

CHƯƠNG 6

UỐN PHẪNG NHỮNG THANH THẲNG

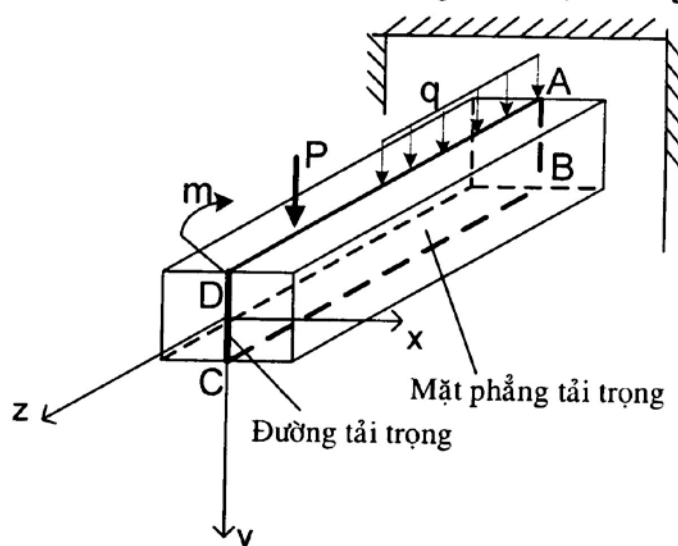
6.1. Định nghĩa và phân loại:

6.1.1. Định nghĩa:

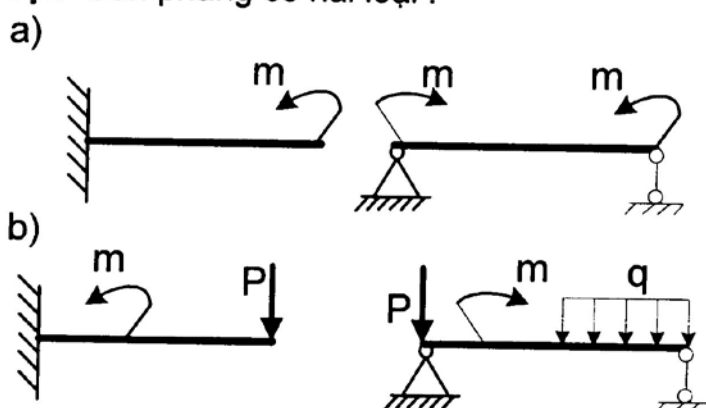
Thanh chịu uốn phẳng khi :

- * Ngoại lực tác dụng có thể là lực tập trung, lực phân bố hoặc mômen tập trung. Mặt phẳng chứa các lực hoặc mômen đó gọi là mặt phẳng tải trọng (mặt phẳng ABCD).
- * Giao tuyến giữa mặt phẳng tải trọng và mặt cắt ngang của thanh là đường tải trọng (đường CD).
- * Thanh chủ yếu chịu uốn được gọi là dầm.
- * Trục của dầm sau khi bị uốn cong vẫn nằm trong một mặt phẳng quán tính chính trung tâm. Mặt phẳng tải trọng trùng với mặt phẳng đối xứng của dầm, tức đường tải trọng trùng với trục đối xứng của mặt cắt ngang.

Hình 6-1



6.1.2. Phân loại: Uốn phẳng có hai loại :



Hình 6-2

* Uốn phẳng thuần túy : ngoại lực là các mômen uốn hình 6-2a.

* Uốn ngang phẳng : ngoại lực là các mômen uốn và các lực hình 6-2b.

6.2. Nội lực và biểu đồ nội lực :

6.2.1. Nội lực :

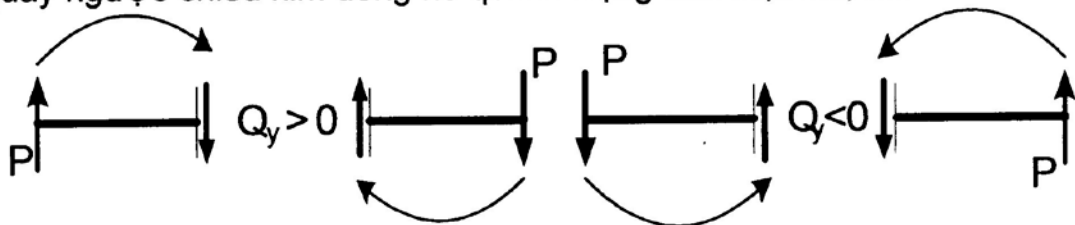
Nội lực của dầm uốn phẳng gồm lực cắt Q và mômen uốn M

- Mặt phẳng tải trọng là mặt phẳng thẳng đứng thì lực cắt là Q_y và mômen uốn M_x .
- Mặt phẳng tải trọng là mặt phẳng nằm ngang thì lực cắt là Q_x và mômen uốn M_y .

a) Lực cắt Q :

Quy ước dấu :

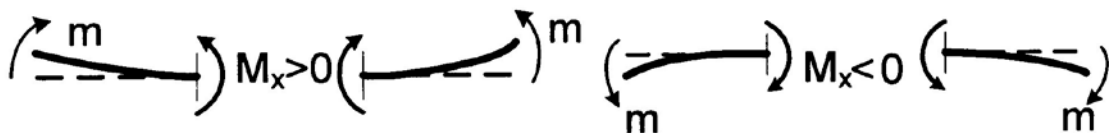
Lực cắt Q có dấu + nếu ngoại lực có khuynh hướng làm cho phần dầm đang xét quay cùng chiều kim đồng hồ quanh trọng tâm mặt cắt; lực cắt Q có dấu - nếu ngoại lực có khuynh hướng làm cho phần dầm đang xét quay ngược chiều kim đồng hồ quanh trọng tâm mặt cắt, hình 6-3.



Hình 6-3

b) Mômen uốn M :

Quy ước dấu : mômen uốn được coi là dương nếu nó làm cho thớ dưới trục dầm bị kéo, tức là làm căng các thớ về phía dương của trục y ; mômen uốn được coi là âm nếu nó làm cho thớ dưới trục dầm bị nén, hình 6-4.



Hình 6-4

6.2.2. Biểu đồ nội lực :

Là đồ thị biểu diễn sự biến thiên của lực cắt và mômen uốn dọc theo trục của dầm.

Vẽ biểu đồ nội lực theo các bước sau:

- Xác định phản lực liên kết. Nếu dầm có liên kết ngàm một đầu còn đầu kia tự do thì không cần tìm phản lực liên kết tại ngàm mà chỉ cần cắt từ đầu tự do cắt vào và xét cân bằng phần không có ngàm.
- Chia dầm thành nhiều đoạn, sao cho trên mỗi đoạn nội lực biến thiên liên tục, tức là không có sự thay đổi đột ngột. Muốn vậy cần lấy điểm đặt các lực tập trung, ngẫu lực, điểm đầu và cuối các tải trọng phân bố làm

ranh giới phân chia các đoạn.

- Viết biểu thức xác định lực cắt Q_y và mômen uốn M_x cho từng đoạn, xác định trị số Q_y và M_x tại đầu và cuối đoạn.

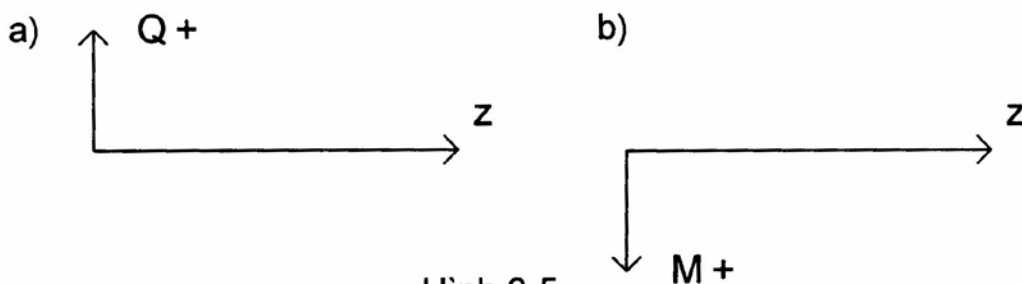
- Vẽ đồ thị Q và M cho từng đoạn, biểu đồ Q vẽ trên biểu đồ M .

- Lấy trục z song song với trục thanh làm chuẩn.

- **Quy ước vẽ đồ thị :**

+ Biểu đồ lực cắt hệ trục chọn theo hình 6-5a, chiều dương hướng lên trên, tức là các giá trị Q dương đặt ở phía trên trục z và ngược lại các giá trị Q âm đặt ở phía dưới trục z .

+ Biểu đồ mômen uốn hệ trục chọn theo hình 6-5b, trục M có chiều dương hướng xuống dưới, tức là các giá trị M dương đặt ở phía dưới trục z nói cách khác biểu đồ M được vẽ trên các thớ bị căng của trục.



Hình 6-5

Ví dụ 6-1:

Vẽ biểu đồ nội lực cho dầm có sơ đồ chịu lực (Hình 6-6)

Giải:

1- Phản lực liên kết tại 2 gối A, B:

$$\sum m_A = P \cdot 1 - q \cdot 4 \cdot 1 - m + Y_B \cdot 4 = 0 \quad (1)$$

$$\sum m_B = P \cdot 5 - Y_A \cdot 4 + q \cdot 4 \cdot 3 - m = 0 \quad (2)$$

$$\text{Từ (1) và (2)} \Rightarrow Y_A = 6\text{N}; Y_B = 4\text{N}.$$

2- Phân đoạn dầm, viết biểu thức nội lực

trong từng đoạn dầm, vẽ biểu đồ nội lực (Hình 6-7)

+ Đoạn CA :

Mặt cắt 1-1 (xét cân bằng phần trái)

$$0 \leq z_1 \leq 1\text{m}$$

$$Q_y = -P - q \cdot z_1 = -2 - 2z_1$$

$$\text{Mặt cắt C } (z_1 = 0) : Q_y = -2\text{N}$$

$$\text{Mặt cắt A } (z_1 = 1\text{m}) : Q_y = -4\text{N}$$

$$M_x = -P \cdot z_1 - q \cdot z_1 \frac{z_1}{2} = -2z_1 - \frac{z_1^2}{2}$$

Ở đây M_x là hàm bậc 2 của z nên biểu đồ M_x là đường parabol bậc 2, do tải phân bố q hướng xuống nên bề lõm parabol hướng lên. Để vẽ biểu đồ cần phải tính mômen uốn ở hai mặt cắt đầu và cuối đoạn.

$$\text{Mặt cắt C } (z_1 = 0) : M_x = 0$$

$$\text{Mặt cắt A } (z_1 = 1\text{m}) : M_x = -3\text{ Nm}$$

+Đoạn AD :

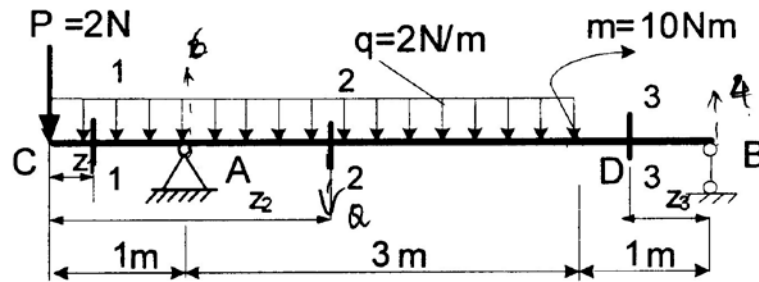
Mặt cắt 2-2 (xét cân bằng phần trái) : $1\text{m} \leq z_2 \leq 4\text{m}$

$$Q_y = -P - q \cdot z_2 + Y_A = 4 - 2z_2$$

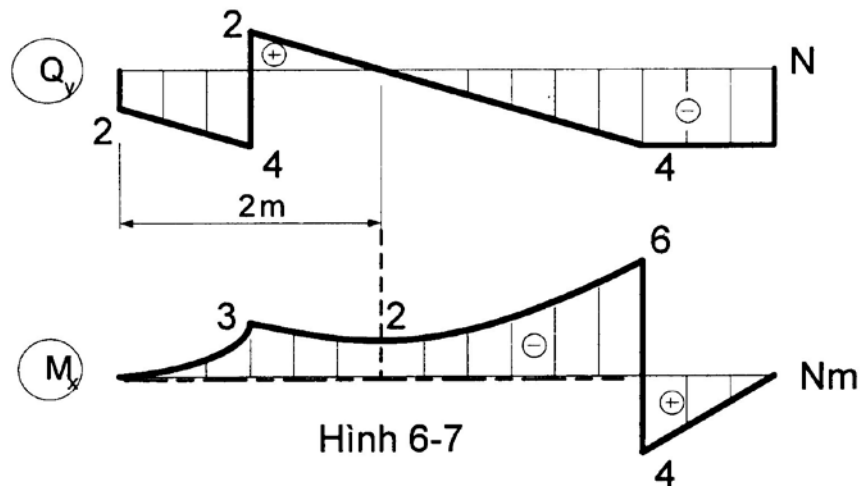
Mặt cắt A ($z_2 = 1\text{m}$) : $Q_y = 2\text{ N}$.

Mặt cắt D ($z_2 = 4\text{m}$) : $Q_y = 4\text{ N}$

$$M_x = -P \cdot z_2 - q \cdot z_2 \frac{z_2}{2} + Y_A (z_2 - 1) = -z_2^2 + 4z_2 - 6$$



Hình 6-6



Hình 6-7

Ở đây M_x cũng là hàm bậc 2 của z nên biểu đồ M_x là đường parabol bậc 2, do tải phân bố q hướng xuống nên bề lõm parabol cũng hướng lên.

Nhưng biểu đồ Q_y trong đoạn này cắt đường chuẩn, vì vậy để vẽ biểu đồ chính xác thì ngoài việc tính mômen uốn ở hai mặt cắt đầu và cuối đoạn ta cần phải tìm trị số mômen uốn cực trị trong đoạn này bằng cách cho biểu thức $Q_y = 0$ để tìm tọa độ mặt cắt sau đó thế tọa độ mặt cắt này vào biểu thức M_x chúng ta sẽ có $M_{x\text{CD}}$.

Mặt cắt A ($z_2 = 1\text{m}$) : $M_x = -3\text{ Nm}$

Mặt cắt D ($z_2 = 4\text{m}$) : $M_x = -6\text{ Nm}$

Tại mặt cắt có : $Q_y = 4 - 2z_2 = 0 \Rightarrow z_2 = 2\text{m}$

$M_{x\text{CD}} (z_2 = 2\text{m}) = -2\text{ Nm}$

+Đoạn BD :

Mặt cắt 3-3 (xét cân bằng phần phải) : $0 \leq z_3 \leq 1\text{m}$

$$Q_y = -Y_B = -4\text{N}$$

$$M_x = Y_B \cdot z_3 = 4 \cdot z_3$$

Mặt cắt B ($z_3 = 0$) : $M_x = 0$.

Mặt cắt D ($z_3 = 1\text{m}$) : $M_x = 4\text{Nm}$

Căn cứ vào các số liệu đã tính cho từng đoạn ta vẽ được biểu đồ lực cắt Q_y và mômen uốn M_x (Hình 6-7)

Nhận xét :

1/ Tại mặt cắt ngang có lực tập trung thì biểu đồ Q có bước nhảy đúng bằng trị số của lực tập trung. Nếu đi từ trái sang phải thì hướng nhảy trùng với hướng của lực tập trung, còn biểu đồ M thì gãy khúc.

2/ Tại mặt cắt ngang có mômen tập trung thì biểu đồ Q không có gì thay đổi, biểu đồ M có bước nhảy đúng bằng trị số của mômen tập trung. Đi từ trái sang phải nếu mômen tập trung quay thuận chiều kim đồng hồ thì bước nhảy hướng xuống, mômen tập trung quay ngược chiều kim đồng hồ thì bước nhảy hướng lên.

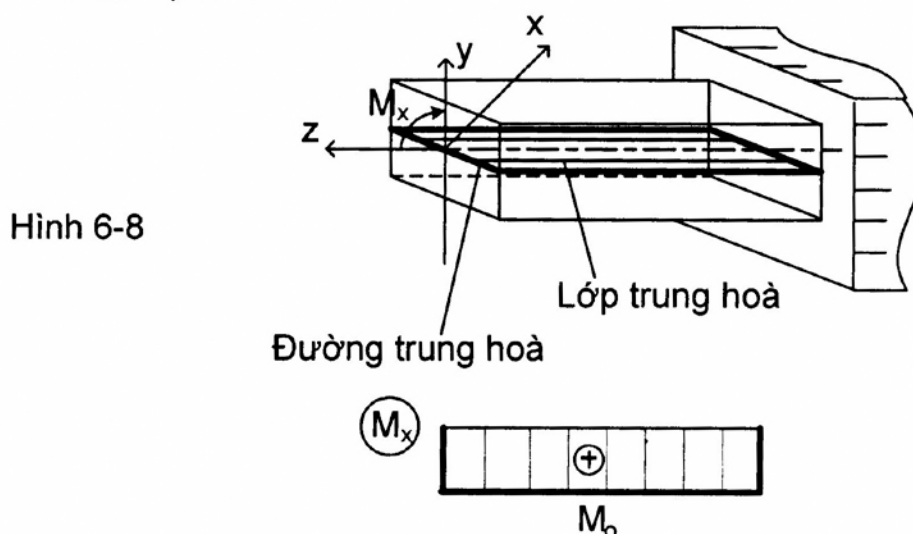
3/ Trên đoạn dầm không có lực phân bố đều, biểu đồ Q song song với đường chuẩn, biểu đồ M là đường thẳng xiên. Biểu đồ Q trùng với đường chuẩn thì biểu đồ M song song với đường chuẩn.

4/ Trên đoạn dầm có lực phân bố đều, biểu đồ Q là đường thẳng xiên, nếu đi từ trái sang phải thì hướng xiên trùng với hướng của tải phân bố. Ở đoạn này biểu đồ M là đường Parabol bậc 2, nếu q hướng xuống thì bề lõm của Parabol hướng lên và ngược lại. Tại mặt cắt có $Q = 0$ và đổi dấu thì M cực đại.

6.3. Dầm chịu uốn thuần túy phẳng:

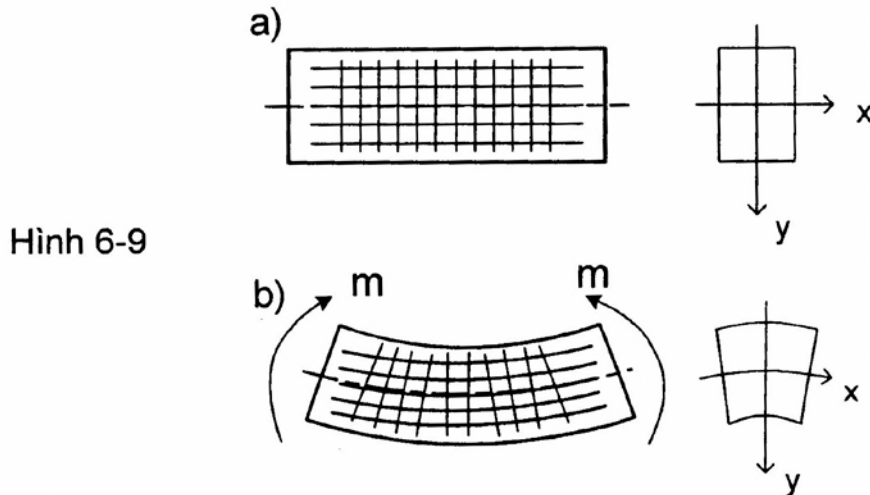
6.3.1. Định nghĩa:

Một dầm chịu uốn thuần túy phẳng khi trên mặt cắt ngang chỉ có một thành phần nội lực là mômen uốn nằm trong mặt phẳng quán tính chính trung tâm (M_x ; M_y), hình 6-8.



