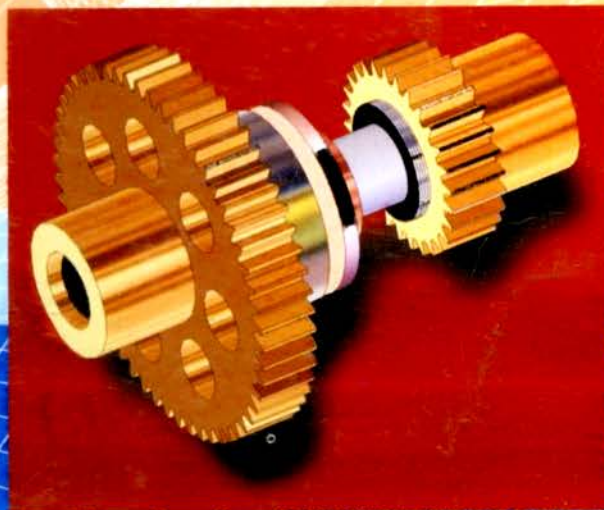




TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP TP.HCM
KHOA CÔNG NGHỆ CƠ KHÍ

KS. NGUYỄN THỊ AN

Giáo trình
SỨC BỀN VẬT LIỆU
(DÙNG CHO HỆ CAO ĐẲNG)



LỜI NÓI ĐẦU

Sức Bền Vật Liệu là môn kỹ thuật cơ sở phục vụ rộng rãi cho nhiều ngành kỹ thuật, nên việc biên soạn giáo trình là cần thiết góp phần nâng cao chất lượng giảng dạy và học tập.

Nội dung giáo trình này phù hợp với chương trình giảng dạy trong trường Đại học Công nghiệp TP.HCM mà các giảng viên đã, đang và sẽ giảng dạy cho sinh viên hệ cao đẳng các thành phần (chính quy, tại chức cũng như liên thông).

Giáo trình gồm 8 chương, trong mỗi chương đều có nhiều ví dụ cho từng vấn đề và cuối chương có bài tập với đáp số kèm theo từ dễ đến khó để sinh viên dễ dàng học tập và rèn luyện kỹ năng tính toán của mình.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Khoa Cơ khí trường Đại học Công nghiệp TP.HCM và các đồng nghiệp đã động viên và góp ý trong quá trình biên soạn giáo trình này.

Giáo trình chắc chắn không tránh khỏi các thiếu sót. Rất mong nhận được những ý kiến đóng góp của các bạn đồng nghiệp và độc giả.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn.

BỘ MÔN CƠ SỞ THIẾT KẾ MÁY

**Lưu hành nội bộ
(Có chỉnh sửa và bổ sung hằng năm)**

CHƯƠNG 1

NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ SỨC BỀN VẬT LIỆU

1.1. Nhiệm vụ – Đối tượng – Đặc điểm nghiên cứu của môn sức bền vật liệu :

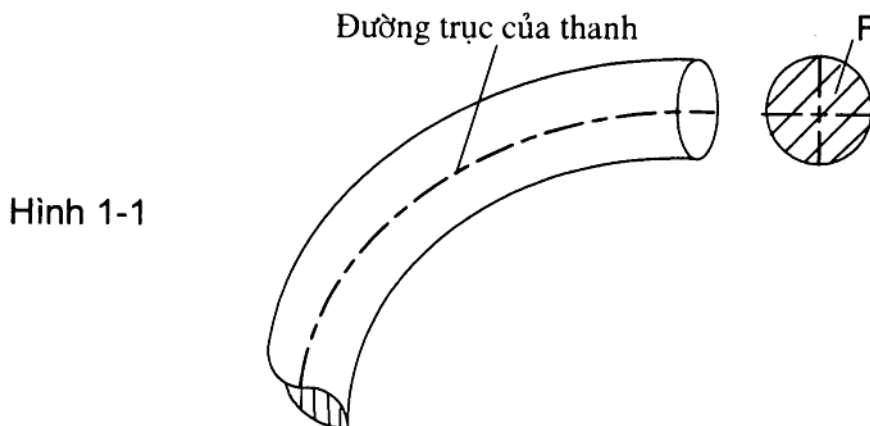
1.1.1. Nhiệm vụ :

Khi thiết kế các bộ phận công trình hoặc các chi tiết máy ta phải bảo đảm;

- Chi tiết không bị phá hỏng tức là đủ bền.
- Chi tiết không bị biến dạng quá lớn tức là đủ cứng.
- Luôn giữ được hình dáng cân bằng ban đầu tức là đảm bảo điều kiện ổn định.

Để đảm bảo được các điều kiện đó, trên cơ sở của Cơ lý thuyết môn Sức bền vật liệu có nhiệm vụ đưa ra các phương pháp tính toán về độ bền, độ cứng, độ ổn định của các bộ phận công trình hoặc các chi tiết máy.

1.1.2. Đối tượng nghiên cứu :



Hình 1-1

Đối tượng nghiên cứu của môn sức bền vật liệu là các vật rắn biến dạng (vật thực) mà chủ yếu là các thanh.

Thanh là những vật thể có kích thước theo hai phương nhỏ hơn so với phương thứ ba.

F: mặt cắt ngang của thanh, là giao của thanh với mặt phẳng vuông góc với trục thanh.

***Mặt cắt ngang của thanh và trục thanh là hai yếu tố đặc trưng cho mô hình của thanh.**

1.1.3. Đặc điểm :

*Môn SBVL khảo sát nội lực và biến dạng của vật thực, nhưng vẫn áp dụng các kết quả của cơ học lý thuyết.

*Môn SBVL là môn khoa học thực nghiệm với phương pháp nghiên cứu như sau :

- + Quan sát thực tế.
- + Đề ra các giả thuyết và tính toán.

+ Thí nghiệm kiểm tra.

1.2. Ngoại lực – Nội lực – Ứng suất :

1.2.1. Ngoại lực :

Ngoại lực là những lực tác động từ môi trường bên ngoài hay từ vật khác lên vật đang xét. Ngoại lực gồm:

- Tải trọng đã biết trước.
- Phản lực phát sinh tại các liên kết.

1.2.2. Nội lực :

a) Khái niệm về nội lực :

Trong vật thể luôn có các lực liên kết giữa các phân tử vật chất. Khi có ngoại lực tác dụng các phân tử vật chất có khuynh hướng thay đổi vị trí để chống lại ngoại lực làm cho vật thể bị biến dạng. Khi đó lực liên kết sẽ tăng lên để chống lại biến dạng này.

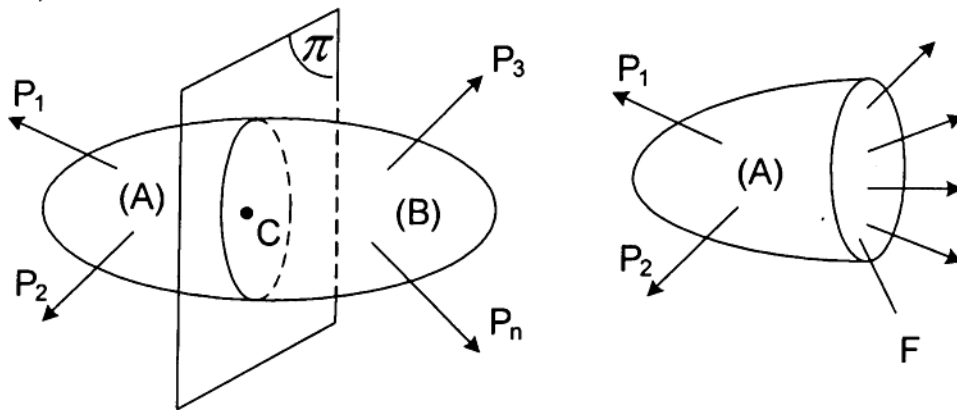
“Độ gia tăng của lực liên kết giữa các phân tử vật chất gọi là nội lực”.

Tuy nhiên độ gia tăng này chỉ đến một mức độ nào đó tùy loại vật liệu, nếu lực cứ tăng mãi thì vật liệu sẽ bị phá hoại. Vì thế xác định nội lực là một trong những vấn đề cơ bản để tính bền cho các chi tiết hoặc cơ cấu.

b) Phương pháp khảo sát :

Khi vật thể chưa bị phá hoại thì “ nội lực cân bằng với ngoại lực ”. Vì thế để khảo sát nội lực ta dùng phương pháp mặt cắt (Hình 1-2) như sau :

Dùng mặt cắt (π) có phương bất kỳ cắt qua vật thể tại điểm cần khảo sát (điểm C).



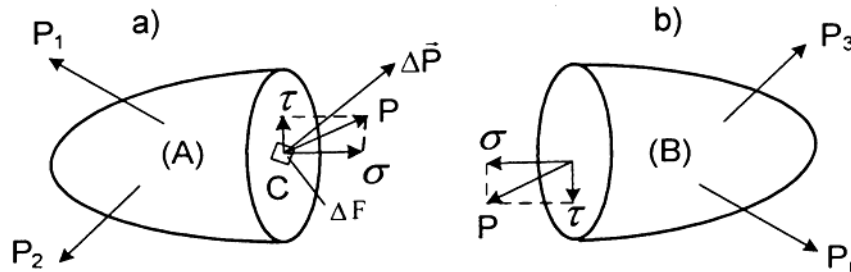
Hình 1-2

Mặt cắt này sẽ chia vật thể ra làm 2 phần A và B. Xét phần A cân bằng (hình 1-2b) dưới tác dụng của các ngoại lực (\vec{P}_1, \vec{P}_2) và hệ nội lực của phần B tác dụng lên A (và ngược lại). Hệ nội lực này sẽ phân bố liên tục trên toàn mặt cắt F. Theo nguyên lý cân bằng thì hệ nội lực trên phần (A) phải bằng với hệ nội lực trên phần (B).

Vì vậy khi tìm nội lực trên một mặt cắt nào đó, chúng ta dùng phương pháp mặt cắt và chọn phần xét cân bằng có ít ngoại lực tác dụng hơn.

1.2.3. Ứng suất

Cường độ của nội lực tại một điểm nào đó trên mặt phẳng (π) được gọi là ứng suất.



Hình 1-3

Ứng suất trung bình tại một điểm có diện tích ΔF , trên ΔF có nội lực phân bố với hợp lực là $\Delta \vec{P}$ (Hình 1-3a):

$$\bar{P}_{tb} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta F}$$

Ứng suất toàn phần: $\bar{P} = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta F}$

Thứ nguyên của ứng suất: $\frac{\text{Lực}}{(\text{chiều dài})^2}$,

Đơn vị thường dùng là kN/cm^2 , MN/m^2

N/m^2 : Pascal (Pa)

1MPa (Mégapascal) = $10^6 \text{Pa} = 10^6 \text{N/m}^2 = 1 \text{N/mm}^2$

1Gpa (Gégapascal) = 10^9Pa .

Trong tính toán ta thường phân ứng suất toàn phần \bar{P} ra làm 2 thành phần hình 1-3b:

- Thành phần vuông góc với mặt cắt gọi là ứng suất pháp, ký hiệu là σ .
- Thành phần nằm trong mặt cắt gọi là ứng suất tiếp, ký hiệu là τ

$$P = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$$

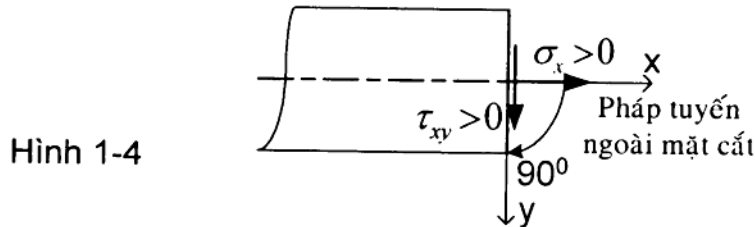
Phân tích tương tự cho phần B. Theo nguyên lý tác dụng và phản tác dụng, ứng suất tại mỗi điểm trên phần B sẽ có cùng trị số, cùng phương nhưng ngược chiều với ứng suất tại điểm tương ứng trên phần A.

