

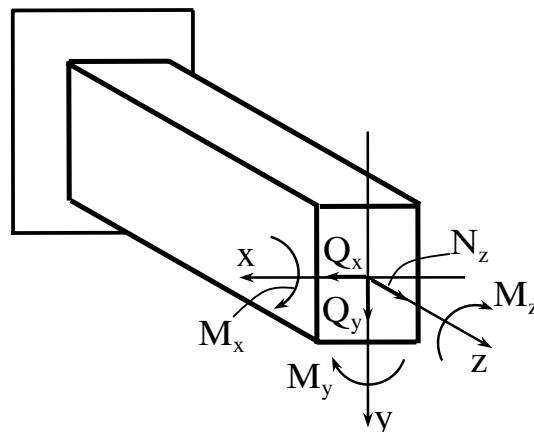
Chương 6. THANH CHỊU LỰC PHỨC TẠP

I. KHÁI NIỆM

⇒ Khi trên MCN của thanh xuất hiện từ hai thành phần nội lực trở lên thì gọi là *thanh chịu lực phức tạp*. Ví dụ, một trục truyền vừa chịu xoắn vừa chịu uốn, ...

⇒ Tổng quát nhất khi thanh chịu lực phức tạp, nội lực trên MCN có thể có 6 thành phần (hình 6.1).

⇒ **Phương pháp tính:** áp dụng nguyên lý cộng tác dụng: ứng suất hay biến dạng do nhiều yếu tố (ngoại lực, nhiệt độ, độ lún của gối tựa, ...) gây ra đồng thời trên một thanh thì bằng tổng ứng suất hay biến dạng do từng yếu tố gây ra trên thanh đó.

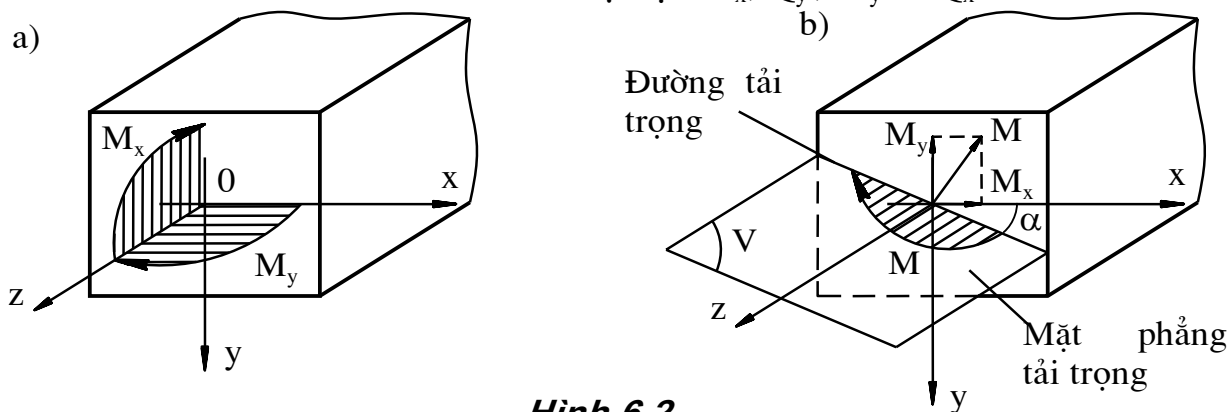


Hình 6.1

II. UỐN XIÊN

1. Định nghĩa

⇒ Khi trên mọi MCN chỉ có hai thành phần nội lực là M_x và M_y nằm trong các mặt phẳng quán tính chính trung tâm của MCN (hình 6.2). Khi chú ý đến lực cắt trên MCN có thể có các thành phần nội lực M_x , Q_y , M_y và Q_x .



Hình 6.2

⇒ Gọi M là vectơ tổng của các vectơ M_x và M_y , nằm trong mặt phẳng V chứa trục z , nhưng không trùng với một mặt phẳng quán tính chính trung tâm nào. Giao tuyến của mặt phẳng này với mặt phẳng cắt ngang gọi là *đường tải trọng*. Phân M thành 2 thành phần:

$$M_x = M \sin \alpha; M_y = M \cos \alpha$$

⇒ Trong uốn xiên đường tải trọng đi qua trọng tâm nhưng không trùng với một trục quán tính trung tâm nào (hình 6.2b).

Để tiện cho tính toán ta quy ước dấu cho các thành phần nội lực sau: Mômen uốn M_x, M_y mang dấu dương nếu nó làm căng về phía chiều dương của trục y, x (hay gây ra ứng suất kéo ở miền có tung độ y, x dương) và ngược lại sẽ mang dấu âm.