6.3.2. Ứng suất trên mặt cắt ngang:

a) Quan sát mẫu thí nghiệm (Hình 6-9):



Hình 6-9

Dầm chịu uốn thuần túy phẳng có mặt cắt ngang hình chữ nhật. Trước khi dầm chịu uốn, ta vạch lên mặt bên những đường thẳng song song với trục tượng trưng cho các thớ dọc và những đường thẳng vuông góc với trục biểu thị các mặt cắt ngang. Sau khi dầm chịu uốn ta nhận thấy :

- + Trục của dầm bị cong.
- + Các vạch song song với trục bị cong nhưng vẫn song song với trục.
- + Các vạch vuông góc với trục vẫn thẳng và vuông góc với trục dầm đã bị uốn cong.
- + Các góc vuông tại giao điểm các vạch dọc và ngang vẫn được duy trì là vuông.

b) Các giả thuyết :

Từ những nhận xét trên ta đưa ra hai giả thuyết để làm cơ sở tính toán:

- Giả thuyết mặt cắt ngang phẳng và giả thuyết về các thớ dọc như chương kéo – nén đúng tâm.
- Các thớ dọc không tách ra cũng không ép nhau. Các thớ ở phần lõm co lại, các thớ ở phần lồi dãn ra.

Phân cách các thớ co và thớ dãn là lớp trung hòa. Giao tuyến của lớp trung hòa với mặt cắt ngang gọi là đường trung hòa, đường trung hòa đi qua trọng tâm của mặt cắt ngang.

Từ các giả thuyết trên, xét một phân tố hình vuông sau biến dạng các góc vẫn giữ vuông. Vậy phân tố không có biến dạng trượt mà chỉ có biến dạng dọc, nghĩa là trên mặt cắt ngang chỉ phát sinh ứng suất pháp σ .

c) Công thức tính ứng suất pháp trên mặt cắt ngang

$$\sigma_z = \frac{M_x}{J_x} \times y \quad (6-1)$$

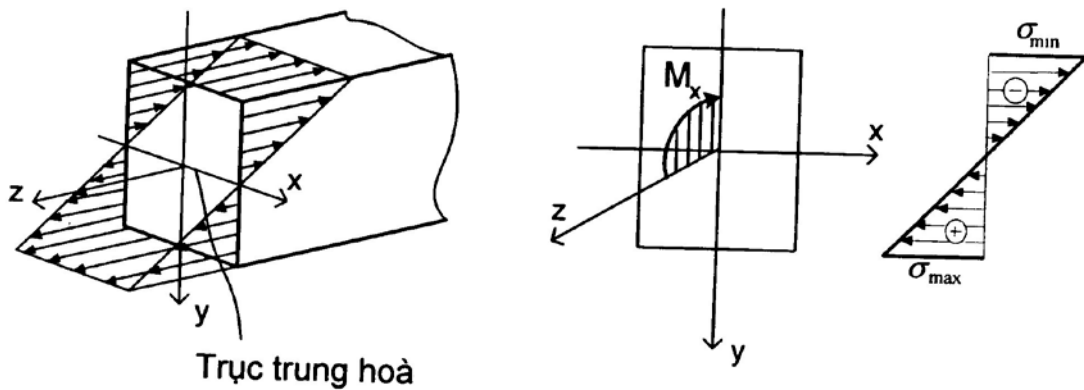
Trong đó: M_x – là trị số đại số của mômen uốn tại mặt cắt ngang chứa điểm cần tính ứng suất

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

y : khoảng cách từ điểm tính ứng suất đến trục trung hòa.

Như vậy $\sigma_z > 0$ nếu điểm nằm ở vùng chịu kéo của mặt cắt; $\sigma_z < 0$ nếu điểm nằm ở vùng chịu nén của mặt cắt. Biểu thức (6-1) cho chúng ta thấy tại mặt cắt ngang nhất định thì M_x và J_x không đổi, do đó σ_z tỷ lệ bậc nhất với y .

Tại đường trung hoà ($y = 0$) thì $\sigma_z = 0$, càng xa đường trung hoà (y tăng dần) thì σ_z lớn dần theo quy luật đường thẳng và tại các thớ biên σ_z lớn nhất. Ở hai phía của đường trung hoà σ_z trái dấu nhau (Hình 6-10), đây chính là biểu đồ phân bố ứng suất pháp trên mặt cắt ngang.



Hình 6-10

• **Ứng suất kéo lớn nhất :**

$$\sigma_{zmax} = \frac{M_x}{J_x} \times y_{max}^k = \frac{M_x}{W_x^k} \quad (6-2)$$

$$W_x^k = \frac{J_x}{y_{max}^k}$$

Trong đó y_{max}^k là toạ độ của điểm biên chịu kéo có trị số lớn nhất.

W_x : môđun chống uốn của mặt cắt ngang đối với trục x, phụ thuộc vào hình dáng và kích thước của mặt cắt ngang. Thứ nguyên: (chiều dài)³.

• **Ứng suất nén lớn nhất :**

$$\sigma_{zmin} = \frac{M_x}{J_x} \times y_{max}^n = \frac{M_x}{W_x^n} \quad (6-3)$$

$$W_x^n = \frac{J_x}{y_{max}^n}$$

Trong đó y_{max}^n là toạ độ của điểm biên chịu nén có trị số lớn nhất.

Nhận xét: Nếu trục trung hòa là một trục đối xứng (mặt cắt hình chữ nhật, tròn, chữ I...) thì: $\sigma_{z\max} = \sigma_{z\min}$

- Môđun chống uốn của các mặt cắt ngang thường gặp:

+ Mặt cắt ngang hình chữ nhật (Hình 6-11):

$$J_x = \frac{bh^3}{12} ; \quad W_x = \frac{bh^2}{6}$$

$$J_y = \frac{hb^3}{12} ; \quad W_y = \frac{hb^2}{6}$$

+ Mặt cắt ngang hình tròn, đường kính D (Hình 6-12)

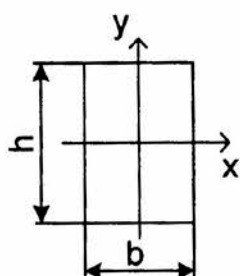
$$J_x = J_y = \frac{\pi D^4}{64} \approx 0,05D^4 ; \quad W_x = W_y = \frac{\pi D^3}{32} \approx 0,1D^3$$

+ Mặt cắt hình vành khăn (Hình 6-13):

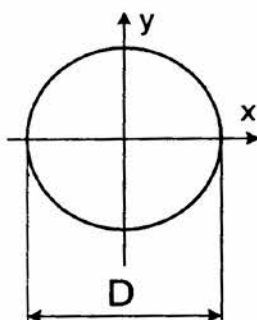
Đường kính ngoài D, đường kính trong d. Tỷ số: $\alpha = \frac{d}{D}$

$$J_x = J_y = \frac{\pi D^4}{64} (1 - \alpha^4) \approx 0,05D^4(1 - \alpha^4)$$

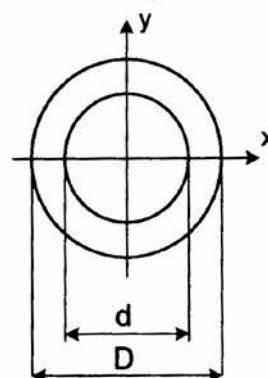
$$W_x = W_y = \frac{\pi D^3}{32} (1 - \alpha^4) \approx 0,1D^3(1 - \alpha^4)$$



Hình 6-11



Hình 6-12



Hình 6-13

6.3.3. Điều kiện bền :

Trạng thái ứng suất tại điểm nguy hiểm là trạng thái ứng suất đơn :

- Vật liệu dẻo :

$$|\sigma_z|_{\max} = \frac{M_x}{W_x} \leq [\sigma] \quad (6-4)$$

$$\bullet \text{ Vật liệu giòn : } \sigma_{z\max} = \frac{M_x}{W_x^k} \leq [\sigma]_k \quad (6-5)$$

$$\sigma_{zmin} = \frac{M_x}{W_x^n} \leq [\sigma]_n \quad (6-6)$$

Vị trí mặt cắt ngang có $|\sigma_z|_{max}$:

+ Nếu dầm có mặt cắt ngang không thay đổi và vật liệu dẻo thì lấy mặt cắt ngang có M lớn nhất.

+ Nếu dầm có mặt cắt ngang thay đổi và vật liệu dẻo thì tìm mặt cắt có $|\sigma_z|_{max}$.

+ Nếu dầm làm bằng vật liệu giòn thì phải thỏa cả hai biểu thức kéo (6-5) và nén (6-6).

Từ điều kiện bền, chúng ta suy được hình dáng hợp lý khi dầm chịu uốn thuần túy phẳng như sau :

• Dầm làm bằng vật liệu dẻo $[\sigma]_k = [\sigma]_n = [\sigma]$, chọn mặt cắt ngang có trục trung hòa cũng là trục đối xứng.

• Dầm làm bằng vật liệu giòn : $[\sigma]_k < [\sigma]_n$ nên $y_{max}^k < y_{max}^n$; suy ra hình dáng hợp lý của mặt cắt ngang là mặt cắt không đối xứng qua trục trung hòa và phải bố trí sao cho thỏa mãn điều kiện trên.

6.3.4. Ba bài toán cơ bản :

a) Kiểm tra bền:

Theo công thức (6-4), (6-5), và (6-6) .

b) Chọn kích thước mặt cắt ngang

$$W_x \geq \frac{M_x}{[\sigma]}$$

c) Tìm tải trọng cho phép :

$$M_{xmax} \leq W_x \cdot [\sigma]$$

Ví dụ 6-2:

Trên mặt cắt ngang của dầm chữ T (Hình 6-14) chịu mômen uốn $M_x = 7200 \text{ Nm}$, vật liệu của dầm có $[\sigma]_k = 20 \text{ MN/m}^2$, $[\sigma]_n = 30 \text{ MN/m}^2$. Kiểm tra bền cho dầm biết rằng $J_x = 5312,5 \text{ cm}^4$.

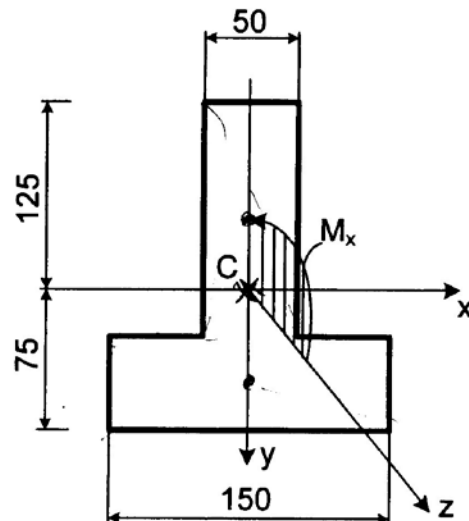
Giải:

Chúng ta có:

$$y_{max}^k = 75 \text{ mm} = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

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

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



Hình 6-14

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

Do đó

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x^k} = \frac{7200}{708,3 \cdot 10^{-6}} = 10,17 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$= 10,17 \text{ MN/m}^2 < [\sigma]_k = 20 \text{ MN/m}^2$$

$$\sigma_{\min} = \frac{M_x}{W_x^n} = \frac{7200}{425 \cdot 10^{-6}} = 16,95 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$= 16,95 \text{ MN/m}^2 < [\sigma]_k = 30 \text{ MN/m}^2$$

Vậy dầm thỏa bền.

6.4. Dầm chịu uốn ngang phẳng :

6.4.1. Định nghĩa:

Dầm chịu uốn ngang phẳng khi trên mặt cắt ngang của nó có 2 thành phần nội lực là lực cắt Q và mômen uốn M . Các thành phần nội lực này đều nằm trong mặt phẳng đối xứng của mặt cắt ngang (Hình 6-1).

Mômen uốn M sinh ra ứng suất pháp, ứng suất này xét ở phần uốn thuần túy phẳng. Còn lực cắt Q sinh ra ứng suất tiếp τ , ứng suất tiếp phân bố trên mặt cắt ngang song song cùng chiều với lực cắt Q .

6.4.2. Ứng suất pháp trên mặt cắt ngang :

Giống như uốn thuần túy phẳng

$$\sigma_z = \frac{M_x}{J_x} \times y \quad (6-7)$$

6.4.3. Ứng suất tiếp trên mặt cắt ngang :

Ứng suất tiếp của điểm bất kỳ trên mặt cắt ngang của dầm được tính theo công thức sau:

$$\tau_{zy} = \tau_{yz} = \frac{Q_y \cdot S_x^c}{J_x \cdot b^c} \quad (6-8)$$

Q_y : lực cắt tại mặt cắt đang xét.

S_x : mômen tĩnh đối với trục x của phần diện tích mặt cắt ngang bị cắt bởi mặt phẳng song song với trục x , vuông góc với Q_y và đi qua điểm C cần tính ứng suất.

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

b^c : bề rộng mặt cắt ngang bị cắt.

Mặt cắt ngang hình chữ nhật:

$$\tau_{\max} = \frac{3}{2} \frac{Q_y}{F} \quad (6-9)$$

Mặt cắt ngang hình tròn:

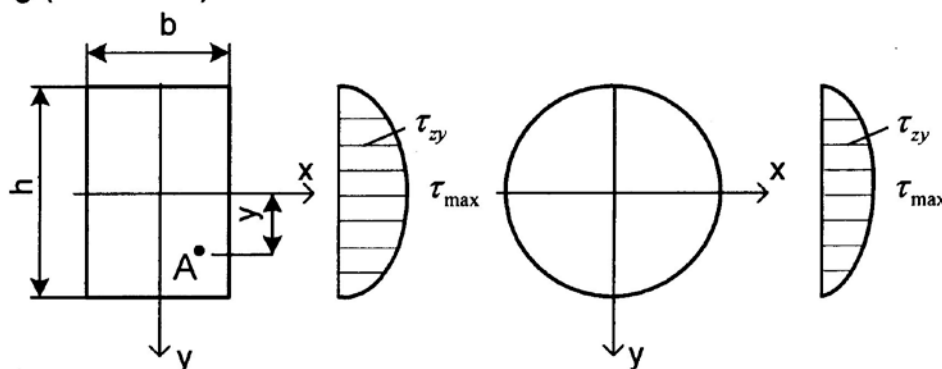
$$\tau_{\max} = \frac{4}{3} \frac{Q_y}{F} \quad (6-10)$$

Trong đó F là tiết diện mặt cắt ngang:

$$\text{hình chữ nhật: } F = b \cdot h; \text{ hình tròn } F = \frac{\pi D^2}{4}$$

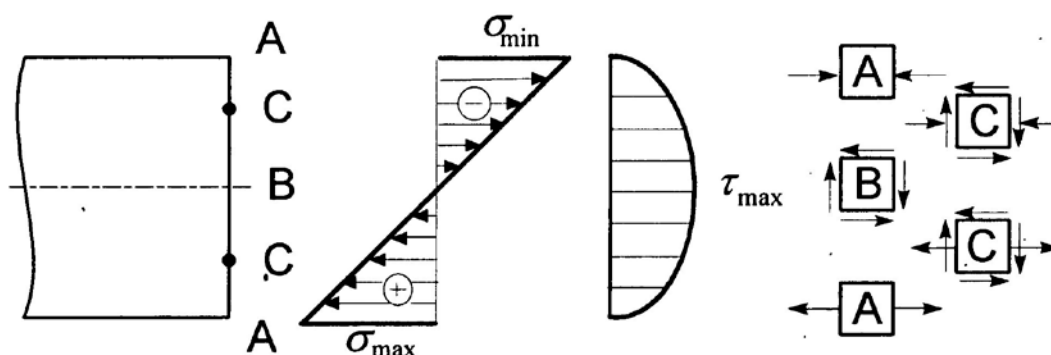
Theo công thức (6-8) chúng ta thấy những điểm nằm trên cùng một đường song song với trục trung hoà ứng suất tiếp có trị số bằng nhau. Vì vậy khi xét sự phân bố của ứng suất tiếp trên mặt cắt ngang chúng ta chỉ cần xét sự phân bố của ứng suất tiếp trên một đường nằm trong mặt cắt và vuông góc với trục trung hoà.

Biểu đồ phân bố ứng suất tiếp trên mặt cắt ngang hình chữ nhật và hình tròn là những parabol bậc hai, những điểm nằm trên trục trung hoà ($y = 0$) có ứng suất tiếp lớn nhất, những điểm nằm trên mép mặt cắt hình chữ nhật ($y = \frac{h}{2}$) và hình tròn ($y = \frac{D}{2}$) có ứng suất tiếp bằng không (Hình 6-15):



Hình 6-15

6.4.4. Điều kiện bền:



Hình 6-16

Để kiểm tra bền cho dầm chịu uốn ngang phẳng, chúng ta nhận thấy do mặt cắt ngang có cả σ và τ (Hình 6-16) nên việc tìm vị trí nguy hiểm và viết điều kiện bền phức tạp.

Dựa vào biểu đồ phân bố σ và τ dọc theo chiều cao ta thấy có 3 loại trạng thái ứng suất :

- Các điểm ở ngoài mép (các điểm A) chọn tại mặt cắt có $|M_x|_{\max}$: ứng suất tiếp bằng không, chỉ có ứng suất pháp nên trạng thái ứng suất của các phân tố tại A là trạng thái đơn như uốn thuần túy.
- Các điểm ở trên trục trung hòa (các điểm B) chọn tại mặt cắt có $|Q_y|_{\max}$: ứng suất pháp $\sigma_z = 0$, chỉ có ứng suất tiếp nên phân tố ở trạng thái ứng suất trượt thuần túy. Điều kiện bền là :

+ Dầm làm bằng vật liệu dẻo :

Theo thuyết bền ứng suất tiếp lớn nhất (thuyết bền 3) :

$$\tau_{\max} \leq [\tau] = \frac{[\sigma]}{2}$$

Theo thuyết bền thế năng biến đổi hình dáng (thuyết bền 4) :

$$\tau_{\max} \leq [\tau] = \frac{[\sigma]}{\sqrt{3}}$$

+ Dầm làm bằng vật liệu giòn: dùng thuyết bền Mohr

- Những điểm có cả σ và τ (các điểm C ở mặt cắt có $|M_x|$ và $|Q_y|$ cùng lớn) trạng thái ứng suất là phẳng đặc biệt, kiểm tra bền theo σ_{td} :

$$\sigma_{td\max} \leq [\sigma]$$

σ_{td} được tính theo các thuyết bền :

- ♦ Theo thuyết bền ứng suất tiếp lớn nhất (thuyết bền 3) :

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma_z^2 + 4\tau^2}$$

- ♦ Theo thuyết bền thế năng biến đổi hình dáng (thuyết bền 4) :

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau^2}$$

- ♦ Theo thuyết bền Mohr (dùng cho vật liệu giòn) : $\alpha = \frac{[\sigma]_k}{[\sigma]_n}$

$$\sigma_{td} = \frac{1-\alpha}{2} \sigma_z + \frac{1+\alpha}{2} \sqrt{\sigma_z^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma]$$

6.4.5. Kiểm tra bền uốn ngang phẳng cho thép định hình chữ I (Hình 6-17):

- Khi kiểm tra bền cho trạng thái ứng suất đơn ta chọn mặt cắt có $M_{x\max}$ hoặc $Q_{y\max}$.
- Khi kiểm tra bền cho trạng thái ứng suất phức tạp thì chọn mặt cắt có M_x và Q_y cùng lớn.

$$\tau_A = \frac{Q_y}{J_x \cdot d} \left(S_x - \frac{d}{2} y^2 \right) \quad (6-11)$$

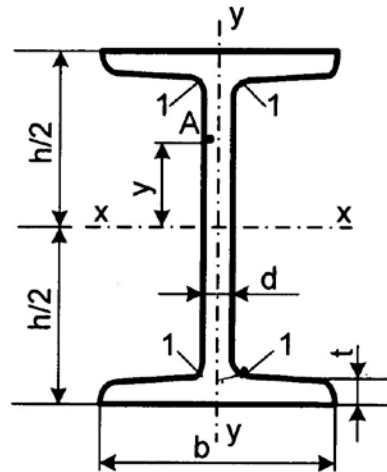
Nếu $y = 0$ (điểm trên trục trung hòa)

$$\tau_{\max} = \frac{Q_y}{J_x \cdot d} S_x \quad (6-12)$$

Tại điểm tiếp giáp giữa lòng và đế (điểm số 1):

$$\sigma_1 = \frac{M_x}{J_x} \left(\frac{h}{2} - t \right) ; \quad \tau_1 = \frac{Q_y}{J_x \cdot d} \left[S_x - \frac{d}{2} \left(\frac{h}{2} - t \right)^2 \right] \quad (6-13)$$

Hình 6-17



6.4.6. Ba bài toán cơ bản

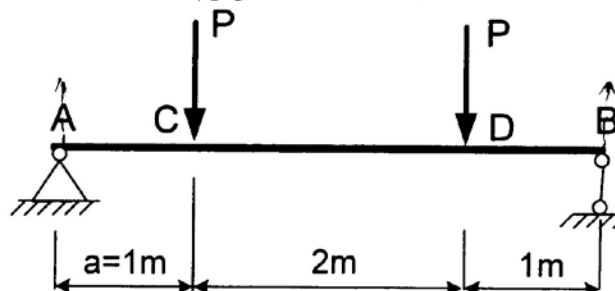
- + Bài toán cơ bản 1: kiểm tra bền đã trình bày ở trên.
- + Bài toán cơ bản 2: chọn kích thước mặt cắt ngang:
 - Dựa vào phân bố chịu trạng thái ứng suất đơn ($\sigma_{z\max}$) để sơ bộ chọn kích thước ban đầu cho dầm.
 - Tiến hành kiểm tra bền ở các phân tố khác như đã nói. Nếu điều kiện bền đối với các phân tố chịu trạng thái ứng suất khác không đạt thì ta thay đổi kích thước mặt cắt.
- + Bài toán cơ bản 3: định tải trọng cho phép.