Quy ước dấu và cách viết ứng suất hình 1-4:

- 1) Ứng suất pháp dương khi vectơ biểu diễn nó có chiều trùng với chiều dương của pháp tuyến ngoài mặt cắt. Ứng suất pháp kèm theo một chỉ số dưới chỉ chiều của pháp tuyến.

Ví dụ: σ_x , σ_z .

2) Ứng suất tiếp được coi là dương khi pháp tuyến ngoài của mặt cắt quay một góc 90° theo chiều quay của kim đồng hồ sẽ trùng với chiều của ứng suất tiếp. Ứng suất tiếp kèm theo hai chỉ số dưới, chỉ số thứ nhất chỉ chiều của pháp tuyến ngoài mặt cắt, chỉ số thứ hai chỉ chiều của ứng suất tiếp song song. Ví dụ : τ_{xy} , τ_{xz}



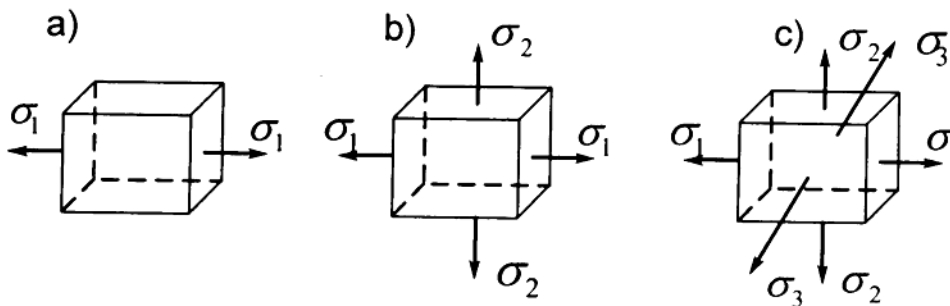
Hình 1-4

1.2.4. Trạng thái ứng suất:

Nếu qua C xét những mặt cắt khác nhau thì tương ứng với mỗi vị trí của mặt cắt (π) ta được một ứng suất \vec{P} có giá trị khác nhau. Tập hợp tất cả các ứng suất \vec{P} này ta được trạng thái ứng suất tại C.

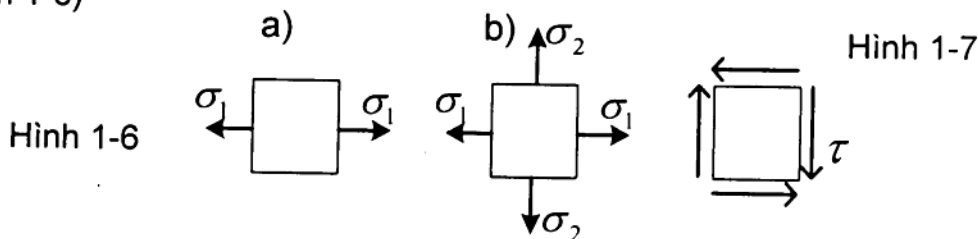
Qua một điểm luôn tìm được ba mặt cắt vuông góc với nhau và trên ba mặt cắt đó thành phần ứng suất tiếp bằng không, các mặt đó gọi là các mặt chính, ứng suất pháp trên mặt chính gọi là ứng suất chính. Đối với ba mặt chính đó (Hình 1-5) xảy ra ba trường hợp sau :

- Một mặt chính có ứng suất pháp, hai mặt chính còn lại ứng suất pháp bằng không, ta có điểm chịu trạng thái ứng suất đơn (Hình 1-5a).
- Hai mặt chính có ứng suất pháp, một mặt chính ứng suất pháp bằng không, ta có điểm chịu trạng thái ứng suất phẳng (Hình 1-5b).
- Trên ba mặt chính đều có ứng suất pháp, ta có điểm chịu trạng thái ứng suất khối (Hình 1-5c).



Hình 1-5

Trạng thái ứng suất đơn và phẳng được biểu diễn dưới dạng đơn giản (Hình 1-6)



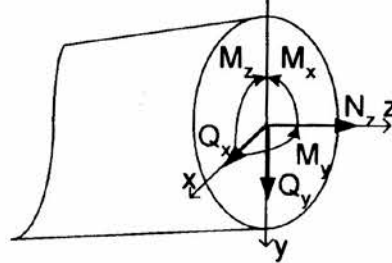
Hình 1-6

Hình 1-7

Ở trạng thái ứng suất phẳng, nếu chỉ có ứng suất tiếp không có ứng suất pháp thì trạng thái ứng suất đó được gọi là trạng thái trượt thuần túy (Hình 1-7).

1.3. Các thành phần nội lực trên mặt cắt ngang (Hình 1-8):

Hình 1-8



Tại trọng tâm O của mặt cắt ta gắn một hệ trục Oxyz. Hợp lực của hệ nội lực phải cân bằng với hợp lực của các ngoại lực tác dụng lên phần đang xét.

Thu gọn hợp lực \vec{R} về trọng tâm O của mặt cắt ngang ta được vector chính \vec{R}' và mômen chính \vec{M} .

Chiếu chúng lên 3 trục tọa độ ta được các thành phần nội lực sau :

$$\vec{R}' \begin{cases} + \text{Lực dọc } N_z \text{ (hướng theo trục } z \text{)} \\ + \text{Lực cắt } Q_x \text{ (hướng theo trục } x \text{)} \\ + \text{Lực cắt } Q_y \text{ (hướng theo trục } y \text{)} \end{cases}$$

$$\vec{M} \begin{cases} + \text{Mômen xoắn } M_z \text{ (quay quanh trục } z \text{)} \\ + \text{Mômen uốn } M_x \text{ (quay quanh trục } x \text{)} \\ + \text{Mômen uốn } M_y \text{ (quay quanh trục } y \text{)} \end{cases}$$

$N_z, Q_x, Q_y, M_x, M_y, M_z$ là 6 thành phần nội lực trên mặt cắt ngang. Chúng được xác định từ điều kiện cân bằng của phần đang xét dưới dạng các phương trình :

Các phương trình tổng hình chiếu :

$$\begin{cases} * N_z + \sum_{k=1}^n \bar{P}_{kz} = 0 \\ * Q_x + \sum_{k=1}^n \bar{P}_{kx} = 0 \\ * Q_y + \sum_{k=1}^n \bar{P}_{ky} = 0 \end{cases}$$

Các phương trình tổng mômen :

$$\left\{ \begin{array}{l} * M_z + \sum_{k=1}^n \bar{m}_z(\bar{P}_k) = 0 \\ * M_x + \sum_{k=1}^n \bar{m}_x(\bar{P}_k) = 0 \\ * M_y + \sum_{k=1}^n \bar{m}_y(\bar{P}_k) = 0 \end{array} \right.$$

$\sum_{k=1}^n \bar{P}_{kx}, \sum_{k=1}^n \bar{P}_{ky}, \sum_{k=1}^n \bar{P}_{kz}$: tổng đại số hình chiếu của tất cả các ngoại lực thuộc thành phần đang xét trên các trục x, y, z tương ứng.

$\sum_{k=1}^n \bar{m}_x(\bar{P}_k), \sum_{k=1}^n \bar{m}_y(\bar{P}_k), \sum_{k=1}^n \bar{m}_z(\bar{P}_k)$: tổng đại số mômen của các ngoại lực thuộc thành phần đang xét đối với các trục x, y, z tương ứng.

Nội lực tại mặt cắt ngang bất kỳ trên phần phải sẽ có cùng trị số, cùng phương, nhưng ngược chiều với nội lực tương ứng cũng tại mặt cắt đó trên phần trái.

1.4. Các giả thuyết cơ bản về vật liệu:

1.4.1. Giả thuyết 1:

Vật liệu có tính liên tục, đồng chất và đẳng hướng.

Vật liệu liên tục nghĩa là không có lỗ hổng; vật liệu đồng chất khi tính chất cơ học và vật lý tại mọi điểm của nó giống nhau; vật liệu đẳng hướng nghĩa là tính chất cơ học và vật lý xung quanh một điểm bất kỳ và theo hướng bất kỳ như nhau.

Giả thuyết này cho ta nghiên cứu tính chất cơ học, tính chịu lực của vật thể qua một phân tố vô cùng bé tưởng tượng được tách khỏi vật thể đó. Khi tính sức bền, ta chỉ xét tại những nơi nguy hiểm nhất.

1.4.2. Giả thuyết 2 :

Vật liệu có tính đàn hồi tuyệt đối và tuân theo định luật Húc.

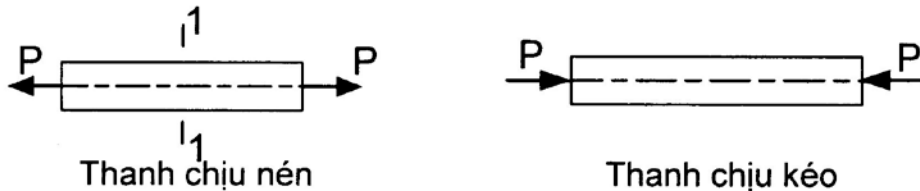
Dưới tác dụng của nguyên nhân ngoài, vật thể bị thay đổi hình dạng, kích thước ban đầu. Tuy nhiên khi bỏ các nguyên nhân này đi thì vật thể có khả năng trở về hình dạng và kích thước ban đầu. Nếu vật thể có khả năng trở về nguyên hình dạng và kích thước ban đầu ta gọi là vật thể đàn hồi tuyệt đối.

Trong miền đàn hồi tuyệt đối, vật liệu làm việc tuân theo định luật Húc ta có:

Biến dạng tại mọi điểm của vật thể tỷ lệ bậc nhất với ứng suất tại điểm đó.

CHƯƠNG 2 KÉO - NÉN ĐÚNG TÂM

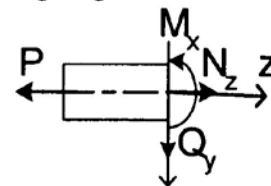
2.1. Định nghĩa:



Thanh chịu kéo – nén đúng tâm khi trên mặt cắt ngang của thanh chỉ có một thành phần nội lực là lực dọc N_z (Hình 2-1).

$$\sum_{k=1}^n F_{kz} = N_z - P = 0 \Leftrightarrow N_z = P$$

Quy ước dấu của N_z : $N_z > 0$: khi thanh chịu kéo
 $N_z < 0$: khi thanh chịu nén



Hình 2-1

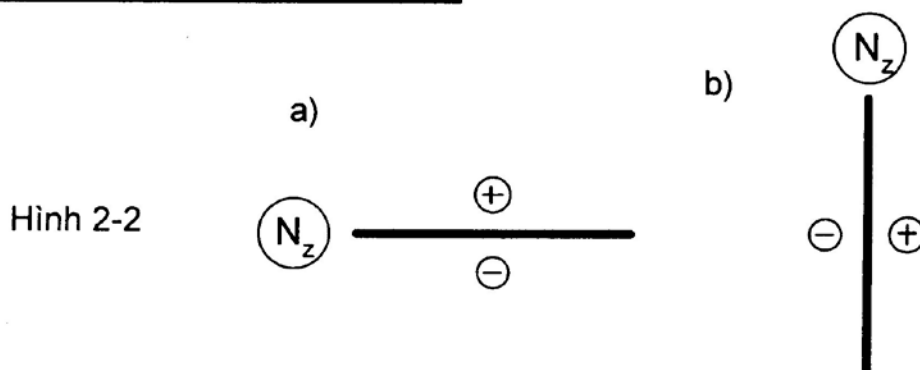
2.2. Biểu đồ lực dọc:

Biểu đồ lực dọc là đường biểu diễn sự biến thiên của lực dọc, dọc theo trục của thanh.

