

# PHẦN I : CƠ HỌC VẬT RẮN

## Chương 1: Tĩnh học

### Bài 1. Các khái niệm cơ bản và các định luật tĩnh học.

#### I) Các khái niệm cơ bản.

##### 1) Vật rắn tuyệt đối.

- Là vật mà dưới tác dụng của ngoại lực thì khoảng cách giữa hai điểm bất kỳ sẽ không thay đổi.
- Trạng thái cân bằng của vật rắn : là trạng thái mà vật rắn đang đứng yên ( $v = 0$ ) hoặc đang chuyển động thẳng đều ( $a = 0$ ).

##### 2) Trạng thái cân bằng.

- Vật ở hệ thống đứng yên so với một hệ trục nào đó hay vật rắn được gọi là cân bằng khi vị trí của nó không thay đổi so với vị trí của một vật nào đó được chọn làm chuẩn (gọi là hệ qui chiếu). Trong tĩnh học hệ qui chiếu đó gọi là hệ qui chiếu quán tính.

##### 3) Lực.

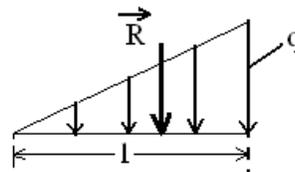
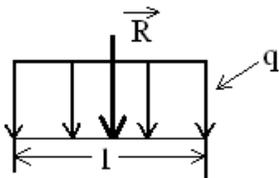
- Là đại lượng đặc trưng cho tác dụng tương hỗ giữa các vật. Nó là đại lượng vectơ gọi là vectơ lực, được đặc trưng bởi:

- + Phương chiều
- + Độ lớn
- + Điểm đặt

Ký hiệu :  $\vec{F}$ ,  $\vec{P}$  ...

Đơn vị : Niutơn, kí hiệu N. ( $1N = 1kgm/s^2$ ).

- Lực tập trung: là lực tác dụng lên 1 đvdt rất bé của vật thể.
- Lực phân bố : là lực tác dụng lên cả chiều dài và bề mặt của vật thể.



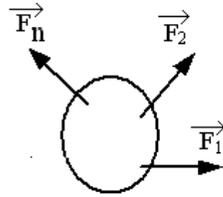
$$R = q.l : \text{đặt tại trọng tâm phân bố} \quad R = \frac{1}{2} q.l : \text{Đặt}$$

tại trọng tâm phân bố

#### 4) Các định nghĩa khác.

#### 4.1) Hệ lực.

- Là tập hợp nhiều lực cùng tác dụng lên vật rắn :  $(F_1, F_2, \dots, F_n)$



##### ❖ Hợp lực của hệ lực:

- Lực duy nhất tương đương với hệ lực gọi là hợp lực của hệ lực.  
 $R \sim (F_1, F_2, \dots, F_n)$ ;  $R$  là hợp lực của hệ  $(F_1, F_2, \dots, F_n)$ .

##### ❖ Hệ lực cân bằng:

- Là hệ lực tương đương với không:  $(F_1, F_2, \dots, F_n) \sim 0$

#### 4.2) Momen của lực đối với điểm.

##### a. Momen của lực đối với điểm:

$$M_0(F) = r \wedge F$$

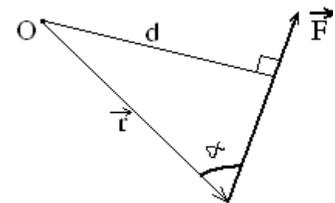
$F$  quay quanh  $O$  và ngược chiều kim đồng hồ

$$\{M_0(F)\} = r.F \cdot \sin(\angle r, F) = r.F \cdot \sin$$

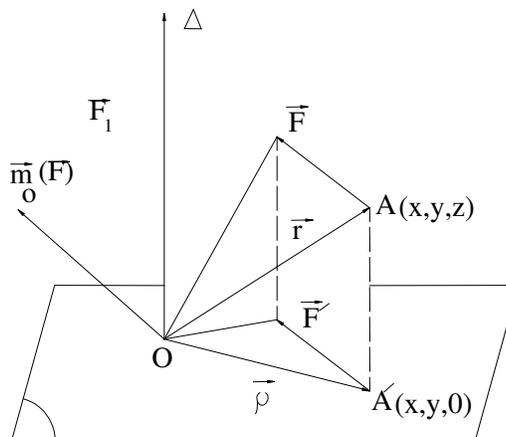
$$\{M_0(F)\} = F.d$$

Trong đó :  $d$  là cánh tay đòn;

Chú ý : Cách xác định cánh tay đòn  $d$  : Từ điểm lấy momen ta kẻ đường thẳng vuông góc với phương của lực thì đường thẳng đó là cánh tay đòn .



##### b. Momen của lực đối với trục



$$m(F) \quad m_o(F)$$

Chú ý :

- Khi lấy momen của lực đối với trục thì bắt buộc phương của “Lực – trục – cánh tay đòn” phải nằm trên ba phương vuông góc với nhau .
- Momen của lực đối với trục bằng không khi phương của lực song song với trục hoặc cắt trục .
- Momen của lực đối với trục là dương khi lực quay quanh trục theo chiều ngược kim đồng hồ .
- Bài toán phẳng : lấy momen đối với điểm
- Bài toán không gian lấy momen đối với trục

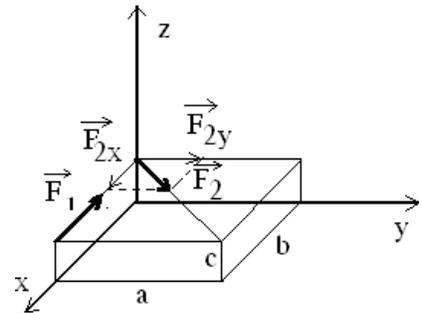
Ví dụ :

$$m_x(F_1) = 0; m_y(F_1) = -F_1.C$$

$$m_z(F_1) = 0; m_z(F_2) = 0$$

$$m_x(F_2) = -F_{2y}.C = -\frac{\sqrt{2}}{2}.F_2.C$$

$$m_y(F_2) = F_{2x}.C = \frac{\sqrt{2}}{2}.F_2.C$$



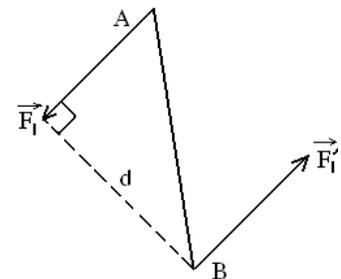
**4.3) Ngẫu lực**

- Hai lực đối nhau ,song song cùng cường độ sẽ tạo thành một ngẫu lực.
- Phương vuông góc với mặt phẳng chứa ngẫu lực
- Chiều ngược chiều kim đồng hồ.

$$M = f_1.d = f'_1 .d$$

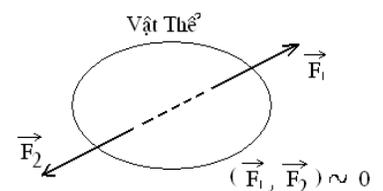
Chú ý :

- Hai ngẫu lực tương với nhau khi chúng có cùng chiều quay và cùng trị số momen .
- Ngẫu lực không phụ thuộc vào điểm đặt
- Ngẫu lực có tác dụng làm cho vật quay.



**II) Các tiên đề tĩnh học.**

**1. Tiên đề 1 : (hai lực cân bằng)**

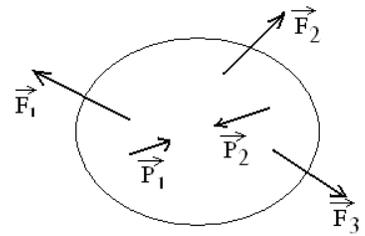


- Điều kiện cần và đủ để hai lực cân bằng là chúng phải cùng đường tác dụng : cùng phương, ngược chiều, cùng trị số, cùng tác dụng lên một vật thể.

### 2. Tiên đề 2 : (thêm bớt hai lực cân bằng)

- Ta có thể thêm vào hoặc bớt ra những cặp lực cân bằng và tác dụng của hệ lực vẫn không thay đổi.

$$(F_1, F_2, F_3) \sim (F_1, F_2, F_3, P_1, P_2), \text{ Với } (P_1 = -P_2)$$



#### Hệ quả :

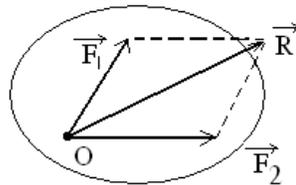
- Tác dụng của lực không thay đổi khi chúng ta trượt lực trên đường tác dụng của nó.



### 3. Tiên đề 3 : ( tiên đề hình bình hành lực, hợp lực hai lực đồng quy)

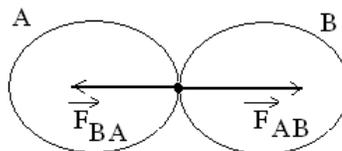
- Nếu ta có hai lực đồng quy thì hợp lực nằm trên đường chéo chính của hình bình hành.  $(F_1, F_2) \sim R$

$$R = F_1 + F_2$$



### 4. Tiên đề 4 : (về tương tác)

- Lực mà do hai vật thể tác dụng với nhau thì sẽ có cùng phương, ngược chiều, cùng trị số.  $F_{AB} = -F_{BA}$



### 5. Tiên đề 5 : (hóa rắn)

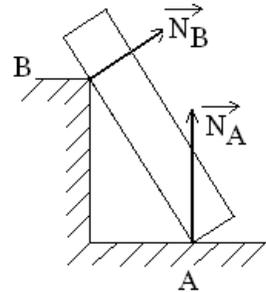
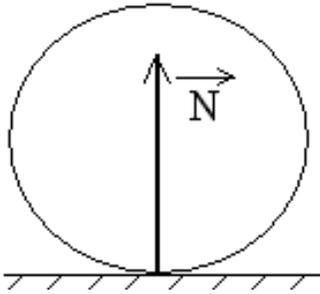
- Vật rắn biến dạng mà cân bằng thì khi hóa rắn lại thì nó cũng cân bằng.

### 6. Tiên đề 6 : (giải phóng liên kết)

- Vật không tự do cân bằng có thể được xem là vật tự do cân bằng bằng cách giải phóng tất cả các liên kết và thay thế tác dụng liên kết được giải phóng bằng các phản lực liên kết thích hợp.
- Một số quy tắc xác định các đặc trưng của phản lực liên kết đối với một số trường hợp thường gặp:

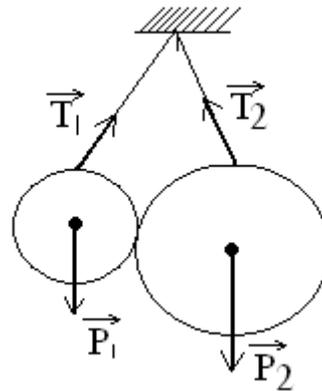
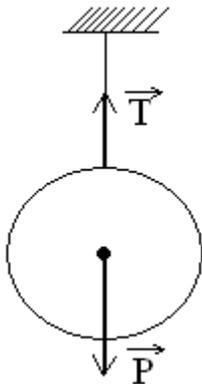
**a. Liên kết tựa:**

- Vật tựa lên một mặt hay giá tựa. . .
- Phản lực vuông góc với bề mặt tiếp xúc.



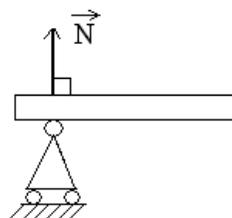
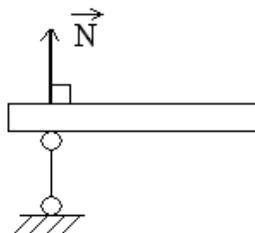
**b. Liên kết dây mềm ( liên kết treo)**

- Phản lực ( sức căng dây) luôn hướng dọc theo dây về phía điểm treo



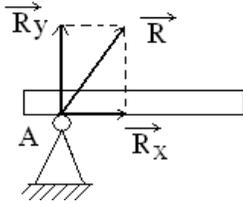
**c. Liên kết bản lề :**

\* Liên kết bản lề di động : (thực chất là liên kết tựa)



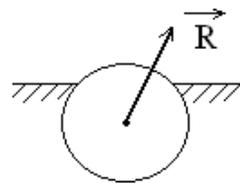
\* Liên kết bản lề cố định :

Là liên kết bản lề trụ có phương nằm bất kỳ trong mặt phẳng quay.



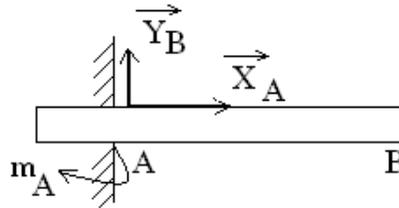
d. Liên kết

$\vec{R}$  đi qua tâm có phương bất kỳ.



bản lề cầu :

e. Liên kết ngàm: Liên kết ngàm ngăn cản sự chuyển động theo mọi phía của vật khảo sát cũng như chuyển động quay của nó.

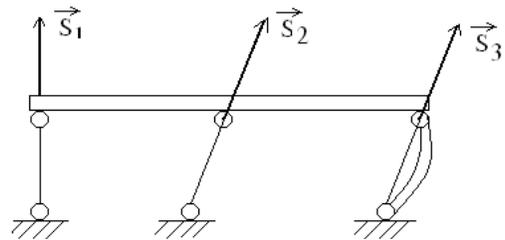


f. Liên kết thanh cứng :

\* Điều kiện thanh cứng :

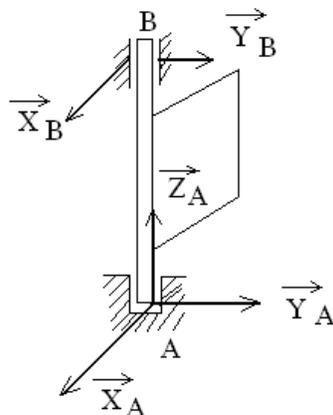
- Thanh không có trọng lượng.
- Nối bằng hai bản lề trụ.
- Không có lực tác dụng trực tiếp lên thanh.

\* Phản lực liên kết đi qua hai đầu bản lề

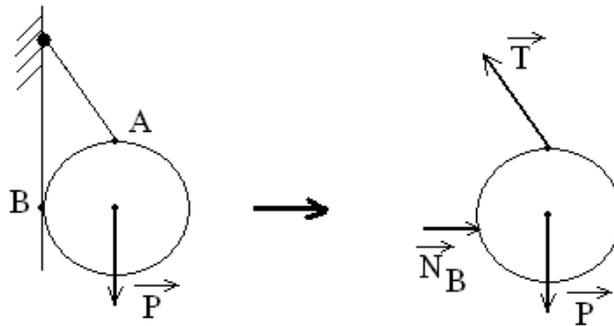


g. Liên kết ổ đỡ chẵn

- Phản lực liên kết có ba thành phần:



- ❖ Nguyên lý **giải phóng liên kết**: Vật rắn không tự do có thể xem như vật rắn tự do nếu ta vứt bỏ mọi liên kết và thay thế chúng bằng các phản lực liên kết.

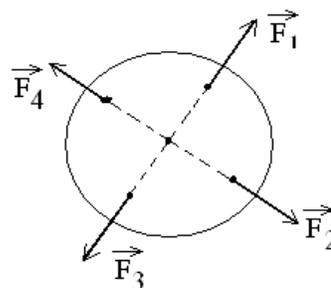


## Bài 2. HỆ LỰC

### I. Hệ lực phẳng đồng quy.

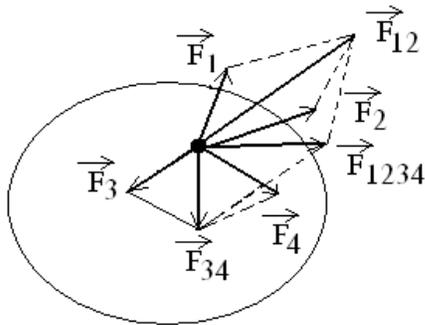
#### 1. Các Khái Niệm:

- Hệ lực phẳng là hệ lực mà tất cả các lực đều nằm trong cùng một mặt phẳng.
- Hệ lực phẳng đồng quy là hệ lực phẳng mà đường tác dụng của chúng gặp nhau tại một điểm.



## 2. Thu Gọn Hệ Lực Phẳng Đồng Quy

### 2.1. Thu gọn bằng phương pháp hình học



$$\vec{F}_{12} \sim (\vec{F}_1, \vec{F}_2)$$

$$\vec{F}_{34} \sim (\vec{F}_3, \vec{F}_4)$$

$$\vec{F}_{1234} \sim (\vec{F}_{12}, \vec{F}_{34})$$

### 2.2. Thu gọn bằng phương pháp giải tích

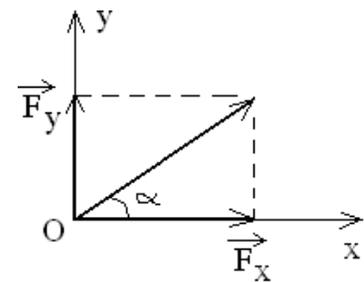
Hình chiếu của lực  $F$  lên trục  $ox$  là  $F_x$

lên trục  $oy$  là  $F_y$ .

$$F_x = F \cdot \cos$$

$$F_y = F \cdot \sin$$

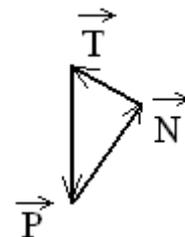
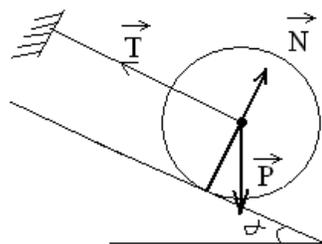
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$



## 3. Điều Kiện Cân Bằng Của Một Hệ Lực

### 3.1. Định lý 1 :

- Điều kiện cần và đủ để một hệ lực phẳng đồng quy cân bằng là đa giác lực của hệ phải tự đóng kín.



### 3.2. Định lý 2 :

- Điều kiện cần và đủ để một hệ lực phẳng đồng quy ở trạng thái cân bằng là tổng đại số các hình chiếu của lực lên hai trục tọa độ phải bằng 0.

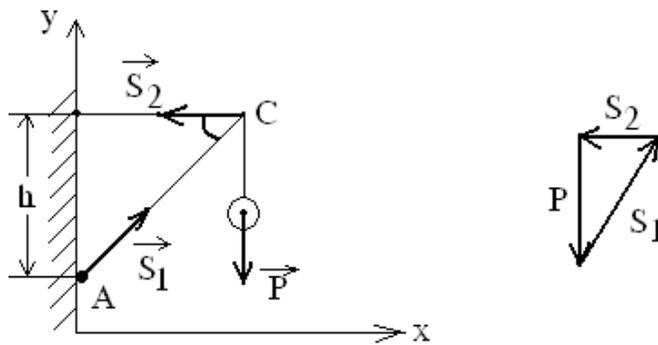
$$\begin{cases} \sum X = 0 \\ \sum Y = 0 \end{cases}$$

#### 4. Định Lý Ba Lực Cân Bằng

- Nếu ba lực phẳng không song song cân bằng thì chúng phải đồng quy tại một điểm.

#### 5. Áp dụng giải toán

**VD1.** Một khung cầu treo một vật nặng trọng lượng P như hình vẽ, biết  $\alpha = 60^\circ$ . Tìm các phân lực tác dụng lên các thanh ?



Cách 1 : Hệ lực  
Dùng phương pháp hình chiếu.

$(\vec{P}, \vec{S}_1, \vec{S}_2) \sim 0$  cân bằng :

$$\begin{aligned} * \quad \sum Y = 0 &\rightarrow -P + S_1 \sin \alpha = 0 \\ &\rightarrow S_1 = P / \sin \alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} * \quad \sum X = 0 &\rightarrow S_1 \cos \alpha - S_2 = 0 \\ &\rightarrow S_2 = \frac{P \cdot \cos \alpha}{\sin \alpha} \end{aligned}$$

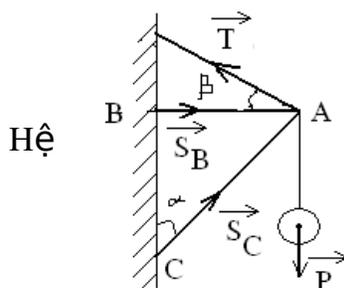
\* Cách 2 :

$\triangle ABC \sim \triangle abc$

$$\frac{S_2}{P} = \frac{1}{h} \rightarrow S_2 = \frac{P \cdot 1}{h} = \frac{P \cdot \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$\begin{aligned} S_1 &= \sqrt{S_2^2 + P^2} = \sqrt{\frac{P^2 \cdot \cos^2 \alpha}{\sin^2 \alpha} + P^2} \\ &= \sqrt{P^2 \cdot \frac{(\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha)}{\sin^2 \alpha}} = \frac{P}{\sin \alpha} \end{aligned}$$

**VD 2.** Cho  $P, \alpha, \beta$ , bỏ qua trọng lượng các thanh.  
Xác định ứng lực trong các thanh ?



lực cân bằng :  
 $(\vec{P}, \vec{T}, \vec{S}_B, \vec{S}_C) \sim 0$

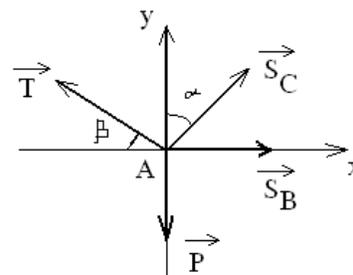
$$\sum X = 0 : \quad S_B + S_C \cdot \sin \alpha -$$

$$T \cdot \cos \beta = 0 \quad (1)$$

$$\sum Y = 0 : \quad -P + S_C \cdot \cos \alpha + T \cdot \sin \beta = 0 \quad (2)$$

$$S_C = \frac{P - P \cdot \sin \beta}{\cos \alpha}$$

$$S_B = P \cdot [\cos \beta - (1 - \sin \beta) \cdot \tan \alpha]$$

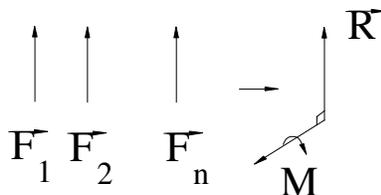


## II. Hệ lực phẳng song song.

### 1. Khái niệm

- Hệ lực phẳng song song là hệ lực mà có đường tác dụng của chúng song song nhau.

### 2. Thu gọn hệ lực phẳng song song



$$R = F_1 + F_2 + \dots + F_n$$

### 3. Điều kiện cân bằng

#### 3.1. Định lý :

- Điều kiện cần và đủ để hệ lực phẳng song song cân bằng là tổng hình chiếu của các lực lên một trục bằng 0 và tổng momen của các lực đối với một tâm ( trục ) nào đó bằng 0.

### 3.2. Áp dụng giải toán

Ô tô có tải trọng  $p$  đặt trên cầu ,cách đầu cầu một khoảng là  $a$  ,đầu kia một khoảng là  $b$  .Xác định phản lực tại mố cầu ?