Ví dụ 6-3

Xác định tải trọng cho phép $[P]$ của dầm chịu lực theo sơ đồ hình 6-18a trong 2 trường hợp:

- a) Dầm làm bằng thép chữ I số 10 đặt đứng.
 - b) Dầm làm bằng thép tròn có đường kính $D = 10\text{cm}$.
- Vật liệu của dầm có: $[\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2$, $[\tau] = 8 \text{ kN/cm}^2$.

Hình 6-18a



Giải:

Chọn đơn vị của tải trọng P là kN

Phản lực liên kết tại 2 gối :

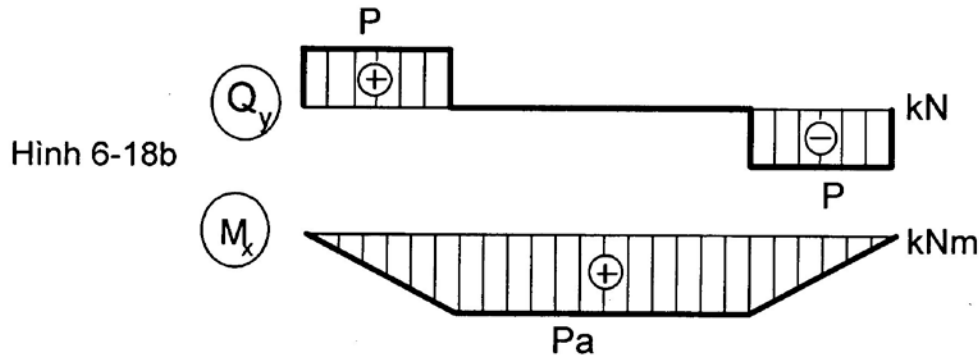
$$\sum m_A = -P \cdot a - P \cdot 3a + Y_B \cdot 4a = 0 \quad (1)$$

$$\sum m_B = -Y_A \cdot 4a + P \cdot 3a + P \cdot a = 0 \quad (2)$$

Từ (1) và (2) suy ra: $Y_A = Y_B = P$

Biểu đồ nội lực Q_y và M_x được vẽ như hình 6-18b

Mặt cắt nguy hiểm có: $Q_y = P$; $M_x = P \cdot a$



a) Dầm làm bằng thép chữ I

Thép I số 10 có: $t = 0,72\text{cm}$; $d = 0,45\text{cm}$;

$$I_x = 198\text{cm}^4; W_x = 39,7\text{cm}^3; S_x = 23\text{cm}^3.$$

Điều kiện bền ứng suất pháp cực đại:

$$\sigma_{z\max} = \frac{M_{x\max}}{W_x} = \frac{P \cdot a}{W_x} \leq [\sigma]$$

$$\Rightarrow P \leq \frac{W_x [\sigma]}{a} = \frac{39,7 \times 16}{1 \times 10^2} = 6,35 \text{ kN}$$

$$\text{Tạm chọn } [P] = 6,35 \text{ kN}$$

Với P đã chọn chúng ta kiểm tra bền lại các phân tố ở trạng thái ứng suất trượt thuần túy và trạng thái ứng suất phẳng đặc biệt.

- Phân tố ở trạng thái ứng suất trượt thuần túy: ở trục trung hoà của mặt cắt có :

$$|Q_y|_{\max} = P = 6,35 \text{ kN}$$

$$\tau_{\max} = \frac{|Q_y|_{\max} \times S_x}{J_x \times d} = \frac{6,35 \times 23}{198 \times 0,45} = 1,64 \text{ kN/cm}^2$$

$$< [\tau] = 8 \text{ kN/cm}^2 \text{ phân tố này thoả bền}$$

- Phân tố ở trạng thái ứng suất phẳng đặc biệt: ở nơi tiếp giáp giữa lòng và đế tại mặt cắt có:

$$|Q_y| = P = 6,35 \text{ kN} ; M_x = P \cdot a = 6,35 \cdot 100 = 635 \text{ kNcm}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_x}{J_x} \left(\frac{h}{2} - t \right) = \frac{635}{198} (5 - 0,72) = 13,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_1 = \frac{Q_y}{J_x \times d} \left[S_x - \frac{d}{2} \left(\frac{h}{2} - t \right)^2 \right] = \frac{6,35}{198 \times 0,45} \left(23 - \frac{0,45}{2} (5 - 0,72)^2 \right) = 1,35 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Theo thuyết bền 3 : } \sigma_{td} = \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau_1^2} = \sqrt{(13,73)^2 + 4(1,35)^2} = 14 \text{ kN/cm}^2 < [\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2$$

Vậy tải trọng $[P] = 6,35 \text{ kN}$

b) Thép tròn có đường kính $D = 10 \text{ cm}$

Điều kiện bền ứng suất pháp cực đại:

$$\sigma_{z\max} = \frac{M_{x\max}}{W_x} = \frac{M_{x\max}}{0,1D^3} \leq [\sigma] \Rightarrow$$

$$P \leq \frac{0,1D^3 [\sigma]}{a} = \frac{0,1 \times (10)^3 \times 16}{100} = 16 \text{ kN}$$

Tạm chọn $[P] = 16 \text{ kN}$

Với P đã chọn chúng ta kiểm tra bền lại các phân tử ở trạng thái ứng suất trượt thuần túy

$$\tau_{\max} = \frac{4}{3} \frac{|Q_y|_{\max}}{F} = \frac{4}{3} \times \frac{16 \times 4}{3,14(10)^2} = 0,27 \text{ kN/cm}^2 < [\tau] = 8 \text{ kN/cm}^2 : \text{phân}$$

tử này thoả bền.

Vậy tải trọng $[P] = 16 \text{ kN}$

6.5. Dầm chống uốn đều:

Đối với mặt cắt ngang không đổi khi chọn kích thước của nó ta chỉ dựa vào mặt cắt ngang nào có mômen uốn lớn nhất. Cách sử dụng vật liệu như vậy chưa hợp lý vì khi ứng suất ở những điểm trên mặt cắt ngang có mômen uốn lớn nhất đạt đến giá trị $[\sigma]$ thì ứng suất ở những điểm trên mặt cắt ngang khác còn nhỏ so với $[\sigma]$. Để tận dụng hết khả năng chịu lực của vật liệu, đồng thời tiết kiệm được nhiều vật liệu nhất ta phải tìm hình dáng hợp lý của dầm sao cho ứng suất ở những điểm nguy hiểm trên mọi mặt cắt ngang đều cùng đạt đến giá trị $[\sigma]$. Dầm có hình dáng như vậy gọi là dầm chống uốn đều.

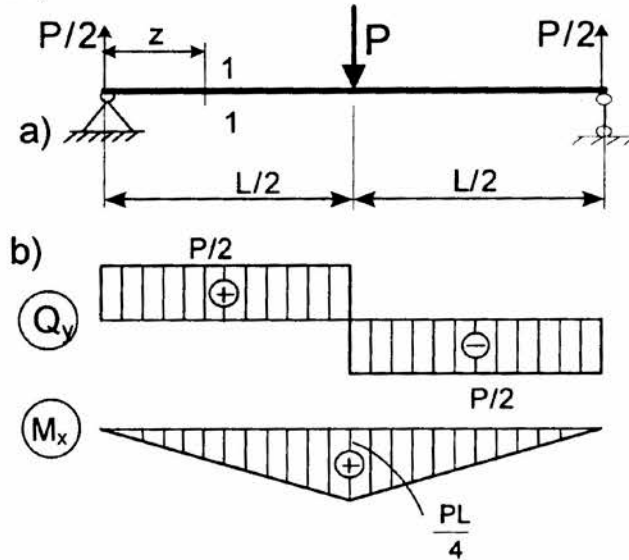
Ví dụ 6-4:

Cho dầm có tiết diện tròn chịu lực theo sơ đồ hình vẽ 6-19a. Tại mặt cắt 1-1 cách gối tựa A một đoạn z , với $0 \leq z \leq \frac{L}{2}$, lực cắt Q_y và mômen uốn M_x có giá trị:

$$Q_y = \frac{P}{2} ; \quad M_x = \frac{P}{2} z$$

biểu đồ nội lực (Hình 6-19b).

Hình 6-19



Như vậy trị số ứng suất pháp lớn nhất trên mặt cắt được tính theo công thức:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{Pz}{0,1D^3}$$

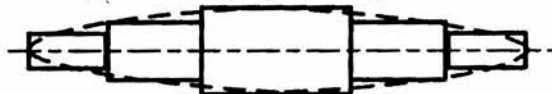
Với điều kiện ứng suất cực đại trên mọi mặt cắt cùng đạt đến trị số ứng suất cho phép $[\sigma]$, nghĩa là $\sigma_{\max} \leq [\sigma]$.

Chúng ta tìm được luật biến thiên của đường kính D theo biến số z như sau:

$$D = \sqrt[3]{\frac{P \cdot z}{0,1[\sigma]}} \quad (a)$$

Như vậy hình dáng của thanh phải có dạng đường nét đứt như hình 6-20.

Hình 6-20



Chúng ta thấy tại hai đầu mút, mặt cắt có diện tích bằng không, điều đó hoàn toàn phù hợp với điều kiện biến thiên của mômen uốn, vì tại đó mômen uốn bằng không.

Song như vậy không thỏa mãn điều kiện bền của lực cắt Q_y . Thật vậy trên mọi mặt cắt của dầm chúng ta đều có một trị số lực cắt $Q_y = \frac{P}{2}$ và

lực cắt đó sinh ra ứng suất tiếp lớn nhất $\tau_{\max} = \frac{4}{3} \frac{Q_y}{F}$, vì thế diện tích

mặt cắt cần phải đủ để chịu cắt. Do đó phải chọn đường kính với điều kiện:

$$\tau_{\max} = \frac{4}{3} \frac{Q_y}{F} \leq [\tau]$$

Nghĩa là đường kính nhỏ nhất cũng phải là:

$$D = D_1 = \sqrt{\frac{8P}{3\pi[\tau]}} \quad (b)$$

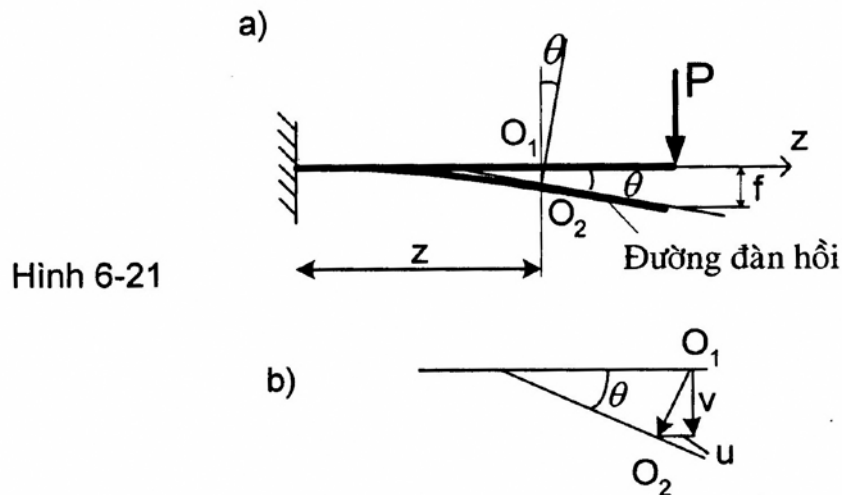
Vì điều kiện chế tạo, rất khó gia công để thanh có thể có hình dáng của đường cong biểu diễn trong (a) nên trong thực tế người ta thường làm các trục bậc như trên Hình 6-20.

6.6. Chuyển vị của dầm chịu uốn:

6.6.1. Định nghĩa:

Dưới tác dụng của tải trọng ngang đặt trong mặt phẳng quán tính chính trung tâm. Đường cong của trục dầm sau khi bị uốn được gọi là đường đàn hồi (Hình 6-21a).

O_1 là điểm trên trục dầm, O_2 là vị trí của nó sau khi dầm bị biến dạng. Khoảng cách O_1O_2 gọi là chuyển vị dài của O_1 (Hình 6-21b).



Hình 6-21

Phân chuyển vị O_1O_2 thành hai thành phần u và v theo phương của trục z và trục y .

Biến dạng của dầm là bé thì u là vô cùng bé bậc hai so với v , do đó bỏ qua chuyển vị u và xem $O_1O_2 = v$; nghĩa là sau khi biến dạng O_1 nằm trên đường vuông góc với trục thanh.

v : được gọi là độ võng tại O_1 của dầm, nó là một hàm theo hoành độ z của mặt cắt ngang.

Phương trình đường đàn hồi: $y(z) \approx v(z)$

θ : gọi là chuyển vị góc của mặt cắt hay góc xoay. Độ võng khá bé so

với nhịp dầm nên góc xoay cũng nhỏ do đó $\tan \theta \approx \theta \approx \frac{dy}{dz} = y'(z)$

Quy ước dương của chuyển vị :

- Độ võng được xem là dương nếu hướng xuống.
- Góc xoay θ được xem là dương nếu quay từ trục z đến tiếp tuyến với đường đàn hồi tại điểm khảo sát là theo chiều kim đồng hồ.

6.6.2. Phương trình vi phân của đường đàn hồi:

Phương trình vi phân của đường đàn hồi có dạng gần đúng :

$$y'' = -\frac{M_x}{EJ_x} \quad (6-14)$$

Trong đó tích số EJ_x gọi là độ cứng của dầm khi chịu uốn.

6.6.3. Thiết lập phương trình đường đàn hồi bằng phương pháp tích phân không định hạn:

Phương trình góc xoay :

$$\theta \approx y'(z) = \frac{dy}{dz} = -\int \frac{M_x}{EJ_x} dz + C \quad (6-15)$$

Phương trình độ võng :

$$y = \int \left[-\int \frac{M_x}{EJ_x} dz + C \right] dz + D \quad (6-16)$$

C, D là các hằng số tích phân sẽ được xác định từ các điều kiện biên (điều kiện về chuyển vị thẳng và góc xoay tại các đầu đoạn dầm).

Điều kiện biên của các dầm đơn giản :

- Đầu ngàm của dầm công son (Hình 6-22a):

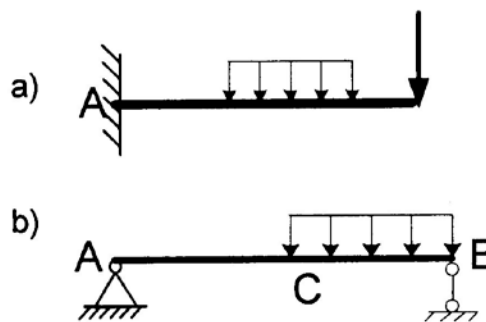
Góc xoay và chuyển vị tại ngàm bằng không :

$$\theta_A = 0 ; y_A = 0$$

- Tại các đầu khớp của dầm đơn giản (Hình 6-22b), chuyển vị thẳng (độ võng) tại 2 khớp bằng không :

$$y_A = 0 ; y_B = 0$$

Hình 6-22

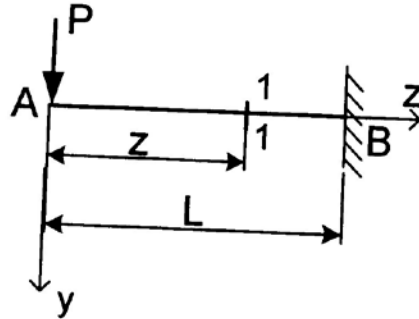


- Tại nơi tiếp giáp giữa hai đoạn dầm (tại C) có phương trình đường đàn hồi khác nhau nhưng độ võng và góc xoay bên trái phải bằng với độ võng và góc xoay bên phải : $y_C^{\text{tr}} = y_C^{\text{ph}} ; \theta_C^{\text{tr}} = \theta_C^{\text{ph}}$

Ví dụ 6-5:

Viết phương trình độ võng và góc xoay của dầm công son có sơ đồ chịu lực (Hình 6-23), cho $EJ_x = \text{const}$. Từ đó suy ra độ võng và góc xoay lớn nhất.

Hình 6-23

**Giải:**

Mômen uốn nội lực tại mặt cắt 1-1 có hoành độ z : $M_x(z) = -Pz$
 Thay vào biểu thức của phương trình vi phân đường đàn hồi:

$$y'' = -\frac{M_x}{EJ_x} = \frac{Pz}{EJ_x}$$

$$\theta = \int \frac{Pz}{EJ_x} dz = \frac{Pz^2}{2EJ_x} + C \quad (1)$$

$$y = \int \left[\frac{Pz^2}{2EJ_x} + C \right] dz = \frac{Pz^3}{6EJ_x} + Cz + D \quad (2)$$

C và D được xác định bằng các điều kiện biên: $z = L$; $\theta = 0$; $y = 0$.
 Thay vào (1) và (2) ta được:

$$C = -\frac{PL^2}{2EJ_x}; \quad D = -\frac{PL^3}{6EJ_x} + \frac{PL^3}{2EJ_x} = \frac{PL^3}{3EJ_x}$$

Vậy phương trình đường đàn hồi và phương trình góc xoay là:

$$y = \frac{Pz^3}{6EJ_x} - \frac{PL^2}{2EJ_x}z + \frac{PL^3}{3EJ_x}; \quad \theta = \frac{Pz^2}{2EJ_x} - \frac{PL^2}{2EJ_x}$$

Độ võng và góc xoay đạt cực đại nằm ở điểm A đầu tự do của dầm ($z = 0$):

$$y_{\max} = f_A = \frac{PL^3}{3EJ_x}; \quad \theta_{\max} = \theta_A = -\frac{PL^2}{2EJ_x}$$

$f_A > 0$: chứng tỏ điểm A dịch chuyển xuống theo chiều dương của y ; còn $\theta_A < 0$ chứng tỏ tiết diện tại A quay một góc theo ngược chiều kim đồng hồ.

Nếu trên dầm mômen uốn chia nhiều đoạn khác nhau, mỗi đoạn phải xác định 2 hằng số tích phân. Dầm có n đoạn cần phải xác định $2n$ hằng

số tích phân. Nếu số đoạn chịu lực càng lớn thì bài toán càng phức tạp, vì vậy phương pháp này ít sử dụng khi tải trọng phức tạp.

6.6.4. Phương pháp nhân biểu đồ Vêrêsgahin:

* Gọi trạng thái chịu lực của hệ đã cho là trạng thái “m”.

* Trạng thái “k” là trạng thái do chúng ta tạo ra bằng cách đặt lên hệ một lực $\bar{P}_k$ tại điểm A cần tính chuyển vị và theo phương của chuyển vị cần tìm. Ở trạng thái này các nội và ngoại lực được ký hiệu có chỉ số k kèm theo như: P_k, M_k, N_k, Q_k . Để đơn giản chọn $P_k = 1$, trạng thái “k” này được gọi là “trạng thái đơn vị”.

Để tính góc xoay tại A ta tạo trạng thái “k” bằng cách đặt tại A một ngẫu lực $M_k = 1$.