2. Ứng suất pháp trên MCN

⇒ Theo nguyên lý cộng tác dụng, ứng suất pháp tại một điểm bất kì trên MCN có toạ độ x, y được tính theo công thức:
$$\sigma_z = \frac{M_x}{J_x} y + \frac{M_y}{J_y} x \quad (6.1)$$

⇒ M_x, M_y coi là dương khi làm căng phần chiều dương của trục y, x .

⇒ Trong kĩ thuật người ta dùng công thức sau để không cần chú ý đến dấu của M_x, M_y và toạ độ x, y :
$$\sigma_z = \pm \frac{|M_x|}{J_x} |y| \pm \frac{|M_y|}{J_y} |x| \quad (6.2)$$

⇒ Ta sẽ chọn dấu “+” hoặc dấu “-” trước mỗi số hạng tùy theo các mômen uốn M_x và M_y gây ra ứng suất kéo hay nén ở điểm đang xét.

⇒ Nếu gọi α là góc của đường tải trọng hợp với trục x (hình 6.2b):

$$\operatorname{tg} \alpha = M_x/M_y \Rightarrow M_x = M \sin \alpha; \quad M_y = M \cos \alpha$$

⇒ Góc α được gọi là dương khi quay từ chiều dương trục x đến đường tải trọng theo chiều kim đồng hồ.

3. Phương trình đường trung hoà

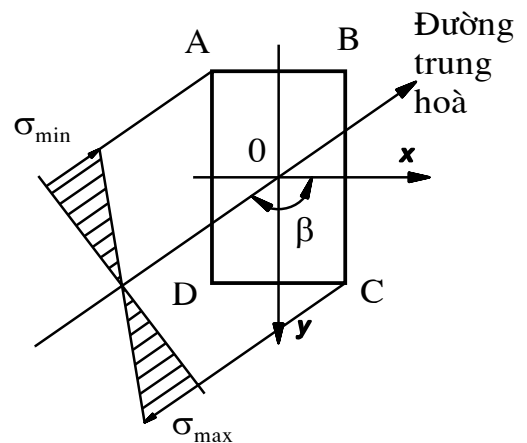
⇒ Từ (6.1) ta thấy phương trình đường trung hoà:

$$\frac{M_x}{J_x} y + \frac{M_y}{J_y} x = 0 \quad (6.3) \quad \text{hay} \quad y = -\frac{M_y}{M_x} \cdot \frac{J_x}{J_y} \cdot x = x \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (6.4)$$

trong đó
$$\operatorname{tg} \beta = -\frac{M_y J_x}{M_x J_y} \quad \text{hay} \quad \operatorname{tg} \beta = -\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \frac{J_x}{J_y} \quad (6.5)$$

⇒ Đường trung hoà là một đường thẳng đi qua trọng tâm của MCN và không vuông góc với đường tải trọng như trong uốn phẳng.

⇒ Từ biểu thức (6.5) ⇒ đối với các MCN có vô số hệ trục quán tính chính trung tâm như hình tròn, các đa giác đều cạnh, ... ($J_x = J_y$ nên $\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta = -1$) thì không xảy ra hiện tượng uốn xiên phẳng. Vì đường tải trọng sẽ \equiv với một trục quán tính chính trung tâm, còn đường trung hoà sẽ trùng với một trục quán tính chính trung tâm thứ hai vuông góc với đường tải trọng. Bài toán khi đó chỉ là uốn phẳng.



Hình 6.3

4. Biểu đồ ứng suất pháp trên MCN

⇒ Theo (6.1) mặt ứng suất là mặt phẳng, nên ứng suất pháp phân bố đều trên đường thẳng song song với đường trung hoà. Do đó ta có thể vẽ biểu đồ phân bố ứng suất pháp trên MCN trong hệ toạ độ như hình 6.3. Trục tung là đường trung hoà, trục hoành vuông góc với đường trung hoà.

5. Điều kiện bền

⇒ Điểm nguy hiểm là các điểm xa đường trung hoà nhất về phía kéo hoặc nén ⇒ trạng thái ứng suất của điểm nguy hiểm là trạng thái ứng suất đơn. MCN nguy hiểm được biết dựa vào biểu đồ M_x và M_y lựa chọn mặt cắt khi có cả M_x và M_y cùng đồng thời lớn.