Hệ lực cân bằng :

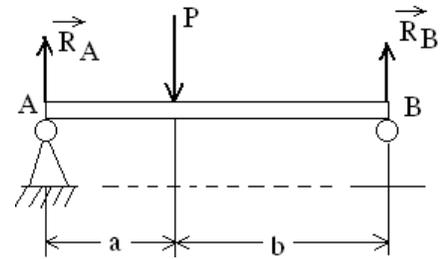
$$( R_A , P , R_B ) \sim 0$$

$$y = 0 \quad \Rightarrow R_A + R_B - P = 0$$

$$M_A = 0 \quad \Rightarrow R_B (b + a) - P.a = 0$$

$$\Rightarrow R_B = ( P.a ) / (a+b)$$

$$\Rightarrow R_A = p - R_B = P ( 1 - a/(a + b) )$$



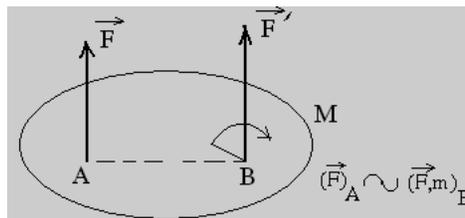
## III. Hệ lực phẳng bất kỳ

### 1) Thu gọn hệ lực phẳng bất kỳ về một tâm

#### 1.1. Định lý dời lực song song

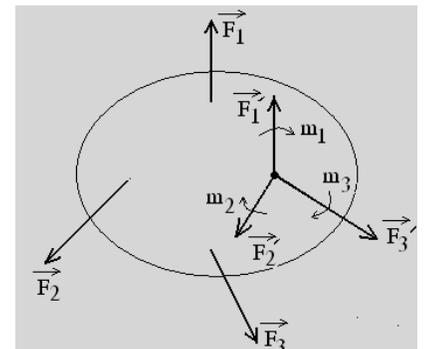
- Tác dụng của lực lên vật rắn không đổi khi ta dời song song lực đó từ điểm này sang điểm khác thuộc vật và thêm vào một ngẫu lực .

Momen của của ngẫu lực :  $m = F.d$



#### 1.2. Thu gọn hệ lực về một tâm

- Giả sử có hệ lực  $( F_1 , F_2 , F_3 )$  tác dụng lên vật rắn ,cần thu gọn hệ này về tâm O. Ta áp dụng định lý dời lực song song lần lượt dời các lực này về tâm O kết quả ta được một hệ lực đồng quy ,và các momen  $( m_1 , m_2 , m_3 )$ .



- Áp dụng phương pháp hợp lực của hệ đồng quy (đa giác lực) ta tìm được R là hợp lực của hệ  $(F_1, F_2, F_3)$

$$R = F_1 + F_2 + F_3$$

- Momen tổng hợp .

$$M_0 = m_1 + m_2 + m_3$$

$$M_0 = \sum_{i=1}^n m_i$$

- Vậy khi thu gọn hệ lực phẳng bất kỳ về một tâm ta được một vectơ chính R và một momen chính M<sub>0</sub> .

## 2) Điều Kiện Cân Bằng

### 2.1. Điều kiện cân bằng tổng quát

- Điều kiện cần và đủ để hệ lực phẳng cân bằng là vectơ chính và momen chính của hệ đồng thời bằng 0.  $R = 0$  và  $M_0 = 0$

#### Các hệ phương trình cân bằng

Dạng 1 :

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n, \vec{m}_1, \vec{m}_2, \dots, \vec{m}_p) \sim 0 \Leftrightarrow \begin{cases} \sum_{i=1}^n X_i = 0 \\ \sum_{i=1}^n Y_i = 0 \\ \sum_{i=1}^n \vec{m}_A(\vec{F}_i) + \sum_{j=1}^p m_j = 0 \end{cases}$$

Dạng 2 .

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n, \vec{m}_1, \vec{m}_2, \dots, \vec{m}_p) \sim 0 \Leftrightarrow \begin{cases} \sum_{i=1}^n X_i = 0 \\ \sum_{i=1}^n \vec{m}_A(\vec{F}_i) + \sum_{j=1}^p \vec{m}_j = 0 \\ \sum_{i=1}^n \vec{m}_B(\vec{F}_i) + \sum_{j=1}^p \vec{m}_j = 0 \end{cases}$$

Chú ý: Trục X không vuông góc với đoạn thẳng AB.

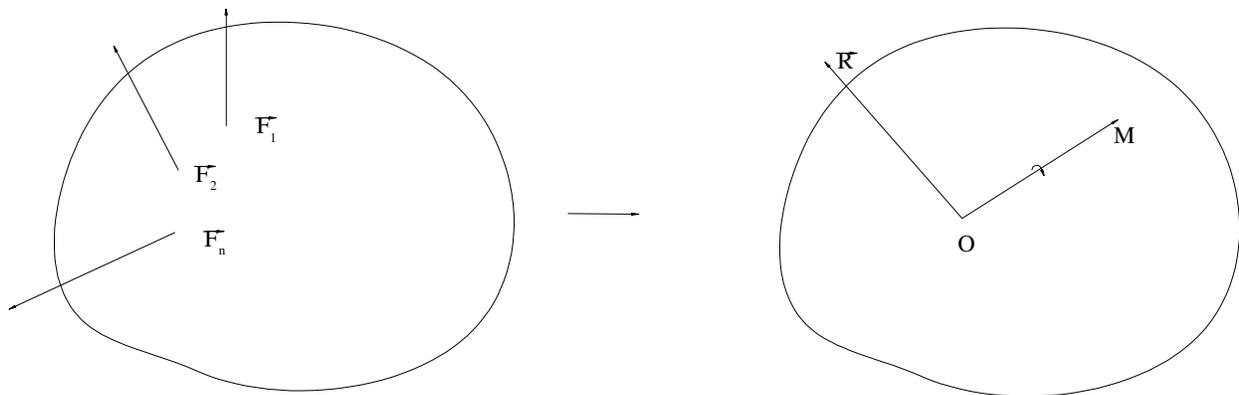
Dạng 3.

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n, \vec{m}_1, \vec{m}_2, \dots, \vec{m}_p) \sim 0 \Leftrightarrow \begin{cases} \sum_{i=1}^n \vec{m}_A(\vec{F}_i) + \sum_{j=1}^p \vec{m}_j = 0 \\ \sum_{i=1}^n \vec{m}_B(\vec{F}_i) + \sum_{j=1}^p \vec{m}_j = 0 \\ \sum_{i=1}^n \vec{m}_C(\vec{F}_i) + \sum_{j=1}^p \vec{m}_j = 0 \end{cases}$$

Chú ý: Ba điểm A, B, C không thẳng hàng.

#### IV. Hệ lực không gian

##### 1. Thu gọn hệ lực không gian



**Định lý:** Hệ lực không gian bất kỳ tương đương với 1 lực và một ngẫu lực đặt tại điểm tùy ý, chúng gọi là lực thu gọn và ngẫu lực thu gọn. Lực thu gọn được biểu diễn bằng vectơ chính của hệ lực đặt tại tâm thu gọn, còn ngẫu lực thu gọn có vectơ mômen bằng mômen chính của hệ lực đối với tâm thu gọn.

##### 2. Điều kiện cân bằng của hệ lực không gian .

- Điều kiện cần và đủ để một hệ lực không gian cân bằng là vectơ chính và momen chính của hệ lấy đối với điểm O bất kỳ phải đồng thời bằng không.

$$R = 0 \text{ \& } M_0 = 0$$

##### 3. Phương trình cân bằng của hệ lực không gian .

$$\begin{matrix} \sum_{i=1}^n X_i = 0 \\ \sum_{i=1}^n Y_i = 0 \\ \sum_{i=1}^n Z_i = 0 \end{matrix} \quad \mathbf{v} \quad \begin{matrix} \sum_{i=1}^n m_z(F_i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n m_y(F_i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n m_x(F_i) = 0 \end{matrix}$$

## **Chương 2**

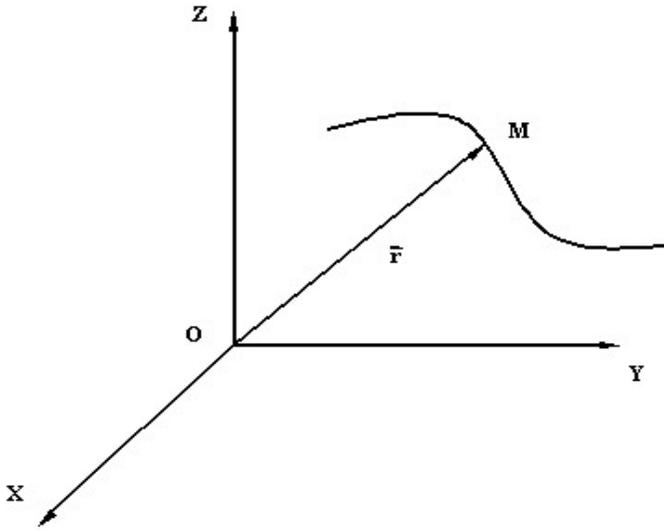
## ***Động học***

### **Bi 1 Các phương pháp xác định chuyển động của chất điểm**

#### **I) Phương pháp vectơ.**

#### **1) Phương trình chuyển động.**

- Xét một điểm M chuyển động trong hệ quy chiếu Oxyz (Hình 1.1)  
Vị trí của điểm M xác định bởi vectơ  $r = OM$ . Điểm M chuyển động, do đó M thay đổi theo thời gian:



**Hình 1.1**

$$r = r(t) \quad (1-1)$$

Liên hệ giữa  $r$  và  $t$  gọi là phương trình chuyển động của chất điểm theo bán kính vectơ

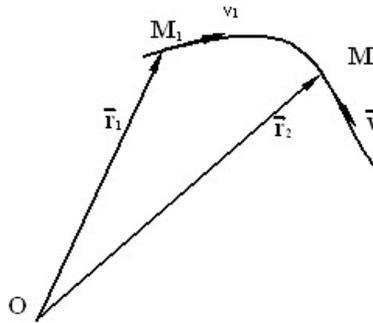
**2) Vận tốc.**

$$t_1 \quad r_1$$

$$t_2 \quad r_2$$

$$t = t_2 - t_1$$

$$r = r_2 - r_1$$



**Hình 1.2**

Vận tốc trung bình:  $V_{tb} = \frac{r}{t}$

Vận tốc tức thời:  $v = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{r}{t} = \frac{dr}{dt} = \dot{r} \quad (1-2)$

**Vậy: Vận tốc tức thời bằng đạo hàm của vectơ  $r$  theo thời gian**

**3) Gia tốc.**

Chúng minh tương tự như vận tốc ta có gia tốc tức thời ở thời điểm  $t$  :

$$W = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{v}{t} = \dot{v} \quad (1-3)$$

**Vậy: Vectơ gia tốc bằng đạo hàm của vectơ vận tốc theo thời gian**

Ta có:

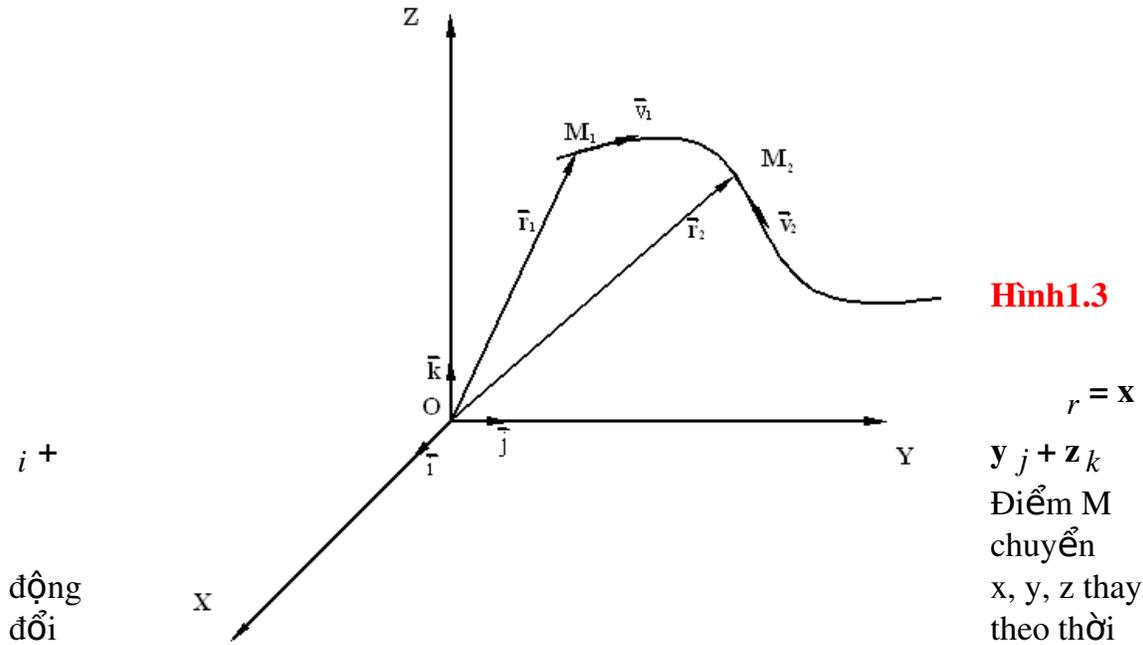
$$v = \frac{dr}{dt} = \dot{r} \quad W = \frac{d}{dt} \left( \frac{dr}{dt} \right) = \frac{d^2 r}{dt^2} = \ddot{r} \quad (1-4)$$

**Vậy:** vectơ gia tốc bằng đạo hàm bậc hai của bán kính vectơ của điểm theo thời gian

## II) Phương pháp tọa độ Descartes

### 1) Phương trình chuyển động.

Vị trí của điểm M được xác định bằng ba tọa độ x, y, z của điểm ở trong tọa độ Đề các vuông góc Oxy



$i +$

động  
đổi

gian. Vậy phương trình chuyển động của điểm có dạng:

$$x=x(t), y=y(t), z=z(t).$$

### 2) Vận tốc.

Để xác định V thì ta xác định các hình chiếu của nó lên các trục tọa độ.

Ký hiệu:  $V_x, V_y, V_z$ .

Sử dụng công thức (1-2) ta được:

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{dx}{dt} i + \frac{dy}{dt} j + \frac{dz}{dt} k = v_x i + v_y j + v_z k$$

(Với  $V_x = \dot{x}, V_y = \dot{y}, V_z = \dot{z}$ ) (1-5)

**Vậy:** Các hình chiếu của vận tốc trên các trục tọa độ đều các bằng đạo hàm theo thời gian của tọa độ tương ứng

**Biết hình chiếu ta dễ dàng tìm trị số và phương của vận tốc:**

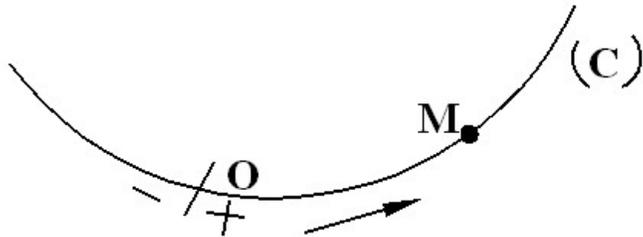
$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} \text{ (m/s)} \quad (1-6)$$

$$\cos \alpha = \frac{V_x}{V}, \cos \beta = \frac{V_y}{V}, \cos \gamma = \frac{V_z}{V}.$$



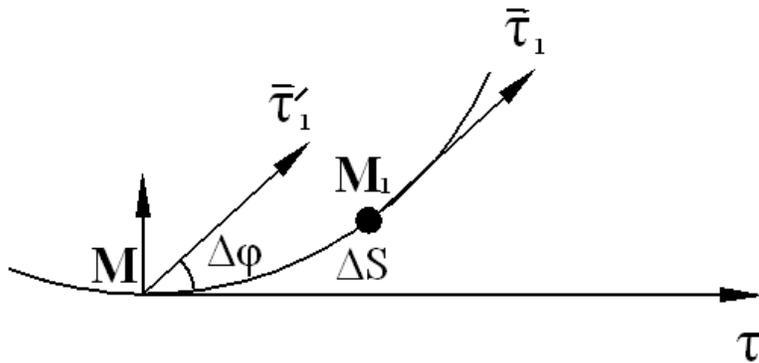
$$s = s(t)$$

biểu diễn qui luật chuyển động của điểm M dọc theo quỹ đạo gọi là phương trình chuyển động của điểm dạng tọa độ tự nhiên.



**Hình1.5**

**3) Độ cong quỹ đạo.**



**Hình1.6**

Đại lượng  $K_{tb} = \left| \frac{1}{S} \right|$  được gọi là độ cong trung bình của quỹ đạo với cung  $MM_1$

Đại lượng  $k = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{S} = \left| \frac{d}{ds} \right|$  gọi là độ cong của quỹ đạo tại điểm M.

VD: Xét quỹ đạo là đường tròn có bán kính  $R$ :  $S = R \cdot \varphi$ .

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{R \cdot \varphi}, \quad \frac{d}{ds} = \frac{1}{R}.$$

Như vậy bán kính cong của đường tròn tại các điểm của chúng chính bằng bán kính của đường tròn đó.

**4) Vận tốc.**

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{ds}{dt} \cdot \frac{dr}{ds} = s \cdot \tau \quad (\text{Vì vectơ } v \text{ hướng theo phương tiếp tuyến của quỹ đạo})$$

$$\text{nên } v = v \cdot \tau \quad (1-8)$$

**5) Gia tốc.**

$$W = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(s \cdot v) = s \cdot \frac{dv}{dt} + v \cdot \frac{ds}{dt} = s \cdot \frac{dv}{dt} + v^2 \cdot \frac{ds}{ds}$$

$$W = s \cdot \frac{dv}{dt} + v^2 \cdot \frac{ds}{ds} \quad (\text{Trong hình học vi phân người ta chứng minh được rằng } \frac{d}{ds} = \frac{1}{v} \cdot \frac{d}{dt}).$$

Vậy ta có:  $W = s \cdot \frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{v} \cdot \frac{ds}{dt} = W + W_n$

Với  $W = s \cdot \frac{dv}{dt}$   
 $W_n = \frac{v^2}{v} \cdot \frac{ds}{dt}$

$$W = \sqrt{W^2 + W_n^2} \quad (1-9)$$

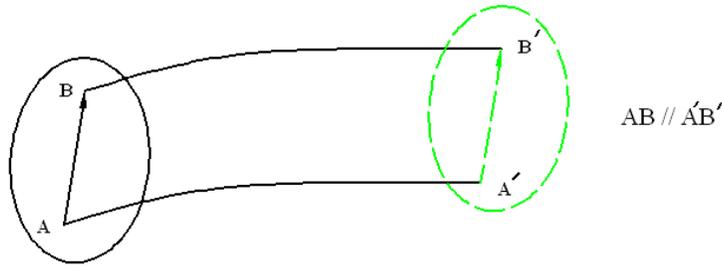
**Kết luận:**

- + Gia tốc pháp tuyến đặc trưng cho sự biến thiên của vectơ vận tốc về phương
- + Gia tốc tiếp tuyến đặc trưng cho sự biến thiên của vectơ vận tốc về trị số.

## **Bi 2 Chuyển động của vật rắn**

### **I) Chuyển động tịnh tiến của vật rắn.**

#### **1) Định nghĩa.**



**Hình2.1**

Chuyển động tịnh tiến của vật rắn là chuyển động mà bất kỳ đoạn thẳng nào thuộc vật đều chuyển động song song với chính nó.

**2) Tính chất.**

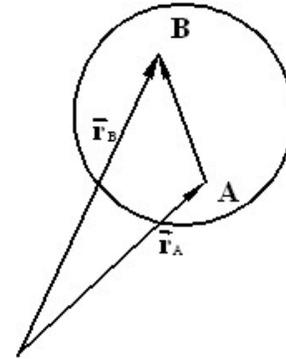
$$r_B = r_A + AB \quad (2-1)$$

Đạo hàm 2 vế biểu thức (2-1) ta được:

$$V_B = V_A \quad (2-2)$$

Đạo hàm 2 vế biểu thức (2-2) ta được:

$$W_B = W_A \quad (2-3)$$



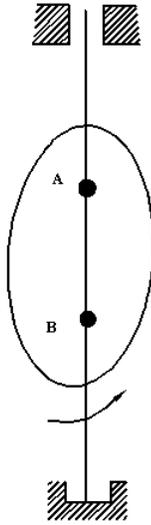
**Hình2.2**

**Kết luận:** Trong chuyển động tịnh tiến vận tốc và gia tốc tại mọi điểm như nhau

**II) Chuyển động của vật rắn quay quanh một trục cố định.**

**1) Định nghĩa.**

Là chuyển động trong đó hai điểm nào đó của vật rắn (hoặc gắn liền với vật) luôn luôn cố định trong suốt quá trình chuyển động.



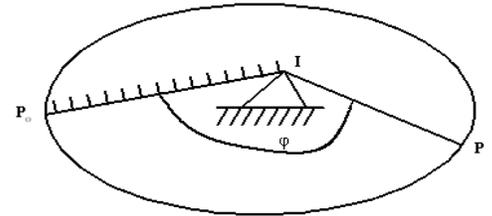
Hình 2.3

2) Phương trình chuyển động.

Đựng mặt phẳng cố định  $P_0$  qua trục và mặt phẳng động  $P$  qua trục và gắn chặt với vật rắn.

Giữa  $mp(P)$  và  $mp(P_0)$  1  $\varphi$ .

Khi vật chuyển động góc  $\varphi$  thay đổi theo thời gian, vì vậy:



Hình 2.4

$$\varphi = \varphi(t) \quad (2-4)$$

được gọi là phương trình chuyển động của vật rắn quay.

Qui ước: Góc quay  $\varphi$  dương khi trục quay ngược chiều kim đồng hồ và ngược lại.

3) Vận tốc góc.

Ký hiệu:  $\omega$  (rad/s)

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \omega(t) \quad (2-5)$$

$\omega > 0$  khi vật quay theo chiều dương.

$\omega < 0$  khi vật quay theo chiều âm.

**Vậy: Vận tốc góc có giá trị bằng đạo hàm bậc nhất của góc quay  $\varphi$  theo thời gian.**

Ch ý:  $\omega = \frac{n}{30}$  (rad/s hoặc 1/s).

(n số vọt quay trong một pht).

#### 4) Gia tốc góc.

Ký hiệu:  $\epsilon$  (rad/s<sup>2</sup> hoặc 1/s<sup>2</sup>)

$$\epsilon = \frac{d}{dt} \omega = \epsilon(t) = \epsilon(t) \quad (2-6)$$

.  $\epsilon > 0$  khi vật quay nhanh dần.

.  $\epsilon < 0$  khi vật quay chậm dần.