+ Trị số của lực dọc bằng trị số ngoại lực tác dụng lên đoạn thanh đang xét cân bằng; dấu cộng ứng với thanh chịu kéo; dấu trừ ứng với thanh chịu nén.

+ Nếu đoạn thanh đang xét cân bằng có nhiều ngoại lực tác dụng thì lực dọc bằng tổng đại số các lực dọc do từng ngoại lực tác dụng một cách riêng rẽ trên mặt cắt đang xét.

Quy ước cách vẽ biểu đồ (Hình 2-2):



Hình 2-2

Vẽ đường chuẩn song song với trục thanh (trục nằm ngang hình 2-2a, trục thẳng đứng hình 2-2b). Các đường trang trí mảnh, cách đều nhau và vuông góc với đường chuẩn.

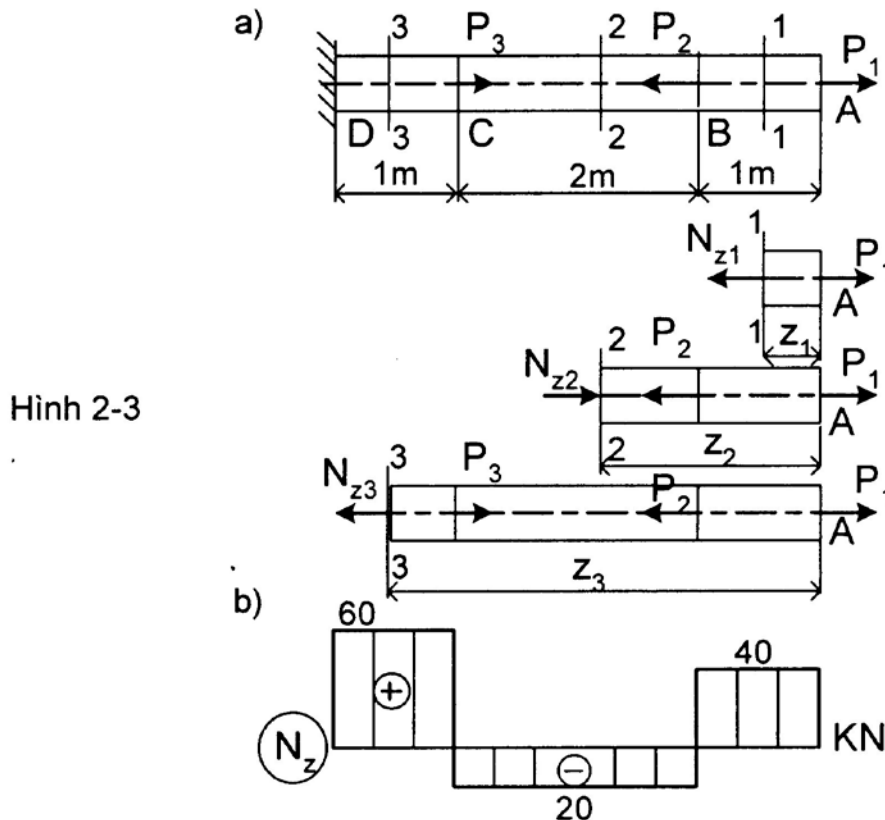
Ví dụ 2.1:

Vẽ biểu đồ nội lực cho thanh có sơ đồ chịu lực hình 2-3a, cho $P_1 = 40$ kN, $P_2 = 60$ kN, $P_3 = 80$ kN

Giải

Phân thanh AD ra thành 3 đoạn : AB, BC, CD.

Cắt từ đầu tự do cắt lần vào :



Biểu thức nội lực trong từng đoạn thanh :

Đoạn AB : Mặt cắt 1-1 (xét cân bằng phần phải)

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

$$N_{z1} = P_1 = 40 \text{ kN}$$

Đoạn BC : Mặt cắt 2-2 (xét cân bằng phần phải)

$$1\text{m} \leq z_2 \leq 3\text{m}$$

$$N_{z2} = P_1 - P_2 = -20 \text{ kN}$$

Đoạn CD : Mặt cắt 3-3 (xét cân bằng phần phải)

$$3\text{m} \leq z_3 \leq 4\text{m}$$

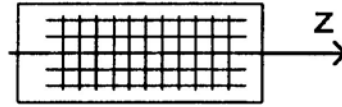
$$N_{z3} = P_1 - P_2 + P_3 = 60 \text{ kN}$$

Biểu đồ nội lực vẽ ở hình 12-3b

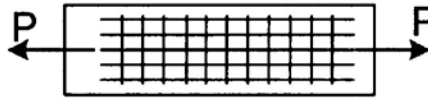
Nhận xét : Tại những mặt cắt có lực tập trung, biểu đồ N_z có bước nhảy, trị số bước nhảy đúng bằng trị số của lực tập trung.

2.3. Ứng suất trên mặt cắt ngang:

2.3.1. Quan sát mẫu thí nghiệm chịu kéo:



Hình 2-4



Mẫu là một thanh lăng trụ, trước khi thí nghiệm trên bề mặt thanh ta kẻ các đường vạch song song và vuông góc với trục thanh. Khi thanh chịu kéo hay nén ta nhận thấy :

+ Trục thanh vẫn thẳng.
+ Những vạch song song với trục thanh vẫn thẳng và song song với trục thanh.

+ Những vạch vuông góc với trục thanh vẫn thẳng và vuông góc với trục thanh. Nhưng khoảng cách giữa các vạch đó có thay đổi, khi chịu kéo các vạch cách xa nhau, khi chịu nén các vạch sát gần nhau.

2.3.2. Các giả thuyết:

Từ những nhận xét trên ta thừa nhận hai giả thuyết sau :

- Giả thuyết mặt cắt ngang phẳng (giả thuyết Béc nuli) : trong quá trình biến dạng mặt cắt ngang của thanh luôn luôn phẳng và vuông góc với trục thanh.
- Giả thuyết về các thớ dọc : trong quá trình biến dạng các thớ dọc không áp lên nhau và cũng không đẩy xa nhau (không phát sinh ứng suất pháp $\sigma_x = \sigma_y = 0$).

Vậy trên mặt cắt ngang của thanh chỉ có thành phần ứng suất pháp σ_z còn thành phần ứng suất tiếp bằng không.

2.3.3. Biểu thức liên hệ giữa ứng suất pháp và lực dọc :

$$\sigma_z = \frac{N_z}{F} \quad (2-1)$$

trong đó: N_z - giá trị lực dọc tại mặt cắt đang xét,

F - diện tích mặt cắt ngang

2.4. Biến dạng – Tính độ dẫn dài của thanh :

l : chiều dài ban đầu của thanh.

Khi chịu kéo thanh dẫn dài ra một đoạn Δl .

Khi chịu nén thanh co lại một đoạn Δl .

* Δl được gọi là độ dẫn dài tuyệt đối của thanh.

$$\Delta l = \int_0^l \frac{N_{zi}}{E_i F_i} dz \quad (2-2)$$

i - đoạn thứ i ; E : môđun đàn hồi của vật liệu khi kéo – nén.

Nếu N_{zi} là hằng số trong từng đoạn i thì :

$$\Delta l = \sum_{i=1}^n \frac{N_{zi} \times l_i}{E_i \times F_i} \quad (2-3)$$

Tích số EF gọi là *độ cứng* của thanh khi kéo hay nén

* ε_z độ dẫn dài tương đối theo phương z :

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta dz}{dz} \quad (2-4)$$

Ví dụ 2.2:

Thanh chịu lực theo 2-3a, mặt cắt ngang không thay đổi có diện tích $F = 4 \text{ cm}^2$, $E = 2.10^4 \text{ kN/cm}^2$

Tính ứng suất pháp lớn nhất và độ dẫn dài của toàn thanh ?

Giải

$$\sigma_{z\max} = \frac{N_{z\max}}{F} = \frac{60}{4} = 15 \text{ kN/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \Delta l &= \sum_{i=1}^n \frac{N_{zi} \times l_i}{E_i \times F_i} = \frac{1}{EF} (N_{AB} \times l_{AB} + N_{BC} \times l_{BC} + N_{CD} \times l_{CD}) \\ &= \frac{1}{2.10^4 \times 4} (60 \times 100 - 20 \times 200 + 40 \times 100) \\ &= 0,075 \text{ cm} \end{aligned}$$

Thanh AD bị dẫn dài ra một đoạn 0,075 cm.

♦ Giữa độ biến dạng ngang tỷ đối và độ biến dạng dọc tỷ đối có liên hệ sau :

$$\varepsilon_{\text{ngang}} = -\mu \cdot \varepsilon_{\text{dọc}}$$

μ : hệ số biến dạng ngang hay hệ số Poat xông (Poisson), nó phụ thuộc vào từng loại vật liệu, là hằng số có giá trị từ 0 cho đến 0,5.

Ví dụ như :

Thép	$\mu = 0,25 \div 0,3$
Gang	$\mu = 0,23 \div 0,27$
Nhôm	$\mu = 0,32 \div 0,36$
Bê tông	$\mu = 0,08 \div 0,18$
Cao su	$\mu = 0,47$

Dấu – do $\varepsilon_{\text{ngang}}$ và $\varepsilon_{\text{dọc}}$ luôn luôn ngược dấu nhau.

2.5. Điều kiện bền:

2.5.1. Ứng suất cho phép:

Ký hiệu σ_o : ứng suất nguy hiểm.

Vật liệu giòn σ_o là giới hạn bền (σ_b), vật liệu dẻo σ_o là giới hạn chảy (σ_{ch}).

Để bảo đảm an toàn trong thực tế người ta thường sử dụng một giá trị ứng suất nhỏ hơn ứng suất nguy hiểm gọi là ứng suất cho phép, ký hiệu là $[\sigma]$.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_0}{n} \quad (2-5)$$

n - hệ số an toàn, $n > 1$.

+ Vật liệu dẻo : $[\sigma]_k = [\sigma]_n = [\sigma] = \frac{\sigma_{ch}}{n}$

+ Vật liệu giòn : ứng suất cho phép khi chịu nén : $[\sigma]_n = \frac{\sigma_b^n}{n}$

Trong đó σ_b^n : giới hạn bền khi nén.

ứng suất cho phép khi chịu kéo : $[\sigma]_k = \frac{\sigma_b^k}{n}$

Trong đó σ_b^k : giới hạn bền khi kéo.

Chọn hệ số an toàn n cho thích hợp là rất quan trọng, dựa vào kinh nghiệm thực tế trong thiết kế cũng như sử dụng, giáo trình chuyên môn của từng ngành sẽ cho ta số liệu tham khảo.

2.5.2. Điều kiện bền của thanh chịu kéo – nén đúng tâm:

a) Đối với vật liệu dẻo :

$$|\sigma|_{\max} = \frac{N_z}{F} \leq [\sigma] \quad (2-6)$$

b) Đối với vật liệu giòn :

$$\sigma_{\max} = \frac{N_z}{F} \leq [\sigma]_k \quad (2-7)$$

σ_{\max} : ứng suất kéo lớn nhất (tính trên phần dương của biểu đồ)

$$\sigma_{\min} = \frac{N_z}{F} \leq [\sigma]_n \quad (2-8)$$

σ_{\min} : ứng suất nén lớn nhất (tính trên phần âm của biểu đồ)

2.5.3. Ba bài toán cơ bản trong kéo – nén đúng tâm:

a) Kiểm tra bền :

Cho biết $[\sigma]$, F và lực tác dụng, kiểm tra độ bền cho thanh.

