковзання  $[\theta]=0,001$  рад., зі сферичними кульковими вальницями  $[\theta]=0,05$  рад., для радіальних роликкових вальниць  $[\theta]=0,0025$  рад., для конічних роликкових вальниць  $[\theta]=0,0016$  рад..

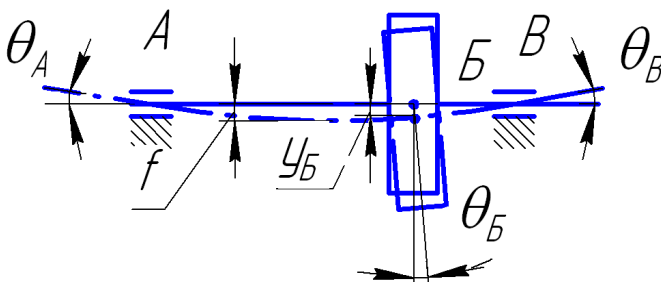


Рисунок 3.3 – Деформація вала при вигині.

### 5.5.5 Розрахунок валів на вібростійкість

Задача розрахунку валів на вібростійкість полягає у визначенні частот власних коливань з метою запобігання резонансу

Колівання валів пов'язані з періодичними змінами жорсткості опор і деталей передач, а також навантаження, що передається; невірноваженістю обертових мас; нерівномірністю розподілу сил у зоні з'єднання валів з іншими деталями.

Найхарактернішими коливаннями валів є поперечні згинальні, крутильні та згинально-крутильні.



Задача розрахунку на вібростійкість зводиться до визначення діапазону робочих кутових швидкостей валів, при яких амплітуди коливань  $A$  не будуть перевищувати допустимі  $[A]$ :

$$A \leq [A].$$

Іншими словами, задача розрахунку на вібростійкість зводиться до визначення критичних, резонансних частот обертання вала, при яких його експлуатація заборонена.