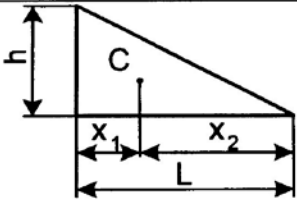
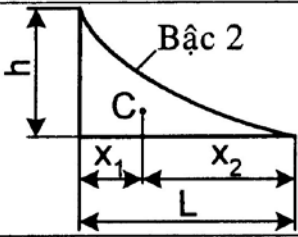
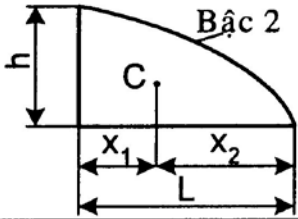
Biểu thức Vêrêsgahin :

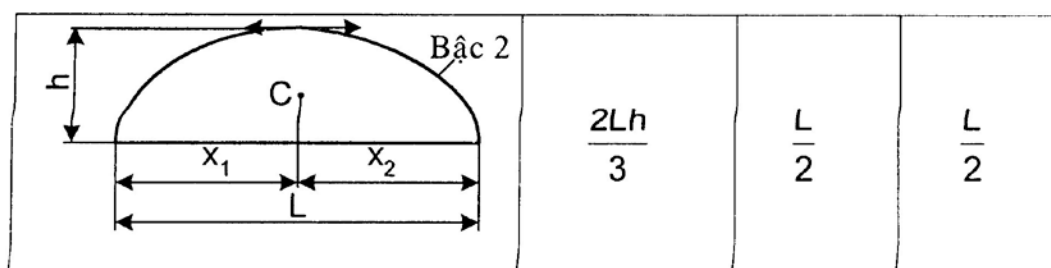
$$\Delta_{km} = \sum \frac{1}{EJ} \Omega(M_m) \bar{M}_k(C) + \sum \frac{1}{EF} \Omega(N_m) \bar{N}_k(C) + \sum \frac{1}{GF} \eta \Omega(Q_m) \bar{Q}_k(C) \quad (6-17)$$

$\Omega(M_m); \Omega(N_m); \Omega(Q_m)$: là diện tích các biểu đồ M_m, N_m, Q_m .

$\bar{M}_k(C); \bar{N}_k(C); \bar{Q}_k(C)$: là giá trị tung độ của biểu đồ $\bar{M}_k, \bar{N}_k, \bar{Q}_k$ tại những vị trí tương ứng với trọng tâm C của diện tích các biểu đồ M_m, N_m, Q_m .

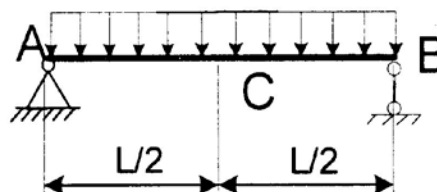
Để dễ dàng cho việc tính toán ta xác định các hoành độ trọng tâm và diện tích S của những hình giới hạn bởi các đường như sau :

Hình vẽ	Diện tích (S)	Vị trí trọng tâm	
		x_1	x_2
 Hình vẽ	$\frac{Lh}{2}$	$\frac{L}{3}$	$\frac{2L}{3}$
 Bậc 2	$\frac{Lh}{3}$	$\frac{L}{4}$	$\frac{3L}{4}$
 Bậc 2	$\frac{2Lh}{3}$	$\frac{3L}{8}$	$\frac{5L}{8}$

**Ví dụ 6-6:**

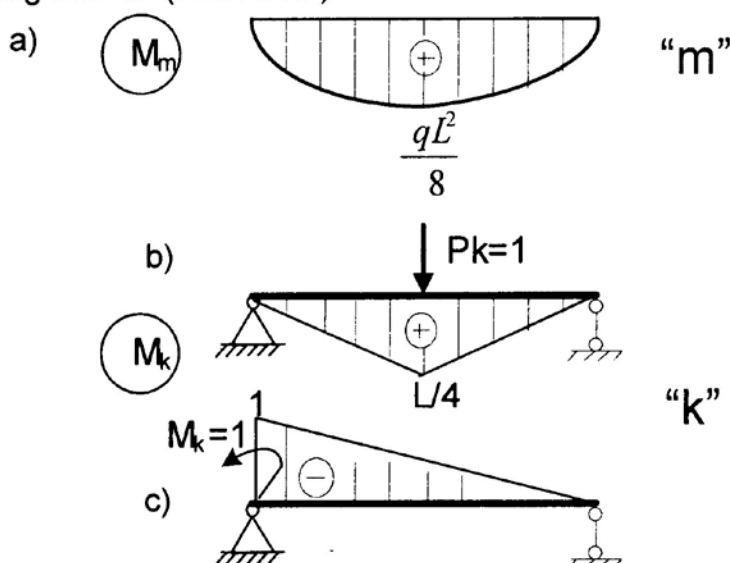
Tìm góc xoay tại A và độ võng tại C của dầm chịu lực như hình 6-24, bỏ qua ảnh hưởng của lực cắt, cho $EJ = \text{const}$.

Hình 6-24

**Giải:**

Viết biểu thức nội lực, vẽ biểu đồ nội lực M cho trạng thái “m” và trạng thái “k” (Hình 6-25)

Hình 6-25



*Góc xoay tại A:

Tạo trạng thái “k” như hình 6-25c

Biểu đồ M_m và $\bar{M}_k$ được biểu diễn như hình 6-25a,c (sơ đồ và biểu đồ trạng thái “k” có thể vẽ chồng lên nhau).

Theo phép nhân Vêrêsinhin ta có :

$$\theta_A = \Delta_{km} = \sum \frac{1}{EJ} \Omega(M_m) \bar{M}_k(C)$$

Trong đó $\Omega(M_m) = \frac{2}{3} \frac{qL^2}{8} \times L$

Tung độ biểu đồ $\bar{M}_k$ hình 6-25c ứng với trọng tâm biểu đồ M_m :

$$\bar{M}_k(C) = \frac{1}{2}$$

Hai biểu đồ M_m và $\bar{M}_k$ hình 6-25a,c ngược dấu nhau, chúng ta được:

$$\theta_A = - \frac{1}{EJ_x} \frac{2}{3} \frac{qL^2}{8} \times L \frac{1}{2} = - \frac{qL^3}{24EJ_x}$$

Dấu (-) chứng tỏ góc xoay tại A ngược với chiều mômen M_k đã chọn (quay ngược chiều kim đồng hồ).

*Độ võng tại C:

Tạo trạng thái "k" bằng cách đặt tại C một lực $P_k = 1$, vẽ biểu đồ $\bar{M}_k$ tương ứng hình 6-25b.

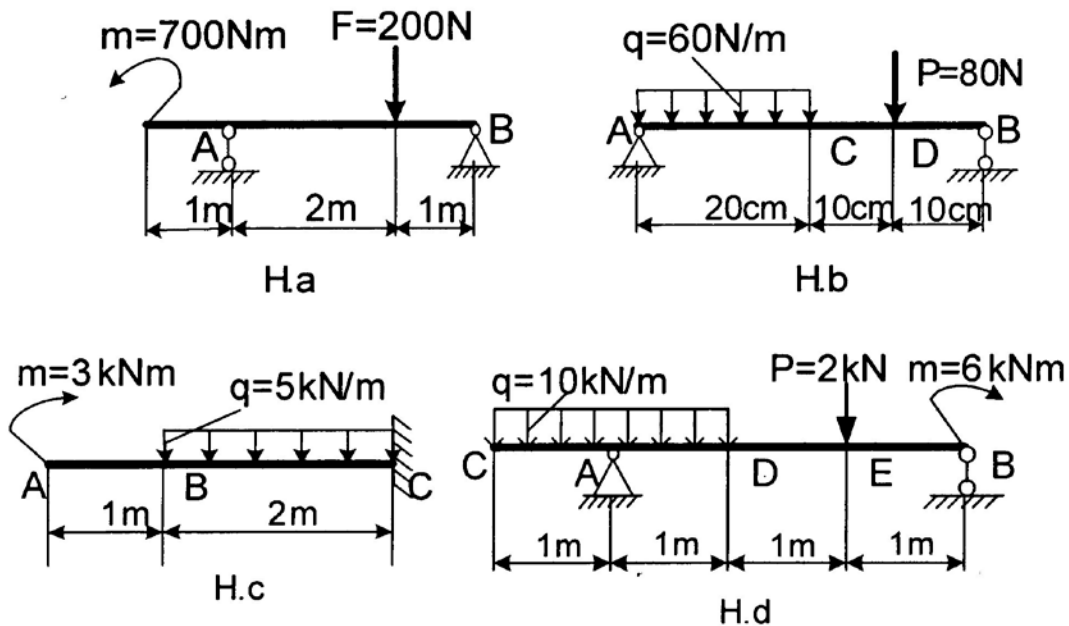
Trong hai đoạn AC và CB biểu đồ $\bar{M}_k$ hình 6-25b là các đoạn thẳng khác nhau, vì vậy để nhân biểu đồ ta phải chia M_m ra làm 2 phần $A \rightarrow C$ và từ $C \rightarrow B$.

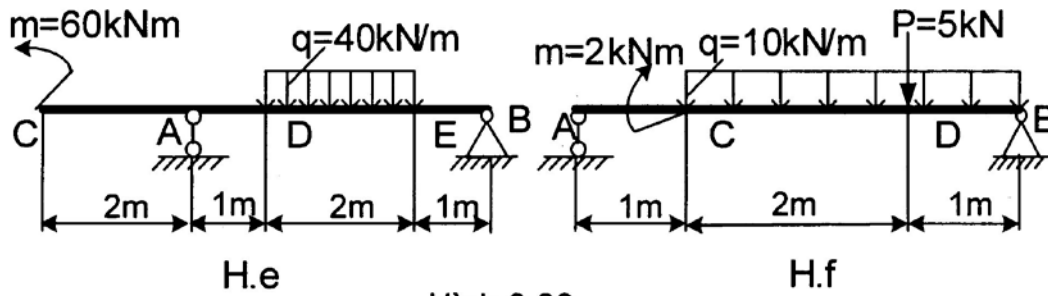
$$\begin{aligned} y_C = \Delta_{km} &= \sum \frac{1}{EJ} \Omega(M_m) \bar{M}_k(C) \\ &= \frac{1}{EJ_x} \frac{2}{3} \frac{qL^2}{8} \times \frac{L}{2} \frac{5}{8} \frac{L}{4} + \frac{1}{EJ_x} \frac{2}{3} \frac{qL^2}{8} \times \frac{L}{2} \frac{5}{8} \frac{L}{4} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EJ_x} \end{aligned}$$

Dấu (+) chứng tỏ độ võng tại C cùng với chiều $\bar{P}_k$ đã chọn (võng xuống theo phương thẳng đứng).

6.7. Bài tập chương 6

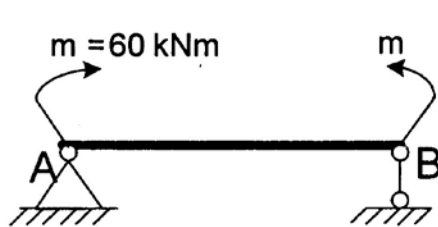
6.1. Vẽ biểu đồ nội lực cho dầm có sơ đồ tính toán hình 6-26:



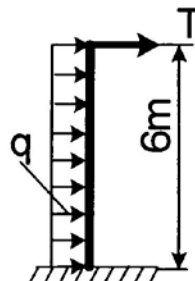


Hình 6-26

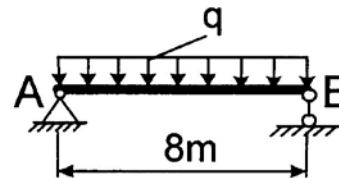
- 6.2. Dầm có sơ đồ tính toán hình 6-27, $[\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2$
- Chọn đường kính của dầm để thỏa điều kiện bền.
 - Nếu dầm làm bằng hai thép chữ I ghép đứng (II), tìm số hiệu thép I để dầm thỏa bền?
- ĐS: a. $[D] = 156 \text{ mm}$. b. Chọn 2 thép $I N^0 20$.
- 6.3. Một cột điện thẳng đứng, ngàm ở đầu dưới, đầu trên chịu lực căng của dây điện $T = 600 \text{ N}$, lực ép của gió phân bố đều suốt dọc cột cường độ $q = 500 \text{ N/m}$ (Hình 6-28). Tính đường kính của cột, biết cột bằng gỗ có $[\sigma] = 10 \text{ MN/m}^2$; $[\tau] = 2,2 \text{ MN/m}^2$.
- ĐS: $D \geq 0,235 \text{ m}$.
- 6.4. Dầm có sơ đồ tính toán hình 6-29, mặt cắt ngang hình tròn đường kính $d = 22 \text{ cm}$, vật liệu dầm có $[\sigma] = 10 \text{ MN/m}^2$
- Tính tải trọng phân bố cho phép q .
 - Nếu thay dầm bằng thép I $N^0 20$ thì $[q]$ bằng bao nhiêu?
- ĐS: a. $[q] = 1331 \text{ N/m}$. b. $[q] = 230 \text{ N/m}$



Hình 6-27

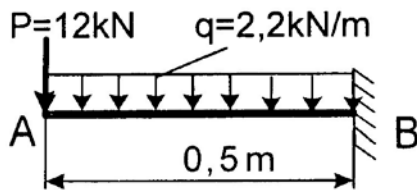


Hình 6-28

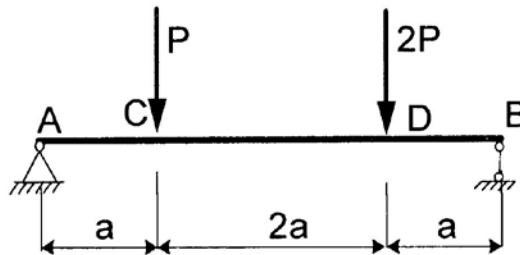


Hình 6-29

- 6.5. Dầm thép chịu lực hình 6-30, vật liệu dầm có $[\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2$. Xác định kích thước mặt cắt hình tròn, hình vuông, hình chữ nhật ($h = 2b$), và thép I đặt đứng.
- ĐS: $D = 7,3 \text{ cm}$. $a = 6,17 \text{ cm}$. $h = 7,8 \text{ cm}$; $b = 3,9 \text{ cm}$.
 $I N^0 10$: $\sigma_1 = 13,56 \text{ kN/cm}^2$; $\tau_1 = 2,78 \text{ kN/cm}^2$; $\sigma_{td} = 14,66 \text{ kN/cm}^2$.
- 6.6. Dầm chịu tải theo hình 6-31, có: $[\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2$, $[\tau] = 10 \text{ kN/cm}^2$, $a = 80 \text{ cm}$. Tìm tải trọng cho phép P khi dầm làm bằng:
- Thép tròn đường kính $D = 10 \text{ cm}$. ĐS: $[P] = 11,43 \text{ kN}$
 - Thép chữ I số 20. ĐS: $[P] = 21,03 \text{ kN}$



Hình 6-30



Hình 6-31

6.7. Dựa vào biểu đồ nội lực của các thanh đã vẽ ở bài 6.1 làm tiếp theo hai yêu cầu sau:

- Tìm đường kính D của dầm, nếu mặt cắt ngang của dầm là thép tròn.
- Tìm số hiệu thép chữ I, nếu dầm làm bằng thép I đặt đứng.

***Lưu ý:**

Sau khi chọn kích thước sơ bộ theo σ_{max} phải kiểm tra lại thép vừa chọn theo trạng thái trượt thuần túy và trạng thái ứng suất phức tạp mới chính thức quyết định loại thép phải chọn.

6.8. Dầm chịu tải theo sơ đồ hình 6-32 có $[\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2$, $[\tau] = 8 \text{ kN/cm}^2$. Tìm kích thước mặt cắt ngang của dầm khi:

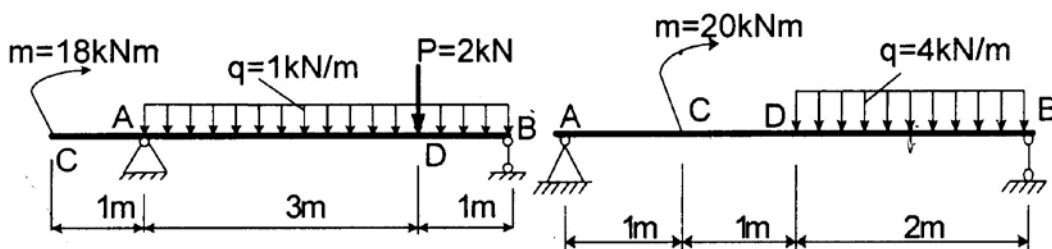
- Dầm làm bằng thép tròn có đường kính D . ĐS: $D \geq 10,4 \text{ cm}$.
- Dầm làm bằng thép chữ I đặt đứng. ĐS: Chọn thép I số 18.

6.9. Dầm chịu tải theo sơ đồ hình 6-33 có:

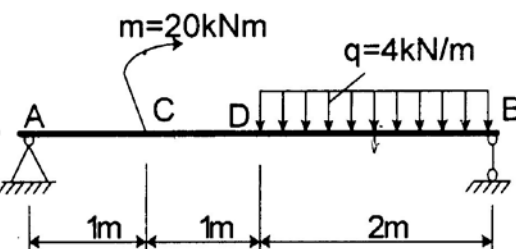
$$[\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2, [\tau] = 10 \text{ kN/cm}^2.$$

Tìm kích thước mặt cắt dầm nếu:

- Dầm làm bằng thép tròn. ĐS: $D \geq 0,235 \text{ m}$.
- Dầm làm bằng thép I. ĐS: Chọn thép I số 16.



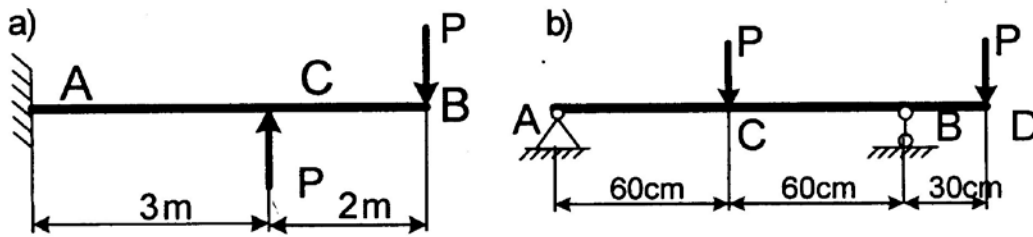
Hình 6-32



Hình 6-33

6.10. Xác định tải trọng lớn nhất có thể tác dụng lên các dầm bằng thép có đường kính $D = 50 \text{ mm}$; $[\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2$, $[\tau] = 10 \text{ kN/cm}^2$, với các sơ đồ chịu lực hình 6-34.

ĐS: a. $[P] = 1 \text{ kN}$; b. $[P] = 6,67 \text{ kN}$



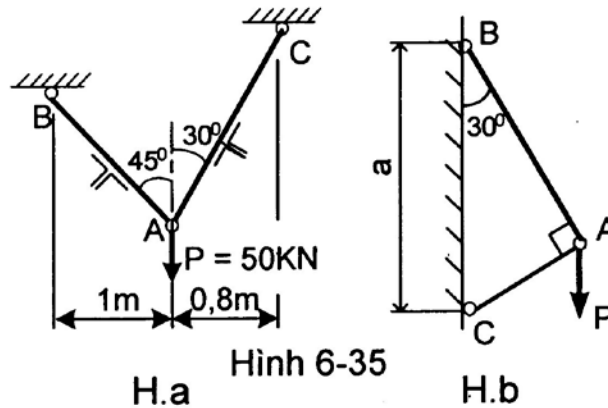
Hình 6-34

TÍNH CHUYỂN VỊ (Theo phép nhân biểu đồ Vêrêsaghin)

6.11. Tìm chuyển vị thẳng đứng tại A của hệ thanh chịu tải theo sơ đồ hình 6-35

H.a: thanh AB và AC làm bằng 2 thép góc 20x20x4 ghép lại
 $E_{AB} = E_{AC} = 2 \times 10^4 \text{ kN/cm}^2$ ĐS: $y_A = 0,714 \times 10^{-1} \text{ cm}$

H.b: $E_{AB} = E_{AC} = E$; $F_{AB} = F_{AC} = F$ ĐS: $y_A = \frac{P \cdot a}{8EF} (1 + 3\sqrt{3})$



Hình 6-35

H.a

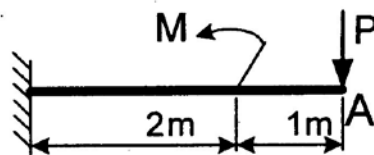
H.b

6.12. Xác định độ võng và góc xoay tại đầu tự do A của côngxon hình 6-36, cho $EJ = \text{const}$.

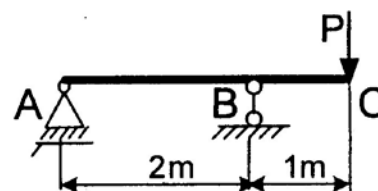
ĐS: $y_A = \frac{1}{EI} (9P - 4M)$; $\theta_A = \frac{1}{EI} \left(\frac{9}{2}P - 2M \right)$

6.13. Xác định độ võng tại mặt cắt C và góc xoay tại gối tựa B của dầm AC chịu lực hình 6-37, cho $EJ = \text{const}$

ĐS: a. $y_C = \frac{P}{EI}$; $\theta_B = \frac{2P}{3EI}$.