Xác định lực dọc trong thanh, sau đó tính trị số ứng suất pháp lớn nhất. Nếu giá trị này không vượt quá ứng suất cho phép thì thanh đủ bền, ngược lại là không đủ bền. Trong kỹ thuật sai số cho phép khoảng 5%.

b) Chọn kích thước mặt cắt ngang :

Sau khi chọn vật liệu tức là biết $[\sigma]$, xác định lực tác dụng, điều kiện để

chọn tiết diện mặt cắt: $F \geq \frac{N_z}{[\sigma]}$

c) Xác định tải trọng cho phép :

Biết F , $[\sigma]$. Lực dọc lớn nhất cho phép :

$$N_{z\max} \leq F \cdot [\sigma] \quad \text{Hay} \quad [N_z] = F \cdot [\sigma]$$

Dựa vào đó tìm tải trọng cho phép theo sơ đồ lực của bài toán.

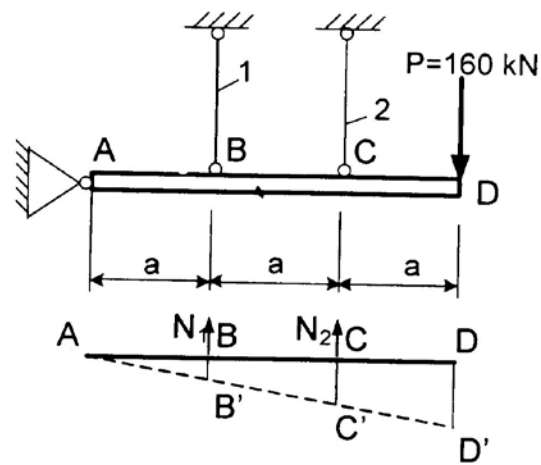
2.6. Bài toán siêu tĩnh:

Là bài toán mà chỉ dùng các phương trình cân bằng tĩnh học thì sẽ không giải được tất cả các phản lực hay nội lực. Vì vậy ta phải thêm vào các phương trình phụ nhờ các điều kiện thực về biến dạng hay chuyển vị.

Ví dụ 2.3:

Thanh cơ bản AD được treo bởi 2 thanh 1 và 2 cùng một loại vật liệu, cùng chiều dài và cùng tiết diện (Hình 12-5), cho $l_1 = l_2 = l = 1\text{m}$; $F_1 = F_2 = F = 12\text{ cm}^2$; $[\sigma] = 16\text{ kN/cm}^2$, $E = 2 \cdot 10^4\text{ kN/cm}^2$. Kiểm tra bền cho kết cấu và tìm chuyển vị tại D ?

Hình 2-5



Giải:

$$\sum \bar{m}_A(\bar{F}_k) = N_1 \cdot a + N_2 \cdot 2a - P \cdot 3a = 0$$

$$\text{Hay: } N_1 + 2N_2 - 3P = 0 \quad (1)$$

Xét điều kiện biến dạng của hệ:

$BB' = \Delta_1$: biến dạng dài thanh 1

$CC' = \Delta_2$: biến dạng dài thanh 2

Quan hệ hình học cho ta:

$\Delta_2 = 2\Delta_1$ (tỷ lệ thức trong tam giác đồng dạng)

$$\Rightarrow \frac{N_2 \times l_2}{EF} = 2 \frac{N_1 \times l_1}{EF}$$

$$\text{Hay: } N_2 = 2N_1 \quad (2)$$

$$\text{Thay vào (1)} \Rightarrow N_2 = 192\text{ kN}; N_1 = 96\text{ kN}$$

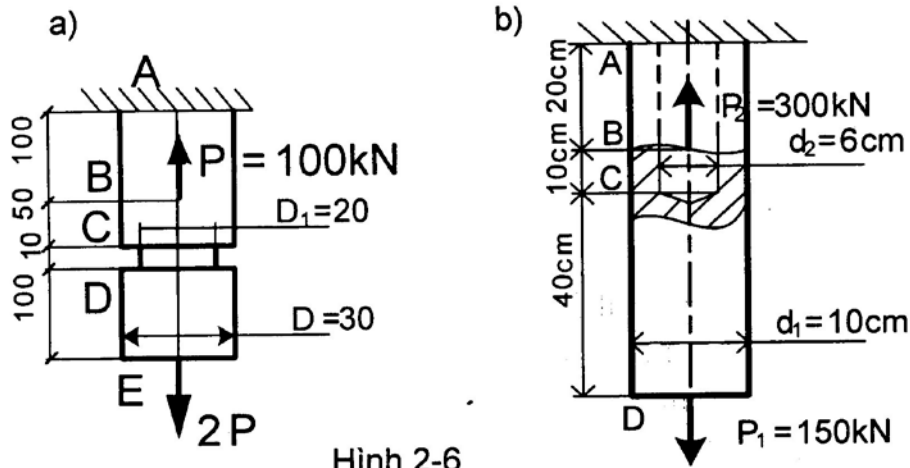
Do hai thanh cùng một loại vật liệu và cùng tiết diện nên chỉ cần kiểm tra bền cho thanh 2 là đủ:

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{F} = \frac{192}{12} = 16\text{ kN/cm}^2 = [\sigma]_k : \text{Kết cấu thỏa bền.}$$

$$\text{Chuyển vị tại D: } DD' = 3\Delta_1 = 3 \frac{96 \times 100}{2 \cdot 10^4 \times 12} = 0,12\text{ cm.}$$

2.7. Bài tập chương 2

2.1. Vẽ biểu đồ N_z ; σ_z và tính độ dãn dài tuyệt đối Δl cho các thanh chịu lực theo sơ đồ hình 2-6, cho $E = 10^4 \text{ kN/cm}^2$



Hình 2-6

2.2. Xác định kích thước mặt cắt ngang của các thanh chịu lực có sơ đồ chịu lực :

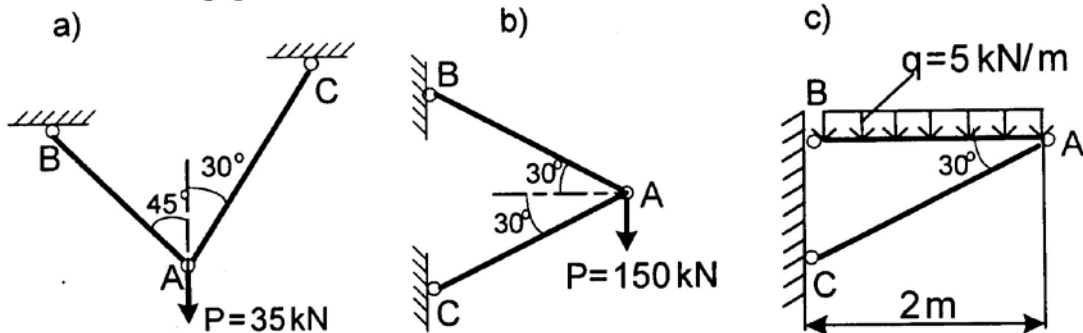
Hình 2-7a: Thanh AB và AC là thép tròn.

Hình 2-7c: Tìm đường kính thanh AC theo điều kiện bền kéo-nén.

Hình 2-7b: Thanh AB làm bằng thép chữ U, thanh AC làm bằng 2 thép góc đều cạnh ghép lại.

Các thanh làm cùng một loại vật liệu có :

$$[\sigma]_k = 16 \text{ kN/cm}^2; [\sigma]_n = 12 \text{ kN/cm}^2.$$



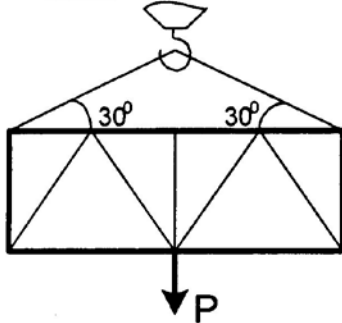
Hình 2-7

2.3. Để vận chuyển một dàn bằng kim loại nặng 1 tấn, người ta treo nó trên dây cáp bằng thép, các nhánh dây cáp làm với đường nằm ngang một góc 30° . Xác định ứng suất trong dây cáp nếu nó gồm 96 sợi, mỗi sợi đường kính 1mm (Hình 2-8).

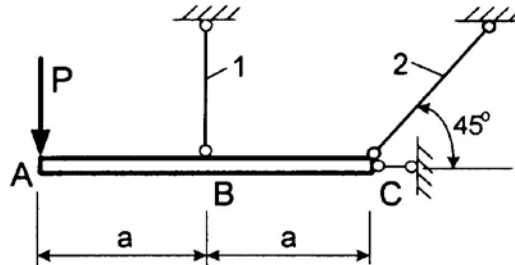
ĐS: $\sigma_c = 1327 \text{ kG/cm}^2$

2.4. Kết cấu có sơ đồ chịu lực hình 2-9. Thanh 1 và 2 làm cùng loại vật liệu có $[\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2$, $F_1 = 2 \text{ cm}^2$, $F_2 = 1 \text{ cm}^2$. Tìm tải trọng cho phép P từ điều kiện bền của hai thanh 1 và 2.

ĐS: $[P] = 11,3 \text{ kN}$



Hình 2-8



Hình 2-9

2.5. Thanh AB tuyệt đối cứng, được treo bởi thanh 1 làm bằng 2 thép góc đều cạnh ghép lại, thanh 2 và 3 làm bằng thép chữ I (Hình 2-10), các thanh này làm cùng một loại vật liệu có:

$[\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2$, $E = 2 \cdot 10^4 \text{ kN/cm}^2$.

- Xác định số hiệu mặt cắt các thanh treo 1, 2 và 3 theo điều kiện bền kéo.
- Tìm chuyển vị tại A, cho $l_1 = 1 \text{ m}$.

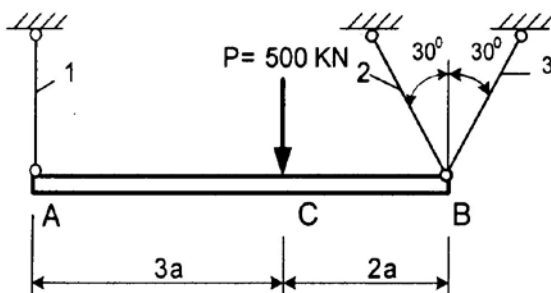
ĐS: a) $L70 \times 70 \times 5$; $IN^0 10$; b) $AA' = \Delta l_1 = 0,073 \text{ cm}$

2.6. Thanh AB tuyệt đối cứng, được treo bởi hai thanh 1 và 2 cùng đường kính làm cùng một loại vật liệu có:

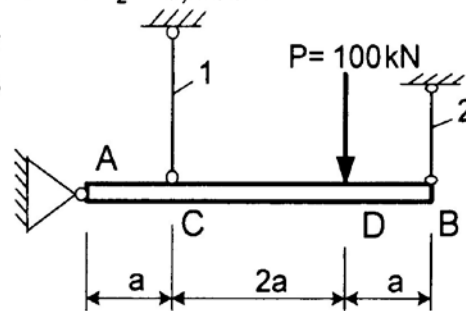
$[\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2$, $E = 2 \cdot 10^4 \text{ kN/cm}^2$, $l_1 = 1,5 \text{ m}$; $l_2 = 1 \text{ m}$ (Hình 2-11).

- Tìm đường kính các thanh 1 và 2 theo điều kiện bền kéo.
- Tìm chuyển vị tại B.

ĐS: a. $D_1 = D_2 = 2,4 \text{ cm}$; b. $BB' = \Delta l_2 = 0,08 \text{ cm}$



Hình 2-10



Hình 2-11

2.7. Thanh AB tuyệt đối cứng được treo bằng hai thanh 1 và 2 cùng vật liệu, thanh 1 có tiết diện $2F$, thanh 2 có tiết diện F (Hình 2-12).