#### 5) Các dạng chuyển động đặc biệt.

a) Chuyển động quay đều.

$$\epsilon = 0 = \text{const}, \quad \omega = 0.$$

$$\omega = \frac{d}{dt} \theta = \text{const} \quad \theta(t) = \theta_0 + \omega \cdot t \quad (2-7)$$

b) Chuyển động quay biến đổi đều.

$$\epsilon = \epsilon_0 = \text{const}.$$

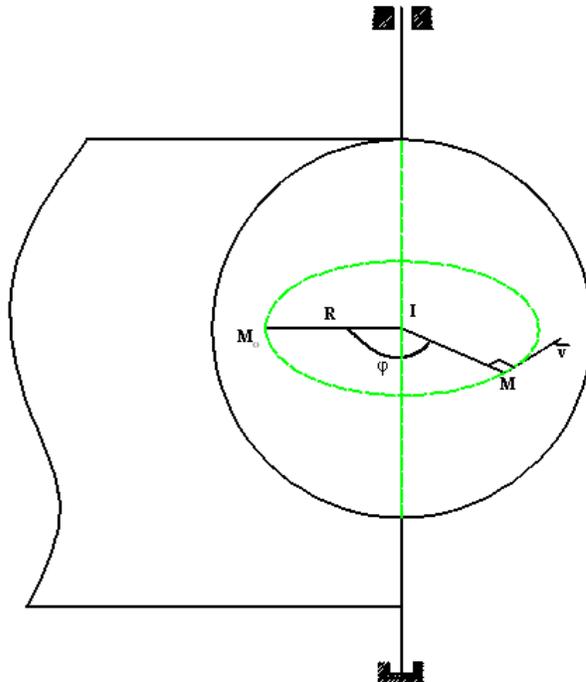
$$\omega = \frac{d}{dt} \theta = \text{const} \quad \theta(t) = \theta_0 + \omega \cdot t \quad (2-8)$$

$$\theta = \frac{d}{dt} \theta \quad d\theta = \omega \cdot dt = (\omega_0 + \epsilon \cdot t) \cdot dt$$

$$\theta(t) = \frac{1}{2} \epsilon \cdot t^2 + \omega_0 \cdot t + \theta_0 \quad (2-9)$$

#### 6) Khảo sát chuyển động của điểm thuộc vật.

a) Phương trình chuyển động của chất điểm.



## Hình 2.5

$$S = R \cdot \omega \quad (2-10)$$

b) Vận tốc di.

$$V = \frac{ds}{dt} = \frac{R \cdot d\theta}{dt} = R \cdot \omega \quad (2-11)$$

**Kết luận: Trị số của vận tốc dài bằng tích số vận tốc góc của vật với bán kính của điểm**

$v$  có phương vuông góc với bán kính  
cỡ chiều theo chiều của

c) Gia tốc di hay gia tốc tuyến tính.

$$W \quad W_n$$

$W$  : phương vuông góc bán kính  
chiều theo chiều  
Trị số  $W = R \cdot \alpha$ .

$W_n$  : phương trùng phương  $R$ .  
chiều hướng vào tâm quỹ đạo

$$\text{Trị số } W_n = \frac{v^2}{R} = R \cdot \omega^2$$

$W$  : phương tạo với bán kính 1 góc  $\alpha$   $\tan \alpha = \frac{W}{W_n} = \frac{R \cdot \alpha}{R \cdot \omega^2} = \frac{\alpha}{\omega^2}$

$$\text{độ lớn } W = \sqrt{W^2 + W_n^2} = \sqrt{(R \cdot \alpha)^2 + (R \cdot \omega^2)^2} = R \cdot \sqrt{\alpha^2 + \omega^4}$$

### 7) Công thức Livis.

Truyền chuyển động giữa hai trục cố định song song nhau vận tốc và gia tốc góc của cc bnh truyền với bn kính của chng.

$$V_1 = \omega_1 \cdot R_1$$

$$V_2 = \omega_2 \cdot R_2$$

Tỉ số truyền  $i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{Z_2}{Z_1}$  ( $i < 1$  tăng tốc,  $i > 1$  giảm tốc)

Dấu “+” ăn khớp trong, đai thẳng.

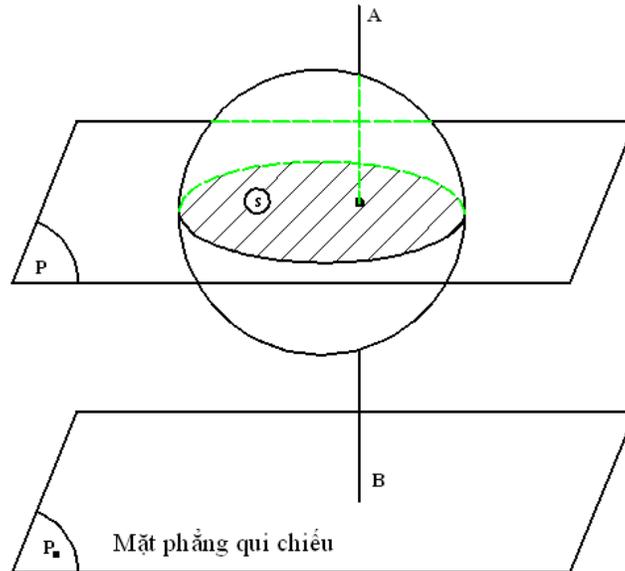
Dấu “-” ăn khớp ngoài, đai chéo.

### III) Chuyển động song phẳng của vật rắn.

#### 1) Định nghĩa và mô hình.

##### 1.1 Định nghĩa.

Chuyển động của vật rắn được gọi là chuyển động song phẳng khi mỗi điểm thuộc vật luôn luôn di chuyển trong một mặt phẳng song song với một mặt phẳng cố định được chọn trước gọi là mặt phẳng qui chiếu.



Hình3.1

### 1.2 Mô hình của vật rắn chuyển động song phẳng.

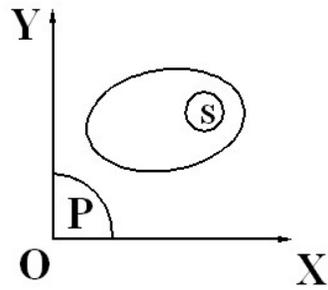
Xét đoạn AB tùy ý thuộc vật rắn vuông góc với mặt phẳng qui chiếu.

$AB = \text{const}$  (do vật rắn tuyệt đối).

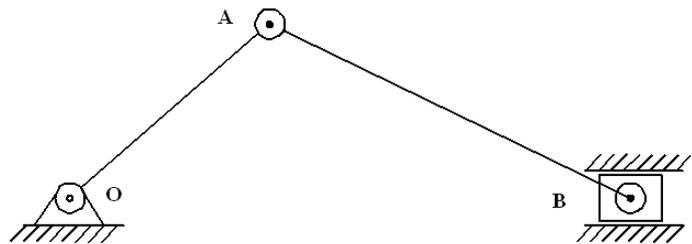
A và B luôn luôn di chuyển trên 2 mặt phẳng song song nhau, như vậy AB chuyển động tịnh tiến.

Mọi điểm thuộc AB đều có vận tốc và gia tốc bằng nhau. Từ đó suy ra rằng nếu biết chuyển động của một tiết diện phẳng nào đó ( nó là giao điểm của một mặt phẳng song song với một mặt phẳng qui chiếu và vật) của vật thì biết được vận tốc và gia tốc của mọi điểm thuộc vật.

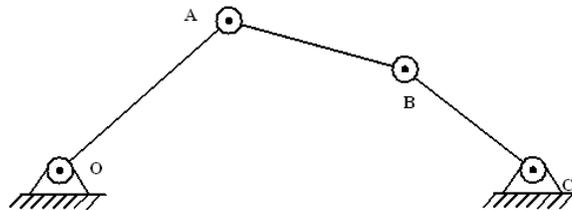
Bài toán khảo sát chuyển động song song của VR trong không gian đưa về bài toán khảo sát chuyển động của một tiết diện phẳng của nó trong mặt phẳng chứa tiết diện phẳng, song song với mặt phẳng qui chiếu.



Hình3.2



Hình3.3

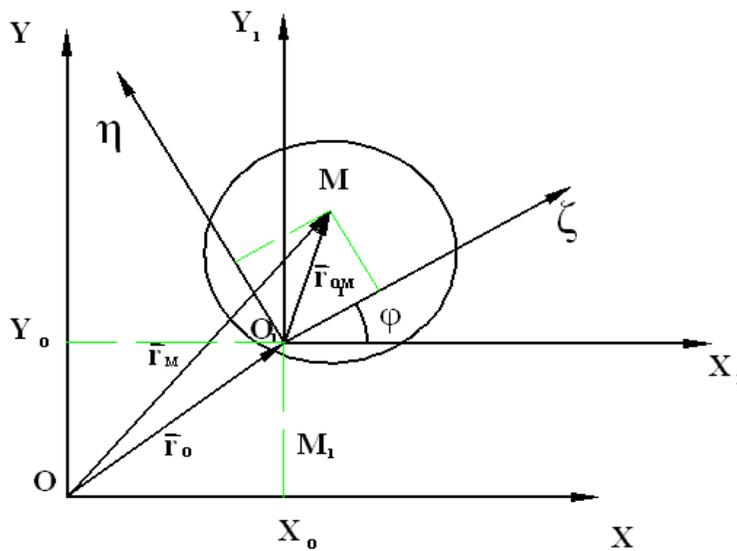


Hình3.4

## 2) Khảo sát chuyển động của vật.

### 2.1) Định lý.

Chuyển động song phẳng là hợp hai chuyển động: chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay.



**Hình 3.5**

Xét chuyển động của hình phẳng (S).

Hệ trục cố định Oxy.

Lấy điểm  $O_1$  tùy ý thuộc (S) làm cực và gắn vào  $O_1$  một hệ trục động  $O_1x_1y_1$  và gắn chặt vào (S) một hệ trục  $O_1y_1z_1$ .

Chuyển động của hình (S) hoàn toàn được xác định bằng chuyển động của hệ  $O_1y_1z_1$ . Chuyển động của hệ này chia làm 2 thành phần:

+ Chuyển động của hệ trục  $O_1y_1z_1$  / hệ trục  $O_1x_1y_1$ : chuyển động tương đối (chuyển động quay quanh  $O_1$ ).

+ Chuyển động của hệ trục động  $O_1x_1y_1$  / hệ trục cố định Oxy: chuyển động kéo theo (chuyển động tịnh tiến).

### 2.2) Phương trình chuyển động.

$x_0 = x_0(t), y_0 = y_0(t)$  (chuyển động tịnh tiến)

$\omega = \omega(t)$  (chuyển động quay)

### 2.3) Vận tốc và gia tốc.

- Vận tốc tịnh tiến theo:  $x_0(t), y_0(t)$ .

- Vận tốc quay tương đối:  $\omega = \omega(t)$ .

- Gia tốc tịnh tiến theo:  $\dot{x}_0(t), \dot{y}_0(t)$ .

- Gia tốc quay tương đối:  $\dot{\omega} = \dot{\omega}(t)$ .

## 3) Khảo sát chuyển động của điểm thuộc vật.

### 3.1) Phương trình chuyển động.

$x_M(t) = x_0(t) + y \cdot \cos(\omega t) - z \cdot \sin(\omega t)$ .

$y_M(t) = y_0(t) + y \cdot \sin(\omega t) + z \cdot \cos(\omega t)$ .

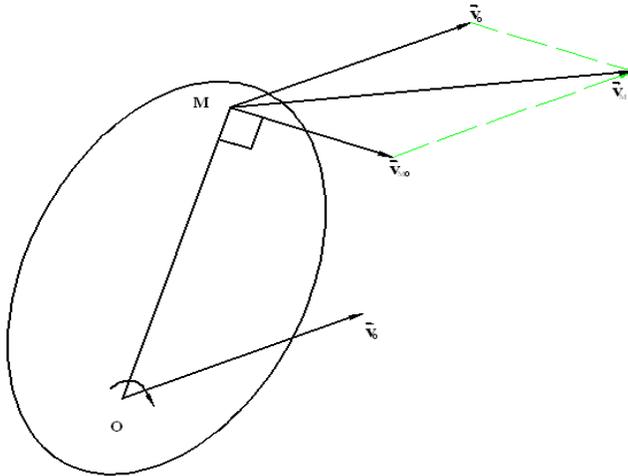
(Do chiếu  $r_M = r_O + r_{O,M}$  ln hình3.3).

### 3.2) Vận tốc của điểm.

$$x_M = x_0 - (y \cdot \sin \alpha + \zeta \cdot \cos \alpha).$$

$$y_M = y_0 - (y \cdot \cos \alpha - \zeta \cdot \sin \alpha).$$

### 3.3) Mối liên hệ vận tốc của điểm và vận tốc của cực.



Hình3.6

**Định lý:** Vận tốc của điểm M thuộc hình phẳng bằng tổng hình học vận tốc cực v và vận tốc của nó khi quay quanh cực O.

$$V_M = V_O + V_{MO} \quad (2-12)$$

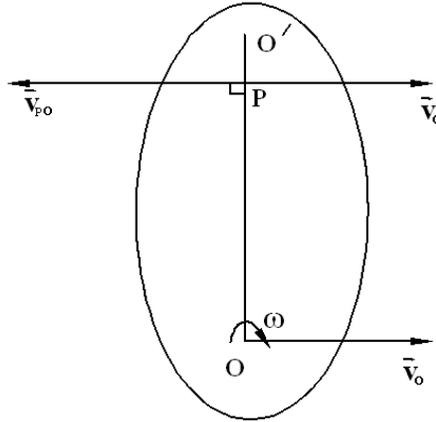
### 3.4) Định lý hình chiếu vận tốc.

Chiếu biểu thức (2-12) lên phương OM hình3.4

$$hc_{OM} V_M = hc_{OM} V_O.$$

**Định lý:** Hình chiếu của vận tốc hai điểm thuộc hình phẳng ln phương qua hai điểm đó sẽ bằng nhau.

### 3.5) Tìm vận tốc tức thời.



**Hình 3.7**

Giả sử tại thời điểm đang xét biết vận tốc  $V_O$ , vận tốc góc  $\omega$ . Trên đường  $OO'$  vuông góc với  $V_O$  ta lấy điểm P sao cho:  $PO = \frac{V_O}{\omega}$ .

Theo biểu thức (2-12) ta có:

$$V_P = V_O + V_{PO} \quad (2-13)$$

Chiếu (2-13) lên phương OP ta có:

$$-V_P = V_O - V_{PO} = V_O - PO \cdot \omega = V_O - PO \cdot \frac{V_O}{PO} = 0.$$

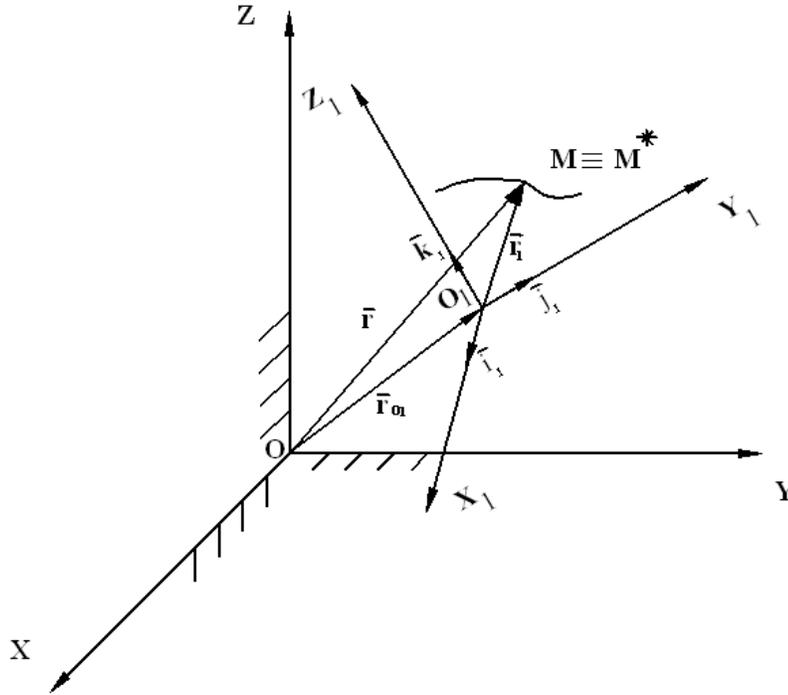
$$V_P = 0.$$

**Định nghĩa:** Điểm P thuộc hình phẳng m tại thời điểm khảo sát có vận tốc = 0 được gọi là tâm vận tốc tức thời.

#### IV) Tổng hợp chuyển động.

##### 1) Tổng hợp chuyển động của điểm.

2)



**Hình 3.8**

- Xét chuyển động của điểm M, hệ trục  $O_1x_1y_1z_1$  là hệ trục động, hệ trục  $Oxyz$  là hệ trục cố định. Điểm M chuyển động trong hệ động  $O_1x_1y_1z_1$  và cùng hệ động chuyển động đối với hệ qui chiếu cố định  $Oxyz$ .

- Chuyển động của điểm M đối với hệ cố định  $Oxyz$  là chuyển động tuyệt đối ( $W_a$ : gia tốc tuyệt đối;  $V_a$ : vận tốc tuyệt đối).

- Chuyển động của điểm M trong hệ trục động  $O_1x_1y_1z_1$  là chuyển động tương đối ( $W_r$ : gia tốc tương đối;  $V_r$ : vận tốc tương đối).

- Chuyển động của điểm  $M^*$  M và hệ động  $O_1x_1y_1z_1$  so với hệ trục cố định  $Oxyz$  là chuyển động kéo theo ( $W_c$ : gia tốc kéo theo;  $V_c$ : vận tốc kéo theo).

2) Định lý hợp vận tốc.

*Tại mỗi thời điểm vận tốc tuyệt đối của chất điểm M bằng tổng hình học vận tốc theo vận tốc tương đối.*

$$V_a = V_r + V_e \quad (2-14).$$

3) Định lý hợp gia tốc.

$$W_a = W_r + W_e + W_c \quad (2-15).$$

$$W_c = 2.W_e \quad V_r \quad (\text{gia tốc Coriolit})$$

## PHẦN II. SỨC BỀN VẬT LIỆU

### Bi 1: Những khi niệm cơ bản

## I. Nhiệm vụ và đối tượng nghiên cứu của môn học.

- Trong các phần trên ta đã nghiên cứu các quy luật về chuyển động cơ học của các vật thể trong không gian theo thời gian. Các vật thể được xây dựng dưới dạng mô hình: chất điểm, cơ hệ và một dạng rất quan trọng đó là vật rắn tuyệt đối.
- Trong ngành chế tạo máy hoặc trong các công trình, các vật kiện như thép, gang, bê tông... là các vật rắn thực. Nghĩa là vật thể sẽ bị biến dạng, bị phá hủy dưới tác dụng của ngoại lực, nhiệt độ. Khi thiết kế các chi tiết máy hoặc các bộ phận công trình cần phải đảm bảo:
  - + Chi tiết không bị phá hỏng (đủ bền).
  - + Chi tiết không bị biến dạng (đủ cứng).
  - + Chi tiết luôn giữ được hình dạng ban đầu (đảm bảo độ ổn định).

❖ **Môn SBVL có nhiệm vụ đưa ra các phương pháp tính độ bền, độ cứng và độ ổn định.**

❖ **Đối tượng nghiên cứu của SBVL là các vật rắn biến dạng, về vật liệu là các vật thể có tính đàn hồi tuyệt đối, về mặt hình học chủ yếu là thanh.**

+ Đối tượng vật liệu:

+ Loại 1: Có khả năng khôi phục hoàn toàn hình dạng và kích thước ban đầu gọi là vật liệu làm việc trong miền đàn hồi tuyệt đối.

+ Loại 2: Có khả năng khôi phục 1 phần hình dạng và kích thước ban đầu gọi là vật liệu làm việc trong miền đàn hồi không tuyệt đối.

+ Đối tượng hình dạng:

+ Dạng thanh: kích thước 1 phương lớn hơn 2 phương kia nhiều lần.

+ Dạng tấm: kích thước 2 phương lớn hơn nhiều lần phương còn lại.

+ Dạng khối: kích thước 3 phương như nhau.

## II. Các khi niệm.

### 1. Thanh.

- Thanh là một vật thể được tạo ra do một hình phẳng  $F$  có tiết diện  $l$  hình chữ nhật, hình tròn... Di chuyển hình phẳng  $F$  trong không gian sao cho trọng tâm của  $F$  luôn luôn vuông góc với đoạn đường cong đó. Chiều dài của đoạn đường cong đó lớn gấp nhiều lần so với phương lớn nhất của hình phẳng  $F$ .

Khi F di chuyển đưng nn trong không gian một vật thể m ta gọi l thanh. Hay nĩ cch kch thanh l một vật thể m kích thước của l phương lớn hơn nhiều lần 2 phương cịn lại.

## 2. Tính đàn hồi của vật thể.

- Dưới tác dụng của ngoại lực (dù là rất nhỏ), hình dạng v kích thước của vật sẽ thay đổi, ta nói vật thể đ bị biến dạng. Biến dạng của vật thể lớn hay nhỏ ty theo tính chất v gi trị của nguyn nhn tc động, tùy theo bản chất và khả năng chịu đưng của vật liệu.
- Thí nghiệm chứng tỏ rằng đối với mỗi loại vật liệu, nếu lực tác dụng chưa vượt quá một giới hạn xác định, thì khi bỏ lực, vật thể sẽ trở lại hình dạng v kích thước ban đầu, biến dạng sẽ mất đi. Ta nói vật thể chỉ bị biến dạng đàn hồi. Tính chất đó được gọi là tính chất đàn hồi. Vật thể có tính chất đàn hồi gọi là vật thể đàn hồi. Vật thể có khả năng khôi phục lại hoàn toàn hình dạng v kích thước ban đầu gọi là *vật thể đàn hồi tuyệt đối*.
- Nếu lực tác động vượt quá một giới hạn xác định nói trên thì khi bỏ lực vật thể sẽ không trở lại hình dng v kích thước ban đầu nữa. Chúng chỉ có khả năng khôi phục lại một phần hình dạng v kích thước đ bị biến dạng thì được gọi là đàn hồi không tuyệt đối. Phần biến dạng không khôi phục được gọi là biến dạng dư hay biến dạng dẻo.

## 3. Nội lực, ứng suất.

### 3.1) Nội lực.

- Những lực tác động từ môi trường bên ngoài hay từ vật khác lên vật thể đang xét gọi là ngoại lực. Ngoại lực bao gồm tải trọng tác động và phản lực tại cc lin kết.

VD: Hơi ép vào pitton, xe chạy trên đường có tải trọng tác dụng lên mặt đường, trọng lượng cây cầu đè nặng lên các mố cầu ...

Tải trọng: là lực tác dụng có khuynh hướng làm cho vật chuyển động.

Phản lực: l lực sẽ xuất hiện khi tải trọng cĩ khuynh hướng ngăn cản chuyển động của vật thể.