⇒ Điều kiện bền có dạng:

- Đối với vật liệu dẻo: $|\sigma|_{\max} \leq [\sigma]$ (6.6)

- Đối với vật liệu giòn: $|\sigma|_{\max} \leq [\sigma]_k$ (6.7) $|\sigma|_{\min} \leq [\sigma]_n$ (6.8)

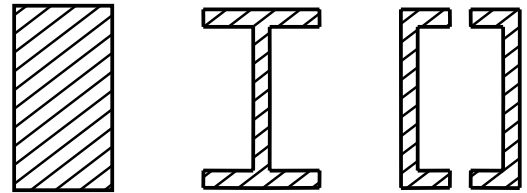
$$\sigma_{\max} = \frac{|M_x|}{J_x} |y_k| + \frac{|M_y|}{J_y} |x_k|; \quad \sigma_{\min} = - \left[\frac{|M_x|}{J_x} |y_n| + \frac{|M_y|}{J_y} |x_n| \right] \quad (6.9)$$

⇒ Nếu MCN của thanh là hình chữ nhật hoặc những mặt cắt có hai trục đối xứng như hình hình 6.4:

$$|x_k| = |x_n| = x_{\max} \Rightarrow |y_k| = |y_n| = y_{\max}$$

$$\sigma_{\max} = |\sigma_{\min}|; \quad \sigma_{\max} = \frac{|M_x|}{W_x} + \frac{|M_y|}{W_y} \quad (6.10)$$

trong đó: $W_x = \frac{J_x}{|y_{\max}|}; \quad W_y = \frac{J_y}{|x_{\max}|} \quad (6.11)$



Hình 6.4

⇒ Trường hợp này điều kiện bền sẽ là:

- Vật liệu dẻo: $\frac{|M_x|}{W_x} + \frac{|M_y|}{W_y} \leq [\sigma]$ (6.12); Vật liệu giòn: $\frac{|M_x|}{W_x} + \frac{|M_y|}{W_y} \leq [\sigma]_k$ (6.13)

⇒ Từ điều kiện bền trên ta suy ra ba bài toán cơ bản sau:

- Kiểm tra bền theo (6.6) hoặc (6.7) hoặc (6.8).

- Tìm tải trọng cho phép. Gọi $[P_i]$ là tải trọng suy rộng cho phép, ta có:

$$M_x = k_1 [P_i]; \quad M_y = k_2 [P_i] \quad (6.14)$$

k_1, k_2 là các hằng số. Từ điều kiện bền, ví dụ theo (6.12) ta suy ra:

$$\frac{k_1 [P_i]}{W_x} + \frac{k_2 [P_i]}{W_y} \leq [\sigma] \quad \text{hay} \quad [P_i] \leq [\sigma] / \left(\frac{k_1}{W_x} + \frac{k_2}{W_y} \right) \quad (6.15)$$

- Chọn kích thước MCN

⇒ Vì chưa biết trị số $J_x, J_y, x_k, x_n, y_k, y_n \Rightarrow$ ta có thể chọn thử tính theo uốn phẳng do thành phần mômen đòi hỏi kích thước lớn, rồi thử dần.

⇒ Đối với các mặt cắt (hình 6.4), đầu tiên ta có thể tính theo công thức:

$$W_x \geq \frac{M_x + CM_y}{[\sigma]} \text{ với } C = \frac{W_x}{W_y} \quad (6.16)$$

⇒ Đối với hình chữ nhật có chiều cao h và bề rộng b thì $C = h/b$. Đối với mặt cắt hình chữ I lúc đầu có thể lấy $C = 8$, và hình chữ U lấy $C = 6$, sau đó kiểm tra tính toán lại.

Ví dụ 6.1: Cho dầm chịu lực như hình 6.5. Xác định số hiệu mặt cắt dầm thép chữ I, vị trí đường trung hoà. Cho $P = 2400\text{N}$; $q = 4000\text{N/m}$; $l = 2\text{m}$; $\alpha = 30^\circ$; $[\sigma] = 16000\text{N/m}^2$.

Bài giải: Mặt cắt nguy hiểm tại ngàm có:

$$M_x = \frac{ql^2}{2} + Pl \cos \alpha = 12160 \text{ Nm}$$

$$M_y = Pl \sin \alpha = 2400 \text{ Nm}$$

Thử lần thứ nhất ta lấy $C = 8$.

Theo công thức (6.39):

$$W_x \geq \frac{M_x + CM_y}{[\sigma]} = 196 \text{ cm}^3$$

Ta chọn mặt cắt chữ I số 20 có các giá trị nhỏ hơn và gần nhất $W_x = 184 \text{ cm}^3$; $W_y = 23,1 \text{ cm}^3$.