Tìm vị trí đặt lực P để thanh AB vẫn nằm ngang khi các thanh treo biến dạng.

ĐS: $x = 0,3 \text{ m}$

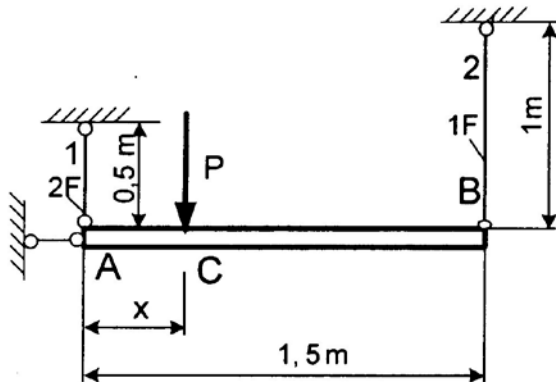
2.8. Ba thanh thép có mặt cắt hình tròn, liên kết khớp, treo trọng lượng $P = 1,8$ tấn (Hình 2-13); $l_1 = l_2 = 1,5\text{m}$, $l_3 = 1\text{m}$; thanh 1 và 2 có cùng đường kính $d = 12\text{mm}$.

Vật liệu thanh có $[\sigma] = 1000\text{ kG/cm}^2$, $E = 2 \cdot 10^6\text{ kG/cm}^2$.

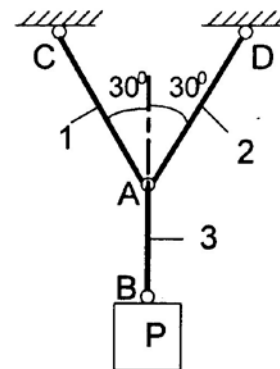
a. Tính σ_1, σ_2, d_3 ?

b. Tính đoạn dịch chuyển y của B do biến dạng của tất cả các thanh.

ĐS: $\sigma_1 = \sigma_2 = 920\text{ kG/cm}^2$; $d_3 = 1,51\text{cm}$; b. $y = 0,125\text{cm}$



Hình 2-12



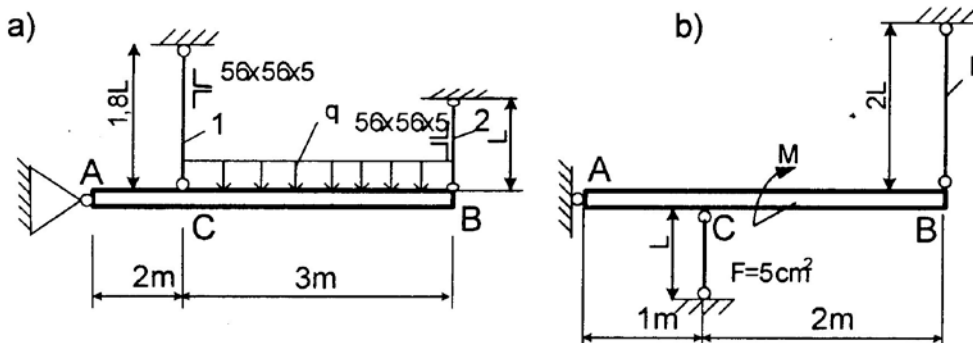
Hình 2-13

2.9. Dầm tuyệt đối cứng được giữ bởi các thanh treo bằng thép có giới hạn chảy $\sigma_{ch} = 24\text{ kN/cm}^2$, $E = 2 \cdot 10^4\text{ kN/cm}^2$ (Hình 2-14).

Xác định giá trị cho phép của tải trọng tác dụng lên dầm. Hệ số an toàn của kết cấu $n = 1,6$.

ĐS: a) $[q] = 84,5\text{ kN/m}$

b) $[M] = 275\text{ kNm}$



Hình 2-14

2.10. Cột bê tông có mặt cắt hình vuông cạnh $a = 50\text{cm}$, chịu lực nén $P = 10$ tấn. Hãy xác định ứng suất và độ dãn dài tuyệt đối của nó; chiều dài cột $l = 1\text{m}$ và môđun đàn hồi $E = 2,5 \cdot 10^4\text{ kGf/cm}^2$.

ĐS: $\sigma = 4\text{ kGf/cm}^2$; $\Delta l = 0,016\text{ cm}$

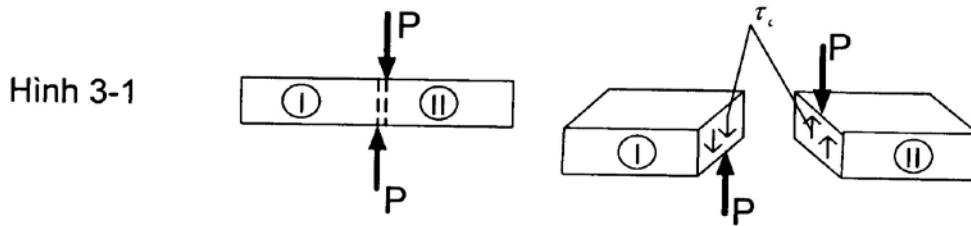
* Nếu cột bê tông này bị khoan một lỗ có đường kính $d = 5\text{ cm}$ suốt từ trước ra sau. Hãy kiểm tra bền và tính độ dãn dài cho cột bê tông. Ứng suất nén cho phép của bê tông là $[\sigma]_n = 200\text{ kGf/cm}^2$.

CHƯƠNG 3 CẮT VÀ DẬP

3.1. CẮT

3.1.1. Ứng suất cắt:

Một thanh chịu cắt khi nó chịu tác dụng bởi 2 lực song song, ngược chiều, có trị số bằng nhau và nằm trong hai mặt cắt rất gần nhau (Hình 3-1).



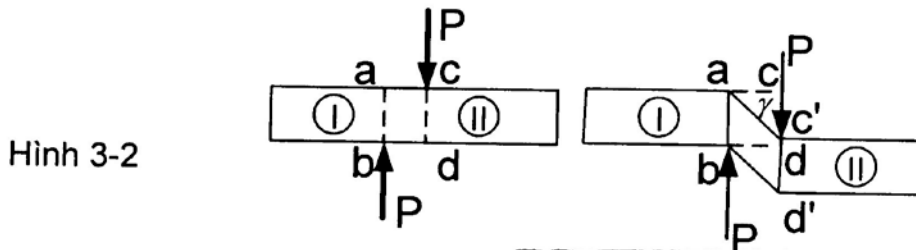
Ứng suất cắt :
$$\tau_c = \frac{P}{F_c} \quad (3-1)$$

Trong đó P - lực gây cắt;
F_c - tiết diện mặt bị cắt.

3.1.2. Biến dạng cắt :

Dưới tác dụng của 2 lực \vec{P} nằm trên hai mặt cắt ab và cd rất gần nhau (Hình 3-2).

Giả thử mặt cắt ab cố định, mặt cắt cd sẽ trượt đến c'd' và sau đó bị cắt rời.



* Độ trượt tuyệt đối $\Delta S = cc' = dd'$

* Độ trượt tương đối (tỷ đối) :

$$\epsilon_t = \frac{\Delta S}{ac} = \text{tg} \gamma \approx \gamma \quad (3-2)$$

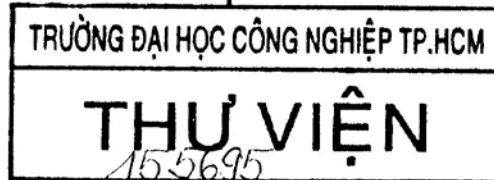
Độ trượt tương đối γ đơn vị là Radian.

3.1.3. Định luật Húc về cắt:

Trong phạm vi biến dạng đàn hồi hoàn toàn của vật liệu chịu cắt, ứng suất cắt τ_c tỷ lệ thuận với độ trượt tương đối :

$$\tau_c = \gamma \cdot G \quad (3-3)$$

G - môđun đàn hồi trượt, đơn vị MN/m²



Vật liệu	G (MN/m ²)
Thép	(7,8 ÷ 8,5).10 ⁴
Gang	4,6.10 ⁴
Đồng	4,5.10 ⁴
Nhôm	(2,8 ÷ 3).10 ⁴
Gỗ	0,055.10 ⁴

3.1.4. Tính toán về cắt:

a) Kiểm tra cường độ : $\tau_c = \frac{P}{F_c} \leq [\tau]$

trong đó : $[\tau]$: ứng suất tiếp cho phép

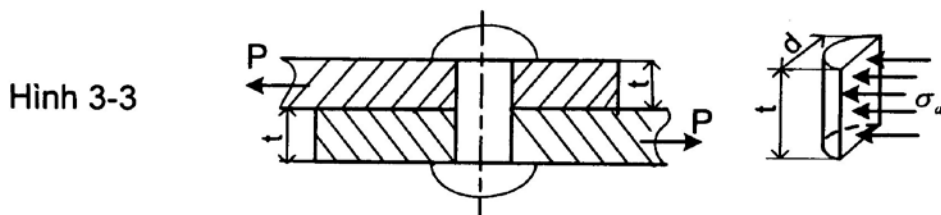
b) Chọn tiết diện mặt cắt : $F_c \geq \frac{P}{[\tau]}$

c) Tìm tải trọng cho phép : $P \leq F_c.[\tau]$

3.2. DẬP

3.2.1. Định nghĩa:

Đây là hiện tượng nén cục bộ xảy ra trên một diện tích truyền lực tương đối nhỏ của hai vật thể ép vào nhau (Hình 3-3).



Hình 3-3

Trên mặt vật thể bị dập phát sinh những ứng suất pháp gọi là ứng suất dập

$$\sigma_d = \frac{P}{F_d} \quad (3-4)$$

trong đó : F_d là tiết diện mặt bị dập

3.2.2. Tính toán về dập:

a) Kiểm tra cường độ : $\sigma_d = \frac{P}{F_d} \leq [\sigma_d]$

trong đó : $[\sigma_d]$ là ứng suất dập cho phép

b) Chọn tiết diện mặt bị dập : $F_d \geq \frac{P}{[\sigma_d]}$

c) Tìm tải trọng cho phép : $P \leq F_d.[\sigma_d]$

3.3. Ứng dụng tính toán về cắt và dập:**3.3.1. Chọn tải trọng máy khi dập cắt:**

$$\tau_c = \frac{P}{F_c} > [\tau] \Rightarrow P > F_c \cdot [\tau] \quad (3-5)$$

3.3.2. Tính toán các mối ghép bằng bulon, đinh tán:**a) Mối ghép không có tấm đệm, tính bền theo cắt :**

$$\tau_c = \frac{P}{n \frac{\pi d^2}{4}} \leq [\tau] \quad (3-6)$$

n - số đinh tán trên một tấm cơ bản; d - đường kính đinh tán

b) Mối ghép có hai tấm đệm, tính bền theo cắt :

$$\tau_c = \frac{P}{n2 \frac{\pi d^2}{4}} \leq [\tau] \quad (3-7)$$

c) Tính bền theo dập :

$$\sigma_d = \frac{P}{n.t.d} \leq [\sigma_d] \quad (3-8)$$

t - chiều dày của tấm truyền sức ép vào thân đinh tán, nếu chiều dày các tấm ghép khác nhau thì lấy t bé nhất.

Ví dụ 3.1 :

Máy đột có lực đột lớn nhất $P = 32$ tấn, xác định đường kính lớn nhất của lỗ có thể đột được trên tấm thép dày $t = 8$ mm; vật liệu tấm thép có $\tau_b = 3600$ kG/cm².