Hình 6-36



Hình 6-37

CHƯƠNG 7

ỔN ĐỊNH THANH THẲNG CHỊU NÉN ĐÚNG TÂM

7.1. Khái niệm:

Thanh thẳng và dài (chiều dài lớn hơn nhiều so với chiều ngang), chịu lực nén đúng theo trục thanh. Khi lực còn nhỏ dưới một giới hạn nhất định ($P < P_{th}$) thì thanh chỉ có biến dạng dọc (co ngắn) và trục thanh vẫn giữ thẳng: thanh ở trạng thái cân bằng ổn định.

Nhưng nếu $P > P_{th}$ thì ngoài hiện tượng nén thanh còn bị uốn cong: thanh ở trạng thái cân bằng không ổn định. Hiện tượng thanh thẳng bị uốn cong khi chịu nén theo trục thanh còn gọi là uốn dọc (Hình 7-1).

Giá trị giới hạn của lực nén làm cho thanh chuyển từ trạng thái ổn định sang trạng thái không ổn định được gọi là lực tới hạn, ký hiệu P_{th} .



Hình 7-1

Thực nghiệm cho thấy khi mất ổn định, trục thanh bị uốn cong trong mặt phẳng thanh có độ cứng bé nhất (mặt phẳng thanh có kích thước ngang bé nhất), tức các mặt cắt ngang xoay quanh trục nào mà đối với nó mômen quán tính có trị số bé nhất (J_{min}).

Ở trạng thái mất ổn định biến dạng thanh tăng khá nhanh, thanh có thể bị phá hoại bất ngờ.

7.2. Tính ổn định trong miền đàn hồi:

7.2.1. Công thức tính lực tới hạn của Euler:

Bài toán tính lực tới hạn này đã được nhà bác học Euler giải từ năm 1774.

$$P_{th} = \frac{\pi^2 E J_{min}}{(\mu l)^2} = \frac{\pi^2 E F}{\lambda^2} \quad (7-1)$$

μ : hệ số chiều dài thanh, phụ thuộc vào điều kiện liên kết ở hai đầu thanh (Hình 7-2).

Ứng suất tới hạn :

$$\sigma_{th} = \frac{P_{th}}{F} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (7-2)$$

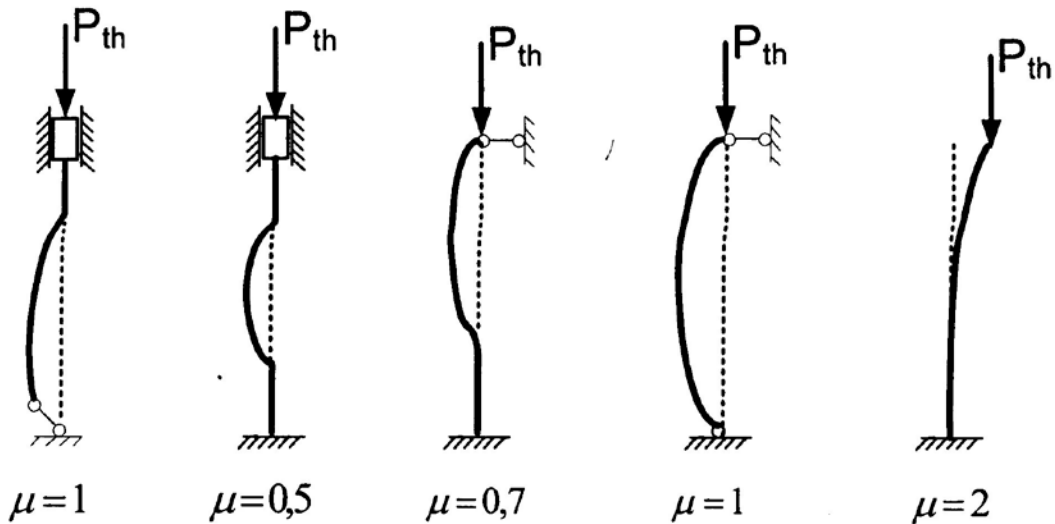
Độ mảnh của thanh :

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{min}} \quad (7-3)$$

Bán kính quán tính bé nhất :

$$i_{min} = \sqrt{\frac{J_{min}}{F}} \quad (7-4)$$

σ_{th} : là ứng suất khi thanh chuyển từ trạng thái ổn định sang trạng thái mất ổn định.



Hình 7-2

7.2.2. Giới hạn áp dụng công thức Euler:

Công thức Euler chỉ đúng với thanh có vật liệu làm việc trong giai đoạn đàn hồi, tức là ứng suất tới hạn trong thanh phải bé hơn giới hạn tỷ lệ.

$$\sigma_{th} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \leq \sigma_{tl} \Rightarrow \lambda \geq \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{tl}}}$$

Ký hiệu : $\lambda_o = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{tl}}} \quad (7-5)$

λ_o : gọi là *độ mảnh tới hạn* thì điều kiện để áp dụng được công thức Euler là : $\lambda \geq \lambda_o$.

công thức (17-5) cho thấy λ_o chỉ phụ thuộc vào vật liệu.

Ví dụ :	Thép CT31	$\lambda_o = 100$
	Gang	$\lambda_o = 80$
	Gỗ thông	$\lambda_o = 75$
	Gỗ thường	$\lambda_o = 110$

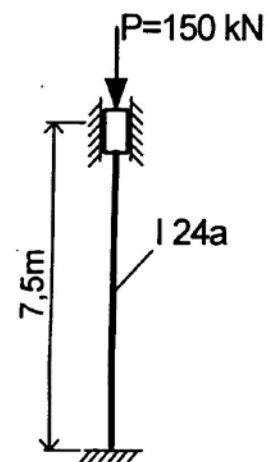
Ví dụ 7-1:

Kiểm tra độ ổn định của cột bằng thép CT31 có sơ đồ chịu lực như hình 7-3, $\sigma_{tl} = 210 \text{ MN/m}^2$, $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$, hệ số an toàn về ổn định $k_{\alpha} = 3$.

Giải :

Các đặc trưng hình học của mặt cắt ngang thép I 24a là :

$$F = 37,5 \text{ cm}^2 ; J_y = J_{\min} = 260 \text{ cm}^4 ; i_y = i_{\min} = 2,63 \text{ cm}.$$



Hình 7-3

$$\text{Độ mảnh thanh : } \lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{0,5 \times 750}{2,63} = 142$$

Độ mảnh tới hạn của thép CT31 :

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{tt}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times 2 \times 10^{11}}{21 \times 10^7}} = 100$$

$\lambda > \lambda_0$ nên thanh có độ mảnh lớn, ta dùng công thức Euler để tính lực tới hạn :

$$P_{th} = \frac{\pi^2 EF}{\chi^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^4 \times 37,5}{142^2} = 367 \text{ kN}$$

Tải trọng cho phép theo điều kiện ổn định là : $[P] =$

$$\frac{P_{th}}{k_{od}} = \frac{367}{3} = 122 \text{ kN}$$

Chúng ta thấy $P > [P]$ nên thanh không đảm bảo độ ổn định.

7.3. Tính ổn định ngoài miền đàn hồi:

Đối với những thanh có độ mảnh vừa và bé ($\lambda < \lambda_0$) thì khi mất ổn định vật liệu thanh làm việc ở miền dẻo. Ở trường hợp này dựa vào nhiều thí nghiệm người ta đưa ra các công thức thực nghiệm để tính ứng suất tới hạn σ_{th} .

* Thanh có độ mảnh vừa $\lambda_1 \leq \lambda < \lambda_0$

(λ_1 là trị số giới hạn của thanh có độ mảnh vừa)

Chúng ta có công thức laxinski :

$$\sigma_{th} = a - b\lambda \quad (7-6)$$

a, b là các hằng số phụ thuộc vào vật liệu và có được bằng thực nghiệm

Ví dụ : Thép CT31 có $a = 33600 \text{ N/cm}^2$, $b = 147 \text{ N/cm}^2$
gỗ : $a = 2930 \text{ N/cm}^2$, $b = 19,4 \text{ N/cm}^2$

* Thanh có độ mảnh bé $\lambda \leq \lambda_1$

Người ta coi $\sigma_{th} = \sigma_0$ (7-7)

Trong đó σ_0 là giới hạn nguy hiểm của vật liệu :

$\sigma_0 = \sigma_{ch}$ nếu là vật liệu dẻo

$\sigma_0 = \sigma_b$ nếu là vật liệu giòn

Như vậy tùy theo độ mảnh λ của thanh, ta có thể áp dụng các công thức (7-2), (7-6), (7-7) để tính σ_{th} .

Ví dụ 7-2 :

Tính lực tới hạn của cột bằng thép CT31, mặt cắt ngang chữ I N°22a, cột có liên kết khớp 2 đầu. Xét 2 trường hợp :

a) Cột cao 3 m.

b) Cột cao 2,25 m. Biết $E = 2,1 \cdot 10^4 \text{ kN/cm}^2$.

Giải :

Thép I 24a có : $F = 32,4 \text{ cm}^2$; $i_y = i_{\min} = 2,5 \text{ cm}$.

Thanh 2 đầu liên kết khớp : $\mu = 1$

a) Cột cao 3m, chúng ta có :

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{1 \times 300}{2,5} = 120 > \lambda_0 = 100 \text{ của thép CT31.}$$

Dùng (7-2) để tính ứng suất tới hạn :

$$\sigma_{th} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \times 2,1 \times 10^4}{120^2} = 14,3 \text{ kN/cm}^2.$$

Lực tới hạn của thanh :

$$P_{th} = \sigma_{th} \cdot F = 14,3 \times 32,4 = 463 \text{ kN.}$$

b) Cột cao 2,25 m, ta có :

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{1 \times 225}{2,5} = 90 < \lambda_0 = 100 \text{ của thép CT31.}$$

Ta phải dùng công thức laxinski (7-5) để tính :

$$\sigma_{th} = a - b\lambda$$

Với $a = 33,6 \text{ kN/cm}^2$, $b = 0,147 \text{ kN/cm}^2$

$$\sigma_{th} = 33,6 - 0,147 \times 90 = 20,4 \text{ kN/cm}^2$$

Do đó : $P_{th} = \sigma_{th} \cdot F = 20,4 \times 32,4 = 660 \text{ kN.}$

7.4. Tính thanh chịu nén bằng phương pháp thực hành:

- Ở chương 2, điều kiện bền của một thanh chịu lực nén đúng tâm P ở đầu thanh là :

$$\frac{P}{F} \leq [\sigma]_n \quad (7-8)$$

$$\text{Với } [\sigma]_n = \frac{\sigma_0}{n}$$

Trong đó σ_0 - giới hạn nguy hiểm; n - hệ số an toàn theo điều kiện bền.

- Thanh còn phải đảm bảo điều kiện ổn định :

$$\frac{P}{F} \leq [\sigma]_{\text{ổđ}} \quad (7-9)$$

ứng suất cho phép về ổn định: $[\sigma]_{\text{ổđ}} = \frac{\sigma_{th}}{k_{\text{ổđ}}}$

Trong đó σ_{th} - ứng suất tới hạn, tính theo Euler, laxinski, σ_0 .

$k_{\text{ổđ}}$ - hệ số an toàn ổn định, $k_{\text{ổđ}} > n$

- Để tiện tính toán thực hành, người ta lập tỷ số

$$\varphi = \frac{[\sigma]_{\text{ổđ}}}{[\sigma]_n} = \frac{\sigma_{th}}{\sigma_0} \times \frac{n}{k_{\text{ổđ}}} < 1$$

$$\Rightarrow [\sigma]_{\text{ổđ}} = \varphi \times [\sigma]_n$$

Công thức kiểm tra về ổn định trong tính toán thực hành:

$$\frac{P}{F} \leq \varphi \times [\sigma]_n \quad (7-10)$$

+ φ : hệ số giảm ứng suất cho phép, nó phụ thuộc vào vật liệu, độ mảnh của thanh và các hệ số an toàn về bền và ổn định; tra bảng để tìm φ khi biết λ và vật liệu của thanh.

+ So sánh (7-8) và (7-10) ta thấy vì $\varphi < 1$ nên nếu điều kiện ổn định được thỏa thì điều kiện bền đương nhiên thỏa $\Rightarrow$ chỉ cần tính thanh chịu nén theo điều kiện ổn định (7-10).

* (7-10) cho chúng ta 3 bài toán :

- Định tải trọng cho phép : $[P] = \varphi \cdot F \cdot [\sigma]_n$

- Kiểm tra điều kiện ổn định : $P \leq \varphi \cdot F \cdot [\sigma]_n$

- Định kích thước mặt cắt ngang : bài toán này phải tính đúng dần vì trong (7-9) có 2 ẩn số F và φ (φ phụ thuộc F).

Trình tự giải quyết bài toán này như sau :

$$1. \text{ Giả thiết } \varphi_0 \text{ (thường giả thiết } \varphi_0 = 0,5) \Rightarrow F_0 = \frac{P}{\varphi_0 [\sigma]_n}.$$

$$2. \text{ Từ } F_0 \text{ tính } \lambda_0, \lambda_0 = \frac{\mu l}{i_{\min}}; \quad i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{F}}$$

$$+ \text{ Mặt cắt chữ nhật b x h (h > b) : } i_{\min} = \frac{b}{\sqrt{12}} \quad (\text{với } b < h)$$

$$+ \text{ Mặt cắt tròn đường kính D : } i = \frac{D}{4}$$

+ Mặt cắt hình vành khăn đường kính D, d.

$$\text{Tỷ số : } \alpha = \frac{d}{D}; \quad i = \frac{D}{4} \sqrt{1 + \alpha^2}$$

$$3. \text{ Từ } \lambda_0 \Rightarrow \varphi'_0 \text{ (tra bảng).}$$

$$+ \text{ Nếu } \varphi'_0 \neq \varphi_0 \text{ nhiều thì chọn lại với } \varphi_1 = \frac{\varphi_0 + \varphi'_0}{2}$$

+ Nếu $\varphi'_0 \approx \varphi_0$ thì tiến hành kiểm tra theo điều kiện ổn định mặt cắt đã chọn được theo bước 1.

Chú ý :

Nếu thanh có mặt cắt ngang bị giảm yếu cục bộ (các lỗ khoét, rãnh...) thì sự giảm yếu này làm ảnh hưởng đến độ bền (diện tích F bị nhỏ đi) mà ít ảnh hưởng đến độ ổn định. Do đó cần phải kiểm tra cả 2 điều kiện:

$$+ \text{ Tại mặt cắt bị giảm yếu : } \frac{P}{F_{\text{thực}}} \leq [\sigma]_n \Leftrightarrow \text{điều kiện bền}$$

$$+ \text{ Toàn thanh : } \frac{P}{F_{\text{nguyên}}} \leq \varphi \times [\sigma]_n \Leftrightarrow \text{điều kiện ổn định}$$

Trong đó : $F_{\text{thực}}$ - Diện tích thực sự của mặt cắt ngang đã bị giảm yếu

$F_{\text{nguyên}}$ - Diện tích mặt cắt ngang chưa bị giảm yếu

Bảng tra hệ số giảm ứng suất φ

χ	CT31, CT34, CT38, CT42	CT51	Gang 15 - 30	Gỗ các loại
0	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,98	0,97	0,99
20	0,97	0,96	0,91	0,97
30	0,95	0,93	0,81	0,92
40	0,92	0,89	0,69	0,87
50	0,89	0,85	0,57	0,80
60	0,86	0,80	0,44	0,71
70	0,81	0,74	0,34	0,61
80	0,75	0,67	0,26	0,49
90	0,69	0,59	0,20	0,38
100	0,60	0,50	0,16	0,31
110	0,52	0,43	-	0,26
120	0,45	0,37	-	0,22
130	0,40	0,32	-	0,18
140	0,36	0,28	-	0,16
150	0,32	0,25	-	0,14
160	0,29	0,23	-	0,12
170	0,26	0,21	-	0,11
180	0,23	0,19	-	0,10
190	0,21	0,17	-	-
200	0,19	0,15	-	-

Ví dụ 7-3:

Cột có chiều dài 1,5m; một đầu ngàm một đầu tự do; chịu lực nén đúng tâm 300kN. Cột bằng thép CT38 có $[\sigma]_n = 16 \text{ kN/cm}^2$, mặt cắt ngang hình vuông cạnh a. Trên cột bị khoét một lỗ tròn đường kính 4cm; tìm kích thước a để cột có thể làm việc được.

Giải :

Do cột bị khoét lỗ nên phải tính về ổn định lẫn tính bền.

Đây là bài toán định kích thước mặt cắt ngang nên phải giải bằng phương pháp thử dần khi tính ổn định

+ Tính ổn định cho thanh :

$$\text{*Bước 1 : giả thiết } \varphi_0 = 0,5 \Rightarrow F_0 = \frac{P}{\varphi_0 [\sigma]_n} = \frac{300}{0,5 \times 16} = 37,5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tạm chọn } a = \sqrt{37,5} = 6,2 \text{ cm}$$

$$\lambda_0 = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{2 \times 150}{\frac{6,2}{\sqrt{12}}} = 167,6$$

Tra bảng và nội suy : $\varphi'_0 = 0,26 + 0,003 \times 2,4 = 0,267$

*Bước 2 : giả thiết $\varphi_1 = \frac{0,5 + 0,267}{2} = 0,38$

$$\Rightarrow F_1 = \frac{P}{\varphi_1 [\sigma]_n} = \frac{300}{0,38 \times 16} = 49 \text{ cm}^2$$

Tạm chọn $a = \sqrt{49} = 7 \text{ cm}$

$$\lambda_1 = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{2 \times 150}{\frac{7}{\sqrt{12}}} = 148,46$$

Tra bảng và nội suy : $\varphi'_1 = 0,32 + 0,004 \times 1,54 = 0,33$

*Bước 3 : giả thiết $\varphi_2 = \frac{0,33 + 0,38}{2} = 0,36$

$$\Rightarrow F_2 = \frac{P}{\varphi_2 [\sigma]_n} = \frac{300}{0,36 \times 16} = 52 \text{ cm}^2$$

Tạm chọn $a = \sqrt{52} \approx 7,5 \text{ cm}$

$$\lambda_2 = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{2 \times 150}{\frac{7,5}{\sqrt{12}}} = 138,56$$

Tra bảng và nội suy : $\varphi'_2 = 0,36 + 0,004 \times 1,44 = 0,37$

$$P_{th} = \varphi \cdot F \cdot [\sigma]_n = 0,37 \times (7,5)^2 \times 16 = 329,18 \text{ kN}$$

$P = 300 \text{ kN} < P_{th} = 329,18 \text{ kN}$: điều kiện ổn định được thỏa

+ Kiểm tra bền cho thanh :

Mặt cắt nguy hiểm A-A đi ngang qua tâm của lỗ đường kính 4 cm :

$$F_{A-A} = 7,5(7,5 - 4) = 26,25 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{A-A} = \frac{P}{F_{A-A}} = \frac{300}{26,25} = 11,43 \text{ kN/cm}^2 < [\sigma]_n = 16 \text{ kN/cm}^2 : \text{thỏa bền.}$$

Như vậy chọn kích thước $a = 7,5 \text{ cm}$

7.5. Hình dáng mặt cắt hợp lý khi chịu nén đúng tâm (Hình 7-4):

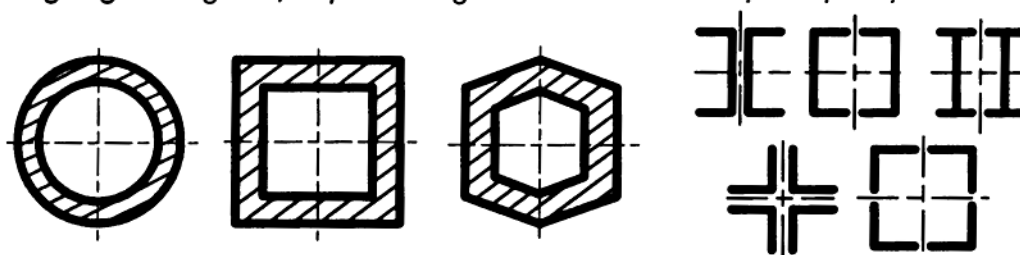
Muốn thanh chịu nén đúng tâm thỏa mãn điều kiện bền thì chỉ cần mặt cắt ngang của thanh có một diện tích tối thiểu nào đó, còn hình dáng của nó, nói chung có thể bất kỳ.