Thử lại: $\sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} = 17000 \text{ N/cm}^2$$

$$\text{Vì } \frac{\sigma_{\max} - [\sigma]}{[\sigma]} 100 = \frac{17000 - 16000}{16000} 100 = 6,2\% > 5\%$$

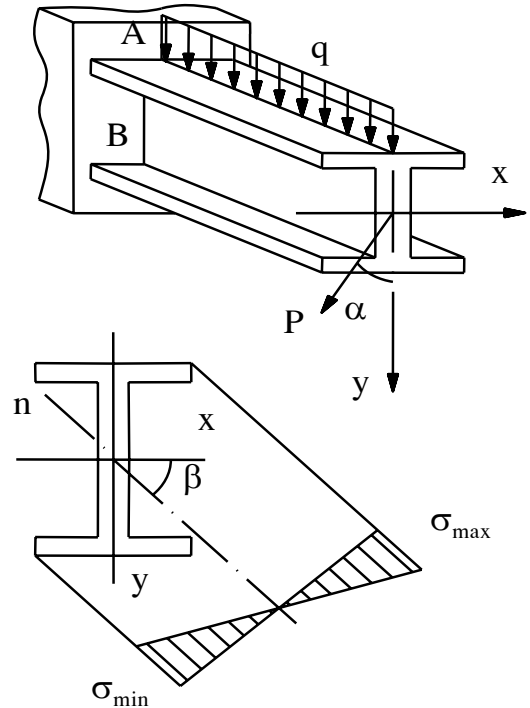
Do đó ta lấy mặt cắt số 20a có $W_x = 203 \text{ cm}^3$, $W_y = 28,2 \text{ cm}^3$

Khi đó:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{1216000}{203} + \frac{240000}{28,2} = 14500 \text{ N/cm}^2$$

Ứng suất nhỏ hơn:

$$\frac{\sigma_{\max} - [\sigma]}{[\sigma]} 100 = \frac{14500 - 16000}{16000} 100 = -9,4\%$$



Hình 6.5

Vì giữa thép có số hiệu 20 và 20a không còn số hiệu nào khác nên ta chọn dầm thép có số hiệu 20a.

Xác định vị trí đường trung hoà. Tra bảng với I(20a) ta có $J_x=2030\text{cm}^4$; $J_y=155\text{cm}^4$. Do đó tại mặt cắt ngang, phương của đường trung hoà là :

$$\text{tg}\beta = \frac{J_x M_{y\max}}{J_y M_{x\max}} = \frac{2030 \times 2400}{155 \times 12160} = +2,58$$

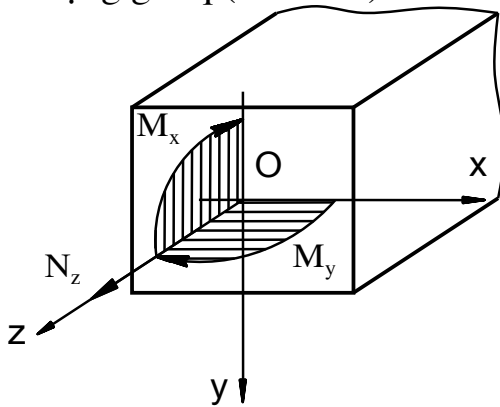
hay $\beta = +68^{\circ}50'$

III. UỐN - KÉO (NÉN) ĐỒNG THỜI

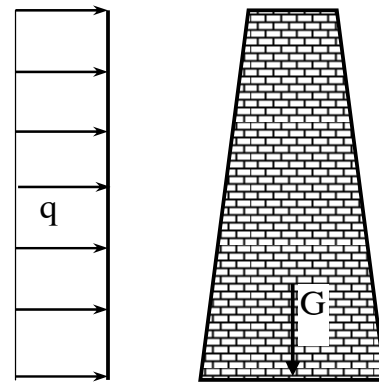
1. Định nghĩa

⇒ Một thanh được gọi là chịu uốn - kéo (nén) đồng thời khi trên MCN của thanh có các thành phần nội lực là lực dọc N_z , mômen uốn M_x, M_y (hình 6.6).

⇒ Ví dụ ống khói vừa chịu nén do trọng lượng bản thân G , vừa chịu uốn do tải trọng gió q (hình 6.7).



Hình 6.6



Hình 6.7

2. Ứng suất pháp trên MCN

⇒ Ứng suất pháp tại một điểm trên MCN được xác định theo công thức:

$$\sigma_z = \frac{N_z}{F} + \frac{M_x}{J_x} y + \frac{M_y}{J_y} x \quad (6.18)$$

hoặc
$$\sigma_z = \frac{N_z}{F} \cdot \left(1 + \frac{M_x}{N_z i_x^2} y + \frac{M_y}{N_z i_y^2} x \right) \quad (6.19)$$

trong đó: F - diện tích MCN;
 i_x, i_y - bán kính quán tính chính:

$$i_x = \sqrt{J_x / F}; \quad i_y = \sqrt{J_y / F};$$

J_x, J_y - mômen quán tính chính trung tâm của MCN;
 x, y - toạ độ của điểm tính ứng suất.

⇒ Quy ước dấu của N_z (chương 2), của M_x, M_y như trong uốn xiên.