Giải

$$\tau = \frac{P}{F_c} = \frac{P}{\pi.d.t} > \tau_b$$

$$\Rightarrow d < \frac{P}{\pi.t.\tau_b} = \frac{32.10^3}{3,14 \times 0,8 \times 3600} = 3,54 \text{ cm}$$

$$\text{Vậy : } [d] = 35 \text{ mm}$$

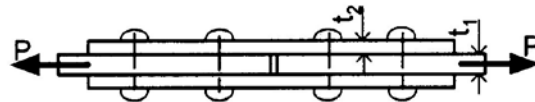
Ví dụ 3.2 :

Hai tấm thép có bề rộng $b = 180$ mm, $t_1 = 10$ mm được nối với nhau bởi hai bản thép khác cùng bề rộng có bề dày $t_2 = 8$ mm; đinh tán có đường kính $d = 20$ mm. Tính lực kéo P cho phép đặt vào hai tấm thép. Vật liệu làm đinh tán có: $[\tau] = 100$ MN/m²; $[\sigma]_d = 280$ MN/m²; vật liệu tấm thép có $[\sigma]_k = 160$ MN/m² (Hình 3-4).

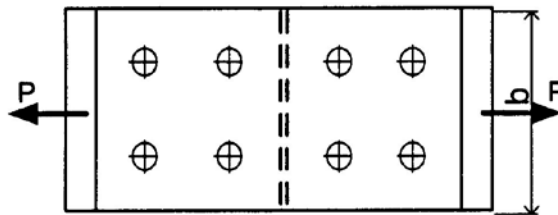
Giải**1. Định tán :**

Điều kiện bền cắt :

$$\tau_c = \frac{P}{n \cdot 2 \frac{\pi d^2}{4}} \leq [\tau]; \text{ với } [\tau] = 100 \text{ MN/m}^2 = 10 \text{ kN/cm}^2$$



Hình 3-4



$$\Rightarrow P \leq n \cdot 2 \frac{\pi d^2}{4} \cdot [\tau] = 4 \cdot 2 \frac{3.14 \times 2^2}{4} \times 10$$

$$P \leq 251,2 \text{ kN} \quad (1)$$

Điều kiện bền dập :

$$\sigma_d = \frac{P}{n \cdot t_1 \cdot d} \leq [\sigma_d]; \text{ với } [\sigma_d] = 280 \text{ MN/m}^2 = 28 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Rightarrow P \leq n \cdot t_1 \cdot d \cdot [\sigma_d] = 4 \times 1 \times 2 \times 28 = 224 \text{ kN} \quad (2)$$

2. Tấm thép :

Điều kiện bền kéo :

$$\sigma_k = \frac{P}{t_1 \cdot (b - 2d)} \leq [\sigma]_k; \text{ với } [\sigma]_k = 160 \text{ MN/m}^2 = 16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Rightarrow P \leq t_1 \cdot (b - 2d) \cdot [\sigma]_k = 1 \cdot (18 - 2 \cdot 2) \cdot 16 = 224 \text{ kN} \quad (3)$$

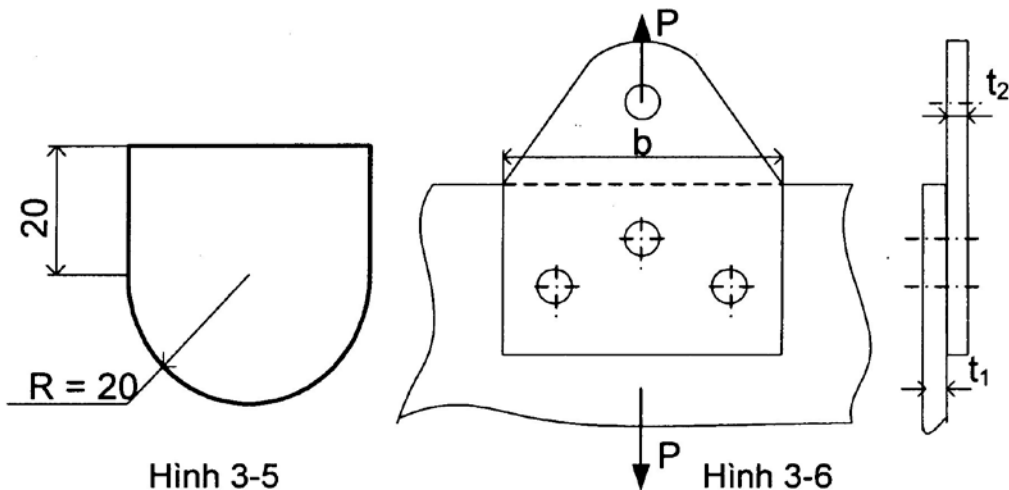
Từ (1), (2), (3) chọn $[P] = 224 \text{ kN}$ **3.4. Bài tập chương 3**

3.1. Để đột lỗ có kích thước và hình dáng như hình 3-5, trên tấm thép dày 10mm, vật liệu tấm thép có $[\tau] = 40 \text{ kN/cm}^2$. Xác định áp lực máy để đột được lỗ này.

ĐS : $P > 571,2 \text{ kN} \approx 58,23 \text{ tấn}$.

3.2. Để treo vật nặng P, người ta làm một bản thép có kết cấu như hình 3-6. Từ các điều kiện bền, tính trọng lượng cho phép lớn nhất của vật nặng. Định tán có đường kính $d = 20 \text{ mm}$; $[\tau] = 100 \text{ MN/m}^2$; $[\sigma]_d = 280 \text{ MN/m}^2$; $t_1 = 10 \text{ mm}$, $t_2 = 8 \text{ mm}$; $b = 100 \text{ mm}$ vật liệu tấm có $[\sigma]_k = 160 \text{ MN/m}^2$.

ĐS : $[P] = 94,2 \text{ kN}$



Hình 3-5

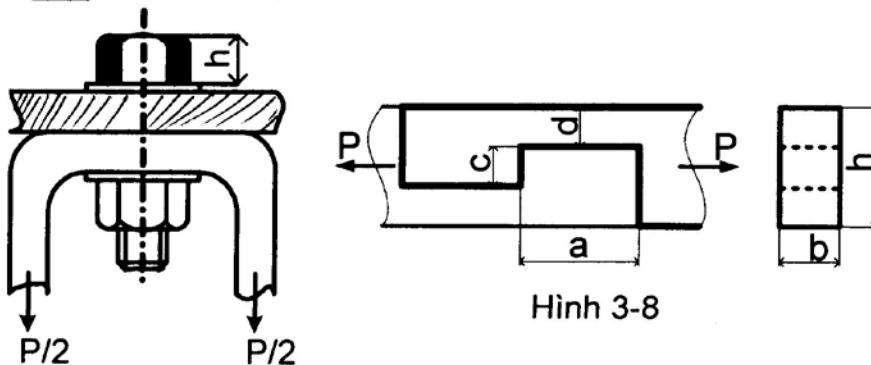
Hình 3-6

3.3. Một đỉnh bulon có đường kính làm việc $d = 18 \text{ mm}$ được dùng để liên kết hai chi tiết chịu lực $P = 50 \text{ kN}$ (hình 3-7). Kiểm tra bền cho đỉnh tán và tính độ cao tối thiểu của mũ đỉnh để đỉnh không bị phá hủy. Biết đỉnh tán có $[\tau] = 140 \text{ MN/m}^2$; $[\sigma] = 280 \text{ MN/m}^2$.

ĐS: $\sigma_b = 19,6 \text{ kN/cm}^2$; $h = 6,32 \text{ mm}$.

3.4. Một thanh gỗ bị kéo dọc trục gồm hai đoạn được nối bằng mộng (Hình 3-8). Tính kích thước của mộng và kiểm tra độ bền thanh gỗ chỗ đục mộng. Cho $b = 10 \text{ cm}$; $h = 20 \text{ cm}$; $P = 60 \text{ kN}$; gỗ có: $[\sigma]_k = 10 \text{ MN/m}^2$; $[\tau] = 2,4 \text{ MN/m}^2$; $[\sigma]_d = 9 \text{ MN/m}^2$; khi tính bỏ qua tác dụng của đỉnh bulon.

ĐS: $a = 25 \text{ cm}$; $c = 7 \text{ cm}$.

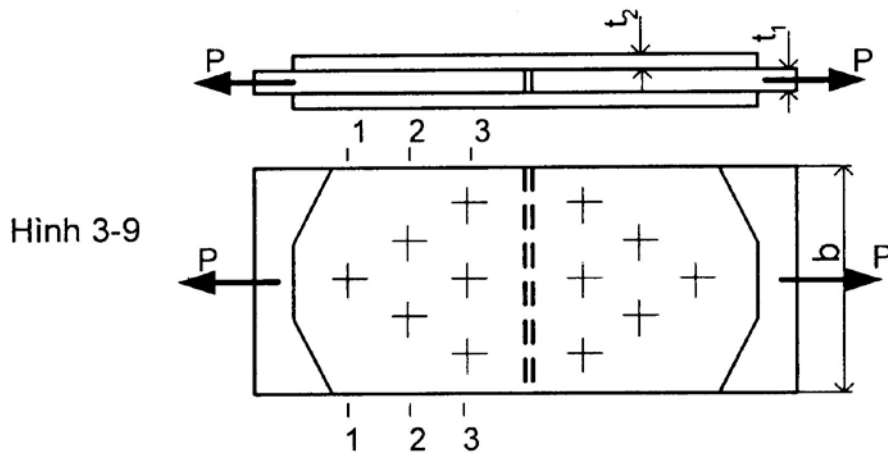


Hình 3-8

Hình 3-7

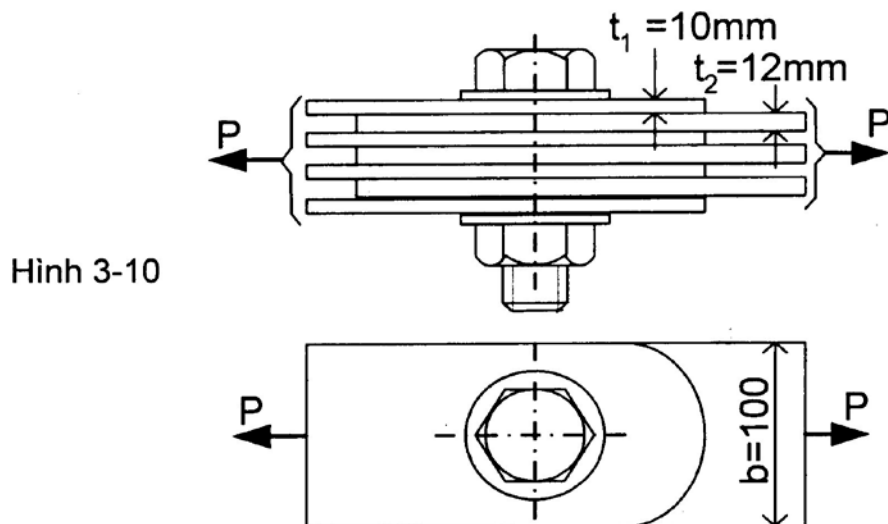
3.5. Hai tấm cơ bản nối với nhau bằng đỉnh tán theo sơ đồ hình 3-9. Kiểm tra bền cho đỉnh và các tấm thép. Biết $d = 20 \text{ mm}$; $t_1 = 12 \text{ mm}$; $t_2 = 8 \text{ mm}$; $b = 130 \text{ mm}$; $P = 200 \text{ kN}$; $[\tau] = 100 \text{ MN/m}^2$; $[\sigma]_d = 280 \text{ MN/m}^2$; vật liệu tấm có $[\sigma]_k = 160 \text{ MN/m}^2$.

ĐS: $\tau_c = 5,3 \text{ kN/cm}^2$; $\sigma_d = 13,9 \text{ kN/cm}^2$; $\sigma_{k1} = 15,15 \text{ kN/cm}^2$;
 $\sigma_{k2} = 15,43 \text{ kN/cm}^2$; $\sigma_{k3} = 11,9 \text{ kN/cm}^2$.