Nếu P l tải trọng, thì gọi R l phản lực. Nếu bỏ tải trọng P thì phản lực R sẽ biến mất.

- Lực tập trung*: Lực tập trung l lực hay ngẫu lực tc dụng ln diện tích vật thể.
- Lực phn bố*: Tùy theo tc dụng của phân bố mà lực phân bố được chia ra làm nhiều loại:

- ✓ Lực phân bố đều: là lực có cường độ không thay đổi rất ít theo thời gian.
- ✓ Lực phân bố không đều: là lực có cường độ thay đổi theo thời gian.
- ✓ Lực va đập: là lực có cường độ thay đổi đột ngột (cường độ thay đổi nhanh trong thời gian ngắn).

Tất cả 3 loại lực phân bố trên đều có thể là phân bố đường, phân bố diện tích hoặc phân bố thể tích. Như vậy:

- ✓ Phân bố đường: là lực có cường độ phân bố theo chiều dài, đơn vị là (N/m). Ví dụ: như lực cắt của lưỡi dao.
- ✓ Phân bố diện tích: là lực có cường độ phân bố theo diện tích (trên bề mặt) đơn vị là (N/m<sup>2</sup>). Ví dụ: Lực đẩy Acsimet vào một vật nhúng trong nước.
- ✓ Phân bố thể tích: là lực có cường độ phân bố theo thể tích đơn vị (N/m<sup>3</sup>).

Thí dụ: Lực hút của trái đất lên vật thể.

- Dưới tác động của ngoại lực, vật thể bị biến dạng, giữa các phần tử có xuất hiện thêm phần lực tác dụng tương hỗ để chống lại tác dụng của ngoại lực. Phần lực đó gọi là nội lực.

#### ❖ Nội lực.

- Nội lực là lực liên kết giữa các phần tử trong vật thể để giữ cho vật thể cũ hình dạng nhất định khi có ngoại lực tác dụng. Như vậy nội lực là lực xuất hiện bên trong vật thể nhằm chống lại sự biến dạng khi có ngoại lực tác dụng.

#### ❖ Phương pháp mặt cắt:

Trong vật thể, giữa các phần tử có các lực liên kết để giữ cho vật cũ một hình dạng nhất định. Khi có ngoại lực tác dụng, lực liên kết đó sẽ tăng Hình 1-2 chống lại biến dạng do ngoại lực gây ra. Sức bền vật liệu nghiên cứu tăng ấy và gọi đó là nội lực. Vì vậy nội lực hiểu theo nghĩa sức bền vật liệu là độ tăng của lực liên kết giữa các phần tử vật chất trong vật thể khi chúng bị biến dạng.

Để xác định nội lực tại một điểm bất kỳ trong vật thể ta dùng phương pháp mặt cắt.

Xét một vật thể ở trạng thái cân bằng đàn hồi dưới tác dụng của các lực như hình vẽ (hình 1-2). Giả sử cần xác định nội lực tại điểm C.

Tưởng tượng dùng một mặt phẳng đi qua C cắt vật thể ra làm hai phần A và B. Sau đó ta xét riêng phần nào đó, ví dụ xét phần A.

Trong toàn bộ vật thể, phần A được cân bằng nhờ nội lực của phần B tác dụng lên A, các nội lực này phân bố trên diện tích mặt cắt F mà hợp lực của chúng cân bằng với ngoại lực tác dụng lên phần A. (hình 1-3)

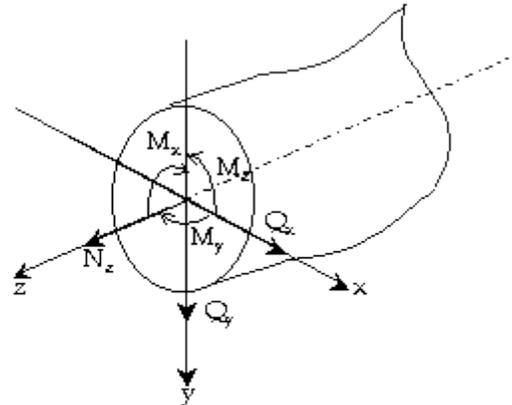
Vậy tổng các ngoại lực và nội lực phải cân bằng:

$$\sum P_1, P_2, P_3, R, M = 0$$

Từ phương trình cân bằng trên ta tính được  $R, M$  (những nội lực  $R$  là lực nội lực,  $M$  là ngẫu lực nội lực). Ta chọn hệ trục tọa độ Oxyz như hình vẽ và chiếu nội lực  $R, M$  lên hệ trục tọa độ ta được:

Để tính được nội lực

- $Q_x$ : Lực cắt theo phương x
- $R, Q_y$ : Lực cắt theo phương y
- $N_z$ : Lực dọc theo phương z



Hình 1-3

- $M_x$ : Momen uốn quay quanh trục x
- $M_y$ : Momen uốn quay quanh trục y
- $M_z$ : Momen xoắn quay quanh trục z

Như vậy muốn tìm nội lực tại một điểm bên trong vật thể chịu lực, ta phải biết nội lực qua điểm đó và qui luật phân bố của nội lực trên mặt cắt đó.

### 3.2) Ứng suất.

Gọi  $\Delta P$  là nội lực trên diện tích nhỏ  $\Delta F$  bao quanh điểm H.

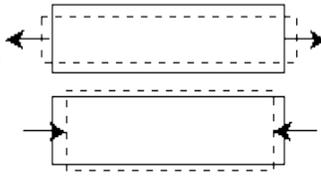
Ta gọi ứng suất tồn phần  $p$  tại điểm  $H$  trên mặt cắt  $F$  là  $p = \lim \frac{\Delta R}{\Delta F} = \frac{dR}{dF}$

$p$  được phân tích thành hai thành phần là ứng suất pháp  $\sigma$  và ứng suất tiếp  $\tau$ :

- ✓ Ứng suất pháp  $\sigma$ : 1 thành phần vuông góc với mặt cắt ngang.
- ✓ Ứng suất tiếp  $\tau$ : 1 thành phần nằm trên mặt cắt ngang.

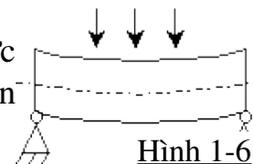
### III. Các loại biến dạng cơ bản.

1. Biến dạng kéo hoặc nén: Khi thanh chịu tác dụng bởi những lực đặt dọc theo chiều trục của thanh làm cho thanh bị dãn dài ra hoặc co ngắn lại. Trong quá trình biến dạng, trục của thanh vẫn thẳng. Đường nét đứt trên hình vẽ (hình 1-5) biểu diễn hình dạng của thanh sau biến dạng.



Hình 1-5

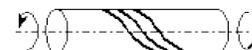
2. Biến dạng uốn: Khi thanh chịu tác dụng bởi những lực vuông góc với trục của thanh làm cho trục thanh khi biến dạng bị cong đi. (hình 1-6)



Hình 1-6

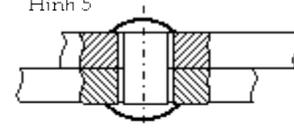
Hir

3. Biến dạng xoắn: Khi ngoại lực nằm trong các mặt phẳng vuông góc với trục thanh và tạo nên ngẫu lực trong mặt phẳng đó làm cho thanh bị xoắn. Sau biến dạng những đường sinh trở thành đường xoắn ốc (thanh trụ). (hình 1-7)

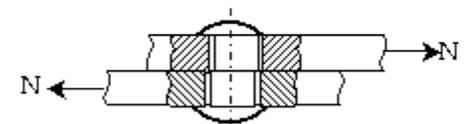


Hình 5

4. Biến dạng trượt: Dưới tác dụng của ngoại lực, một phần này của thanh có xu hướng trượt đối với phần khác. Ví dụ: như trường hợp chịu lực của đinh tán như hình vẽ. (hình 1-7)

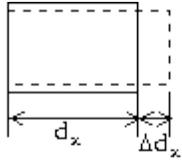


Ngoài những trường hợp đơn giản đó, trong thực tế ta còn gặp những trường hợp thanh chịu lực phức tạp, biến dạng của thanh có thể là đồng thời nhiều biến dạng nêu trên.



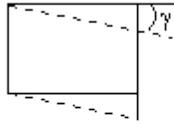
Hình 1-7

Bây giờ từ một điểm nào đó trên một thanh bị biến dạng, ta tách ra khỏi thanh một phần tử hình hộp  $b$  thì sự biến dạng của phần tử có thể là một trong những trường hợp sau:

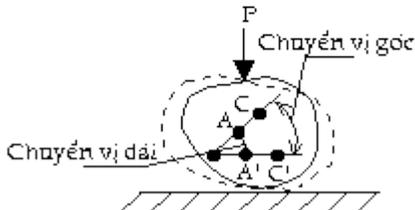


Nếu trong quá trình biến dạng các góc vuông của phần tử không thay đổi thì các cạnh của phần tử thì bị dãn ra hay co ngắn lại. Tỷ số giữa độ dãn (hoặc độ co ngắn) và chiều dài ban đầu gọi là biến dạng dài tương đối

$$\epsilon_x = \frac{\Delta d_x}{d_x}$$



Trong quá trình biến dạng, các cạnh của phần tử có thể không thay đổi nhưng các góc vuông không còn vuông nữa. Gọi là độ thay đổi của góc vuông, góc đó được gọi là biến dạng góc hay là góc trượt. Biến dạng của phần tử được gọi là biến dạng trượt.



Hình 1-8

Khi vật thể biến dạng dưới tác dụng của ngoại lực nói chung và các điểm trong lòng vật thể không còn giữ nguyên vị trí cũ, sau biến dạng, các điểm có một vị trí mới nào đó. Độ chuyển đổi từ vị trí cũ sang vị trí mới

của điểm được gọi là chuyển vị dài.

Xét một đoạn thẳng có chiều dài AC nào đó tại A, vì đoạn thẳng đó bé nên sau khi biến dạng có thể xem là nó vẫn thẳng và có vị trí mới là A'C'. (hình 1-8)

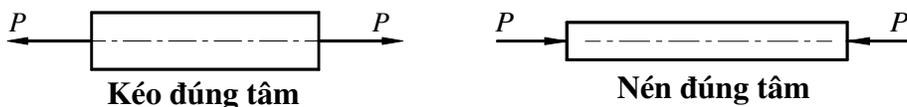
Góc tạo bởi AC và A'C' gọi là chuyển vị góc.

## **Bi 2: Ko, Nn đúng tâm – Cắt.**

### **I. Kéo, nén đúng tâm.**

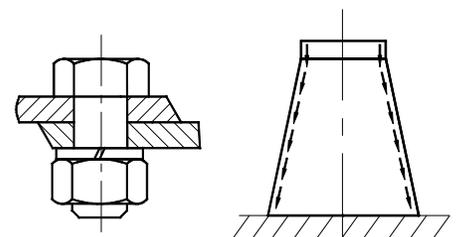
#### **1) Định nghĩa.**

- Một thanh chịu kéo, nén đúng tâm khi trên mặt cắt ngang của thanh chỉ có một thành phần nội lực là lực dọc.



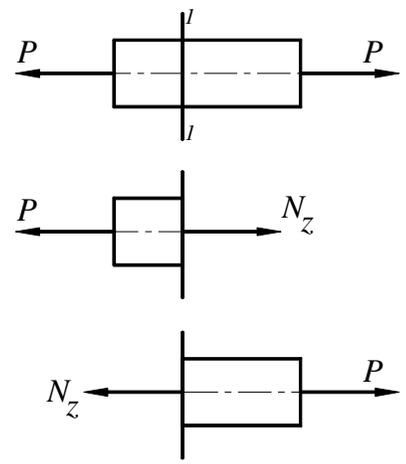
Hình 2-1

Trong thực tế chúng ta thường gặp nhiều trường hợp chịu kéo (nén) đúng tâm như: bulông chịu kéo khi xiết đai ốc, ống khói chịu nén do trọng lượng bản thân ... (hình 2-2)



Hình 2-2

#### **2) Nội lực.**



a) Định nghĩa

- Một thanh chịu kéo, nén đúng tâm là thanh chịu lực sao cho trên mọi mặt cắt ngang của thanh tồn tại một thành phần nội lực  $N_z$ .

b) Xác định nội lực.

- Để tìm nội lực ta sử dụng phương pháp mặt cắt.

Tưởng tượng mặt cắt (1-1) cắt thanh thành hai phần. Bỏ phần B lấy phần A (hoặc ta lấy phần B bỏ phần A).

Chọn chiều dương trục z hướng từ mặt cắt hướng ra ngoài mặt cắt. Sở dĩ phần A cân bằng vì có hệ nội lực tác dụng lên mặt cắt ngang mà đoạn thanh là kéo (nén) đúng tâm nên chỉ có một thành phần duy nhất là lực dọc  $N_z$ .

Theo cơ lư thuyết ta có phương trình cân bằng như sau:

$$\sum Z = 0 \Rightarrow -P + N_z = 0 \Rightarrow N_z = P$$

Để biểu diễn nội lực  $N_z$  cùng một số không cần phân biệt, xét phần A hay phần B và chiều trục ta có chiều quy ước dấu như sau:

Lực dọc kéo khi  $N_z > 00$  (hướng ra ngoài mặt cắt)

Lực dọc nn khi  $N_z < 00$  (hướng vào trong mặt cắt)

Hình 2-3

Chú ý: Khi tính lực dọc nếu chưa biết chiều thì nên giả sử lực dọc là kéo (lực hướng ra ngoài mặt cắt) và chọn chiều trục hướng ra ngoài mặt cắt (chiều lực kéo), khi tính ra kết quả nếu dương ( $> 0$ ) thì lực dọc kéo, ngược lại nếu âm ( $< 0$ ) thì lực dọc là nén.

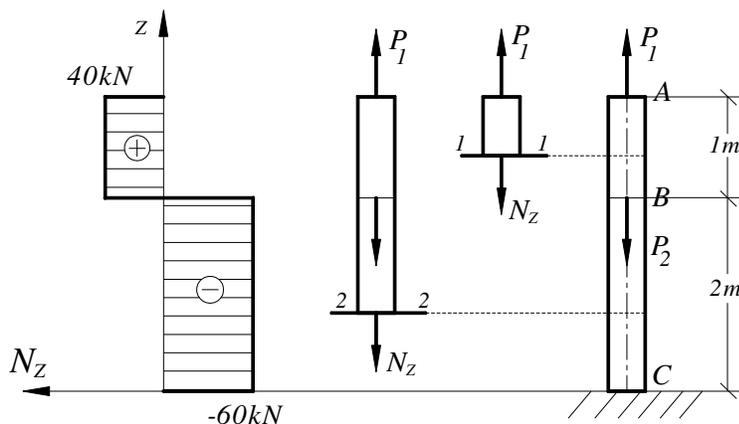
c) Biểu đồ lực dọc.

- Biểu đồ lực dọc là đồ thị biểu diễn sự biến thiên của lực dọc  $N_z$  theo vị trí trên thanh.

- Chọn đoạn thẳng trục hoành song song và dài bằng thanh làm đường chuẩn xác định vị trí trên đoạn thanh.

- Chọn đoạn thẳng trục tung thẳng góc với đường chuẩn để chỉ cường độ của lực dọc  $N_z$ .

Ví dụ: Vẽ biểu đồ  $N_z$  của đoạn thanh chịu lực như hình vẽ



Giải

V'2 lực P tác dụng trên 2 đoạn AB và BC khác nhau nên nội lực sinh ra trên hai đoạn này cũng khác nhau. Do đó phải vẽ lần lượt trên hai đoạn AB và BC và chọn chiều  $N_z$  hướng dương (hướng ra ngoài mặt cắt).

- Trên đoạn AB tưởng tượng mặt cắt (1-1) cắt đoạn thanh thành hai phần, giữ lại phần bên dưới để tính toán và chọn lực kéo, ta sẽ có phương trình cân bằng như sau:

$$Z = 0 \quad \diamond \quad N_z - P_1 = 0 \quad \diamond \quad N_z = P_1 = 40\text{kN}$$

- Trên đoạn BC tương tự dùng mặt cắt (2-2) ta cũng có phương trình cân bằng như sau:

$$Z = 0 \quad \diamond \quad N_z + P_2 - P_1 = 0 \quad \diamond \quad N_z = P_1 - P_2 = 40 - 100 = -60\text{kN}$$

- Tiến hành vẽ biểu đồ.

❖ Nhận xét: Muốn vẽ nhanh biểu đồ lực dọc  $N_z$  ta sử dụng các nhận xét sau:

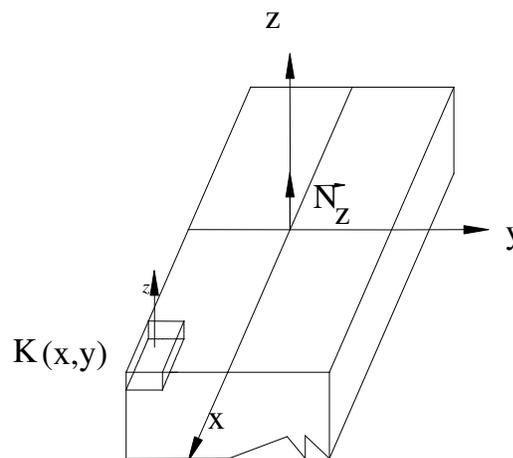
*Biểu đồ khởi đầu đi từ trục và kết thúc ở trục.*

*Tại vị trí nào có lực tập trung thì biểu đồ tại vị trí đó có bước nhảy, trị số của bước nhảy (là khoảng cách giữa 2 trị số của biểu đồ tại vị trí đó) bằng trị số của lực tập trung.*

### 3. Ứng suất v biến dạng.

#### 3.1. Ứng suất:

Định nghĩa: Ứng suất l vectơ lực tc động trực tiếp ln bề mặt của phn tố vật liệu, nội lực sinh ra một cch chung



chung v ã chính l nguyn nhn sinh ra cc vectơ ứng suất tc ðộng ln từng ðiểm của vật liệu.

Hình 1

- Xét m/c ngang chịu tc ðộng  $N_z$ :
- + Khảo st 1 phn tố K cũ toạ ðộ bất kỳ trn mặt cắt F
- + Người ta chứng minh trn bề mặt của K cũ 1 vectơ pph tuyến tc ðộng, ký

hiệu:  $\sigma_z$  : 
$$\sigma_z = \frac{N_z}{F} \quad (1)$$

- + F diện tích m/c ngang ( $m^2$ )
- +  $N_z$  nội lực (N)
- +  $\sigma_z$  ứng suất tác ðộng ( $N/mm^2$ )

Công thức (1) cho thấy ứng suất không phụ thuộc vào toạ ðộ của phn tố K(x,y) với mọi phn tố K chịu lực giống nhau

Điều kiện bền:  $\sigma_z = \frac{N_z}{F}$  (thoả c 2 VL ðéo v gịn)

- Đối với vật liệu ðều người ta CM ðược rằng ứng suất nguy hiểm khi  $\sigma_k = \sigma_n$  ứng suất nguy hiểm khi nn của cng 1 vật liệu

(  $\sigma_z > 0$ : chịu k;  $\sigma_z < 0$ : chịu nn)

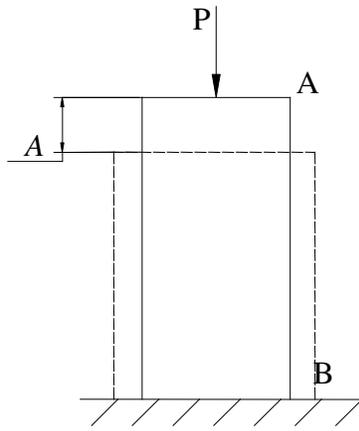
Trong đó: E: mô ðun đàn hồi, là hằng số đối với mỗi loại vật liệu.

$\nu$ : là biến dạng tỷ đối của vật liệu chịu kéo (nén)

(z: biến dạng dài tương đối theo phương z)

### 3.2. Biến dạng:

Xét 1 thanh chịu lực:



Hình 2  
Quan sát biến  
đổi kích thước,  
trí...)

dạng (thay  
hình dạng, vị

- Biến dạng dọc trục  $\Delta$  ( $\Delta_{AB}$ ) (biến dạng đi)
- Phình ra theo phương ngang (biến dạng ngang)

**Công thức tính biến dạng dọc trục:**

$$\Delta_{AB} = \Delta = \int_0^{l_{AB}} \frac{N_Z^{AB}}{EF} dz \quad (2)$$

- +  $N_Z^{AB}$  hm nội lực trn AB (N)
- + F: diện tích m/c ngang trn AB ( $m^2$ )
- + E: môđun đàn hồi của vật liệu ( $N/m^2$ )

Dng CT (2)  $N_Z$  v  $EF$  lin tục trn miền tích phn, không lin tục thì ta chia đối tượng ra lm i đoạn sao cho mỗi đoạn đảm bảo  $N_i$  v  $EF_i$  lin tục:

$$\int_0^{l_{AB}} \frac{N_F^i}{EF_i} dz \quad (3)$$

**Đặc biệt:**  $EF_i = \text{const}$

$$\int_0^{l_{AB}} \frac{dN_Z^{AB}}{EF} \quad (4)$$

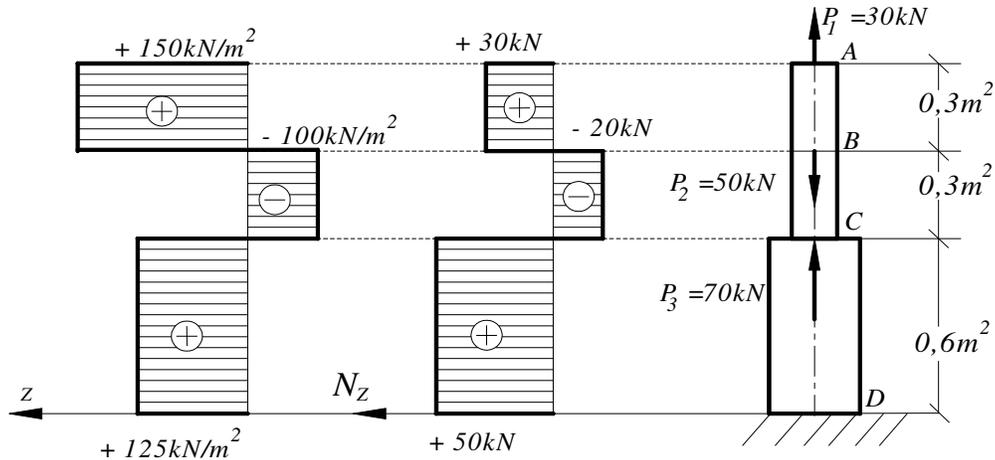
Mỗi loại vật liệu có một trị số môđun đàn hồi E. Ta phải tiến hành thí nghiệm để xác định trị số đó. Thứ nguyên của E là  $N/m^2$

Ta nêu lên vài trị số cụ thể của E như sau:

Thép chứa từ 0,1÷0,20% cacbon	$E = 20 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 = 2 \cdot 10^4 \text{ KN/cm}^2$
Thép lị xo	$E = 22 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 = 2,2 \cdot 10^4 \text{ KN/cm}^2$
Thép Nicken	$E = 19 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 = 1,9 \cdot 10^4 \text{ KN/cm}^2$
Gang xám	$E = 11,5 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 = 1,15 \cdot 10^4 \text{ KN/cm}^2$
Đồng	$E = 12 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 = 1,2 \cdot 10^4 \text{ KN/cm}^2$
Đồng thau	$E = (10 \text{ -- } 12) \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 = (1 \text{ -- } 1,2) \cdot 10^4 \text{ KN/cm}^2$
Nhôm và Đura	$E = (7 \text{ -- } 8) \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 = (0,7 \text{ -- } 0,8) \cdot 10^4 \text{ KN/cm}^2$
Gỗ dọc thớ	$E = (0,8 \text{ -- } 1,2) \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 = (0,8 \text{ -- } 1,2) \cdot 10^4 \text{ KN/cm}^2$
Cao su	$E = 8 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 0,8 \text{ KN/cm}^2$

- Ví dụ 3: Cho thanh thép trịn mặt cắt ngang  $F_1 = 2 \text{ cm}^2$  và  $F_2 = 4 \text{ cm}^2$  chịu lực như hình vẽ, bỏ qua trọng lượng của thanh. Hãy tính:
- Vẽ biểu đồ ứng suất thanh, từ đó suy ra mặt cắt nguy hiểm của thanh.
  - Tính biến dạng dọc tuyệt đối của thanh thép có  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ .

Giải



a) Vẽ biểu đồ ứng suất của thanh

Để vẽ biểu đồ ứng suất của thanh trước hết chúng ta phải tính lực dọc sinh ra trong thanh và vẽ biểu đồ lực dọc của thanh. Căn cứ vào biểu đồ lực dọc này chúng ta tìm được các ứng suất sinh ra trong thanh như sau:

Ứng suất sinh ra trong thanh, đoạn AB

$$\sigma_{AB} = \frac{N_{AB}}{F_{AB}} = \frac{30 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-4}} = 150 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 150 \text{ MN/m}^2$$

Ứng suất sinh ra trong thanh, đoạn BC

$$\sigma_{BC} = \frac{N_{BC}}{F_{BC}} = \frac{-20 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-4}} = -100 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = -100 \text{ MN/m}^2$$

Ứng suất sinh ra trong thanh, đoạn CD

$$\sigma_{CD} = \frac{N_{CD}}{F_{CD}} = \frac{50 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^{-4}} = 125 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 125 \text{ MN/m}^2$$

Căn cứ vào các trị số ứng suất này ta vẽ được biểu đồ ứng suất và nhận thấy ứng suất trên đoạn AB lớn nhất.

b) Tính biến dạng dọc tuyệt đối của thanh

Biến dạng dọc tuyệt đối của thanh trong đoạn AB

$$\delta_{AB} = \frac{N_{AB} \cdot L_{AB}}{E \cdot F_{AB}} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 2,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Biến dạng dọc tuyệt đối của thanh trong đoạn BC

$$\delta_{BC} = \frac{N_{BC} \cdot L_{BC}}{E \cdot F_{BC}} = \frac{-20 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = -1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Biến dạng dọc tuyệt đối của thanh trong đoạn CD

$$\delta_{CD} = \frac{N_{CD} \cdot L_{CB}}{E \cdot F_{CD}} = \frac{50 \cdot 10^3 \cdot 0,6}{2 \cdot 10^{11} \cdot 4 \cdot 10^{-4}} = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Vậy biến dạng dọc tuyệt đối của thanh là:

$$\delta = \delta_{AB} + \delta_{BC} + \delta_{CD} = (2,25 - 1,5 + 3,75) = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\text{Vậy } \delta = 4,45 \text{ mm}$$

#### 4) Tính toán về kéo nén đúng tâm.

##### - Điều kiện bền và 3 bài toán cơ bản:

Điều kiện bền của thanh chịu kéo nén đúng tâm là trị số ứng suất kéo và nén lớn nhất sinh ra trong thanh không được vượt quá ứng suất cho phép:

$$|\sigma|_{\max} = \frac{|N|}{F} \quad [ \sigma ]$$

Từ điều kiện bền này ta có ba bài toán cơ bản như sau:

- Kiểm tra bền: đối với bài toán này trước tiên xác định ứng suất lớn nhất sinh ra trong thanh sau đó đem so sánh với ứng suất cho phép xem có thoả mãn công thức hay không? Nếu trị số ứng suất này vượt quá 5% vẫn được xem là bảo đảm an toàn.*
- Chọn kích thước mặt cắt: đối với bài toán này ta phải đi xác định kích thước mặt cắt ngang của thanh.*

Căn cứ vào điều kiện bền của công thức ta suy ra được công thức

tính diện tích mặt cắt ngang của thanh như sau: 
$$F = \frac{|N|}{[\sigma]}$$

Có diện tích  $F$  ta dễ dàng suy ra kích thước mặt cắt ngang.

- Xác định tải trọng cho phép:*

Đối với bài toán này ta phải xác định tải trọng tác dụng lên thanh.

Căn cứ vào điều kiện bền của công thức ta suy ra được công thức xác định.

Nội lực lớn nhất tác dụng lên thanh như sau: 
$$[N] = F \cdot [\sigma]$$

Có được  $[N]$  ta dễ dàng xác định được ứng suất hoặc tải trọng cho phép tác dụng lên thanh.

Chú ý:

Đối với vật liệu giòn ta cần phải phân biệt thanh chịu kéo hay chịu nén, nếu:

Thanh chịu kéo:  $|\sigma|_{\max} \leq [\sigma]_k$

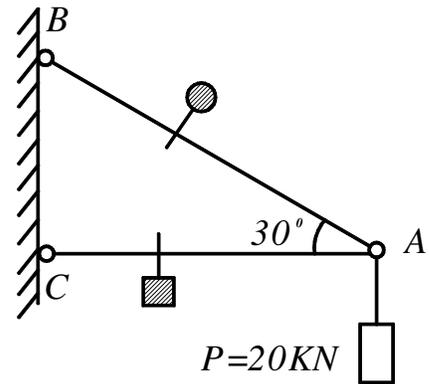
Thanh chịu nén:  $|\sigma|_{\max} \leq [\sigma]_n$

Khi tính thanh chịu kéo hay chịu nén ngoài điều kiện bền đôi khi còn phải tính cả điều kiện cứng, nghĩa là phải tính biến dạng lớn nhất sinh ra trong thanh và kiểm tra không được vượt quá trị số biến dạng cho phép:

cho phép:  $|\delta| \leq [\delta]$

Ví dụ 4:

Một kết cấu chịu lực như hình vẽ, thanh AC làm bằng gang có mặt cắt ngang là hình vuông  $(20 \times 20) \text{cm}^2$  và thanh AB làm bằng hợp kim nhôm có mặt cắt ngang là hình tròn, nâng tải trọng  $P = 20 \text{kN}$  tại A, bỏ qua trọng lượng của thanh khi tính toán. Biết ứng suất cho phép của gang là  $[\sigma]_k = 5000 \text{N/cm}^2$ ,  $[\sigma]_n = 12000 \text{N/cm}^2$  và ứng suất cho phép của hợp kim nhôm là  $[\sigma] = 14000 \text{N/cm}^2$ . Hãy :



- a) Kiểm tra độ bền của thanh AC?
- b) Xác định đường kính của thanh AB?

**Giải**

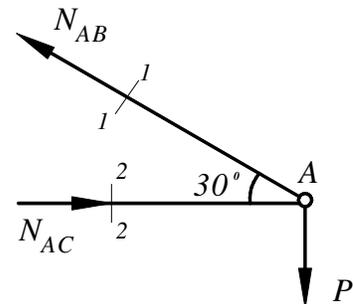
Vì không kể trọng lượng thanh nên mỗi thanh AB và BC đều cân bằng dưới tác dụng 1 lực ở hai đầu, nghĩa là các thanh chịu kéo hay nén đúng tâm.

Muốn xác định lực dọc  $N_{AB}$  và  $N_{AC}$  trong các thanh AB và AC, ta tưởng tượng cắt thanh này tại mặt cắt (1-1) và (2-2), thì các lực dọc tác dụng lên thanh như hình vẽ. Để tính trị số các lực dọc này ta xét sự cân bằng của tam giác lực như hình.

$N_{AB}$  là lực dọc kéo và dựa vào tam giác lực ta có:

$$N_{AB} = \frac{P}{\sin 30^\circ} = 2P = 40 \text{kN}$$

$N_{AC}$  là lực dọc nén và dựa vào tam giác lực ta có:



$$N_{AC} = -\frac{P}{\operatorname{tg}30^\circ} = -\frac{20}{\frac{\sqrt{3}}{3}} = -34,64\text{kN}$$

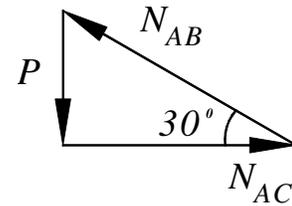
a) Kiểm tra bền thanh AC

Ứng suất trong thanh AC là ứng suất nén:

$$\sigma_{AB} = \frac{N_{AC}}{F_{AC}} = -\frac{34640}{4} = -8660\text{N/cm}^2$$

Ta nhận thấy  $|\sigma_{AC}| = 8660\text{N/cm}^2 < [\sigma]_n = 12000\text{N/cm}^2$

Nên thanh AC đủ bền.



b) Tính diện tích thanh AB

Diện tích mặt cắt thanh AB được tính như sau:

$$F_{AB} = \frac{|N_{AB}|}{[\sigma]_{AB}} = \frac{40000}{14000} = 2,857\text{cm}^2$$

Vậy đường kính của thanh AB là:

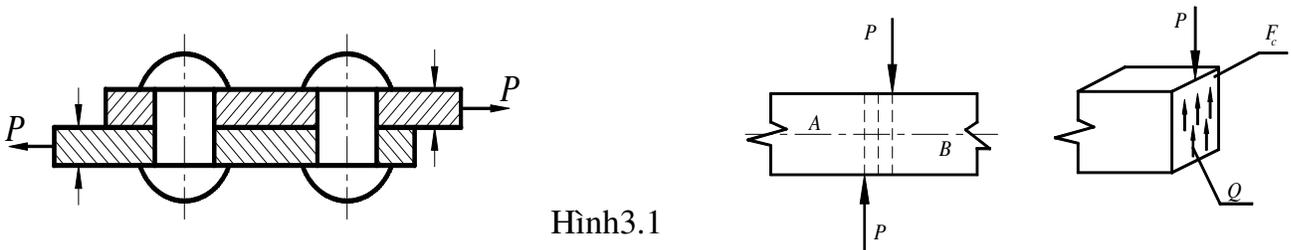
$$F_{AB} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Leftrightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{AB}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,857}{3,14}} = 1,9\text{cm}$$

Chọn  $d = 2\text{cm}$

## II. Cắt.

### 1) Khi niệm về cắt.

Khi tính ứng suất trên mặt cắt nghiêng của thanh chịu kéo- nén đúng tâm, ta thấy hai phần thanh ở hai bên mặt cắt nghiêng không những bị tách rời nhau do thành phần ứng suất pháp m còn bị trượt lên nhau do ứng suất tiếp. Sự trượt đó gọi là sự cắt.



Hình 3.1

Hai thanh A và B được nối trực tiếp với nhau bằng n đinh tán và chịu lực kéo P như hình vẽ, mỗi thanh có bề dày là  $\delta$ , đinh tán có đường kính là  $d$  (hình 3-1)

Giả thuyết tải trọng P tác dụng đều lên mỗi đỉnh tán khi đó tải trọng tác dụng lên mỗi đỉnh tán sẽ là  $P_n = \frac{P}{n}$  và sẽ làm cho đỉnh tán bị cắt và dập.

## 2) Tính ứng suất trên mặt cắt ngang và điều kiện bền.

Lực  $P_n$  tác dụng vuông góc với thân đỉnh tán làm cho đỉnh tán bị cắt và ứng suất

cắt được tính theo công thức như sau:  $\tau = \frac{Q}{F_c} = \frac{\frac{P}{n}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{4P}{n \cdot \pi \cdot d^2} \quad [\tau]$

Ba bài toán bền về cắt:

- Kiểm tra bền về cắt

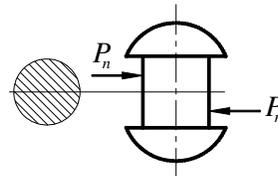
$$\tau = \frac{Q}{F_c} \quad [\tau]$$

- Tính kích thước mặt cắt về cắt

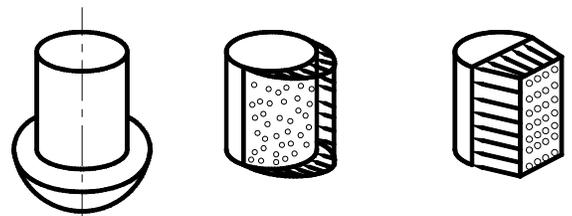
$$F_c = \frac{Q}{[\tau]}$$

- Xác định tải trọng cho phép về cắt

$$Q = \frac{F_c [\tau]}$$



Hình 3-4

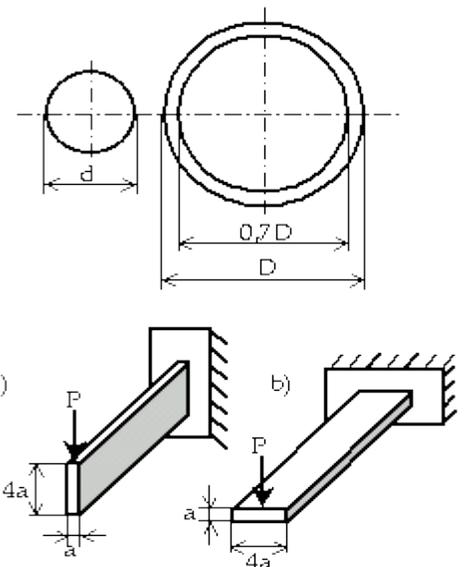


Hình 3-5

### Bi 3: Đặc trưng hình học mặt cắt ngang.

#### I. Khi niệm chung.

Trong thí nghiệm về kéo nén đúng tâm, ta nhận thấy với cùng một loại vật liệu, thanh nào có diện tích mặt cắt ngang lớn hơn thì chịu được tải trọng lớn hơn. Nhưng đối với thí nghiệm uốn, xoắn ... thì khả năng chịu lực của chúng không những phụ thuộc diện tích mặt cắt ngang mà còn phụ thuộc hình dạng và sự bố trí mặt cắt ngang nữa. Thí nghiệm cho thấy, thanh trụ rỗng như (hình 4-1) chịu được momen xoắn lớn gấp hai lần thanh trụ đặc có cùng diện tích mặt cắt ngang. Đối với thanh chữ nhật đặt đứng (hình 4-1a) chịu lực P thì ứng suất trên mặt cắt ngang của thanh nhỏ hơn 4 lần khi đặt ngang (hình 4-1b), độ võng nhỏ hơn 16 lần khi đặt ngang.



Hình 4-1

Vì vậy ngời diện tích mặt cắt ngang  $F$  ta cần xt đến những đại lượng khác đặc trưng cho hình dạng của mặt cắt ngang về hình học. Đĩ l momen tĩnh v momen qun tính.

Hình 4-1

## II. Momen tĩnh.

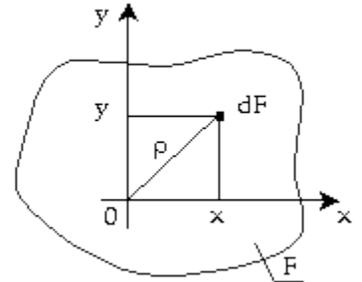
Ta gọi momen tĩnh của mặt cắt ngang  $F$  đối với các trục  $x, y$  là các tích phân sau:

$$S_x = \int_F y \cdot dF ; S_y = \int_F x \cdot dF \quad [\text{chiều dài}]^3$$

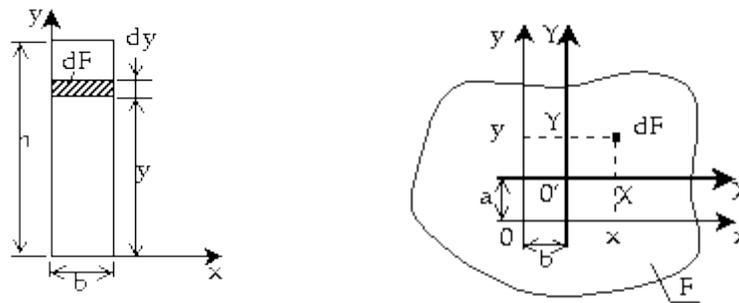
$S_x$  : momen tĩnh của mặt cắt ngang đối với trục  $x$

$S_y$  : momen tĩnh của mặt cắt ngang đối với trục  $y$

$x, y$ : khoảng cách từ diện tích vi cấp  $dF$  tới các trục tương ứng



Hình 4-2



Hình 4-3

$\int_F$  : Tích phân trên toàn bộ diện tích  $F$  của mặt cắt ngang

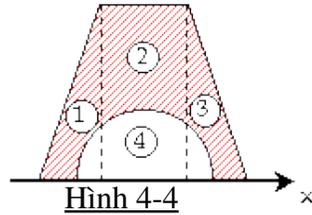
Ví dụ: Tính momen tĩnh của mặt cắt ngang chữ nhật chữ nhật đối với trục  $x, y$  trùng với các cạnh của nó.

- Đối với trục  $x$ :  $dF = b \cdot dy$   $\Rightarrow S_x = \int_F y \cdot dF = \int_0^h y \cdot b \cdot dy = b \int_0^h y \cdot dy = \frac{by^2}{2} \Big|_0^h = \frac{bh^2}{2}$

- Đối với trục  $y$ :  $dF = h \cdot dx$   $\Rightarrow S_y = \int_F x \cdot dF = \int_0^b x \cdot h \cdot dx = h \int_0^b x \cdot dx = \frac{hx^2}{2} \Big|_0^b = \frac{hb^2}{2}$

Ghi ch: Momen tĩnh đối với một trục của mặt cắt hình dạng phức tạp bằng tổng đại số momen tĩnh của các hình đơn giản thành phần.

Ví dụ:



$$S_x = \int_F y \cdot dF = \int_{F_1} y \cdot dF + \int_{F_2} y \cdot dF + \int_{F_3} y \cdot dF + \int_{F_4} y \cdot dF$$

$$S_x = S_x^{(1)} + S_x^{(2)} + S_x^{(3)} + S_x^{(4)}$$

(ch ý  $S_4^{(x)}$  mang dấu " - ")

Trong đó : (1) và (3) : chỉ hình tam giác  
 (2) : chỉ hình chữ nhật  
 (4) : Chỉ hình nửa đường tròn

### 1 Momen tĩnh đối với những trục song song:

Ta tính momen tĩnh của trục với OXY so với hệ trục cũ Oxy song song tương ứng với gốc O(b, a).

**p dụng CT:**  $S_x = S_x - (xX).F$

$S_x$  :momen tĩnh trục X mới (muốn dời tới)

$S_x$  :momen tĩnh trục x cũ (đ biết)

$xX$ : tọa độ của trục X mới so với trục x cũ

$$\begin{aligned} \text{Rt ra: } S_x &= S_x - a.F \\ S_y &= S_y - b.F \end{aligned}$$

Với (b,a): tọa độ gốc mới O trong hệ trục tọa độ Oxy

### 2. Trục trung tâm:

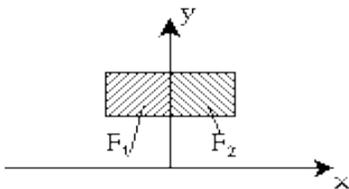
Trục trung tâm là trục cũ momen tĩnh của mặt cắt ngang bằng không.

Giả sử Ox, Oy là trục trung tâm, ta có:

$$S_x = 0 \Leftrightarrow S_x - a.F = 0 \Leftrightarrow a = \frac{S_x}{F}$$

$$S_y = 0 \Leftrightarrow S_y - b.F = 0 \Leftrightarrow b = \frac{S_y}{F}$$

Hình 4-5



Công thức này cho phép xác định vị trí trục trung tâm nếu biết momen tĩnh  $S_x$ ,  $S_y$  của mặt cắt ngang đối với trục Ox, Oy

Ghi ch: mọi trục đối xứng của mặt cắt ngang đều là trục trung tâm

### 3. Trọng tâm mặt cắt ngang :

Thật vậy: nếu y là trục đối xứng thì:

$$\int_{F_1} y dF = \int_{F_2} y dF \quad \int S_y = \int_{F_1} y dF + \int_{F_2} y dF = 0$$

Trọng tâm mặt cắt ngang là giao điểm của các trục trung tâm.

Gọi  $x_c, y_c$  là tọa độ trọng tâm của mặt cắt ngang  $C(x_c, y_c)$  ta có:

$$x_c = \frac{S_y}{F}$$

$$y_c = \frac{S_x}{F}$$

Ngược lại nếu biết trọng tâm của mặt cắt ngang đối với hệ trục  $x, y$  thì ta có thể biết được momen tĩnh của mặt cắt ngang đối với hệ trục đó

$$S_y = x_c \cdot F$$

$$S_x = y_c \cdot F$$

Vậy mọi trục đi qua trọng tâm mặt cắt đều có momen tĩnh bằng 0

Ví dụ:

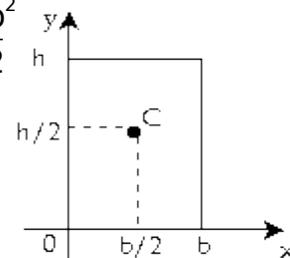
Xác định trọng tâm của mặt cắt ngang hình chữ nhật:

Với hệ trục  $x, y$  như hình vẽ ta đã biết:  $S_x = b \cdot \frac{h^2}{2}$ ;  $S_y = h \cdot \frac{b^2}{2}$

Vậy tọa độ trọng tâm  $C$  của mặt cắt ngang là:

$$x_c = \frac{S_y}{F} = \frac{h \cdot \frac{b^2}{2}}{b \cdot h} = \frac{b}{2}$$

$$y_c = \frac{S_x}{F} = \frac{b \cdot \frac{h^2}{2}}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{h}{2}$$



Hình 4-6

### III. Momen quán tính.

#### 1 Định nghĩa

Momen quán tính của mặt cắt ngang đối với trục  $x$  hay  $y$  được định nghĩa là các tích phân sau:

$$J_x = \int_F y^2 dF$$

$$J_y = \int_F x^2 dF$$

\* Momen quán tính cực: Momen quán tính cực của mặt cắt ngang đối với cực 0 được định nghĩa là tích phân sau :

$$J_p = \int_F \rho^2 dF$$

\* Momen quán tính ly tâm: Momen quán tính ly tâm của mặt cắt ngang đối với hệ trục xy là tích phân sau :

$$J_{xy} = \int_F xy dF$$

Nhân xt:

a) Momen quán tính đối với một trục và momen quán tính cực luôn luôn dương.

b) Tổng hai momen quán tính của một mặt cắt đối với hai trục vuông góc nhau bằng momen quán tính cực của mặt cắt ngang đó đối với giao điểm của hai trục trên.

c) Momen quán tính ly tâm  $J_{xy}$  có thể âm, dương hoặc bằng không. Thật vậy, khi xoay hệ trục  $Oxy$  một góc hoặc đổi chiều một trục thì trong tọa độ mới  $Oxy$  ta có:

$$y = y ; x = -x \text{ hoặc } y = -y \text{ v } x = x$$

Như vậy momen quán tính ly tâm lấy trong hệ tọa độ mới đã đổi dấu so với trong hệ tọa độ cũ. Vậy ở bất kỳ điểm nào ta cũng có thể tìm được một hệ trục quán tính chính ( $J_{xy} = 0$ )

Tất nhiên khi ta xoay hệ trục một góc hoặc đổi chiều cả hai trục thì momen quán tính ly tâm sẽ không đổi dấu.