Nhưng nếu muốn thanh thỏa mãn điều kiện ổn định thì cần phải chú ý đến hình dáng của mặt cắt ngang.

Phải chọn hình dáng của mặt cắt sao cho với một diện tích nhất định thanh chịu được lực nén lớn nhất. Đó là *hình dáng hợp lý* của mặt cắt ngang. Hình dáng đó phải có các điều kiện sau đây :

1) $i_{\max} = i_{\min}$ tức là $J_{\max} = J_{\min}$ với các liên kết trong hai mặt phẳng quán tính chính trung tâm là như nhau, nghĩa là khả năng chống lại sự mất ổn định theo các phương là như nhau. Ta thấy mặt cắt thỏa $J_{\max} = J_{\min}$ sẽ có hình dạng là tròn, vuông, đa giác đều.

2) Các mômen quán tính chính trung tâm của mặt cắt ngang càng lớn càng tốt vì thế người ta thường dùng các hình rỗng. Tuy nhiên mặt cắt ngang *không được quá mỏng để tránh mất ổn định cục bộ*.



Hình 7-4

7.6. Bài tập chương 7

7.1. Kiểm tra ổn định cho thanh dài $l = 1,25$ m; mặt cắt hình vành khăn $D = 28$ mm, $d = 20$ mm. Hai đầu thanh bắt bản lề, lực nén $P = 9600$ N, vật liệu thanh có $[\sigma]_n = 160$ MN/m².

ĐS: $\sigma = 31,84$ MN/m²; $[\sigma]_{\delta\sigma} = 54,18$ MN/m².

7.2. Tính lực nén cho phép đối với cột dài $l = 3$ m, mặt cắt tròn $D = 24$ cm; hai đầu coi như bắt bản lề. Cột bằng gỗ có $[\sigma]_n = 10$ MN/m².

ĐS: $[P] = 361,73$ kN.

7.3. Thanh dài $l = 2$ m; mặt cắt 18×8 cm², một đầu ngàm, một đầu bắt bản lề. Tính lực nén cho phép của thanh; biết $[\sigma]_n = 160$ MN/m².

ĐS: $[P] = 1974,53$ kN.

7.4. Xác định lực tới hạn P_{th} và ứng suất tới hạn σ_{th} bằng công thức Euler cho các thanh thép có sơ đồ chịu lực hình 7-5,

$E = 2 \cdot 10^{10}$ MN/m²

ĐS: a. $P_{th} = 59,16$ kN; $\sigma_{th} = 16,43$ MN/m²

b. $P_{th} = 128,4$ kN; $\sigma_{th} = 63,6$ MN/m²

7.5. Hệ thanh chịu tải theo sơ đồ hình 7-6.

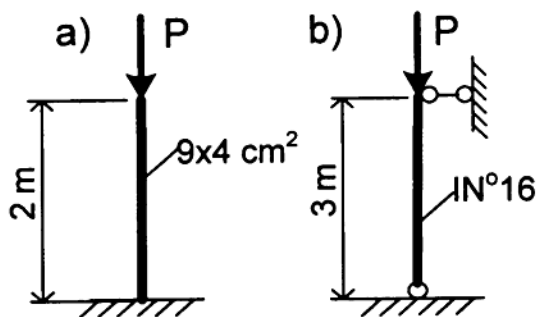
a. Xác định số hiệu mặt cắt chữ I của thanh chống AB theo điều kiện ổn định, biết vật liệu thanh AB có $[\sigma]_n = 160$ MN/m².

b. Xác định hệ số an toàn ổn định $k_{\delta\sigma}$ của thanh AB.

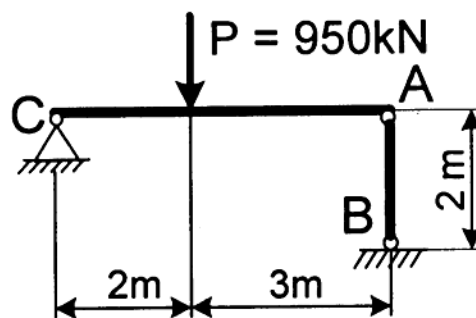
Trị số ứng suất tới hạn theo công thức thực nghiệm của Laxinsky :

$$\sigma_{th} = 31 - 0,114\lambda \text{ (kN/cm}^2\text{)}$$

ĐS: a. Chọn thép I số 22a. b. $k_{\delta\sigma} = 1,82$



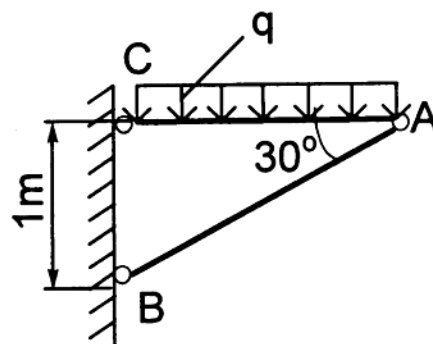
Hình 7-5



Hình 7-6

- 7.6. Một giá đỡ chịu tải trọng phân bố đều như hình 7-7.
 Xác định cường độ tải trọng cho phép q tác dụng lên giá.
 Cho biết thanh chống AB mặt cắt hình vuông cạnh là 5cm và làm bằng gỗ có $[\sigma] = 10 \text{ MN/m}^2$.
ĐS: $[q] = 2,35 \text{ kN/m}$

Hình 7-7



CHƯƠNG 8

THANH CHỊU LỰC PHỨC TẠP

8.1. Khái niệm chung:

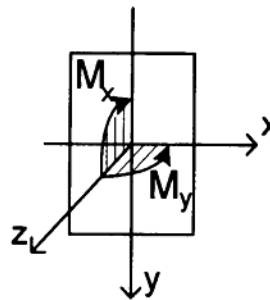
- Ta đã xét trường hợp chịu lực đơn giản của thanh như kéo nén đúng tâm, xoắn thuần túy và uốn phẳng. Nếu kết hợp các trường hợp chịu lực đơn giản trên ta sẽ có thanh chịu lực phức tạp.
- Như vậy thanh chịu lực phức tạp trên mặt cắt ngang sẽ có nhiều thành phần nội lực.
- Để giải các bài toán này chúng ta dùng nguyên lý cộng tác dụng “ *Ứng suất hay biến dạng do nhiều yếu tố (ngoại lực, nhiệt độ...) gây ra đồng thời trong thanh bằng tổng đại số ứng suất hay biến dạng do từng yếu tố gây ra riêng lẻ trên thanh đó*”.

Điều kiện để sử dụng nguyên lý này là :

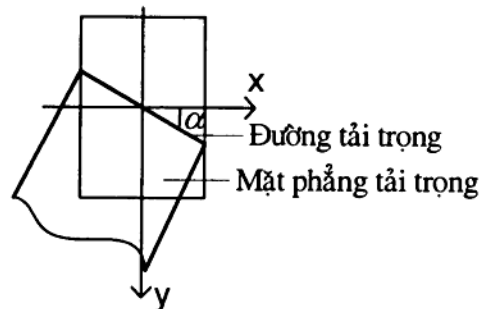
- + Vật liệu làm việc trong giai đoạn đàn hồi, tương quan giữa lực và biến dạng là bậc nhất.
- + Biến dạng nhỏ.
- Vì ảnh hưởng của lực cắt đến độ bền của thanh không đáng kể so với các nội lực khác, nên chúng ta không xét đến lực cắt trong mọi trường hợp chịu lực phức tạp.

8.2. Uốn xiên

8.2.1. Định nghĩa



Hình 8-1



Thanh chịu uốn xiên khi trên mặt cắt ngang chỉ có 2 thành phần nội lực là các mômen uốn M_x , M_y nằm trong các mặt phẳng quán tính chính trung tâm của mặt cắt ngang. Đây là bài toán kết hợp của hai bài toán uốn thuần túy phẳng. Dấu của M_x , M_y được coi là dương nếu chúng làm căng các thớ về phía dương của trục y và x .

Mômen uốn tổng :
$$\bar{M}_u = \bar{M}_x + \bar{M}_y$$

M_u nằm trong mặt phẳng chứa trục z và vuông góc với mặt cắt ngang nhưng không trùng với một mặt phẳng quán tính chính trung tâm nào của mặt cắt ngang. Mặt phẳng đó được gọi là mặt phẳng tải trọng và giao tuyến của mặt phẳng tải trọng với mặt cắt ngang là đường tải trọng (hình 8-1).

8.2.2. Ứng suất pháp trên mặt cắt ngang:

Gọi α là góc giữa trục x và đường tải trọng (quy ước dương theo chiều kim đồng hồ).

Ta có : $M_x = M_u \sin \alpha$; $M_y = M_u \cos \alpha$

$$M_u = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad (8-1)$$

$$\text{và hệ số góc của đường tải trọng là : } \tan \alpha = \frac{M_x}{M_y} \quad (8-2)$$

Theo nguyên lý cộng tác dụng thì ứng suất tại một điểm bất kỳ trên mặt cắt ngang có tọa độ x, y , ứng suất pháp được tính theo công thức kỹ thuật sau :

$$\sigma_z = \pm \frac{|M_x|}{J_x} |y| \pm \frac{|M_y|}{J_y} |x| \quad (8-3)$$

Các giá trị đều lấy trị số tuyệt đối. Dấu (+) hay (-) trước mỗi số hạng thì tùy theo các mômen uốn M_x và M_y gây ra ứng suất kéo hay nén ở điểm đang xét.

Ứng suất pháp cực đại :

$$\sigma_{z\max} = \frac{|M_x|}{I_x} |y_k| + \frac{|M_y|}{I_y} |x_k| \quad : \text{phần chịu kéo.} \quad (8-4)$$

Ứng suất pháp cực tiểu :

$$\sigma_{z\min} = \frac{|M_x|}{J_x} |y_n| + \frac{|M_y|}{J_y} |x_n| \quad : \text{phần chịu nén.} \quad (8-5)$$

x_k, y_k : tọa độ của điểm chịu kéo cách xa đường trung hòa nhất.

x_n, y_n : tọa độ của điểm chịu nén cách xa đường trung hòa nhất.

Nếu mặt cắt ngang có 2 trục quán tính chính trung tâm đều là các trục đối xứng, do $|x_k| = |x_n|$; $|y_k| = |y_n|$, nên :

$$\sigma_{z\max} = |\sigma_{z\min}| = \frac{|M_x|}{W_x} + \frac{|M_y|}{W_y} \quad (8-6)$$

$$\text{Trong đó : } W_x = \frac{J_x}{|y_{\max}|} \quad ; \quad W_y = \frac{J_y}{|x_{\max}|}$$

8.2.3. Điều kiện bền của dầm chịu uốn xiên:

Bỏ qua ảnh hưởng của τ , điểm nguy hiểm là điểm có ứng suất pháp cực trị. Trạng thái ứng suất của điểm nguy hiểm là trạng thái ứng suất đơn. Điều kiện bền :

* Vật liệu dẻo :

$$|\sigma|_{z_{\max}} \leq [\sigma] \quad (8-7)$$

• Vật liệu giòn :

$$\sigma_{z\max} \leq [\sigma]_k \quad (8-8)$$

$$\sigma_{z\min} \leq [\sigma]_n \quad (8-9)$$

Từ các điều kiện bền ta cũng có 3 bài toán cơ bản :

+ Kiểm tra bền theo công thức (8-7) hoặc (8-8) và (8-9)

+ Tìm tải trọng cho phép

+ Chọn kích thước mặt cắt ngang: có nhiều đại lượng chưa biết J_x ,

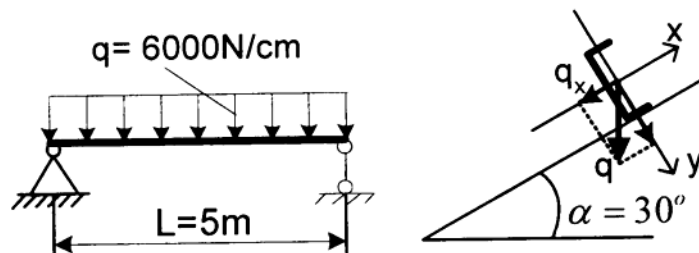
J_y , $x_{\max}^k$, $y_{\max}^k$, $x_{\max}^n$, $y_{\max}^n$.

Để giải bài toán này ta phải dùng phương pháp thử dần, tức là giả định kích thước mặt cắt ngang, sau đó kiểm tra bền. Nếu chưa đạt thì phải chọn lại cho đến khi điều kiện bền được thỏa.

Ví dụ 8-1

Kiểm tra bền cho xà gồ bằng thép có mặt cắt ngang là thép chữ C N°40 đặt lên hai vì kèo có nhịp $L = 5\text{m}$, chịu tải trọng phân bố đều $q = 6 \text{ kN/m}$ (Hình 8-2). Mái nghiêng với mặt nằm ngang một góc $\alpha = 30^\circ$. Cho biết thép làm xà gồ có $[\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2$, xem xà gồ đặt lên hai vì kèo như là một dầm đặt lên hai gối tựa.

Hình 8-2

**Giải**

Lực phân bố q được phân thành hai thành phần theo hai phương x và y (Hình 8-2)

$$q_x = q \cdot \sin 30^\circ = 6 \times 0,5 = 3 \text{ kN/m}$$

$$q_y = q \cdot \cos 30^\circ = 6 \times 0,866 = 5,196 \text{ kN/m}$$

Thép chữ C N°40 có:

$$W_x = 761 \text{ cm}^3; W_y = 73,4 \text{ cm}^3$$

Momen uốn lớn nhất ở giữa nhịp dầm

$$M_x = q_y \cdot \frac{L^2}{8} = 5,196 \cdot \frac{5^2}{8} = 16,2375 \text{ kNm} = 1623,75 \text{ kNcm}$$

$$M_y = q_x \cdot \frac{L^2}{8} = 3 \cdot \frac{5^2}{8} = 9,375 \text{ kNm} = 937,5 \text{ kNcm}$$

$$\sigma_{z\max} = |\sigma_{z\min}| = \frac{|M_x|}{W_x} + \frac{|M_y|}{W_y} = \frac{1623,75}{761} + \frac{937,5}{73,4}$$

$$= 14,9 \text{ kN/cm}^2 < [\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2 : \text{thỏa bền}$$

8.3. Uốn và kéo (hay nén) đồng thời:

8.3.1. Định nghĩa:

Thanh chịu uốn và kéo (nén) đồng thời là thanh chịu lực sao cho trên mọi mặt cắt ngang của nó có các thành phần nội lực: các mômen uốn M_x , M_y và lực dọc N_z (Hình 8-3).

Bài toán này là sự kết hợp của hai bài toán uốn xiên và kéo (hay nén) đúng tâm.

8.3.2. Ứng suất pháp trên mặt cắt ngang:

Ứng suất tại điểm $A(x, y)$ trên mặt cắt ngang có trị số :

$$\sigma_{z\max} = \frac{N_z}{F} + \frac{M_x}{J_x} y + \frac{M_y}{J_y} x \quad (8-10)$$

Dấu của các thành phần mômen uốn quy ước như trong uốn xiên, lực dọc $N_z > 0$ nếu là lực kéo, và $N_z < 0$ nếu là lực nén.

Hoặc có thể dùng công thức kỹ thuật sau :

$$\sigma_z = \pm \frac{|N_z|}{F} \pm \frac{|M_x|}{J_x} |y| \pm \frac{|M_y|}{J_y} |x| \quad (8-11)$$

Dấu (+), (-) trước mỗi số hạng tùy theo các thành phần nội lực tương ứng gây kéo hay nén tại điểm muốn tính ứng suất.

8.3.3. Điều kiện bền:

Giống như uốn xiên

8.4. Kéo – nén lệch tâm:

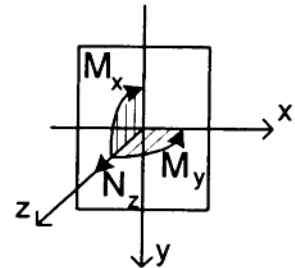
Thanh chịu kéo (hay nén) lệch tâm (Hình 8-4) khi hợp lực của ngoại lực có thể thu về một lực N có phương song song trục thanh nhưng không trùng trục thanh.

Tương ứng với ngoại lực như thế ta cũng có nội lực trên mặt cắt ngang là N song song trục thanh nhưng không trùng với trục thanh. $K(x_k, y_k)$ là điểm đặt của lực P . Thành phần nội lực gồm có :

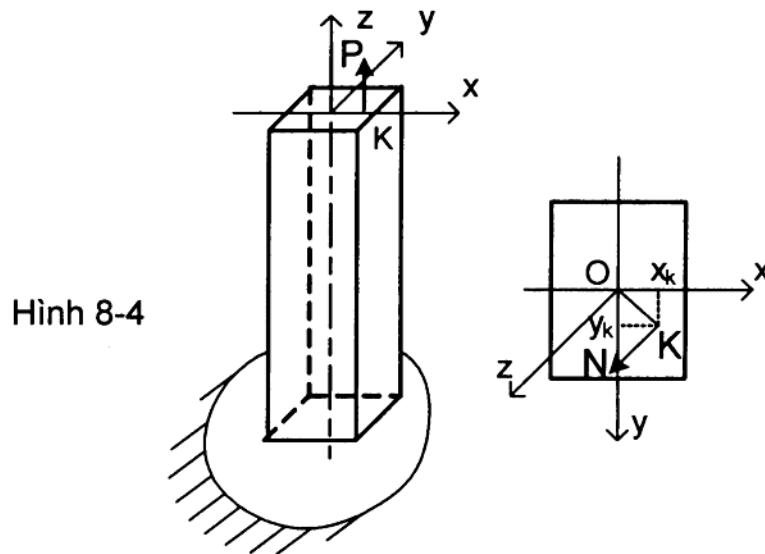
$$\text{- Thành phần lực dọc } N_z = N \quad (8-12)$$

$$\text{- Mômen uốn : } M_x = N \cdot y_k ; M_y = N \cdot x_k \quad (8-13)$$

Như vậy bài toán kéo (hay nén) lệch tâm đã được đưa về bài toán uốn cộng kéo (hay nén) đồng thời.



Hình 8-3



Hình 8-4

8.5. Uốn và xoắn đồng thời đối với thanh tròn:

8.5.1. Định nghĩa:

Thanh chịu uốn và xoắn đồng thời là thanh mà trên mọi mặt cắt ngang tồn tại hai thành phần mômen uốn M_x , M_y và một thành phần mômen xoắn M_z .

Bài toán này thường gặp nhiều nhất trong các chi tiết máy, hay các thanh không gian. Ví dụ như trục truyền lực chịu xoắn do các mômen xoắn ở các puli và chịu uốn do trọng lượng bản thân trục, trọng lượng puli và lực căng trong dây gây nên.