⇒ Công thức kỹ thuật có dạng:

$$\sigma_z = \pm \frac{|N_z|}{F} \pm \frac{|M_x|}{J_x} |y| \pm \frac{|M_y|}{J_y} |x| \quad (6.20)$$

⇒ Các giá trị đều lấy giá trị tuyệt đối. Còn lấy dấu “+” hoặc “-” trước mỗi số hạng tùy theo lực dọc là kéo hay nén và các mômen uốn M_x, M_y gây ra ứng suất kéo hay nén ở điểm đang xét.

3. Phương trình đường trung hoà

⇒ Từ (6.18) ta suy ra phương trình đường trung hoà là:

$$\frac{N_z}{F} + \frac{M_x}{J_x} y + \frac{M_y}{J_y} x = 0 \quad (6.21)$$

$$\text{hay: } 1 + \frac{M_x}{N_z i_x^2} y + \frac{M_y}{N_z i_y^2} x = 0 \quad (6.22)$$

⇒ Đường trung hoà là một đường thẳng không đi qua trọng tâm của MCN như trong uốn xiên.

4. Biểu đồ ứng suất pháp trên MCN

⇒ Tương tự như trong uốn xiên do mặt cắt ứng suất là phẳng, nên ứng suất pháp phân bố đều trên đường thẳng song song với đường trung hoà. Biểu đồ phân bố ứng suất được vẽ như hình 6.8.

5. Điều kiện bền

⇒ Điểm nguy hiểm là các điểm ở chu vi, xa đường trung hoà nhất về phía kéo hoặc phía nén. Trạng thái ứng suất của điểm nguy hiểm là trạng thái ứng suất đơn ⇒ điều kiện bền là :

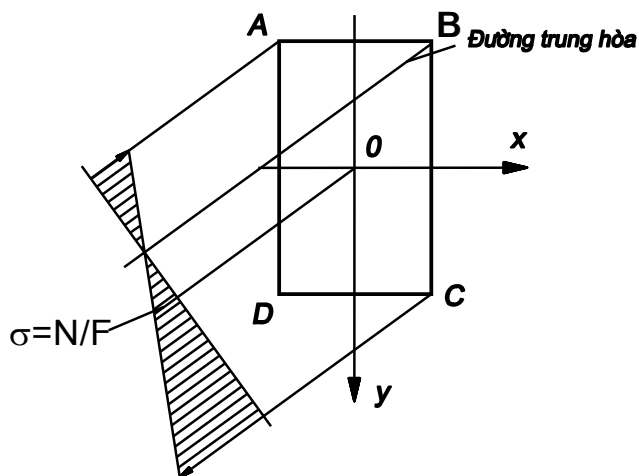
$$\text{- Đối với vật liệu dẻo: } |\sigma|_{\max} \leq [\sigma] \quad (6.23)$$

$$\text{- Đối với vật liệu giòn: } |\sigma|_{\max} \leq [\sigma]_k ; |\sigma|_{\min} \leq [\sigma]_n \quad (6.24)$$

$$\text{trong đó: } \sigma_{\max} = \pm \frac{|N_z|}{F} + \frac{|M_x|}{J_x} |y| + \frac{|M_y|}{J_y} |x| \quad (6.25)$$

$$\sigma_{\min} = \pm \frac{|N_z|}{F} - \frac{|M_x|}{J_x} |y| - \frac{|M_y|}{J_y} |x| \quad (6.26)$$

x_k, y_k là toạ độ của điểm chịu kéo cách xa đường trung hoà nhất.



Hình 6.8

x_n, y_n là toạ độ của điểm chịu nén cách xa đường trung hoà nhất.

⇒ Nếu MCN của thanh có dạng như trên hình 6.4 thì lí luận tương tự như trong uốn xiên ta có:

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{|N_z|}{F} + \frac{|M_x|}{W_x} + \frac{|M_y|}{W_y} \quad (6.27)$$

$$\sigma_{\min} = \pm \frac{|N_z|}{F} - \frac{|M_x|}{W_x} - \frac{|M_y|}{W_y} \quad (6.28)$$

Ví dụ 6.2: Cho một thanh chịu lực như hình 6.9a. Tìm giá trị ứng suất σ_{\max} và σ_{\min} , vị trí đường trung hoà và vẽ biểu đồ phân bố ứng suất pháp trên mặt cắt nguy hiểm. Cho: $P_1 = 160$ kN; $P_2 = 4$ kN; $P_0 = 240$ kN; $q = 2$ kN/m; $l = 2$ m; $b = 12$ cm; $h = 16$ cm.

Bài giải

Mặt cắt nguy hiểm tại đầu ngàm. Vị trí đường trung hoà và biểu đồ ứng suất pháp được vẽ trên hình 6.9b.