3.6. Giữa các mắt của một dây xích chịu lực kéo $P = 300 \text{ kN}$, người ta dùng đinh bulon đường kính làm việc $d = 35 \text{ mm}$ để nối ghép (Hình 3-10). Kiểm tra độ bền của đinh và các mắt xích. Cho $[\tau] = 140 \text{ MN/m}^2$; $[\sigma]_d = 320 \text{ MN/m}^2$; $[\sigma]_k = 240 \text{ MN/m}^2$.

ĐS: $\tau_d = 52 \text{ MN/m}^2$; $\sigma_d = 238 \text{ MN/m}^2$; $\sigma_{tám} = 128 \text{ MN/m}^2$

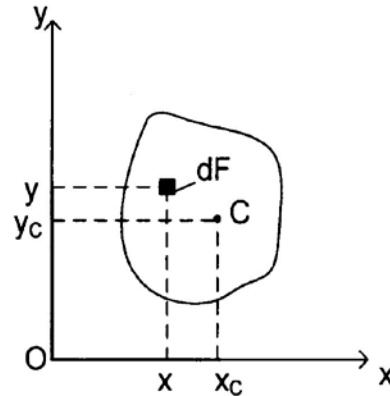


CHƯƠNG 4

ĐẶC TRƯNG HÌNH HỌC CỦA MẶT CẮT NGANG

4.1. Mômen tĩnh của mặt cắt ngang đối với một trục :

Hình 4-1



$$S_x = \int_F y dF ; \quad S_y = \int_F x dF \quad (4-1)$$

S_x, S_y - lần lượt là mômen tĩnh của diện tích mặt cắt ngang đối với trục x, y . Thứ nguyên của S_x, S_y là (chiều dài)³.

Vì x, y có thể âm hoặc dương nên mômen tĩnh có thể có trị số âm hoặc dương.

- Khi mômen tĩnh của diện tích F đối với trục nào bằng không thì trục đó được gọi là *trục trung tâm*.

- Giao điểm của 2 trục trung tâm là *trọng tâm của mặt cắt*.

- Gọi x_c và y_c là tọa độ trọng tâm C của một hình thì:

$$S_x = F \cdot y_c ; \quad S_y = F \cdot x_c \quad (4-2)$$

4.2. Mômen quán tính của mặt cắt ngang :

4.2.1. Mômen quán tính của mặt cắt ngang đối với một trục :

$$J_x = \int_F y^2 dF ; \quad J_y = \int_F x^2 dF \quad (4-3)$$

J_x, J_y - lần lượt là mômen quán tính của mặt cắt ngang đối với trục x, y . Thứ nguyên của mômen quán tính: (chiều dài)⁴.

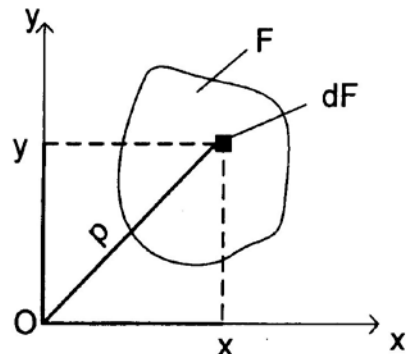
4.2.2. Mômen quán tính độc cực của mặt cắt ngang đối với gốc tọa độ O :

$$J_p = \int_F p^2 dF \quad (4-4)$$

Vì $p^2 = x^2 + y^2$ (xem hình 4-2) nên :

$$J_p = J_x + J_y \quad (4-5)$$

Hình 4-2



4.2.3. Mômen quán tính ly tâm của mặt cắt ngang đối với hệ trục tọa độ vuông góc xy

$$J_{xy} = \int_F xy dF \quad (4-6)$$

Tính chất

- Khi mômen quán tính ly tâm đối với hệ trục nào đó bằng không thì hệ trục đó được gọi là *hệ trục quán tính chính*. Nếu hệ trục quán tính chính qua trọng tâm mặt cắt thì được gọi là *hệ trục quán tính trung tâm*.

- Tại bất kỳ điểm nào trên mặt phẳng của mặt cắt ta cũng có thể xác định được một hệ trục quán tính chính.

- Nếu mặt cắt có một trục đối xứng thì bất kỳ trục nào vuông góc với trục đối xứng đó cũng lập với nó thành một hệ trục quán tính chính.

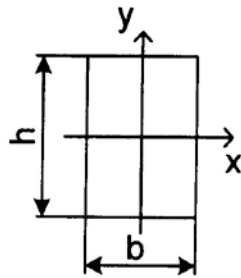
4.3. Mômen quán tính của một số hình đơn giản :

4.3.1. Hình chữ nhật (Hình 4-3):

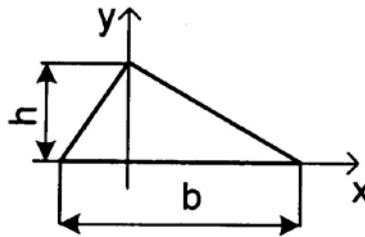
$$J_x = \frac{bh^3}{12} \quad ; \quad J_y = \frac{hb^3}{12} \quad (4-7)$$

4.3.2. Hình tam giác (Hình 4-4):

$$J_x = \frac{bh^3}{12} \quad (4-8)$$



Hình 4-3



Hình 4-4

4.3.3. Hình tròn – Hình vành khăn (Hình 4-5):

a) Hình tròn (Hình 4-5a):

$$J_x = J_y = \frac{\pi D^4}{64} \approx 0,05D^4 \quad (4-9a)$$

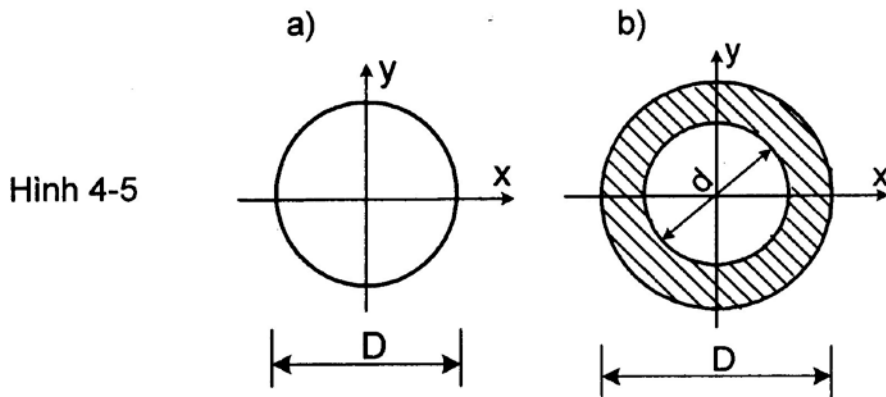
$$J_p = \frac{\pi D^4}{32} \approx 0,1D^4 \quad (4-9b)$$

b) Hình vành khăn (Hình 4-5b):

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

$$J_x = J_y = \frac{\pi D^4}{64} (1 - \alpha^4) \approx 0,05D^4 (1 - \alpha^4) \quad (4-10a)$$

$$J_p = \frac{\pi D^4}{32} (1 - \alpha^4) \approx 0,1D^4(1 - \alpha^4) \quad (4-10b)$$



4.4. Bán kính quán tính :

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}} \quad ; \quad i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}} \quad (4-11)$$

i_x, i_y : bán kính quán tính của mặt cắt ngang đối với trục x và trục y.

* Mặt cắt hình chữ nhật:

$$i_x = \frac{h}{\sqrt{12}} \quad ; \quad i_y = \frac{b}{\sqrt{12}} \quad (4-12)$$

* Mặt cắt hình tròn:

$$i_x = i_y = \frac{D}{4} \quad (4-13)$$

* Mặt cắt hình vành khăn:

$$i_x = i_y = \frac{D}{4} \sqrt{1 + \alpha^2} \quad (4-14)$$

4.5. Công thức chuyển trục song song của mômen quán tính (Hình 4-6):

Vấn đề: biết J_x, J_y, J_{xy} đối với hệ trục Oxy. Tìm J_u, J_v, J_{uv} đối với hệ trục song song O_1uv

$$u = x + a \quad ; \quad v = y + b$$

$$J_u = J_x + 2bS_x + b^2F \quad (4-15)$$

$$J_v = J_y + 2aS_y + a^2F$$

$$J_{uv} = J_{xy} + bS_y + aS_x + abF$$

Khi các trục xy là các trục trung tâm :

$$S_x = 0 \quad ; \quad S_y = 0. \text{ Ta có :}$$

$$J_u = J_x + b^2F \quad (4-16)$$

$$J_v = J_y + a^2F$$

$$J_{uv} = J_{xy} + abF$$

Nếu xy là các trục quán tính chính trung tâm:

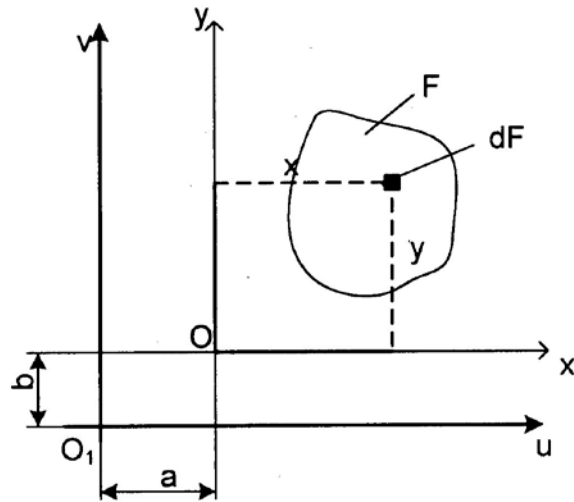
$$J_{xy} = 0, \text{ ta có : } J_u = J_x + b^2F \quad (4-17)$$

$$J_v = J_y + a^2F$$

$$J_{uv} = abF$$

Chúng ta nhận thấy mômen quán tính đối với trục quán tính chính trung tâm là nhỏ nhất so với trục nào song song với nó.

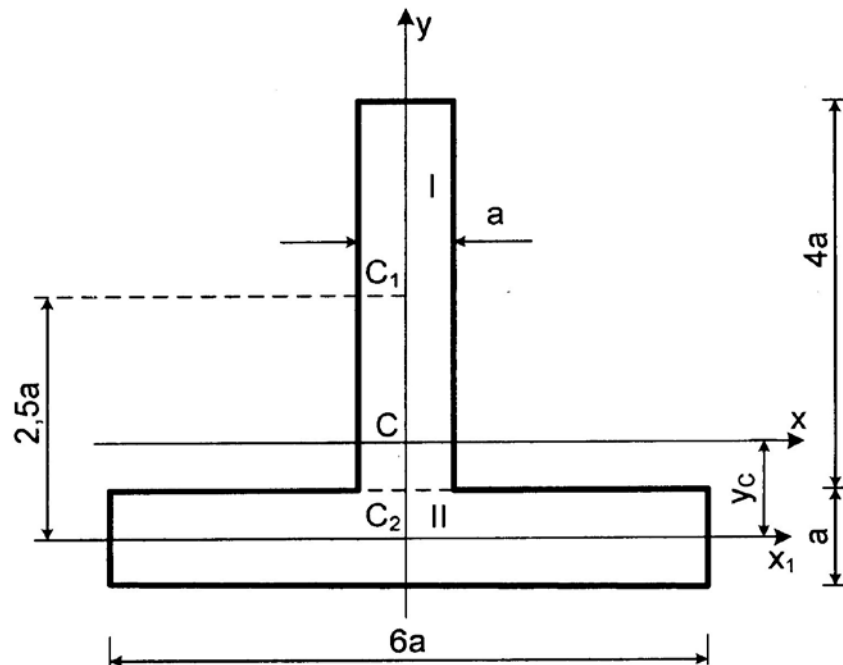
Hình 4-6



Ví dụ 4.1:

Xác định mômen quán tính chính trung tâm của mặt cắt như hình 4-7.