Khi chuyển momen quán tính ly tâm từ âm sang dương hoặc ngược lại sẽ đạt giá trị bằng không, hệ trục có  $J_{xy} = 0$  gọi là hệ trục quán tính chính hay hệ trục chính

d) Momen quán tính ly tâm đối với một hệ trục vuông góc, trong đó có một hoặc cả hai là trục đối xứng của mặt cắt ngang thì bằng 0

Thật vậy khi có một trục là trục đối xứng và  $F = F_1 + F_2$  thì:

$$J_{xy} = \int_F xy dF = \int_{F_1} xy dF + \int_{F_2} xy dF$$

e) Momen quán tính của một mặt cắt ngang dạng phức tạp đối với một trục nào đó bằng tổng momen quán tính của những phần diện tích đơn giản của mặt cắt ngang đối với trục đó. Điều này đúng với tất cả momen quán tính

f) Nếu mặt cắt có ít nhất hai trục đối xứng không vuông góc nhau thì tất cả các trục đi qua trọng tâm của mặt cắt đều là trục quán tính chính trung tâm. Momen quán tính trục của mặt cắt đối với các trục này đều bằng nhau.

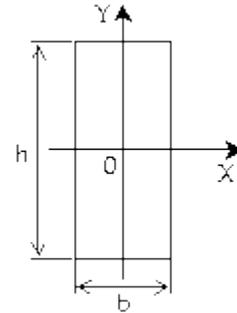
## 2 Momen quán tính của mặt cắt ngang hình chữ nhật đối với các trục trung tâm X, Y:

Do hệ trục X, Y là trục đối xứng nên

$$J_{XY} = 0$$

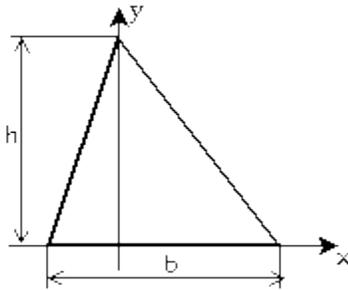
Momen quán tính đối với trục X và trục Y

$$J_x = \int_F y^2 dF = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} y^2 b dy = b \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} y^2 dy = \frac{bh^3}{12} \quad \text{Hình 4-9}$$



Tương tự:  $J_y = \frac{hb^3}{12}$

## 3 Momen quán tính của mặt cắt ngang hình tam giác đối với trục x đi qua đáy:



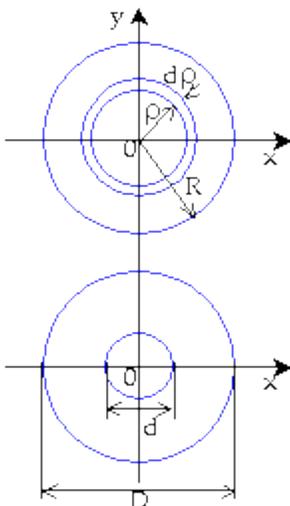
$$J_x = \int_F y^2 dF = \int_0^h \frac{b}{h} (h-y) dy = \frac{b}{h} \left[ \frac{y^3}{3} - \frac{y^4}{4} \right]_0^h = \frac{bh^3}{12}$$

Hình 4-10

## 4 Mặt cắt ngang hình tròn:

Trước hết ta tính momen quán tính cực của mặt cắt ngang hình tròn. Lấy diện tích phần tử  $dF$  là diện tích của một hình vành khăn. Để tính  $dF$  ta coi hình vành khăn như một hình chữ nhật có chiều dài  $2R$  và chiều rộng  $d$ .

Do đó:  $dF = 2\rho d\rho$



Hình 4-11

$$\text{Vậy: } J_p = \int_F \rho^2 dF = \int_0^R \pi \rho^3 d\rho = 2\pi \int_0^R \frac{\rho^4}{4} = \frac{\pi R^4}{2} = \frac{\pi D^4}{32} = 0,1D^4$$

$$\text{Ta cĩ: } J_p = J_x + J_y$$

$$M J_x = J_y$$

Nếu mặt cắt ngang hình trụ rỗng thì:

$$J_x = J_y = \frac{\pi D^4}{64} - \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi D^4}{64} \left( 1 - \eta^4 \right) \quad 0,05D^4 (1 - \eta^4)$$

$$\text{trong đó } \eta = \frac{d}{D}$$

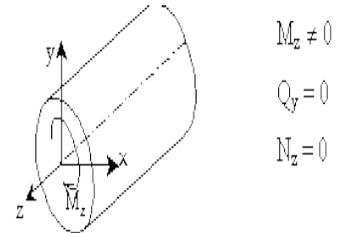
#### **Bi 4: Tính tổn trưc chịu xoắn thuần ty.**

##### **I. Khi niệu chung.**

##### **1. Định nghĩa.**

Thanh chịu xoắn thuần ty khi trn mọi mặt cắt ngang của thanh chỉ xuất hiệu thnh phần nội lực l mômen xoắn  $M_z$

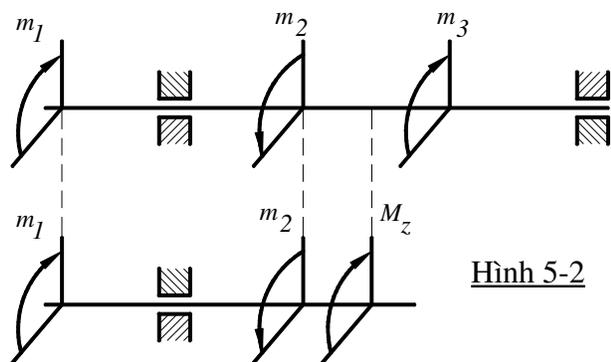
Một thanh chịu xoắn thuần ty l một thanh trụ m mặt cắt ngang chổ xuất hiệu một thnh phần nội lực duy nhất l mômen xoắn  $M_z$ .



Hình 5-1

##### **2. Nội lực**

Giả sử chúng ta có một thanh cân bằng dưới tác dụng của các ngẫu lực là  $m_1, m_2, m_3$  (hình 5-2). Muốn xác định được các mômen nội lực chúng ta dùng phương pháp mặt cắt. Để tính mômen xoắn  $M_z$  tại mặt cắt (1-1) của thanh tưởng tượng dùng một mặt phẳng (1-1) cắt vuông góc với trục thanh chia ra làm hai phần. Xét sự cân bằng của một trong hai phần đó. Giả sử xét phần bên trái.



Hình 5-2

$$\text{Muốn thanh cân bằng thì: } m_2 = 0 \quad -m_1 + m_2 - M_z = 0 \quad \boxed{M_z = m_2 - m_1}$$

Như vậy mômen xoắn nội lực tại một mặt cắt nào đó sẽ bằng tổng đại số các mômen xoắn nội lực tác dụng lên nó.

Quy ước dấu: Nếu nhìn vào mặt cắt ngang ta thấy mômen xoắn quay ngược chiều với chiều kim đồng hồ thì nó là dương ( $M_z > 0$ ), ngược lại thì âm ( $M_z < 0$ ).



Hình 5-3: Quy ước chiều (+) và (-) của  $M_z$

### 3. Biểu đồ mômen nội lực

Biểu đồ mômen xoắn là đồ thị biểu diễn sự biến thiên của mômen xoắn nội lực  $M_z$  dọc theo trục thanh.

Ví dụ: Vẽ biểu đồ mômen xoắn nội lực của trục AD như hình vẽ.

Tính mômen xoắn nội lực trên từng đoạn thanh AB, BC và CD.

- ✓ Trên đoạn thanh AB: dùng mặt cắt (1-1) và xét phần bên trái ta có:

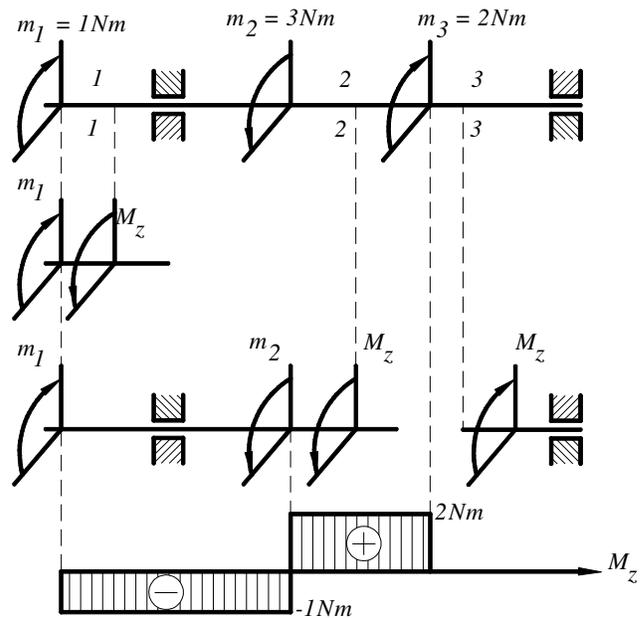
$$\begin{aligned} m_z &= 0 & -m_1 + M_z &= 0 \\ M_z &= m_1 = 1Nm \end{aligned}$$

- ✓ Trên đoạn thanh BC: tương tự dùng mặt cắt (2-2) và xét phần bên trái ta có:

$$\begin{aligned} m_z &= 0 & -m_1 + m_2 + M_z &= 0 \\ M_z &= m_1 - m_2 = -2Nm \end{aligned}$$

- ✓ Trên đoạn thanh CD: tương tự dùng mặt cắt (3-3) và xét phần bên phải ta có:

$$m_z = 0 \quad -M_z = 0 \quad M_z = 0Nm$$



Hình 5-5

Từ đó ta vẽ được biểu đồ.

### 4. Liên hệ giữa momen xoắn ngoại lực với công suất

Thường thì chúng ta biết công suất  $N$  của động cơ truyền đến các trục, vì vậy chúng ta cần thiết lập công thức để suy từ trị số công suất đó ra các mômen xoắn ngoại lực lên các trục.

Gọi A là công suất do momen ngẫu lực thực hiện khi trục quay một góc trong thời gian t là  $A = m\alpha$

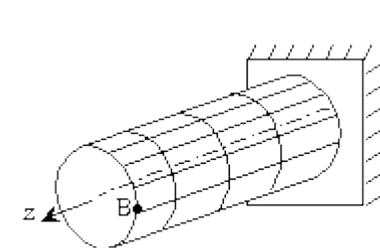
Vậy công suất:  $N = \frac{A}{t} = m \frac{\alpha}{t} = m \frac{n}{30}$

Suy ra:  $m = 30N \frac{1}{n}$

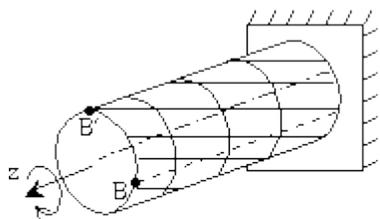
Vậy  $m = 9,55 \frac{N}{n}$  trong đó N tính bằng(Watt), n tính bằng (vòng/phút), m tính bằng(Nm)

**II. Ứng suất trên mặt cắt ngang của thanh trục chịu xoắn.**

**1. Các giả thuyết khi xoắn**



Trước khi thí nghiệm xoắn, ta kẻ lên bề mặt của thanh những đường thẳng song song với trục của thanh biểu diễn các thớ dọc và những đường trục vuông góc với trục thanh biểu diễn các mặt cắt ngang



Sau khi biến dạng, ta nhận thấy các đường thẳng song song với trục trở thành những đường xoắn ốc cịn các đường trục vẫn trục v vuông góc với trục của thanh. Mạng lưới ô chữ nhật trở thành mạng lưới hình bình hành (hình 5-6)

Hình 6-1

Từ những điều quan sát trên, ta đưa ra các giả thuyết sau để làm cơ sở tính toán cho một thanh trục chịu xoắn thuần túy.

Hình 5-6

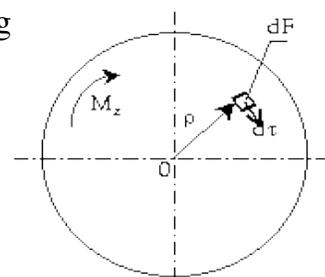
a./ Giả thuyết về mặt cắt ngang phẳng:

Trước và sau khi bị biến dạng mặt cắt ngang vẫn giữ phẳng và vuông góc với trục thanh.

b./ Giả thuyết về bán kính của thanh:

Trước và sau khi thanh bị biến dạng bán kính của của mặt cắt ngang vẫn thẳng và có độ dài không đổi (tức có phương vuông góc R)

c./ Giả thuyết về chiều dài của thanh:



Hình 6-3

Trước và sau khi thanh bị biến dạng, chiều dài của thanh cũng như khoảng cách giữa hai mặt cắt ngang bất kỳ là không đổi.

d./ Giả thuyết về cc thứ dọc:

Trong quá trình thanh bị biến dạng, cc thứ dọc không p ln nhau v cũng không tách xa nhau.

Hình 5-7

## 2. Ứng suất trên mặt cắt ngang

Theo giả thuyết a v c: cc mặt cắt (1-1) v (2-2) chỉ xoay tương đối với nhau nhưng vẫn phẳng và khoảng cách không đổi, do đó trên mặt cắt ngang không có ứng suất pháp, mà chỉ có ứng suất tiếp. Ứng suất tiếp này thẳng góc với bán kính tại điểm đang xét và hướng theo chiều mômen xoắn  $M_z$  và được tính:

$$\tau_p = \frac{|M_z|}{J_0} \rho$$

Trong đó: -  $M_z$  là mômen xoắn nội lực trên mặt cắt ngang tại điểm tính ứng suất.

-  $J_0$  là mômen quán tính độ cực tại mặt cắt.

Ta có biểu đồ ứng suất tiếp trên mặt cắt ngang như hình vẽ.

Căn cứ vào biểu đồ ta nhận thấy ứng suất lớn nhất  $\tau_{max}$  trên chu vi mặt cắt

ngang và được tính theo công thức sau:  $\tau_{max} = \frac{|M_z|}{J_0} R = \frac{|M_z|}{\frac{J_0}{R}}$

đặt  $W_0 = \frac{J_0}{R}$  gọi là mômen chống xoắn. Vậy  $\tau_{max} = \frac{|M_z|}{W_0}$

## 3. Dạng mặt cắt hợp lý

Dựa vào biểu đồ ứng suất trên mặt cắt ngang, ta nhận thấy gần tâm thì ứng suất b, càng xa tm thì ứng suất càng lớn. Điều đó chứng tỏ rằng phần vật liệu gần tâm làm việc ít hơn phần vật liệu nằm gần chu vi mặt cắt ngang, muốn tiết kiệm nguyên vật liệu ta có thể làm rỗng bỏ phần vật liệu bên trong nhưng với điều kiện diện tích rỗng vẫn như cũ, nên phải tăng cường đường kính d lên.

a)

Vậy mặt cắt ngang hợp lý là mặt cắt hình vành khăn, và biểu đồ phân bố ứng suất như hình vẽ. Công thức tính ứng suất vẫn tính tương tự như thanh tròn đặc chỉ chú ý  $J_0$  v  $W_0$  cho đúng.

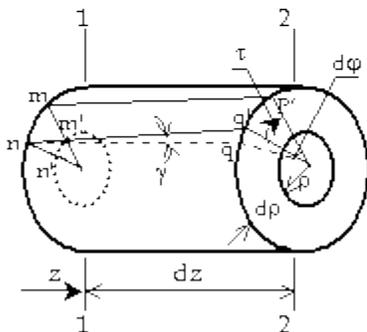
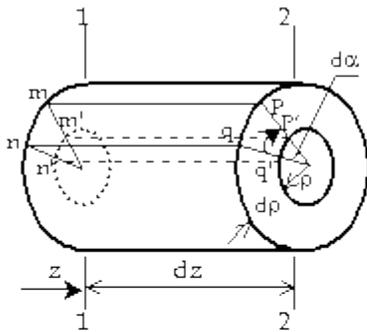
Đối với mặt cắt ngang hình tròn đặc:

$$W_o = \frac{J_o}{\rho_{\max}} = \frac{J_o}{\frac{D}{2}} = \frac{\pi D^3}{16} \cdot 0,2D^3$$

Đối với mặt cắt ngang hình trụ rỗng:

$$W_o = \frac{J_o}{\rho_{\max}} = \frac{J_o}{\frac{D}{2}} = \frac{\pi D^3}{16} (1 - \eta^4) \cdot 0,2D^3 (1 - \eta^4) \quad \left( \frac{d}{D} \right)$$

#### 4. Biến dạng của thanh trụ chịu xoắn



Hình 5-10

Khi thanh trụ chịu xoắn, biến dạng của thanh được thể hiện bởi sự xoay của mặt cắt ngang quanh trục của nó. Góc xoay giữa hai mặt cắt được gọi là góc xoắn của đoạn thanh giới hạn bởi các mặt cắt đó. Ta hãy thiết lập công thức tính góc xoắn của một đoạn thanh nào đó có chiều dài l.

Ta có: 
$$\varphi = \int_0^1 \frac{M_z}{G \cdot J_p} dz$$

Trong đó:  $\varphi$  là góc xoắn trên đoạn thanh; đơn vị là Radian

Nếu trên suốt chiều dài l tỉ số  $\frac{M_z}{G \cdot J_o}$  không đổi thì:

$$\varphi = \frac{M_z \cdot l}{G \cdot J_o} \quad (\text{đơn vị rad}) \text{ hay}$$

$$\varphi = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{M_z \cdot l}{G \cdot J_o} \quad (\text{đơn vị độ})$$

Ghi chú:

Khi tính góc xoắn ta phải chú ý đến dấu của momen xoắn  $M_z$  và kích thước mặt cắt ngang để tính  $J$  trong đoạn cần tính

Tỉ số  $\frac{M_z}{G \cdot J_o}$  là góc xoắn trên một đơn vị chiều dài và được gọi là góc xoắn tỷ đối ký hiệu  $\theta$  [radian/cm hay l radian/m]

$$\theta = \frac{d\varphi}{dz} = \frac{M_z}{GJ_p}$$

Trong đó:  $G$  là mô đun đàn hồi trượt

Tích  $GJ_p$  gọi là độ cứng xoắn

Nếu đổi ra độ thì:  $\theta = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{M_z}{GJ_p}$  (đơn vị độ/m)

### III. Điều kiện bền, điều kiện cứng.

#### 1. Điều kiện bền

$$\tau_{\max} = \frac{M_z}{W_p} \quad [ \tau ]$$

Muốn thanh chịu xoắn đủ bền thì ứng suất tiếp lớn nhất trên các mặt cắt ngang không vượt quá ứng suất cho phép.

Từ điều kiện bền ta có thể suy ra ba dạng bài toán cơ bản:

a. Kiểm tra bền

$$\tau_{\max} = \frac{M_z}{W_p} \quad [ \tau ]$$

b. Xác định tải trọng cho phép

$$M_z \leq W_p [ \tau ]$$

c. Chọn kích thước mặt cắt ngang

$$W_p \geq \frac{M_z}{[ \tau ]} \quad D \geq \sqrt[3]{\frac{M_z}{0,2 [ \tau ] (1 - \eta^4)}}$$

#### 2. Điều kiện cứng

Khi biến dạng, góc xoắn tỷ đối lớn nhất không được vượt quá góc xoắn tỷ đối cho phép.

$$\theta_{\max} \leq [ \theta ]$$

[ ] được cho trong các sổ tay kỹ thuật, giá trị của nó phụ thuộc công dụng và kích thước của thanh.

Từ điều kiện cứng ta cũng suy được ba dạng bài toán cơ bản

a. Kiểm tra cứng:  $|\theta|_{\max} = \frac{|M_z|}{GJ_0}$  [  $\theta$  (rad) hay  $|\theta|_{\max} = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{|M_z|}{GJ_0}$  [  $\theta$  (độ)

b. Xác định tải trọng cho phép:  $M_z \leq GJ_0$

c. Tính kích thước mặt cắt ngang:

- Trịn đặc:  $d = \sqrt[4]{\frac{|M_z|}{0,1G}}$

## **Bi 5: Uốn phẳng thanh thẳng**

### **I. Các định nghĩa và phân loại.**

Thanh chịu uốn là thanh có trục bị uốn cong dưới tác dụng của ngoại lực.

Những thanh chủ yếu chịu uốn gọi là dầm.

Nếu tất cả ngoại lực nằm trong mặt phẳng chứa trục của thanh, thì gọi là mặt phẳng tải trọng.

Giao tuyến giữa mặt phẳng tải trọng và mặt cắt ngang gọi là đường tải trọng.

Nếu trục của thanh sau khi uốn vẫn nằm trong mặt phẳng chính trục  $J_{xy} = 0$  thì gọi là thanh chịu uốn phẳng.

Thanh chịu uốn ngang phẳng là thanh chịu lực sao cho trên mọi mặt cắt ngang có cả hai thành phần nội lực là lực cắt và momen uốn nằm trong mặt phẳng đối xứng của mặt cắt ngang

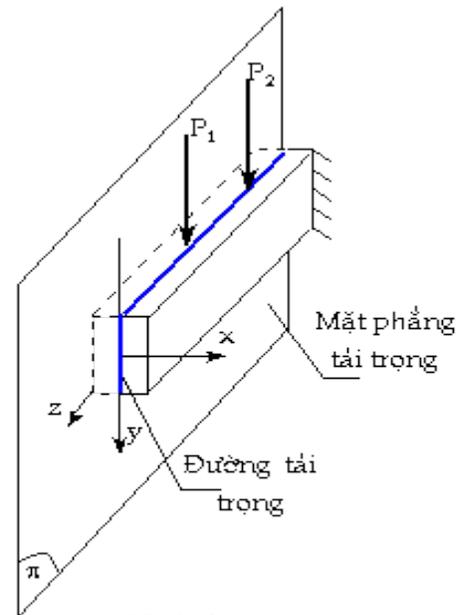
Ta chia uốn phẳng ra làm hai loại: uốn thuần túy và uốn ngang phẳng.