Lực dọc:

$$N_z = -P_0 - P_1 = -(240 + 160) = -400 \text{ kN}.$$

Mômen uốn:

$$|M_x| = \frac{P_1 h}{2} + \frac{ql^2}{2} = 160 \times 8 + \frac{2 \times 4 \times 10^4}{100 \times 2} = 1680 \text{ kNcm}$$

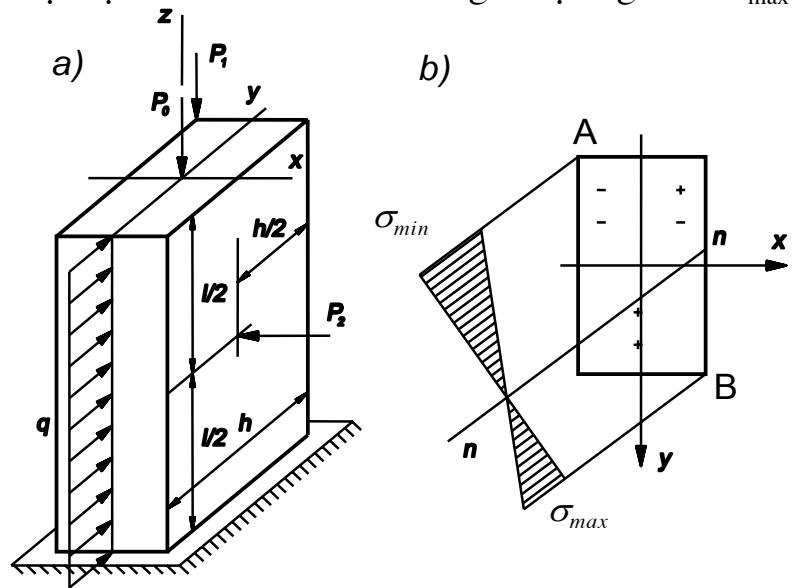
$$|M_y| = \frac{P_1 b}{2} + \frac{P_2 l}{2} = 160 \times 6 + 4 \times 10^2 = 1360 \text{ kNcm}$$

Giá trị ứng suất pháp lớn nhất và bé nhất theo (6.27), (6.28) là:

$$\sigma_{\max} = -\frac{|N_z|}{F} + \frac{|M_x|}{W_x} + \frac{|M_y|}{W_y} = -\frac{400}{12 \times 16} + \frac{1680 \times 6}{12 \times 6^2} + \frac{1360 \times 6}{16 \times 12^2} = 4,75 \text{ kNcm}$$

$$\sigma_{\min} = -\frac{|N_z|}{F} - \frac{|M_x|}{W_x} - \frac{|M_y|}{W_y} = -\frac{400}{12 \times 16} - \frac{1680 \times 6}{12 \times 6^2} - \frac{1360 \times 6}{16 \times 12^2} = -8,91 \text{ kNcm}$$

Vị trí đường trung hoà: đường trung hoà cắt trục x và trục y tại các điểm:



Hình 6.9

$$x_0 = -\frac{N_z i_y^2}{M_y} ; \quad y_0 = -\frac{N_z i_x^2}{M_x}$$

trong đó $i_x^2 = \frac{h^2}{12} = 21,3\text{cm}^2 ; i_y^2 = \frac{b^2}{12} = 12\text{cm}^2$

$$N_z < 0 ; M_x > 0 ; M_y > 0 .$$

Khi thay bằng số ta được: $x_0 = 3,53\text{cm} ; y_0 = 5,07\text{cm}$

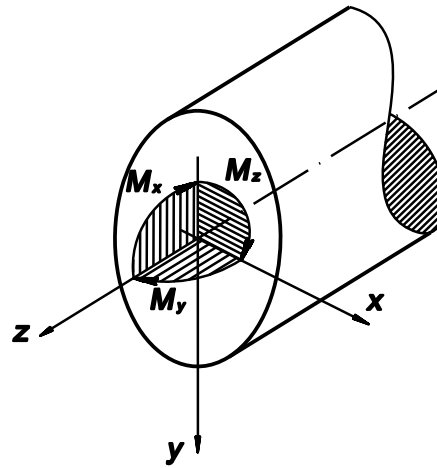
IV. UỐN - XOẮN ĐỒNG THỜI

1. Định nghĩa

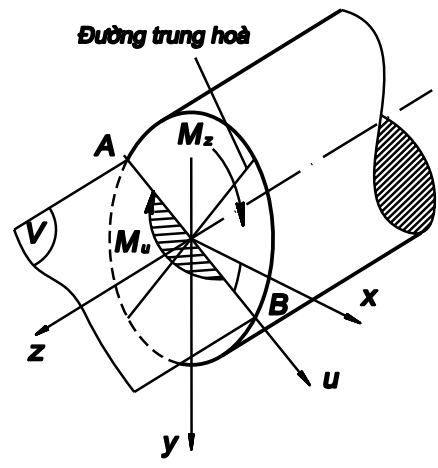
⇒ Một thanh gọi là xoắn và uốn đồng thời. Khi trên MCN của thanh có hai thành phần nội lực là mômen xoắn và mômen uốn (hình 6.10).