8.5.2. Ứng suất trên mặt cắt ngang:

Ứng suất pháp :

$$\sigma_{z\max} = |\sigma_{z\min}| = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{W_x} \quad (8-14)$$

Ứng suất tiếp lớn nhất ở các điểm trên chu vi mặt cắt do mômen xoắn M_z gây ra :

$$\tau_{\max} = \frac{M_z}{W_p} \quad (8-15)$$

8.5.3. Điều kiện bền:

- Theo thuyết bền ứng suất tiếp lớn nhất (thuyết bền 3) :

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma_z^2 + 4\tau^2} = \frac{1}{W_x} \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \leq [\sigma] \quad (8-16)$$

- Theo thuyết bền thế năng biến đổi hình dáng lớn nhất (thuyết bền 4) :

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau^2} = \frac{1}{W_x} \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + \frac{3}{4}M_z^2} \leq [\sigma] \quad (8-17)$$

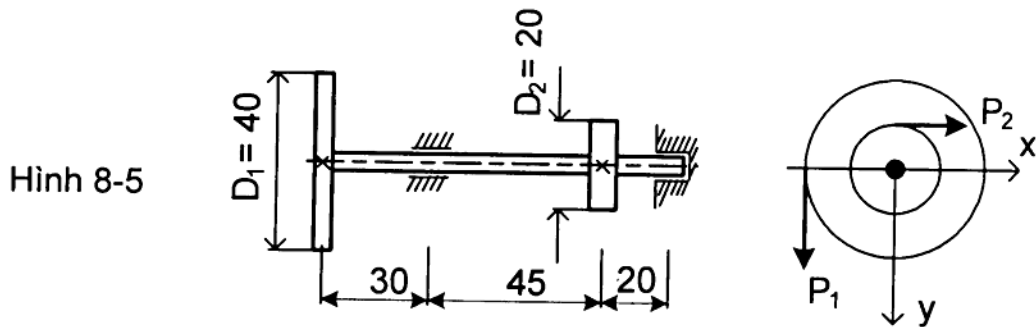
- Theo thuyết bền Mohr (dùng cho thanh làm bằng vật liệu dòn) :

$$\alpha = \frac{[\sigma]_k}{[\sigma]_n}$$

$$\sigma_{td} = \frac{1-\alpha}{2} \sigma_z + \frac{1+\alpha}{2} \sqrt{\sigma_z^2 + 4\tau^2} =$$

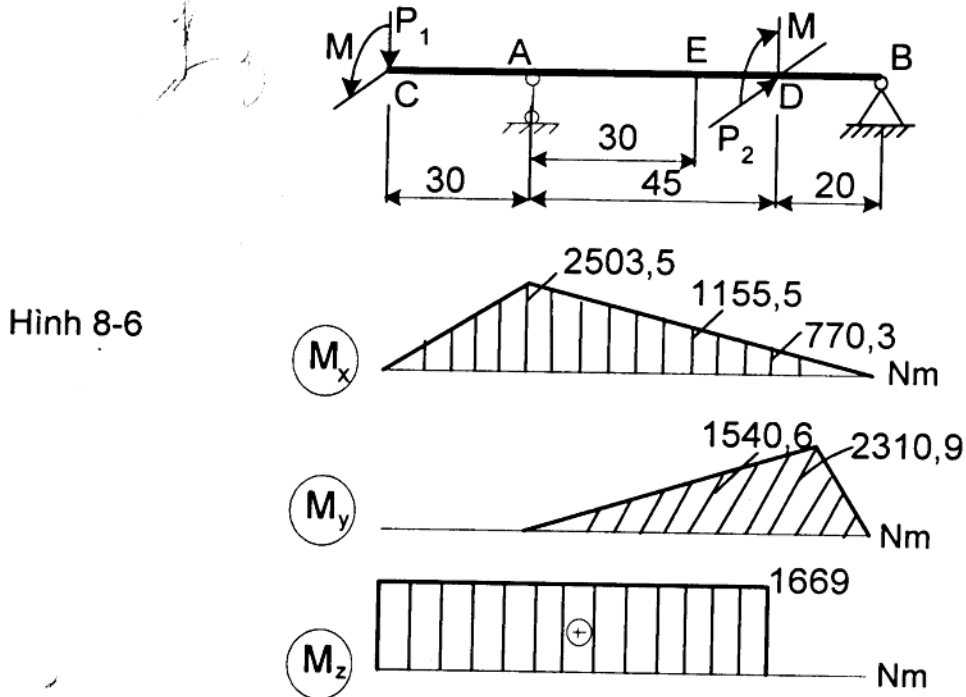
$$\frac{1}{W_x} \left[\frac{1-\alpha}{2} \sqrt{M_x^2 + M_y^2} + \frac{1+\alpha}{2} \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \right] \leq [\sigma]_k \quad (8-18)$$

Ví dụ 8-2



Xác định đường kính d của trục truyền (Hình 8-5), đơn vị kích thước là cm). Cho công suất của động cơ $N = 60 \text{ kW}$, tốc độ quay của động cơ $n = 350 \text{ v/ph}$, ứng suất cho phép của vật liệu $[\sigma] = 7 \text{ kN/cm}^2$

Giải :



Mômen xoắn ngoại lực :

$$M_z = 9736 \times \frac{N}{n} = 9736 \times \frac{60}{350} = 1669 \text{ Nm}$$

Giá trị các lực P_1 và P_2 :

$$P_1 = \frac{M_z}{\frac{D_1}{2}} = \frac{1669}{0,2} = 8345 \text{ N}$$

$$P_2 = \frac{M_z}{\frac{D_2}{2}} = \frac{1669}{0,1} = 16690 \text{ N}$$

Sơ đồ tính và biểu đồ nội lực được vẽ ở hình 8-6.

Căn cứ vào biểu đồ nội lực, chúng ta thấy mặt cắt nguy hiểm có thể là A, D hay E (E cách A 30cm)

+ Mômen xoắn tại các mặt cắt này có cùng trị số:

$$M_z = 1669 \text{ Nm} = 166,9 \text{ kNcm}$$

+ Mômen uốn tổng cộng tại các mặt cắt trên là :

Tại A : $M_x = 2503,5 \text{ Nm} = 250,35 \text{ kNcm}$; $M_y = 0$

$$\Rightarrow M_u = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = 250,35 \text{ kNcm}$$

Tại D : $M_x = 77,03 \text{ kNcm}$; $M_y = 231,09 \text{ kNcm}$

$$\Rightarrow M_u = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = 243,6 \text{ kNcm}$$

Tại E : $M_x = 115,55 \text{ kNcm}$; $M_y = 154,06 \text{ kNcm}$

$$\Rightarrow M_u = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = 192,6 \text{ kNcm}$$

Vậy mặt cắt nguy hiểm ở A

Theo thuyết bền ứng suất tiếp lớn nhất ta có :

$$\frac{1}{W_x} \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} = \frac{1}{0,1d^3} \sqrt{250,35^2 + 166,9^2} \leq [\sigma] = 7 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Rightarrow \boxed{d \geq 7,55 \text{ cm}}$$

8.6. Bài tập chương 8

8.1. Dầm AB chịu lực như hình 8-7. Cho $q = 6 \text{ kN/m}$; $L = 6 \text{ m}$; vật liệu dầm có $[\sigma] = 140 \text{ MN/m}^2$.

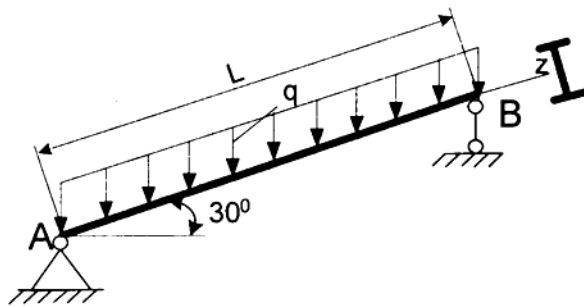
Chọn số hiệu mặt cắt khi dầm làm bằng thép chữ I đặt đứng?

ĐS: Thép chữ I số 22.

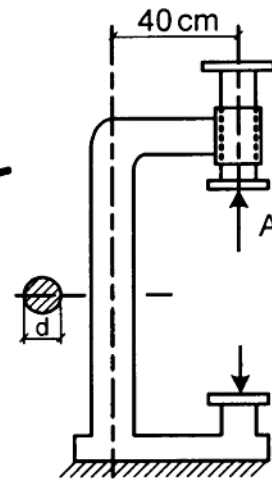
8.2. Xác định đường kính của trụ một giá ép hình 8-8, khi tại điểm A chịu lực ép bằng 15 kN .

Trụ làm bằng gang ứng suất phép khi kéo $3,5 \text{ kN/cm}^2$.

ĐS: $d = 122 \text{ mm}$



Hình 8-7

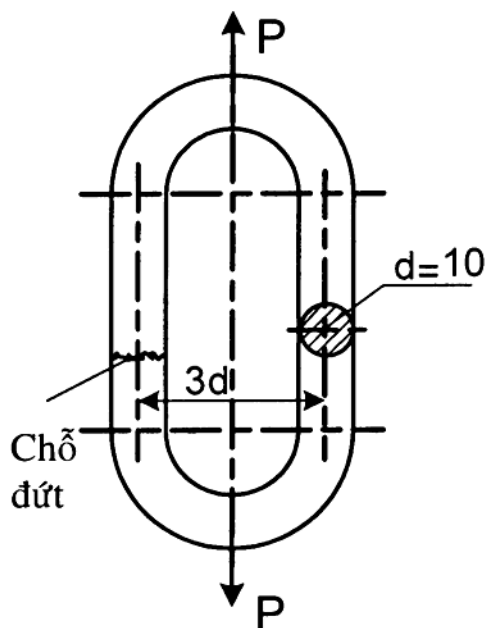


Hình 8-8

8.3. Một mắt xích có kích thước và chịu lực như hình 8-9.

Tính ứng suất trên đoạn thẳng của mắt xích. Nếu một bên mắt bị đứt chỉ còn một bên làm việc thì ứng suất tăng bao nhiêu lần?

ĐS: $\sigma = 0,635P \text{ N/cm}^2$; 26 lần.



Hình 8-9

TIỂU LUẬN

1. Bài 2.4, trong đó góc nghiêng tại C là α . Tính thêm chuyển vị tại C, A
2. Bài 2.5, 3 thanh treo là thép tròn đường kính d , tìm tải trọng cho phép P ?
3. Bài 2.6, trong đó 2 thanh treo là thép IN^o10, tìm tải trọng cho phép P và chuyển vị tại D?
4. Bài 2.7, trong đó $x = 0,5\text{m}$, $P = 50\text{ kN}$. Kiểm tra bền cho kết cấu và tìm chuyển vị tại A, $F = 2\text{cm}^2$.
5. Bài 2.9a, trong đó thanh 1 và 2 có tiết diện tròn $d = 50\text{mm}$.
6. Bài 2.9b, trong đó thanh 1 và 2 có tiết diện tròn $d = 50\text{mm}$, chuyển vị tại B.
7. Bài 3.2, trong đó số đinh tán dùng để ghép là m .
8. Bài 3.3, $d = 20\text{mm}$, $P = 80\text{ kN}$
9. Bài 3.5, theo mô hình 3-9 nhưng tìm tải trọng cho phép P ?
10. Bài 5.6, trong đó $\alpha = d/D = 0,6$
11. Bài 5.7, trong đó $N = 7,5\text{ kW}$, $D_1 = 180\text{mm}$, $D_2 = 360\text{mm}$.
12. Bài 5.10, tính đường kính trục với $N = 10\text{kW}$, n .
13. Dầm chịu uốn ngang phẳng.
 - a) Tìm đường kính mặt cắt ngang nếu dầm làm bằng thép tròn
 - b) Tìm số hiệu thép I, nếu dầm làm bằng thép I đặt đứng.
14. Bài 6.11 a, trong đó thanh AB và AC có đường kính 25mm.
15. Bài 6.11 b, trong đó thanh AB và AC có đường kính 25mm.
16. Bài 6.12, trong đó thanh AB và AC có đường kính 25mm.
17. Bài 7.6, trong đó thanh chống AB có đường kính 25mm.
18. Bài 7.5, trong đó thanh chống AB có tiết diện tròn.

TỜ BÌA CỦA TIỂU LUẬN

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP TP.HCM (14)

KHOA CƠ KHÍ (14)

BỘ MÔN CƠ SỞ THIẾT KẾ MÁY (14)

TIỂU LUẬN MÔN HỌC (22)

SỨC BỀN VẬT LIỆU (28)

Lớp học phần:	Nhóm :	(14)
Sinh viên thực hiện :	MSSV :	(14)
Học kỳ :	Năm học :	(14)
Giáo viên giảng dạy : (14)		

Lưu ý :

- Tờ bì có các thông số với size như trên, dán trải trên một trang.
- Trong tiểu luận của nhóm trưởng phải có danh sách của toàn bộ thành viên và biên bản họp nhóm đặt sau trang bì.
- Trình bày trên giấy A4, một mặt, có chừa lề.
- Trên mỗi bài phải ghi lại toàn bộ các vấn đề được đặt ra kèm theo mô hình, không được dùng mô hình này để phân tích lực và giải.
- Phần giải đều phải kèm theo sơ đồ lực rõ ràng hoặc họa đồ vận tốc, họa đồ gia tốc.
- Cuối mỗi bài phải có kết luận (kết quả), nhận xét.
- Mỗi cá nhân làm tiểu luận theo đề tài được giao cho nhóm, bám lại (không cần bì cứng). Khi nộp phải bó lại theo nhóm.

NHÓM	BÀI SỐ			
	1	2	3	4
1	1: $\alpha = 60^\circ$	7: $m = 4$	11	13 mô hình bài 6.1b
2	1: $\alpha = 60^\circ$, $F_1 = F_2 = 2\text{cm}^2$	7: $m = 5$, $d = 16\text{mm}$	bài 5.6	13 mô hình bài 6.1a
3	1: $\alpha = 90^\circ$, $F_1 = F_2 = 2\text{cm}^2$	7: $m = 3$, $d = 20\text{mm}$	12, $n = 300\text{v/ph}$	13 mô hình bài 6.1c
4	1: $\alpha = 90^\circ$, $d_1 = d_2 = 8\text{cm}$	8: $d = 24\text{mm}$, $P = 100\text{kN}$	12, $n = 400\text{v/ph}$	13 mô hình bài 6.1d
5	2: $d = 5\text{cm}$	8	12, $n = 500\text{v/ph}$	6.10
6	2: $d = 8\text{cm}$	8: $d = 24\text{mm}$, $P = 100\text{kN}$	bài 5.4	14
7	3: IN ^o 20	8: $d = 20\text{mm}$, $P = 100\text{kN}$	bài 5.1 & 5.2	15
8	3: IN ^o 24	bài 3.4 : $b = 12\text{cm}$, $h = 24\text{cm}$, $P = 80\text{kN}$	bài 5.5	16
9	4	7: $m = 4$, $d = 20\text{mm}$		17
10	4: $x=0,5\text{m}$, $P = 80\text{kN}$	9: $m = 4$, $d = 18\text{mm}$	bài 5.10	18
11	5	9: $m = 5$, $d = 16\text{mm}$	bài 5.9	6.8
12	5: $d = 8\text{cm}$	9: $m = 6$, $d = 16\text{mm}$	bài 5.8	6.9
13	5: thanh 1&2 bằng IN ^o 20	9: $m = 4$, $d = 18\text{mm}$	bài 5.10	6.5
14	6	bài 3.4	bài 5.4	6.4
15	6: thanh 1&2 bằng IN ^o 20	bài 3.6	bài 5.1 & 5.3	6.3 : $T = 1\text{ kN}$, $q = 600\text{ N/m}$

PHỤ LỤC

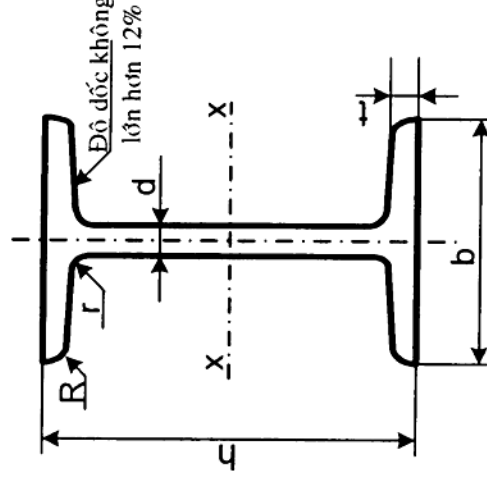
THÉP CHỮ I

TCVN 1655 – 75

- Tiêu chuẩn này áp dụng cho thép chữ I cán nóng có chiều cao từ 100mm đến 600mm.
1. Kích thước, diện tích mặt cắt ngang, khối lượng và các đại lượng tra cứu phải phù hợp với bảng tra và hình vẽ.
 2. Khối lượng 1m chiều dài tính theo kích thước danh nghĩa với khối lượng riêng của thép bằng $7,85\text{g/cm}^3$.
 3. Ký hiệu quy ước thép chữ I : ví dụ thép I có chiều cao thân 300mm là:

I 30 TCVN 1655 – 75

- h - chiều cao
 b - chiều rộng chân
 d - chiều dày thân
 t - chiều dày trung bình của chân
 R - bán kính lượn trong
 r - bán kính lượn chân
 J - mômen quán tính
 i - bán kính quán tính
 W - mômen cản
 S - mômen tĩnh của nửa mặt cắt



Số hiệu	Kích thước, mm				D/tích m/cắt cm ²	K/lg 1m dài, kg	Đại lượng tra cứu cho trục						
	h	b	d	t			X – X			Y – Y			
							J _x , cm ⁴	W _x , cm ³	i _x , cm	S _x , cm ³	J _y , cm ⁴	W _y , cm ³	i _y , cm
10	100	55	4,5	7,2	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	11,5	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	13,7	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	160	81	5,0	7,8	20,2	15,9	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70
18	180	90	5,1	8,1	23,4	18,4	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
18a	180	100	5,1	8,3	25,4	19,9	1430	159,0	7,51	89,8	114,0	22,8	2,12
20	200	100	5,2	8,4	26,8	21,0	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,1	2,07
20a	200	110	5,2	8,6	28,9	22,7	2030	203,0	8,37	114,0	155,0	28,2	2,32
22	220	110	5,4	8,7	30,6	24,0	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,6	2,27
22a	220	120	5,4	8,9	32,8	25,8	2790	254,0	9,22	143,0	206,0	34,3	2,50
24	240	115	5,6	9,5	34,8	27,3	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,5	2,37
24a	240	125	5,6	9,8	37,5	29,4	3800	317,0	10,1	178,0	260,0	41,6	2,63
27	270	125	6,0	9,8	40,2	31,5	5010	371,0	11,2	210,0	260,0	41,5	2,54
27a	270	135	6,0	10,2	43,2	33,9	5500	407,0	11,3	229,0	337,0	50,0	2,80
30	300	135	6,5	10,2	46,5	36,5	7080	472,0	12,3	268,0	337,0	49,9	2,69
30a	300	145	6,5	10,7	49,9	39,2	7780	518,0	12,5	292,0	436,0	60,1	2,95
33	330	140	7,0	11,2	53,8	42,2	9840	597,0	13,5	339,0	419,0	59,9	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	48,6	13380	743,0	14,7	423,0	516,0	71,1	2,89
40	400	155	8,3	13,0	72,6	57,0	19062	953,0	16,2	545,0	667,0	86,1	3,03
45	450	160	9,0	14,2	84,7	66,5	27696	1231,0	18,1	708,0	808,0	101,0	3,09
50	500	170	10,	15,2	100,	78,5	39727	1589,0	19,9	919,0	1043,	123,0	3,23
55	550	180	11,	16,5	118,	92,6	55962	2035,0	21,8	1181,	1356,	151,0	3,39
60	600	190	12,	17,8	138,	108,0	76806	2560,0	23,6	1491,	1725,	182,0	3,54

Số hiệu	Kích thước, mm				Diện tích m/cắt cm ²	K/kg 1m dài kg	Đại lượng tra cứu cho trục								Z ₀ (cm)
	h	b	d	t			X – X				Y – Y				
							J _x , (cm ⁴)	W _x (cm ³)	i _x , (cm)	S _x , (cm ³)	J _y , (cm ⁴)	W _y (cm ³)	i _y (cm)		
5	50	32	4,4	7,0	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16	
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	9,0	8,7	3,68	1,08	1,24	
8	80	40	4,5	7,4	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31	
10	100	46	4,5	7,6	10,9	8,59	174,0	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44	
12	120	52	4,8	7,8	13,3	10,4	304,0	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54	
14	140	58	4,9	8,1	15,6	12,3	491,0	70,2	5,60	40,8	45,4	11,0	1,70	1,67	
14a	140	62	4,9	8,7	17,0	13,3	545,0	77,8	5,66	45,1	57,5	13,3	1,84	1,87	
16	160	64	5,0	8,4	18,1	14,2	747,0	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,80	
16a	160	68	5,0	9,0	19,5	15,3	823,0	103,	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2,00	
18	180	70	5,1	8,7	20,7	16,3	1090,	121,	7,24	69,8	86,0	17,0	2,04	1,94	
18a	180	74	5,1	9,3	22,2	17,4	1190,	132,	7,32	76,1	105,	20,0	2,18	2,13	
20	200	76	5,2	9,0	23,4	18,4	1520,	152,	8,07	87,8	113,	20,5	2,20	2,07	
20a	200	80	5,2	9,7	25,2	19,8	1670,	167,	8,15	95,9	139,	24,2	2,35	2,28	
22	220	82	5,4	9,5	26,7	21,0	2110,	192,	8,89	110,	151,	25,1	2,37	2,21	
22a	220	87	5,4	10,2	28,8	22,6	2330,	212,	8,99	121,	187,	30,0	2,55	2,46	
24	240	90	5,6	10,0	30,6	24,0	2900,	242,	9,73	139,	208,	31,6	2,60	2,42	
24a	240	95	5,6	10,7	32,9	25,8	3180,	265,	9,84	151,	254,	37,2	2,78	2,67	
27	270	95	6,0	10,5	35,2	27,7	4160,	308,	10,9	178,	262,	37,3	2,73	2,47	
30	300	100	6,5	11,0	40,5	31,8	5810,	387,	12,0	224,	327,	43,6	2,84	2,52	
33	330	105	7,0	11,7	46,5	36,5	7980,	484,	13,1	281,	410,	51,8	2,97	2,59	
36	360	110	7,5	12,6	53,4	41,9	10820	601,	14,2	350,	513,	61,7	3,10	2,68	
40	400	115	8,0	13,5	61,5	48,3	15220	761,	15,7	444,	642,	73,4	3,23	2,75	