### **II. Nội lực và vẽ biểu đồ nội lực.**

#### **1. Nội lực và quy ước dấu của nội lực.**

Sử dụng phương pháp mặt cắt để tính nội lực. Những nội lực nằm trong mặt phẳng đối xứng với trục thanh đều song song với mặt cắt ngang nên khi thu về trọng tâm mặt cắt gồm:

- Lực cắt  $Q$  ( $Q_y$ ) nằm trong mặt cắt ngang (trong mặt phẳng  $Oyz$ )

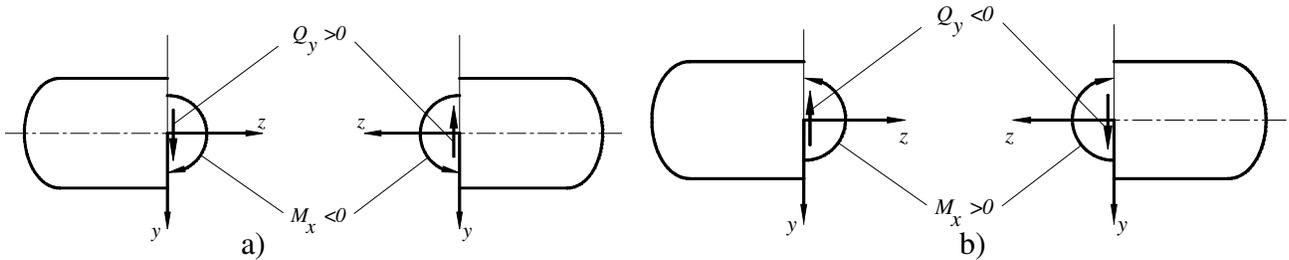


Hình 6-1  
Hình 7-1

- Mômen uốn  $M$  ( $M_x$ ) nằm trong mặt phẳng tải trọng (nằm trong Hình 6-2 phẳng  $Oyz$ , quay quanh trục  $Ox$ )

### Quy ước dấu:

- Lực cắt  $Q_y$  :  $Q_y > 0$ , nếu quay pháp tuyến ngoài một góc  $90^\circ$  theo chiều kim đồng hồ hướng ra ngoài mặt cắt và ngược lại thì  $Q_y < 0$ .
- Mômen uốn  $M_x$  :  $M_x > 0$ , nếu nó làm cho thớ dưới trục dầm bị kéo, tức là làm căng các thớ về phía dương của trục  $Oy$



Hình 6-3(a,b): Quy ước (+) và (-) của  $Q_y$  và  $M_x$

Chú ý: Phân biệt quy ước dấu về lực cắt và mômen uốn tại mặt cắt ngang với dấu theo chiều trục và dấu theo chiều mômen.

## 2. Vẽ biểu đồ nội lực.

Biểu đồ nội lực  $Q$  và mômen  $M$  là 2 đồ thị biểu diễn sự biến thiên của lực cắt  $Q$  và mômen uốn  $M$  theo vị trí trên dầm.

Muốn vẽ các biểu đồ  $Q$  và  $M$  ta phải:

- Vẽ sơ đồ tĩnh để xác định các phản lực.
- Phân dầm ra từng đoạn theo sự phân bố của ngoại lực để nội lực không thay đổi đột ngột, rồi lập biểu đồ giải thích của  $Q$  và  $M$  trên từng đoạn nhờ phương pháp mặt cắt.
- Vẽ biểu đồ lực cắt  $Q$  và mômen uốn  $M$ : trục hoành song song và dài bằng trục để chỉ vị trí trên dầm, tung độ dương của  $Q$  nằm ở trên, tung độ dương của  $M$  nằm phía dưới (phù hợp với thớ căng của dầm).

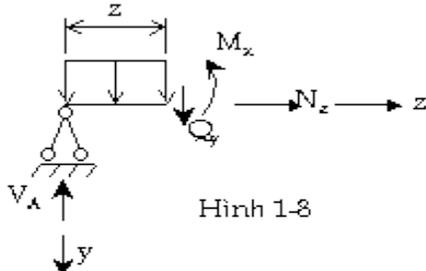
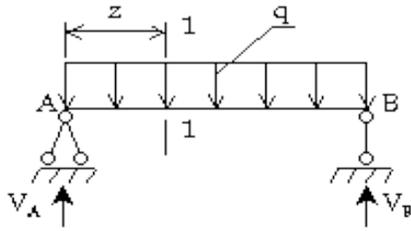
Ví dụ 1: Vẽ biểu đồ nội lực của dầm chịu lực như hình vẽ

Bi giải:

Xác định phản lực gối tựa  $V_A$  v  $V_B$

$$M_A = 0 \quad V_B \cdot l - q \cdot l \cdot \frac{l}{2} = 0 \quad V_B = \frac{q \cdot l}{2}$$

$$M_B = 0 \quad -V_A \cdot l + q \cdot l \cdot \frac{l}{2} = 0 \quad V_A = \frac{q \cdot l}{2}$$



Hình 1-8

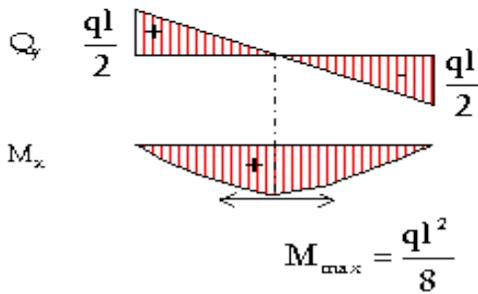
Hệ trục tọa độ được xác định như trn hình vẽ. Xét nội lực trn mặt cắt ngang 1-1 no đó có hoành độ z.

Xét sự cn bằng của phần bn tri của thanh. Đặt cc thnh phần nội lực trn mặt cắt theo chiều dương như hình vẽ. Lập cc phương trình cn bằng :

$$N_z = 0 \quad N_z = 0$$

$$P_y = 0 \quad Q_y + q \cdot z - \frac{q \cdot l}{2} = 0$$

$$M_A = 0 \quad M_x + q \cdot z \cdot \frac{z}{2} - \frac{q \cdot l}{2} \cdot z = 0$$



Hình 1-9

Ta suy ra:

$$z=0 \quad Q_y = \frac{q \cdot l}{2}$$

$$Q_y = q \cdot \frac{l}{2} - q \cdot z \quad \text{như vậy} \quad z=1 \quad Q_y = -\frac{q \cdot l}{2}$$

$$z = \frac{1}{2} \quad Q_y = 0$$

$$M_x = \frac{1}{2} q z (l - z) \quad \text{như vậy} \quad z=0 \quad M_x = 0$$

$$z=1 \quad M_x = 0$$

Phương trình của momen uốn l hm bậc 1 của  $Q_y$  theo z

$$\frac{dM_x}{dz} = 0 \quad z = \frac{1}{2} \quad M_{\max} = \frac{q l^2}{8}$$

Tiến hành vẽ biểu đồ nội lực.

### III. Dầm chịu uốn phẳng thuần túy.

#### 1. Định nghĩa.

Một dầm gọi là uốn thuần túy phẳng khi trên mặt cắt ngang của dầm chỉ có một thành phần nội lực là mômen uốn khác không, các thành phần nội lực khác bằng không.

#### 2. Ứng suất pháp trên mặt cắt ngang.

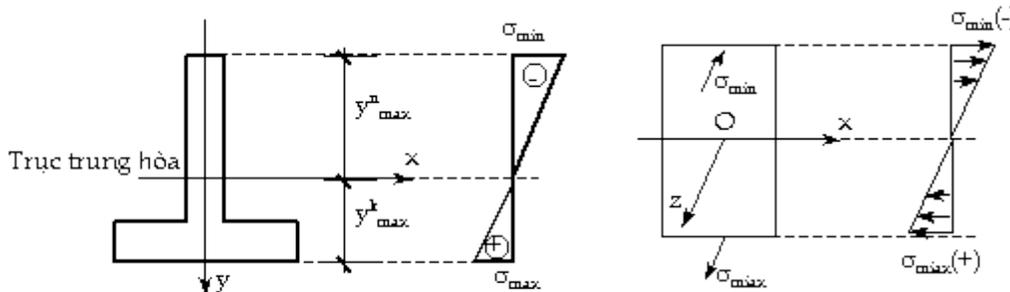
$$\sigma_z = \frac{|M_x|}{J_x} |y| \quad (\text{công thức Bernouilli})$$

Trong đó:  $M_x$ : mômen uốn trên mặt cắt ngang đối với trục trung hòa  $x$

$J_x$ : mômen quán tính của mặt cắt ngang đối với trục trung hòa  $x$

$y$ : tung độ của điểm cần tính ứng suất đang xét đến trục trung hòa  $x$

Trong đó ta lấy dấu (+) cho vùng bị kéo, dấu (-) cho vùng bị nén



Hình 6-15

Nếu  $y_{\max}^k$  và  $y_{\max}^n$  là khoảng cách xa nhất từ trục trung hòa đến điểm chịu kéo và nén thì

$$\sigma_{\max} = + \frac{|M_x|}{J_x} |y_{\max}^k| = \frac{|M_x|}{W_x^k}$$

$$\sigma_{\min} = - \frac{|M_x|}{J_x} |y_{\max}^n| = \frac{|M_x|}{W_x^n}$$

Nếu mặt cắt ngang đối xứng với đường trung hòa thì  $y_{\max}^k = y_{\max}^n$

Gọi  $W_x$  là mômen chống uốn và đặt  $W_x = \frac{J_x}{y_{\max}}$

Thì công thức 6-2 được viết như sau:

$$\sigma_{\max}^{k,n} = \frac{|M_x|}{W_x}$$

Đối với mặt cắt ngang hình chữ nhật thì đường trung hạ chia đôi mặt cắt ngang.

Nếu hình chữ nhật có chiều cao  $h$  thì:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{|M_x|}{J_x} \frac{h}{2} \\ \sigma_{\min} &= \frac{|M_x|}{J_x} \frac{h}{2} \end{aligned} \quad \text{như vậy} \quad \boxed{\begin{aligned} |y_{\max}^k| &= |y_{\max}^n| = \frac{h}{2} \\ W_x^k &= W_x^n = \frac{J_x}{\frac{h}{2}} \end{aligned}}$$

**\* Xác định momen chống uốn của các mặt cắt ngang đơn giản**

Mặt cắt ngang chữ nhật:

$$|y_{\max}^k| = |y_{\max}^n| = \frac{h}{2}; J_x = \frac{bh^3}{12} \quad \diamond W_x^k = W_x^n = \frac{bh^2}{6}$$

Mặt cắt ngang tròn:

$$|y_{\max}^k| = |y_{\max}^n| = R = \frac{D}{2}; J_x = \frac{\pi R^4}{4} = \frac{\pi D^4}{64} \quad \diamond W_x^k = W_x^n = \frac{\pi R^3}{4} = \frac{\pi D^3}{32} \quad \diamond 0,1D^3$$

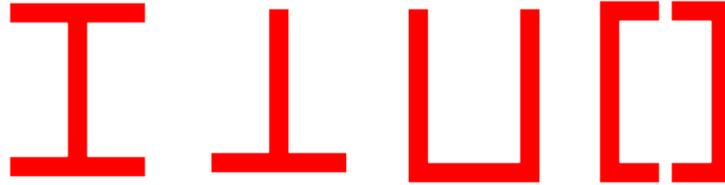
Mặt cắt ngang hình vành khăn:

$$\begin{aligned} |y_{\max}^k| &= |y_{\max}^n| = R = \frac{D}{2}; \\ J_x &= \frac{\pi R^4}{4} (1 - \eta^4) = \frac{\pi D^4}{64} (1 - \eta^4) \\ \diamond W_x^k &= W_x^n = \frac{\pi R^3}{4} (1 - \eta^4) = \frac{\pi D^3}{32} (1 - \eta^4) \quad \diamond 0,1D^3 \\ \frac{r}{R} &= \frac{d}{D} \end{aligned}$$

Đối với mặt cắt ngang dạng định hình như chữ I, U ..., momen chống uốn được cho trong các bảng.

**\* Hình dạng mặt cắt ngang hợp lý của thanh chịu uốn phẳng thuần ty**

Dựa vào biểu đồ phân bố ứng suất trên mặt cắt ngang ta nhận thấy ở gần đường trung hĩa vật liệu chịu lực rất ít m ở cng xa đường trung hĩa vật liệu cng lm việc nhiều hơn. Do đó người ta có các dạng mặt cắt ngang hợp lý tiết kiệm nguyn liệu như sau:



Hình dạng hợp lý của mặt cắt ngang l m sao cho khả năng chịu lực của thanh lớn nhất đồng thời ít tốn vật liệu nhất.

### 3. Điều kiện bền.

a) Dầm bằng vật liệu dẻo: cĩ  $k = n =$

$$z_{\max} = \left| \frac{M_x}{W_x} \right|$$

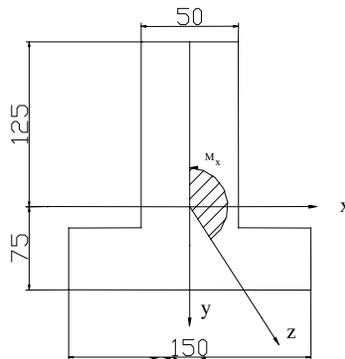
b) Dầm bằng vật liệu dịn: cĩ  $k \quad n$

$$z_{\max} = \frac{M_x}{W_x^k} \quad k$$

$$z_{\min} = \left| \frac{M_x}{W_x^n} \right| \quad n$$

#### Thí dụ:

Trên mặt cắt ngang dầm chữ T chịu mômen uốn  $M_x = 7200 \text{ Nm}$ , vật liệu dầm có  $k = 20 \text{ MN/m}^2$ ,  $n = 30 \text{ MN/m}^2$ . Kiểm tra bền biết  $J_x = 5312,5 \text{ cm}^4$ .



Hình:

Ta có  $y_{\max}^k = 75 \text{ mm} = 7,5 \times 10^{-2} \text{ m}$ .

$y_{\max}^n = 125 \text{ mm} = 12,5 \times 10^{-2} \text{ m}$ .

$$w_x^k = \frac{J_x}{y_{\max}^k} = \frac{5312,5 \cdot 10^8}{7,5 \cdot 10^2} = 708,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$w_x^n = \frac{J_x}{y_{\max}^n} = \frac{5312,5 \cdot 10^8}{12,5 \cdot 10^2} = 425 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Do đó } \max \frac{M_x}{w_x^k} = \frac{7200}{708,3 \cdot 10^6} = 10,2 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 10,2 \text{ MN/m}^2 \quad k$$

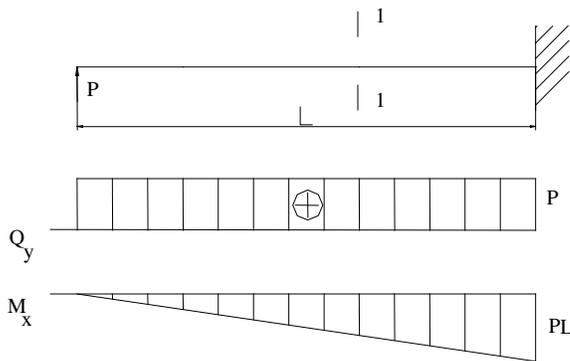
$$\left| \right|_{\min} \frac{M_x}{w_x^n} = \frac{7200}{425 \cdot 10^6} = 17 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 17 \text{ MN/m}^2 \quad n$$

**Kết luận:** Vây dầm đủ bền.

#### IV. Dầm chịu uốn ngang phẳng.

##### 1. Định nghĩa.

Một thanh chịu uốn ngang phẳng khi trên mọi mặt cắt ngang chỉ tồn tại mômen uốn  $M_x$  và lực cắt  $Q_y$  nằm trong mặt phẳng quán tính chính trung tâm.



**Hình**

## 2. Ứng suất pháp trên mặt cắt ngang

Công thức:  $\sigma_z = \frac{M_x}{J_x} y$

## 3. Ứng suất tiếp

Công thức:  $\tau_{zy} = \frac{Q_y S_x^c}{J_x b_c}$

Trong đó:

$Q_y$ : lực cắt mặt cắt ngang đang xét.

$S_x^c$ : mômen tĩnh đối với trục x của phần diện tích mặt cắt ngang bị cắt bởi mp song song với trục z.

$J_x$ : mômen quán tính chính trung tâm đối với trục x.

$b^c$ : bề rộng mặt cắt ngang bị cắt

## 4. Điều kiện bền.

a) Phần tử ở trạng thái ứng suất đơn (điểm nơi mp xa trục trung hòa, ứng suất tiếp bằng không, chỉ có ứng suất pháp).

Dầm VL dẻo max  $\sigma_z = \frac{M_x}{W_x}$

Dầm VL dẻo min  $\sigma_z = \frac{M_x}{W_x}$

b) Trạng thái ứng suất trượt thuần túy (điểm nào đó trên trục trung hòa)

Dầm VL dẻo max  $\tau_{zy} = \frac{Q_y}{J_x} S_x^c$  (thuyết bền 3)

Dầm VL dẻo: dùng thuyết bền Mohr.

c) Trạng thái ứng suất tại các điểm khác trên mặt cắt.

Dầm VL dẻo  $\sigma_{td} = \sqrt{\frac{\sigma_z^2}{4} + \tau_{zy}^2}$  (thuyết bền 3)

Dầm VL dẻo  $\sigma_{td} = \sqrt{\frac{\sigma_z^2}{3} + \tau_{zy}^2}$  (thuyết bền 4)

Dầm VL dẻo: dùng thuyết bền Mohr.

# PHẦN III. CHI TIẾT MY

## A: CÁC CHI TIẾT GHÉP NỐI

### Chương 1: GHÉP BẰNG ĐINH TÁN

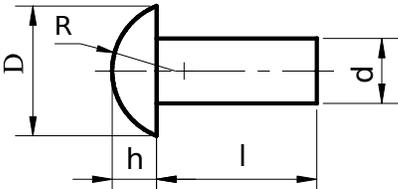
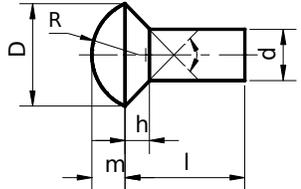
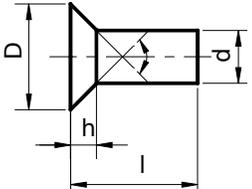
#### I. Khái niệm chung

##### 1. Các loại đinh tán

a. **Khái niệm:** *Đinh tán* là một thanh trụ tròn có mũ ở hai đầu. Một mũ được chế tạo sẵn gọi là mũ sẵn, mũ thứ hai gọi là mũ tán. Đinh tán được chế tạo bằng thép tròn.

*Mối ghép bằng đinh tán* là mối ghép không tháo được dùng để ghép các chi tiết lại với nhau nhờ đinh tán.

##### b. Phân loại đinh tán

Đinh tán mũ chỏm cầu	Đinh tán mũ nửa chìm	Đinh tán mũ chìm
		

##### 2. Các mối ghép đinh tán

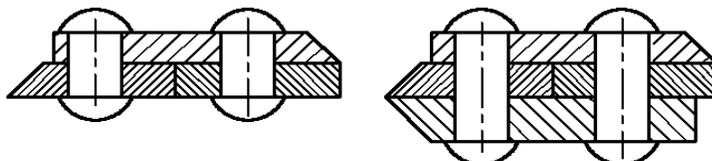
Mối ghép chắc: dùng cho kết cấu kim loại khác nhau như : cầu, giàn, sườn nhà xưởng ...

Mối ghép kín: Dùng cho các thùng chứa, nồi hơi có áp suất thấp.

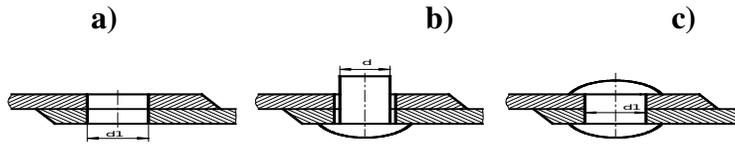
Mối ghép chắc kín: Dùng cho các kết cấu vừa chắc, vừa kín như nồi hơi có áp suất cao, vỏ tàu biển ...

Mối ghép chống.

Mối ghép giáp nối có một hoặc hai tấm đệm.



Qui trình ghép hai chi tiết bằng mối ghép đinh tán: a, b, c,



### 3. Ưu và nhược điểm

Ưu điểm	Nhược điểm
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chắc chắn.</li> <li>- Dễ kiểm tra chất lượng.</li> <li>- Ít làm hư hỏng chi tiết máy.</li> <li>- Có thể tháo rời được.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tổn kim loại.</li> <li>- Giá thành cao.</li> <li>- Hình dạng và kích thước công kênh.</li> </ul>

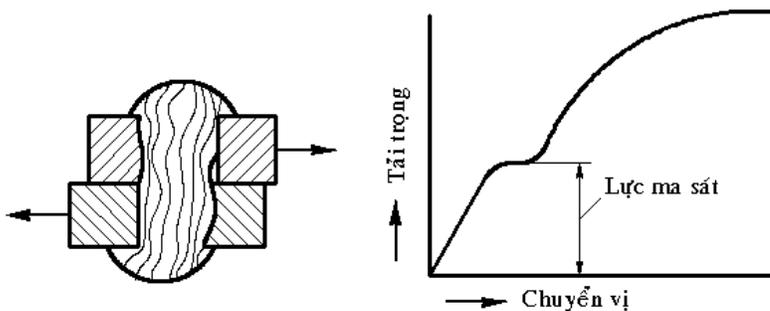
## II. Tính mối ghép chắc

### 1. Đặc điểm làm việc của mối ghép đinh tán

Trường hợp tán nóng: Khi nguội, thân đinh sẽ co lại theo chiều dọc và chiều ngang. Đinh co theo chiều dọc thì các tấm thép sẽ ghép lại với nhau, lúc đó giữa các tấm ghép sẽ sinh ra lực ma sát. Đinh co theo chiều ngang sẽ tạo nên khe hở giữa lỗ và thân đinh.

Mối ghép đinh tán thường chịu tải trọng ngang, nên có xu hướng kéo các tấm ghép trượt tương đối với nhau.

Khi tải trọng nhỏ, chưa vượt quá lực ma sát cực đại trên bề mặt tiếp xúc của các tấm, tải trọng được truyền từ tấm nọ sang tấm kia nhờ lực ma sát. Trên đồ thị “*chuyển vị – tải trọng*” giai đoạn này được biểu diễn bằng đoạn thẳng.



Nếu tải trọng tiếp tục tăng lên cho tới khi lớn hơn lực ma sát, các tấm ghép sẽ trượt đối với nhau một khoảng bằng khe hở giữa lỗ và thân đinh, giai đoạn này

là đoạn nằm ngang tên đồ thị. Lúc này tải trọng tác dụng trực tiếp lên thân đinh, làm thân đinh bị cắt, dập và uốn.