2. Ứng suất trên MCN tròn - điều kiện bền

⇒ Ứng suất pháp do mômen uốn gây ra. Ứng suất tiếp do mômen xoắn gây nên phân bố như trường hợp xoắn thuần túy (bỏ qua ảnh hưởng của lực cắt Q).



Hình 6.10



Hình 6.11

⇒ Điểm nguy hiểm trên mặt cắt nguy hiểm là giao điểm của đường tải trọng với chu vi: điểm A hoặc B (hình 6.11). Ứng suất pháp và tiếp có giá trị:

$$\sigma_{\max}^A = |\sigma_{\min}^B| = \frac{|M_u|}{W_u} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{W_u} \quad (6.29) \quad \tau_{\max}^{A,B} = \frac{M_z}{W_p} \quad (6.30)$$

⇒ Vì phân tố ở trạng thái ứng suất phẳng nên điều kiện bền có dạng:

$$\sigma_{td \max} \leq [\sigma] \quad (6.31)$$

⇒ Ví dụ theo thuyết bền ứng suất tiếp lớn nhất ta có: $\sigma_{td} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$

⇒ Thay các giá trị của σ và τ theo (6.29), (6.30) và chú ý $W_p = 2W_u$, ta có:

$$\sigma_{\max} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}}{W_u} = \frac{M_{td}}{W_u} ; \quad M_{td} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \quad (6.32)$$

⇒ Theo thuyết bền thế năng biến đổi hình dáng :

$$\sigma_{\max} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + 0,75M_z^2}}{W_u} = \frac{M_{td}}{W_u} \text{ với } M_{td} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + 0,75M_z^2} \quad (6.33)$$

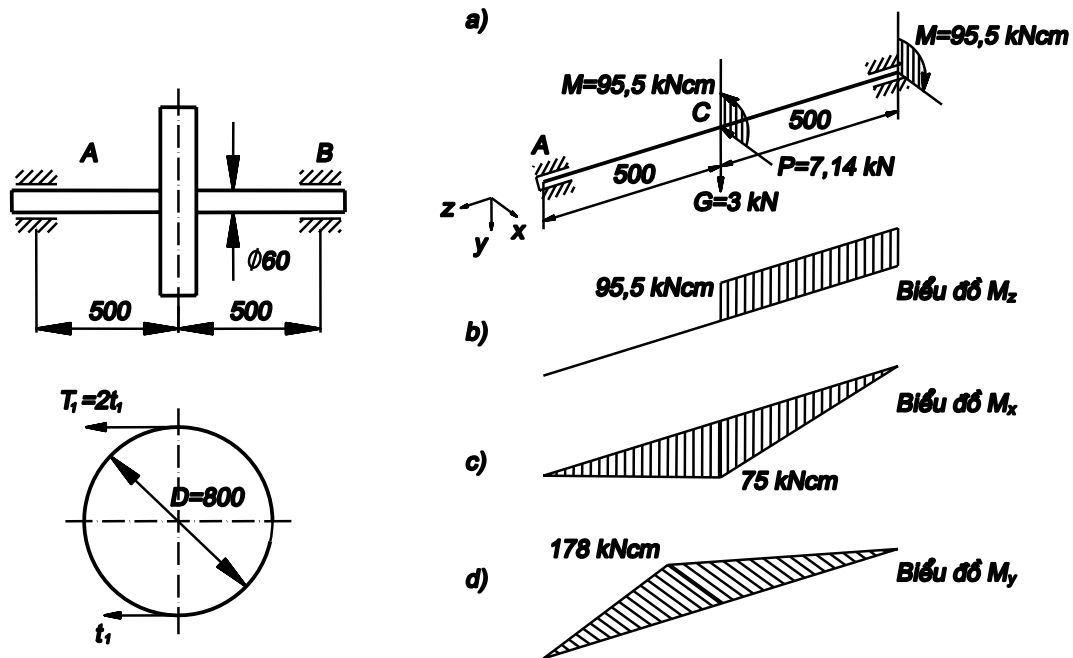
\Rightarrow Theo thuyết bền Mo ta có: $\sigma_{td} = \sigma_1 - \alpha\sigma_3 \leq [\sigma]^k$

trong đó: $\sigma_{1,3} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$; $\alpha = \frac{[\sigma]^k}{[\sigma]^n}$

với $M_{td} = \frac{1-\alpha}{2} \sqrt{M_x^2 + M_y^2} + \frac{1+\alpha}{2} \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \quad (6.34)$

M_{td} được tính theo các thuyết bền thích hợp (6.32), (6.33), (6.34).