3,2	32	3	1,86	1,46	1,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,63	3,26	0,89
		4	2,43	1,91	2,26	0,96	3,58	1,21	0,94	0,62	4,39	0,94
3,6	36	3	2,10	1,65	2,56	1,10	4,06	1,39	1,06	0,71	4,64	0,99
		4	2,75	2,16	3,29	1,09	5,21	1,38	1,36	0,70	6,24	1,04
4,0	40	3	2,35	1,85	3,55	1,23	5,63	1,55	1,47	0,79	6,35	1,09
		4	3,08	2,42	4,58	1,22	7,26	1,53	1,90	0,78	8,53	1,13
		5	3,79	2,97	5,53	1,20	8,75	1,54	2,30	0,79	10,73	1,17
4,5	45	3	2,65	2,08	5,13	1,39	8,13	1,75	2,12	0,89	9,04	1,21
		4	3,48	2,73	6,63	1,38	10,5	1,74	2,74	0,89	12,10	1,20
		5	4,29	3,37	8,03	1,37	12,7	1,72	3,33	0,88	15,30	1,30
5,0	50	3	2,96	2,32	7,11	1,55	11,3	1,95	2,95	1,00	12,4	1,33
		4	3,89	3,05	9,21	1,54	11,6	1,94	3,80	0,99	16,6	1,38
		5	4,80	3,77	11,20	1,53	17,8	1,92	4,63	0,98	20,9	1,42
5,6	56	4	4,38	3,44	13,10	1,73	20,8	2,18	5,41	1,11	23,3	1,52
		5	5,41	4,25	16,00	1,72	25,4	2,16	6,59	1,10	29,2	1,57
6,3	63	4	4,96	3,90	18,90	1,95	29,9	2,45	7,81	1,25	33,1	1,69
		5	6,13	4,81	23,10	1,94	36,6	2,44	9,52	1,25	41,5	1,74
		6	7,28	5,72	27,10	1,93	42,9	2,43	11,2	1,24	50,0	1,78
7,0	70	5	6,86	5,38	31,90	2,16	50,7	2,72	13,2	1,39	56,7	1,90
		6	8,15	6,39	37,60	2,15	59,6	2,71	15,5	1,38	68,4	1,94
		7	9,42	7,39	43,00	2,14	68,2	2,69	17,8	1,37	80,1	1,99
		8	10,70	8,37	48,20	2,13	76,4	2,68	20,0	1,37	91,9	2,02
8,0	80	6	9,38	7,36	57,0	2,47	90,4	3,11	23,5	1,58	102	2,19
		7	10,80	8,51	65,3	2,45	104,0	3,093,08	27,0	1,581,57	119	2,23
		8	12,30	9,65	73,4	2,44	116,0		30,3		137	2,27
9,0	90	6	10,60	8,33	82,1	2,78	130,0	3,50	34,0	1,79	145	2,43
		7	12,30	9,64	94,3	2,77	150,0	3,49	38,9	1,78	169	2,47
		8	13,90	10,90	106,0	2,76	168,0	3,48	43,8	1,77	194	2,51
		9	15,60	12,20	118,0	2,75	186,0	3,46	48,6	1,77	219	2,55
10,0	100	7	13,80	10,80	131,0	3,08	207,0	3,88	54,2	1,98	231	2,71
		8	15,60	12,20	147,0	3,07	233,0	3,87	60,9	1,98	265	2,75
		10	19,20	15,10	179,0	3,05	284,0	3,84	74,1	1,96	333	2,83
		12	22,80	17,90	209,0	3,03	331,0	3,81	86,9	1,95	402	2,91
		14	26,30	20,60	237,0	3,00	375,0	3,78	99,3	1,94	472	2,99
		16	29,70	23,30	264,0	2,98	416,0	3,74	112	1,94	542	3,06

11,0	110	7	15,20	11,90	176,0	3,40	279,0	4,29	72,7	2,19	308	2,96
		8	17,20	13,50	198,0	3,39	315,0	4,28	81,8	2,18	353	3,00
12,5	125	8	19,7	15,5	294,0	3,87	467,0	4,87	122	2,49	516	3,36
		9	22,0	17,3	327,0	3,86	520,0	4,86	135	2,48	582	3,40
		10	24,3	19,1	360,0	3,85	571,0	4,84	149	2,47	649	3,45
		12	28,9	22,7	422,0	3,82	670,0	4,82	174	2,46	782	3,53
		14	33,4	26,2	482,0	3,80	764,0	4,78	200	2,45	916	3,61
		16	37,8	29,6	539,0	3,78	853,0	4,75	224	2,44	1051	3,68
14,0	140	9	24,7	19,4	466,0	4,34	739,0	5,47	192	2,79	818	3,78
		10	27,3	21,5	512,0	4,33	814,0	5,46	211	2,78	911	3,82
		12	32,5	25,5	602,0	4,31	957,0	5,43	248	2,76	1097	3,90
16,0	160	10	31,4	24,7	774,0	4,96	1229	6,25	319	3,19	1356	4,30
		11	34,4	27,0	844,0	4,95	1341	6,24	348	3,18	1494	4,35
		12	37,4	29,4	913,0	4,94	1450	6,23	376	3,17	1633	4,39
		14	43,3	34,0	1046	4,92	1662	6,20	431	3,16	1911	4,47
		16	49,1	38,5	1175	4,89	1866	6,17	485	3,14	2191	4,55
		18	54,8	43,0	1299	4,87	2061	6,13	537	3,13	2472	4,63
		20	60,4	47,4	1419	4,85	2248	6,10	589	3,12	2756	4,70
		11	38,8	30,5	1216	5,60	1933	7,06	500	3,59	2128	4,85
18,0	180	12	42,2	33,1	1317	5,59	2093	7,04	540	3,58	2324	4,89
20,0	200	12	47,1	37,0	1823	6,22	2896	7,84	749	3,99	3182	5,37
		13	50,9	39,9	1961	6,21	3116	7,83	805	3,98	3452	5,42
		14	54,6	42,8	2097	6,20	3333	7,81	861	3,97	3722	5,46
		16	62,0	48,7	2363	6,17	3755	7,78	970	3,96	4264	5,54
		20	76,5	60,1	2871	6,12	4560	7,72	1182	3,93	5355	5,70
		25	94,3	74,0	3466	6,06	5494	7,63	1438	3,91	6733	5,89
		30	111,5	87,6	4020	6,00	6351	7,55	1688	3,89	8130	6,07

THÉP GÓC CẠNH KHÔNG ĐỀU

TCVN 1657 – 75

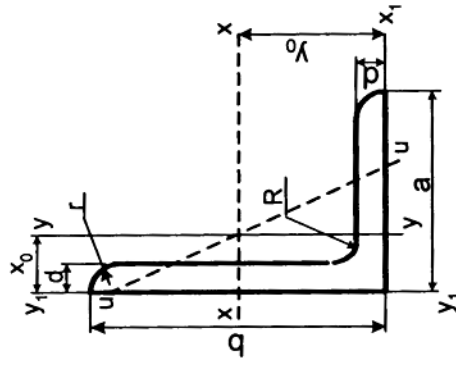
Tiêu chuẩn này áp dụng cho thép góc cạnh không đều cán nóng có chiều rộng cạnh từ 25mm đến 200mm.

- Kích thước, diện tích mặt cắt ngang, khối lượng và các đại lượng tra cứu phải phù hợp với bảng tra và hình vẽ.
- Khối lượng 1m chiều dài tính theo kích thước danh nghĩa với khối lượng riêng của thép bằng 7,85g/cm³.
- Ký hiệu quy ước thép góc cạnh không đều:

Ví dụ thép góc cạnh không đều có kích thước 100 x 63 x 4mm là: L 100 x 63 x 4. TCVN 1656 – 75

a - chiều rộng cạnh
d - chiều dày cạnh
R - bán kính lượn trong
r - bán kính lượn cạnh
J - mômen quán tính
i - bán kính quán tính

x_0 ; y_0 - khoảng cách từ trọng tâm đến mép cạnh



Số hiệu	Kích thước, mm			D/tích m/cắt ngang cm ²	K/lg 1m dài, kg	Đại lượng tra cứu							
	b	a	d			X-X		Y-Y		X ₁ -X ₁		Y ₁ -Y ₁	
						J _x , cm ⁴	i _x , cm	J _y , cm ⁴	i _y , cm	J _x , cm ⁴	i _x , cm	J _y , cm ⁴	i _y , cm
2,5/1,6	25	16	3	1,16	0,91	0,70	0,78	0,22	0,44	1,56	0,86	0,43	0,42
3,2/2	32	20	3	1,49	1,17	1,52	1,01	0,46	0,55	3,26	1,08	0,82	0,49
			4	1,94	1,52	1,93	1,00	0,57	0,54	4,38	1,12	1,12	0,53
4/2,5	40	25	3	1,89	1,48	3,06	1,27	0,93	0,70	6,37	1,32	1,58	0,59
			4	2,47	1,94	3,93	1,26	1,18	0,69	8,53	1,37	2,15	0,63
4,5/2,8	45	28	3	2,14	1,68	4,41	1,43	1,32	0,79	9,02	1,47	2,20	0,64
			4	2,80	2,20	5,68	1,42	1,69	0,78	12,1	1,51	2,98	0,68
5/3,2	50	32	3	2,42	1,90	6,17	1,60	1,99	0,91	12,4	1,60	3,26	0,72
			4	3,17	2,49	7,98	1,59	2,56	0,90	16,6	1,65	4,42	0,76
5,6/3,6	56	36	4	3,58	2,81	11,40	1,78	3,70	1,02	23,2	1,82	6,25	0,84
			5	4,41	3,46	13,80	1,77	4,48	1,01	29,2	1,86	7,91	0,88

6,3/4	63	40	4	4,04	3,17	16,30	2,01	5,16	1,13	33,0	2,03	8,51	0,91
			5	4,98	3,91	19,90	2,00	6,26	1,12	41,4	2,08	10,8	0,95
			6	5,90	4,63	23,30	1,99	7,28	1,11	49,9	2,12	13,1	0,99
			8	7,68	6,03	29,60	1,96	9,15	1,09	66,9	2,20	17,9	1,07
7/4,5	70	50	5	5,59	4,39	27,80	2,23	9,05	1,27	56,7	2,28	15,2	1,05
			5	6,36	4,99	41,60	2,56	12,7	1,41	84,6	2,60	20,8	1,13
8/5	80	50	6	7,55	5,92	49,00	2,55	14,8	1,40	102	2,65	25,2	1,17
			5,5	7,86	6,17	65,30	2,88	19,7	1,58	132	2,92	32,2	1,26
9/5,6	90	56	6	8,54	6,70	70,60	2,88	21,2	1,58	145	2,95	35,2	1,28
			8	11,18	8,77	90,90	2,85	27,1	1,56	194	3,04	47,8	1,36
			6	9,59	7,53	98,30	3,20	30,6	1,79	198	3,23	49,9	1,42
10/6,3	100	63	7	11,10	8,70	113,0	3,19	35,0	1,78	232	3,28	58,7	1,46
			8	12,60	9,87	127,0	3,18	39,2	1,77	266	3,32	67,6	1,50
			10	15,50	12,10	154,0	3,15	47,1	1,75	333	3,40	85,8	1,58
11/7	110	70	6,5	11,40	8,98	142,0	3,53	45,6	2,00	286	3,55	74,30	1,58
			8	13,90	10,9	172,0	3,51	54,6	1,98	353	3,61	92,30	1,64
			7	14,10	11,0	227,0	4,01	73,7	2,29	452	4,01	119,0	1,80
12,5/8	125	80	8	16,00	12,5	256,0	4,00	83,0	2,28	518	4,05	137,0	1,84
			10	19,70	15,5	312,0	3,98	100,0	2,26	649	4,14	173,0	1,92
			12	23,40	18,3	365,0	3,95	117,0	2,24	781	4,22	210,0	2,00
14/9	140	90	8	18,00	14,1	364,0	4,49	120,0	2,58	727	4,49	194,0	2,03
			10	22,20	17,5	444,0	4,47	146,0	2,56	911	4,58	245,0	2,12
			9	22,90	18,0	606,0	5,15	186,0	2,85	1221	5,19	300,0	2,23
16/10	160	100	10	25,30	19,8	667,0	5,13	204,0	2,84	1359	5,23	335,0	2,28
			12	30,00	23,6	784,0	5,11	239,0	2,82	1634	5,32	405,0	2,36
			14	34,70	27,3	897,0	5,08	272,0	2,80	1910	5,40	477,0	2,43
18/11	180	110	10	28,30	22,2	952,0	5,80	276,0	3,12	1933	5,88	444,0	2,44
			12	33,70	26,4	1123	5,77	324,0	3,10	2324	5,97	537,0	2,52
			11	34,90	27,4	1449	6,45	446,0	3,58	2920	6,50	718,0	2,79
20/12,5	200	125	12	37,90	29,7	1568	6,43	482,0	3,57	3189	6,54	786,0	2,83
			14	43,90	34,4	1801	6,41	551,0	3,54	3726	6,62	922,0	2,91
			16	49,80	39,1	2026	6,38	617,0	3,52	4264	6,71	1061	2,99
			12	48,30	37,9	3147	8,07	1032	4,62	6212	7,97	1634	3,53
25/16	250	160	16	63,60	49,9	4091	8,02	1333	4,58	8308	8,14	2200	3,69
			18	71,10	55,8	4545	7,99	1475	4,56	9358	8,23	2487	3,77
			20	78,50	61,7	4987	7,97	1613	4,53	10410	8,31	2776	3,85

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Cơ học ứng dụng. Đỗ Sanh - Nguyễn Văn Vượng.
Nhà xuất bản giáo dục 2002.
2. Giáo trình giản yếu cơ học lý thuyết. X.M.Targ. Dịch giả: Phạm Huyền.
Nhà xuất bản Giáo dục. Hà Nội - 1994.
3. Cơ học lý thuyết. Ninh Quang Hải. Nhà xuất bản Xây dựng. Hà Nội – 1997.
4. Cơ học lý thuyết. Trần Hữu Duẩn.
NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp 1970.
5. Cơ học. Nguyễn Hữu Xỷ, Trương Quang Nghĩa, Nguyễn Văn Thỏ
Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp. Hà Nội - 1985.
6. Bài tập Cơ học ứng dụng.
PGS.TS. Nguyễn Nhật Lệ - PGS.TS Nguyễn Văn Vượng
Nhà xuất bản Giáo dục. Hà Nội – 2001.
7. Tuyển tập bài tập cơ học kỹ thuật. N.M. Vđô rôp, A.G. Bexpankô
Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp. Hà Nội - 1980.
8. Sức bền vật liệu (tập 1 và 2). Bùi Trọng Lựu và các tác giả.
Nhà xuất bản Đại Học và Trung Học Chuyên Nghiệp – 1977
9. Sức bền vật liệu (tập 1 và 2). Lê Hoàng Tuấn.
Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ Thuật
10. Cơ ứng dụng (tập 2). Ngô Kiều Nhi – Trương Tích Thiện.
Trường Đại Học Bách Khoa Tp/HCM. 1993

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	1
Chương 1: Những khái niệm cơ bản về sức bền vật liệu	2
1.1. Nhiệm vụ - Đối tượng - Đặc điểm nghiên cứu của môn sức bền vật liệu	2
1.2. Ngoại lực - Nội lực - Ứng suất	3
1.3. Các thành phần nội lực trên mặt cắt ngang	6
1.4. Các giả thuyết cơ bản về vật liệu	7
Chương 2: Kéo nén đúng tâm	8
2.1. Định nghĩa	8
2.2. Biểu đồ lực dọc	8
2.3. Ứng suất trên mặt cắt ngang	10
2.4. Biến dạng - Tính độ dẫn dài của thanh	10
2.5. Điều kiện bền	11
2.6. Bài toán siêu tĩnh	13
2.7. Bài tập	14
Chương 3: Cắt và dập	17
3.1. Cắt	17
3.2. Dập	18
3.3. Ứng dụng tính toán về cắt và dập	19
3.4. Bài tập	20
Chương 4: Đặc trưng hình học của mặt cắt ngang	23
4.1. Mômen tĩnh của mặt cắt ngang đối với một trục	23
4.2. Mômen quán tính của mặt cắt ngang	23
4.3. Mômen quán tính của một số hình đơn giản	24
4.4. Bán kính quán tính	25
4.5. Công thức chuyển trục song song của mômen quán tính	25
4.6. Bài tập	28
Chương 5: Xoắn thuần túy thanh thẳng mặt cắt tròn	30
5.1. Định nghĩa	30
5.2. Mômen xoắn - Biểu đồ mômen xoắn	30

5.3. Thiết lập công thức tính ứng suất tiếp trên mặt cắt ngang của thanh tròn chịu xoắn thuần túy	32
5.4. Biến dạng của thanh tròn chịu xoắn	34
5.5. Điều kiện bền và điều kiện cứng	34
5.6. Tính lò xo hình trụ có bước ngắn chịu kéo - nén	37
5.7. Khái niệm về mặt cắt ngang hợp lý	39
5.8. Bài tập	39
Chương 6: Uốn phẳng những thanh thẳng	43
6.1. Định nghĩa và phân loại	43
6.2. Nội lực và biểu đồ nội lực	44
6.3. Dầm chịu uốn thuần túy phẳng	47
6.4. Dầm chịu uốn ngang phẳng	52
6.5. Dầm chống uốn đều	57
6.6. Chuyển vị của dầm chịu uốn	59
6.7. Bài tập	64
Chương 7: Ổn định thanh thẳng chịu nén đúng tâm	68
7.1. Khái niệm	68
7.2. Tính ổn định trong miền đàn hồi	68
7.3. Tính ổn định ngoài miền đàn hồi	70
7.4. Tính thanh chịu nén bằng phương pháp thực hành	71
7.5. Hình dáng mặt cắt hợp lý khi chịu nén đúng tâm	74
7.6. Bài tập	75
Chương 8: Thanh chịu lực phức tạp	77
8.1. Khái niệm chung	77
8.2. Uốn xiên	77
8.3. Uốn và kéo (hay nén) đồng thời	80
8.4. Kéo - nén lệch tâm	80
8.5. Uốn và xoắn đồng thời đối với thanh tròn	81
8.6. Bài tập	83
TIỂU LUẬN	85
PHỤ LỤC	88
TÀI LIỆU THAM KHẢO	97

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP TP.HCM
KHOA CÔNG NGHỆ CƠ KHÍ

SÁCH ĐÃ PHÁT HÀNH

Giáo trình Vật Liệu Cơ Khí

(ThS. Châu Minh Quang)

Giáo trình Anh Văn Cơ Khí

(Nguyễn Thị Mỹ Dung)

Giáo trình Dung Sai Lắp Ghép

(TS. Nguyễn Dân - KS. Nguyễn Hữu Thường)

Giáo trình Vẽ Kỹ Thuật

(GV. Nguyễn Thị Mỹ)

Bảng phụ lục Dung Sai - Lắp Ghép

(KS. Nguyễn Hữu Thường)

Giáo trình Cơ Lý Thuyết

(KS. Nguyễn Thị Ân)

Bài tập Vẽ Kỹ Thuật

(GV. Nguyễn Thị Mỹ)