Trường hợp tán nguội: giữa thân đinh và lỗ không có khe hở, cho nên ngay từ lúc tải trọng bắt đầu tác dụng, thân đinh đã làm việc: truyền tải trọng từ tấm ghép này sang tấm ghép khác.

*Chú ý: Khi tính toán mỗi ghép chắc có thể bỏ qua lực ma sát.*

## 2. Tính mỗi ghép chống chịu lực ngang

Giả thiết, tải trọng  $F$  phân bố đều trên tiết diện ngang của tấm thép, có thể chia tấm thép ra làm nhiều đoạn bằng nhau và tiến hành tính trên mỗi đoạn.

a. Xét trường hợp mỗi ghép chống một dãy đinh

Gọi  $n$  là số đinh, lực tác dụng lên mỗi đinh là:

$$P_n = \frac{P}{n}$$

Các dạng hỏng của mỗi ghép:

Đinh bị cắt.

Tấm ghép bị kéo đứt tại tiết diện I – I qua tâm các đinh.

Bề mặt tiếp xúc giữa lỗ và thân đinh bị dập.

Biên bị cắt theo các tiết diện  $ab$  và  $cd$ .

\* Để tránh các khả năng hỏng ở trên thì phải thỏa mãn các điều kiện bên dưới đây:

Trường hợp đinh bị cắt: 
$$\tau_c = \frac{P_n}{F_c} = \frac{P}{n \frac{\pi \cdot d^2}{4}} \quad [\tau]_c \quad (1)$$

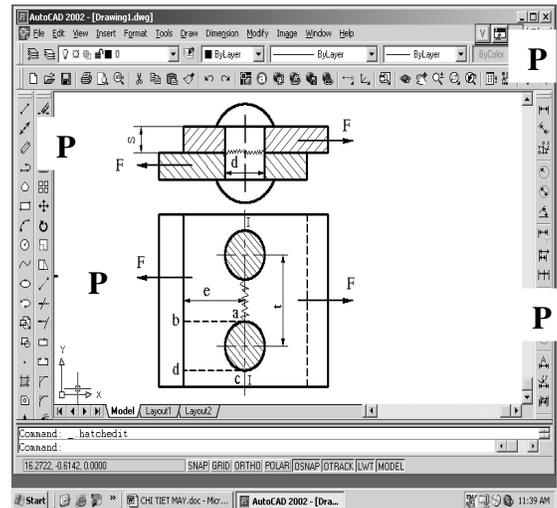
Trường hợp lỗ đinh và thân đinh bị dập:

$$\sigma_d = \frac{P_n}{F_d} = \frac{P}{n \cdot \delta \cdot d} \quad [\sigma]_d \quad (2)$$

Trường hợp tấm ghép bị kéo đứt:

$$\sigma_k^t = \frac{P}{(b - nd) \cdot \delta} \quad [\sigma]_k^t \quad (3)$$

Trường hợp biên bị cắt đứt:



$$\tau_c^t = \frac{P}{2n \cdot \delta \cdot e} [\tau]_c^t \quad (4)$$

Trong đó:  $\delta$  – chiều dày tấm thép, (mm)

$n$  – Số đinh tán.

$d$  – Đường kính đinh tán sau khi tán (khi tính lấy bằng đường kính thân đinh), (mm)

$[\tau]_c$  – Ứng suất cắt cho phép của đinh, (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_d$  – Ứng suất dập cho phép, (N/mm<sup>2</sup>)

$[\sigma]_k^t$  – Ứng suất kéo cho phép của tấm ghép, (N/mm<sup>2</sup>)

$[\tau]_c^t$  – Ứng suất cắt cho phép của tấm thép, (N/mm<sup>2</sup>)

b. Xét trường hợp mỗi ghép chồng nhiều dãy đinh

Đối với mỗi ghép nhiều hàng đinh, dạng hỏng của đinh tán tương tự như mỗi ghép chồng một hàng đinh, còn đối với tấm ghép nhiều hàng đinh thì hiện tượng cắt đi qua các biên không xảy ra, nên chỉ còn dạng hỏng bị kéo đứt đi qua các biên mà thôi.

Xét mặt cắt có nhiều hàng đinh như hình vẽ, ta tưởng tượng các mặt cắt (1-1), (2-2), (3-3), đi qua các biên dạng như hình vẽ. Gọi lực tác dụng lên mỗi đinh là  $P_n = \frac{P}{n}$ , điểm khác so với mỗi ghép một hàng đinh là mỗi đinh chịu cắt ở hai mặt cắt nên.

Xét mặt cắt (1 - 1):  $P_{kl} = P$

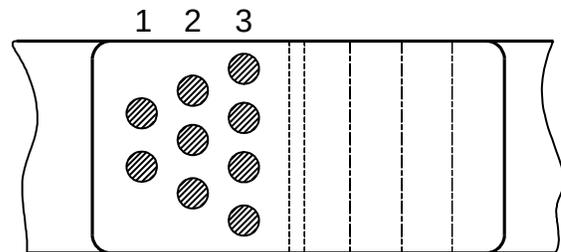
$$\sigma_k^t = \frac{P}{(b-2d) \cdot \delta} [\sigma]_k^t$$

Xét mặt cắt (2 - 2):  $P_{kl} = P - \frac{2P}{9} = \frac{7P}{9}$

$$\sigma_k^t = \frac{7P}{9(b-3d) \cdot \delta} [\sigma]_k^t$$

Xét mặt cắt (3 - 3):  $P_{kl} = P - \frac{5P}{9} = \frac{4P}{9}$

$$\sigma_k^t = \frac{4P}{9(b-4d) \cdot \delta} [\sigma]_k^t$$



### 3. Ứng suất cho phép

Ứng suất cho phép của các mối ghép bằng thép CTO, CT2 và CT3 chịu tải trọng tĩnh hoặc tải trọng thay đổi nhưng không đổi chiều, có thể lấy trong bảng dưới đây.

Loại ứng suất		Cách gia công lỗ	Trị số ứng suất cho phép, N/mm <sup>2</sup> = MPa	
			Thép CTO, CT2	Thép CT3
Đinh tán	[ $\sigma$ ] <sub>d</sub>	Khoan	140	140
		Đột	100	100
	[ $\sigma$ ] <sub>d</sub>	Khoan đột	280	320
		Đột	240	280
Tấm thép	[ $\sigma$ ] <sub>k</sub> <sup>t</sup>	Khoan hoặc đột	140	160
	[ $\tau$ ] <sub>c</sub> <sup>t</sup>	Khoan hoặc đột	90	100

Trường hợp mối ghép chịu tải trọng thay đổi đổi chiều, phải giảm bớt ứng suất cho phép lấy trong bảng bằng cách nhân với hệ số giảm  $\gamma$  :

$$\gamma = \frac{1}{a - b(F_{\min} / F_{\max})}$$

Trong đó

- $F_{\min}$  và  $F_{\max}$  : tải trọng nhỏ nhất và lớn nhất
- $a = 1$  và  $b = 0,3$  : đối với kết cấu bằng thép ít cacbon
- $a = 1,2$  và  $b = 0,8$  : đối với kết cấu bằng thép cacbon trung bình

### III. Tính mối ghép chắc kín

Trong mối ghép chắc kín phải đảm bảo độ bền và kín, phải thiết kế kết cấu sao cho dưới tác dụng của tải trọng, mối ghép không bị di chuyển tương đối. Muốn vậy, tải trọng tác dụng phải nhỏ hơn lực ma sát sinh ra giữa các tấm ghép. Để đơn giản hoá, người ta phải dựa vào thực nghiệm để tìm ra giới hạn cản trượt của mối ghép (qui ước: giới hạn cản trượt là sức cản không cho các

tấm ghép trượt đối với nhau, được tạo nên bởi đỉnh tán có tiết diện bằng một đơn vị diện tích).

Để đảm bảo mối ghép được kín, lực kéo ngang tác dụng lên một đơn vị diện tích thân đỉnh không vượt quá giới hạn cần trượt [ ]

Gọi  $F_1$  là lực do một đỉnh tán chịu:  $\frac{4F_1}{d^2}$

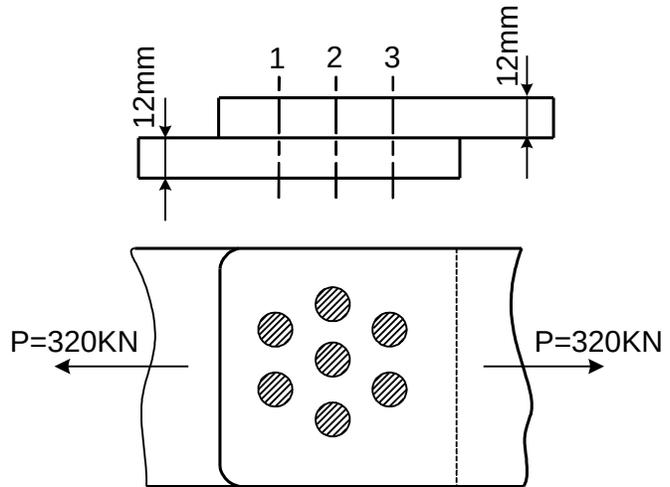
Mối ghép chắc kín được dùng nhiều trong nồi hơi.

Quan hệ kích thước và trị số [ ] của các kiểu ghép chắc kín trong bảng dưới đây. Trong đó  $p$  là áp suất nồi hơi (MPa),  $q$  là cường độ lực tác dụng trong mặt cắt dọc thành nồi,  $S$  là chiều dày tấm ghép.

Kiểu ghép	$q \frac{pD}{2}$ $N/mm$	Đường kính đỉnh tán $d$ (mm)	Bước đỉnh $t$ (mm)	$\frac{t}{d}$	[ ] (MPa)
Ghép chồng, 1 dãy đỉnh	Dưới 500	$S + 8$	$2d + 8$	0.60	60 – 70
Ghép chồng, 2 dãy đỉnh	350 – 950	$S + 8$	$2.6d + 15$	0.70	60 – 65
Ghép chồng, 3 dãy đỉnh	450 – 1350	$S + (6 \quad 8)$	$3d + 22$	0.75	55 – 60
Ghép giáp nối, 2 đệm, hai dãy đỉnh	450 – 1350	$S + (5 \quad 6)$	$3.5d + 15$	0.75	95 – 115
Ghép giáp nối, 2 đệm, ba dãy đỉnh	450 - 2300	$S + 5$	$6d + 20$	0.85	90 – 110

\* **BÀI TẬP :**

**Bài 1:** Kiểm tra bền mỗi ghép đinh tán, biết đinh tán và tấm thép đều làm bằng thép CT3 được khoan,  $P = 320kN$ , đường kính đinh tán  $d = 20mm$ , biết ứng suất cho phép  $[\sigma]_d = 320N/mm^2$ ,  $[\tau]_c = 140N/mm^2$  và  $[\sigma]_k = 160N/mm^2$ .



**Giải**

a) Kiểm nghiệm điều kiện bền dập của đinh tán:

$$\sigma_d = \frac{P_n}{F_d} = \frac{P}{n \cdot \delta \cdot d} = \frac{3,2 \cdot 10^5}{7 \cdot 12 \cdot 20} = 190N/mm^2$$

Vậy  $\sigma_d < [\sigma]_d = 320N/mm^2$  đinh tán thỏa mãn điều kiện bền dập.

b) Kiểm nghiệm điều kiện bền cắt của đinh tán:

$$\tau_c = \frac{P_n}{F_c} = \frac{P}{n \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{3,2 \cdot 10^5}{7 \frac{3,14 \cdot 20^2}{4}} = 146N/mm^2$$

Vậy  $\tau_c = 146N/mm^2 > [\tau]_c = 140N/mm^2$  đinh tán không thỏa mãn điều kiện bền cắt.

c) Kiểm tra an toàn về kéo tấm:

- Ứng suất phát sinh ở tiết diện 1 và 3:

$$\sigma_{k1,3}^t = \frac{P}{(b-2d) \cdot \delta} = \frac{3,2 \cdot 10^5}{(260-2 \cdot 20) \cdot 12} = 122N/mm^2$$

- Ứng suất phát sinh ở tiết diện 2:

$$\sigma_{k2}^t = \frac{5P}{7(b-3d) \cdot \delta} = \frac{5 \cdot 3,2 \cdot 10^5}{7(260-3 \cdot 20) \cdot 12} = 95,2N/mm^2$$

So sánh ứng suất  $\sigma_{k1,3}^t$  và  $\sigma_{k2}^t$  ta thấy  $\sigma_{k1,3}^t > \sigma_{k2}^t$ . Vậy tiết diện 1 và 3 là tiết diện nguy hiểm về phương diện kéo tấm.

Ta có  $\sigma_{k1,3}^t = 122N / mm^2 < [\sigma]_k^t = 160N / mm^2$

Tóm lại: mối ghép trên làm việc không an toàn vì không thỏa đk bền cắt đinh không đảm bảo.

## Bài 2: Ghép bằng hàn

### I. Khái niệm

Hàn là quá trình ghép các chi tiết bằng phương pháp làm nóng chảy cục bộ để dính các chi tiết lại với nhau. Phần kim loại nóng chảy sau khi nguội sẽ tạo thành mối hàn.

### II Các loại mối hàn

Mối ghép bằng hàn có nhiều ưu điểm nên được dùng rộng rãi trong các ngành công nghiệp. Có nhiều phương pháp hàn nên có thể được phân ra thành nhiều cách:

#### 1. Phân loại theo hình thức công nghệ

Mối ghép bằng hàn hồ quang điện, hàn xỉ điện và hàn hơi: làm kim loại nóng chảy và gắn lại với nhau, không cần lực ép chúng.

Mối ghép bằng hàn tiếp xúc: làm kim loại bị dẻo và phải dùng lực ép chúng lại.

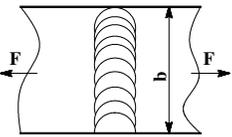
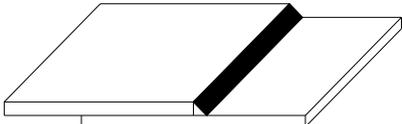
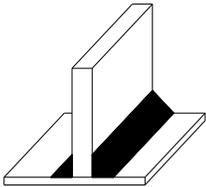
Mối ghép bằng hàn vẩy: không nung chảy kim loại mà chỉ nung chảy vật liệu hàn.

#### 2. Phân loại theo công dụng

Mối hàn chắc.

Mối hàn kín.

#### 3. Phân loại theo hình dạng kết cấu

Mối hàn giáp mối	Mối hàn chồng	Mối hàn góc
		

### III Ưu và nhược điểm

#### 1. Ưu điểm

Kết cấu ghép bằng hàn có khối lượng nhỏ hơn so với mối ghép bằng đinh tán. (Vì không có mũ đinh, không phải ghép chồng và dùng tấm đệm).

Kết cấu ghép bằng hàn tiết kiệm được nhiên liệu, công sức và giá thành.

Đảm bảo điều kiện bền và nguyên vật liệu được sử dụng hợp lý.

Dùng mối ghép bằng hàn có thể khắc phục các chi tiết máy bị gãy hỏng hoặc một phần chi tiết máy bị mài mòn.

Công nghệ hàn dễ tự động hoá.

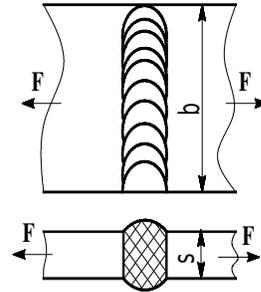
#### 2. Nhược điểm

Phụ thuộc vào trình độ người hàn.

Khó kiểm tra khuyết tật bên trong mối hàn.

#### 3. Khắc phục nhược điểm

Dùng công nghệ hàn tự động.



### IV. Kết cấu các mối hàn và cách tính độ bền chịu lực tác dụng

*Tính toán mối hàn có thể dựa vào hai trường hợp sau:*

Dựa vào tải trọng ngoài để tìm ra chiều dài hàn cần thiết, từ đó thiết kế kết cấu mối hàn. Khi thiết kế phải xuất phát từ điều kiện bền đều giữa mối hàn và các thành phần được ghép.

Dựa vào kết cấu để xác định kích thước mối hàn rồi kiểm nghiệm độ bền.

#### 1. Tính mối hàn giáp mối

Đối với các thành phần được hàn có bề dày lớn ( $8 < s < 16$ ), cần phải vát mép để có thể hàn thấu.

Khi chịu tác dụng của ngoại lực thì mối ghép có thể bị phá hỏng theo mối hàn, tại tiết diện chỗ miệng hàn hoặc tại tiết diện kề miệng hàn.

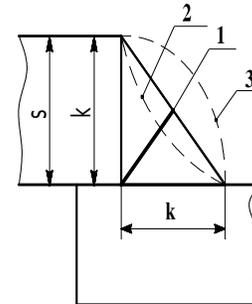
$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{s \cdot b} \quad [\sigma]'$$

**Trong đó:**

[ ]: Ứng suất kéo cho phép của mối ghép.

s : chiều dày

b : chiều rộng



## 2. Tính mối hàn chồng

Mối hàn chồng có tiết diện như hình bên. Hàn bình thường (1); Hàn lõm (2); Hàn lồi (3). Trong thực tế, mối hàn bình thường được dùng rộng rãi, mối hàn lồi gây tập trung ứng suất lớn, mối hàn lõm làm giảm ứng suất nhưng khó thực hiện.

Theo vị trí, mối hàn chồng có thể phân ra thành:

Mối hàn dọc: Phương của mối hàn song song với phương của lực.

Mối hàn ngang: Phương của mối hàn vuông góc với phương của lực.

Mối hàn xiên: Phương của mối hàn hợp một góc với phương của lực.

**2.1. Tính mối hàn dọc:** Tiết diện nguy hiểm là tiết diện phân giác của mặt cắt mối hàn. Để đơn giản hoá, điều kiện bền có dạng:

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{P}{2 \cdot k \cdot \cos 45^\circ \cdot l} = \frac{P}{2 \cdot l \cdot 0,7k} \quad [\tau]_c^h$$

l: chiều dài một mối hàn.

**2.2. Tính mối hàn ngang:** Theo thực nghiệm, mối hàn cũng bị phá hỏng theo tiết diện phân giác:

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{P}{2 \cdot k \cdot \cos 45^\circ \cdot l} = \frac{P}{2 \cdot l \cdot 0,7k} \quad [\tau]_c^h$$

**2.3. Tính mối hàn xiên theo điều kiện bền:**

$$\tau = \frac{P}{0,7 \cdot k \cdot l}$$

**2.4. Tính mối hàn hỗn hợp theo điều kiện bền**

$$\tau = \frac{P}{0,7 \cdot k \cdot L} \quad (L = 2l_d + l_n)$$

## **V. Độ bền của mối hàn và ứng suất cho phép**

### **1. Độ bền của mối hàn**

Các yếu tố ảnh hưởng đến độ bền của mối hàn:

Chất lượng của que hàn, vật liệu được hàn.

Trình độ kỹ thuật của người hàn.

Đặc tính của tải trọng (tải trọng tĩnh hay tải trọng thay đổi).

Một số chú ý để đảm bảo độ bền của mối hàn:

Không nên dùng mối hàn dọc để chịu tải trọng thay đổi. (vì tại mối hàn có tập trung ứng suất lớn).

Tránh hàn ở những chỗ tập trung ứng suất do hình dạng kết cấu tạo nên.

Mối hàn phải có chiều dày đồng đều nhau.

Không nên để kim loại nóng chảy tập trung ở chỗ giao nhau của các mối hàn.

### **2. Ứng suất cho phép**

Vì có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ bền của mối hàn và các công thức

tính toán lại có tính gần đúng và qui ước cho nên cần thiết phải sử dụng

thực nghiệm để xác định ứng suất cho phép.

Ứng suất cho phép của mối hàn chịu tải trọng tĩnh (tra bảng). Trường hợp này chỉ đúng đối với CTM hàn bằng thép ít và vừa cacbon hoặc thép ít hợp kim và trong trường hợp chất lượng mối hàn đạt các yêu cầu TCH.

PHƯƠNG PHÁP HÀN	Ứng suất cho phép của mối hàn		
	Kéo $[\sigma]_k^h$	Nén $[\sigma]_n^h$	Cắt $[\sigma]_c^h$
Hàn hồ quang bằng tay, dùng que hàn 342 và 375. Hàn khí.	0.9[ ]k	[ ]k	0.6[ ]k
Hàn hồ quang tự động dưới lớp thuốc hàn,			

hàn bằng tay, dùng que hàn 342A và 350A. hàn tiếp xúc giáp mối.	[ ]k	[ ]k	0.65[ ]k
Hàn tiếp xúc điểm			0.6[ ]k

[ ]<sub>k</sub>: Ứng suất kéo cho phép của kim loại được hàn khi chịu tải trọng tĩnh.  
Hệ số an toàn của các kết cấu kim loại [s] 1.2 – 1.8.

Ứng suất chịu tải trọng thay đổi: các ứng suất cho phép vẫn tra theo bảng trên nhưng phải nhân với hệ số giảm

$$\frac{1}{0.6K_t + 0.3} \quad \frac{1}{0.6K_t + 0.3 r}$$

Trong đó:  $\sigma_{max}$  và  $\sigma_{min}$  – Ứng suất cực đại và cực tiểu, có mang dấu của nó.

$K_t$  – Hệ số tập trung ứng suất thực tế.

$$r = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{min}}$$

### Hệ số tập trung ứng suất thực tế $K_t$ của mối hàn hồ quang

Các chi tiết máy hoặc mối hàn	$K_t$	
	Thép ít cacbon	Thép ít hợp kim
Chi tiết máy hàn giáp nối	1.5	1.9
Chi tiết máy hàn ngang	2.7	3.3
Chi tiết máy hàn dọc	3.5	4.5
Mối hàn giáp được hàn thấu	1.2	1.4
Mối hàn ngang	2.0	2.5
Mối hàn dọc	3.5	4.5
Mối hàn hỗn hợp	2.5	3.5

Hệ số tập trung ứng suất thực tế  $K_t$  của mối hàn tiếp xúc

			$K_t$
--	--	--	-------

Loại vật liệu	Trạng thái kim loại	Chiều dày mm	Hàn để liên kết		Hàn chịu tải trọng chính	
			Hàn điểm	Hàn đường	Hàn điểm	Hàn đường
Thép 10	Thường hoá	3+3	1.4	1.25	7.5	5
Thép 30XTCA	Ram	1.5+1.5	1.35	-	12	-
Hợp kim titan BT1	-	1.5+1.5	2.0	1.3	10	5
Hợp kim nhôm A16T	-	1.5+1.5	2.0	1.3	5	2.25
<i>Hàn tiếp xúc giáp mối</i>						
Thép cacbon			K <sub>t</sub> 1.2			
Thép hợp kim và hợp kim nhôm			K <sub>t</sub> 1.2 1.5			