Ví dụ 6.3: Một trục truyền bằng thép chịu lực như trên hình 6.12. Trọng lượng Puli $G = 3\text{kN}$, công suất và số vòng quay của mô tơ là: $N = 50\text{kW}$, $n = 500\text{vòng/ph}$. Kiểm tra bền trục theo thuyết bền thế năng biến đổi hình dáng biết $[\sigma] = 12\text{kN/cm}^2$.



Hình 6.12

Bài giải: Sơ đồ chịu lực của trục biểu diễn trên hình 6.12a, trong đó:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \times 500}{30} = 52,4 \text{ rad/s}; \quad M = \frac{N}{\omega} = 0,955 \times 10^3 \text{ Nm} = 95,5 \text{ kNcm}$$

Lực căng dây đai xác định theo điều kiện cân bằng của mômen xoắn:

$$M = \frac{T_1 D}{2} - \frac{t_1 D}{2} = \frac{t_1 D}{2} \Rightarrow t_1 = \frac{2M}{D} = \frac{2 \times 95,5}{80} = 2,38 \text{ kN} ;$$

$$T_1 = 2t_1 = 2 \times 2,38 = 4,76 \text{ kN}; \quad P = T_1 + t_1 = 4,76 + 2,38 = 7,14 \text{ kN}$$

Ứng suất tương đương tính theo thuyết bền thế năng biến đổi hình dáng:

$$\sigma_{td} = \frac{M_{td}}{W_x} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + 0,75M_z^2}}{0,1 \times d^3}$$

Mặt cắt nguy hiểm tại C về phía CB, tại đó:

$$M_x = \frac{Gl}{4} = 75 \text{ kNcm}; M_y = \frac{Pl}{4} = 178 \text{ kNcm}; M_z = 95,5 \text{ kNcm}$$

Các biểu đồ nội lực được biểu diễn trên các hình 6.12b, c, d.

Thay số vào ta được:

$$\sigma_{td} = \frac{\sqrt{75^2 + 178^2 + 0,75 \times 95,5^2}}{0,1 \times 6^3} = 9,72 \text{ kN/cm}^2 < [\sigma] = 12 \text{ kN/cm}^2$$

Vậy trục thỏa mãn điều kiện bền.

V. THANH CHỊU LỰC TỔNG QUÁT

1. Định nghĩa: Một thanh chịu lực tổng quát khi trên mọi MCN của nó có đầy đủ sáu thành phần nội lực

⇒ Vì ảnh hưởng của lực cắt bé so với ảnh hưởng của các thành phần nội lực khác, nên thường ta bỏ qua ảnh hưởng của lực cắt.

2. Thanh mặt cắt ngang tròn

⇒ Vì N_z gây ra ứng suất phân bố đều trên MCN nên cũng giống như thanh MCN tròn chịu uốn đồng thời với xoắn, các điểm nguy hiểm vẫn là các điểm A, B (hình 6.14).

⇒ Ứng suất pháp tại các điểm đó:

$$\sigma_{\max} = \frac{|M_u|}{W_x} + \frac{N_z}{F}; \sigma_{\min} = -\frac{|M_u|}{W_x} + \frac{N_z}{F}$$

Ở các điểm này ngoài giá trị ứng suất pháp cực trị, còn có ứng suất tiếp lớn nhất do xoắn gây ra:

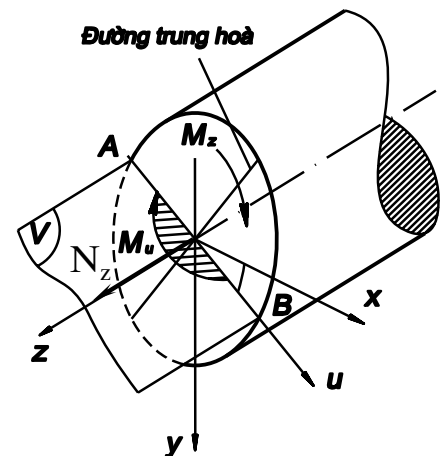
$$\tau_{\max} = \frac{|M_z|}{W_p} = \frac{|M_z|}{2W_2}$$

⇒ Các phân tố A và B ở trạng thái ứng suất phẳng. Việc kiểm tra bền các phân tố này theo các thuyết bền đã trình bày ở chương 4.

3. Thanh mặt cắt ngang hình chữ nhật

⇒ Các điểm nguy hiểm được xét tùy theo giá trị của các nội lực tác dụng trên MCN tùy theo vật liệu thanh là dẻo hay giòn.

⇒ Nói chung điểm nguy hiểm là các điểm góc, điểm giữa cạnh dài và giữa cạnh ngắn. Việc phân tích điểm nguy hiểm như trong phần uốn-xoắn đồng thời.



Hình 6.14