Hình 4-7



Giải:

Chúng ta phân mặt cắt đã cho thành 2 mặt cắt chữ nhật I và II.

Chọn hệ trục tọa độ ban đầu là hệ trục quán tính chính trung tâm của mặt cắt chữ nhật II.

Mặt cắt chữ nhật I có:

$$F_1 = a \cdot 4a = 4a^2, C_1(0; 2,5a)$$

Mặt cắt chữ nhật II có:

$$F_2 = 6a \cdot a = 6a^2, C_2(0; 0)$$

- Xác định trọng tâm mặt cắt:

Vì mặt cắt có một trục đối xứng y nên trọng tâm phải nằm trên trục này nên $x_c = 0$.

Tung độ trọng tâm mặt cắt:

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot F_i}{\sum F_i} = \frac{2,5a \times 4a^2}{4a^2 + 6a^2} = a$$

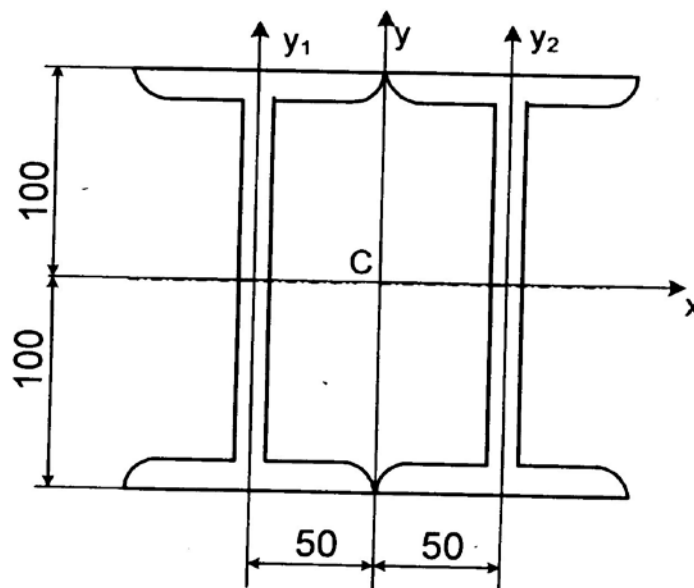
Mômen quán tính chính trung tâm

$$\begin{aligned} J_x = J_x^I + J_x^{II} &= \left[\frac{a(4a)^3}{12} + 4a^2(2,5a - a)^2 \right] + \left[\frac{6a \cdot a^3}{12} + 6a^2(a)^2 \right] \\ &= a^4 \left[\left(\frac{16}{3} + 9 \right) + \left(\frac{1}{2} + 6 \right) \right] = \frac{125}{6} a^4 \end{aligned}$$

$$J_y = J_y^I + J_y^{II} = \left[\frac{4a(a)^3}{12} + \frac{a(6a)^3}{12} \right] = \frac{220}{12} a^4 = \frac{110}{6} a^4$$

Ví dụ 4.2:

Tìm mômen quán tính chính của một mặt cắt được ghép bởi 2 thép định hình chữ I số 20 đặt đứng (Hình 4-8).



Hình 4-8

Giải:

Chúng ta phân mặt cắt đã cho thành 2 mặt cắt chữ I có các hệ trục quán tính chính trung tâm xy_1 và xy_2 như hình vẽ.

Hệ trục xy là hệ trục quán tính chính trung tâm của mặt cắt được ghép.

Tra bảng ta có các số liệu đặc trưng hình học của mặt cắt thép chữ I số 20 như sau: $h = 200\text{mm}$, $b = 100\text{mm}$, $F = 26,8\text{cm}^2$, $J_x = 1840\text{cm}^4$, $J_y = 115\text{cm}^4$

Mômen quán tính chính trung tâm:

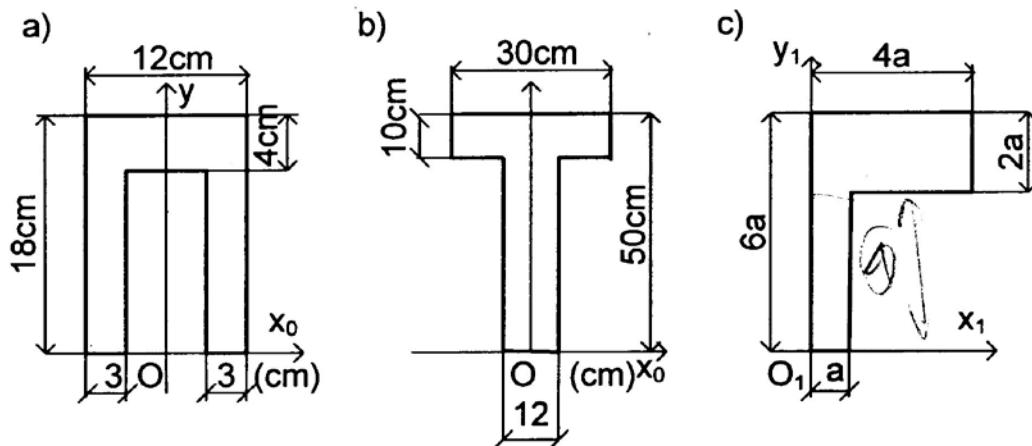
$$J_x = J'_x + J''_x = 2 \times 1840 = 3680\text{cm}^4$$

$$J_y = J'_y + J''_y = 2[115 + (26,8)^2] = 1570\text{cm}^4$$

4.6. Bài tập chương 4

4.1. Xác định trọng tâm và tính mômen quán tính chính (trung tâm) của các mặt cắt có hình dáng trên hình 4-9.

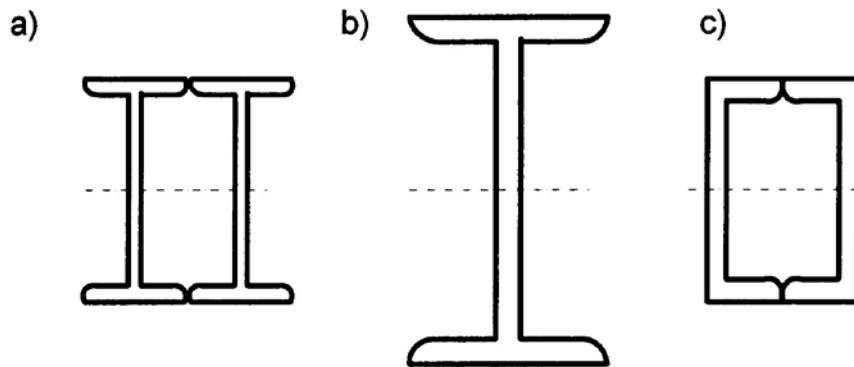
- ĐS: a) $Y_c = 10,3\text{cm}$; $J_x = 3910,28\text{cm}^4$; $J_y = 2340\text{cm}^4$
 b) $Y_c = 29,6\text{cm}$; $J_x = 182000\text{cm}^4$; $J_y = 28260\text{cm}^4$
 c) $X_c = 1,5a$; $Y_c = 4a$; $J_x = 32a^4$; $J_y = 17a^4$



Hình 4-9

4.2. Hình ghép hai chữ I, một chữ I và hình ghép 2 chữ C có cùng diện tích $F \approx 62\text{cm}^2$. Tính mômen quán tính của các mặt cắt đối với trục nằm ngang và so sánh chúng (Hình 4-10).

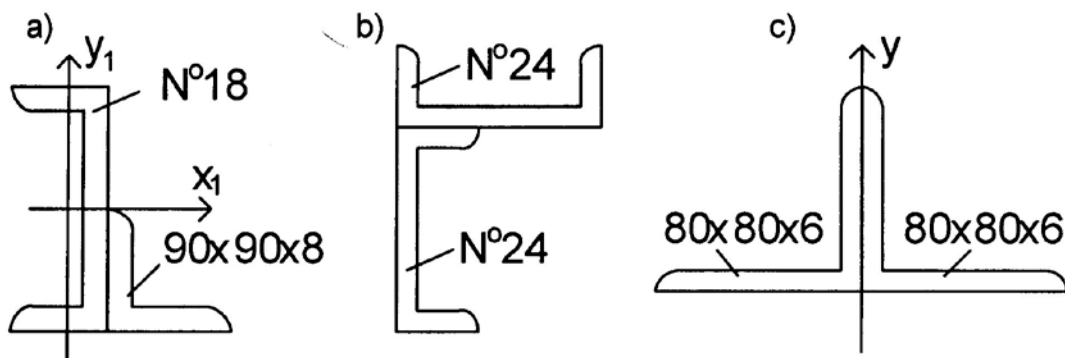
- ĐS: a) $J_x = 5.100\text{cm}^4$ (1)
 b) $J_x = 13.380\text{cm}^4$ (2,62)
 c) $J_x = 5.800\text{cm}^4$ (1,14)



Hình 4-10

4.3. Xác định trọng tâm và tính mômen quán mômen quán tính chính (trung tâm) của các mặt cắt được ghép bằng các thép định hình trên hình 4-11.

- ĐS:
- a) $X_c = 1,79\text{cm}$; $Y_c = -2,6\text{cm}$;
 $J_x = 1546,27\text{cm}^4$; $J_y = 294,47\text{cm}^4$
 - b) $X_c = 4,79\text{cm}$; $Y_c = 7,21\text{cm}$;
 $J_x = 6289,4\text{cm}^4$; $J_y = 4512,18\text{cm}^4$
 - c) $X_c = 2,19\text{cm}$; $J_x = 114\text{cm}^4$; $J_y = 204\text{cm}^4$



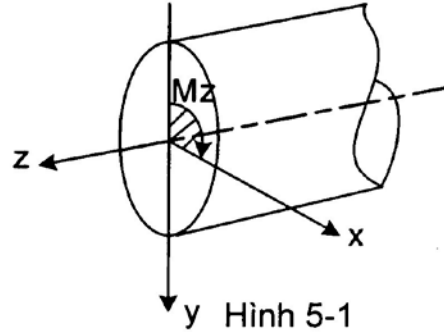
Hình 4-11

CHƯƠNG 5 XOẪN THUẦN TUYẾT THANH THẲNG MẶT CẮT TRÒN

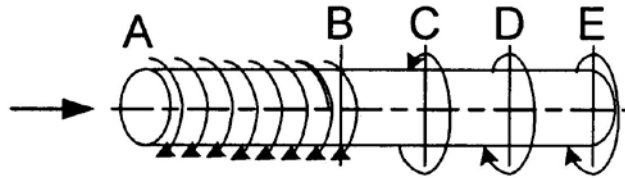
5.1. Định nghĩa:

Một thanh chịu xoắn thuần túy khi trên mặt cắt ngang của thanh chỉ có một thành phần nội lực là mômen xoắn M_z (Hình 5-1).

Ngoại lực làm thanh chịu xoắn là các ngẫu lực tập trung hoặc ngẫu lực phân bố tác dụng trong những mặt phẳng vuông góc với trục thanh

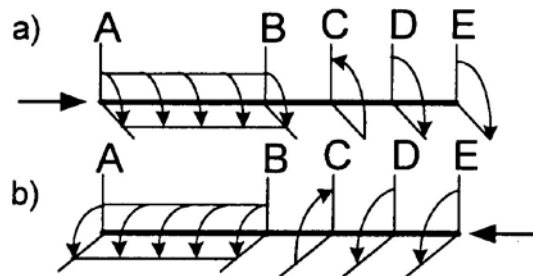


Hình 5-2



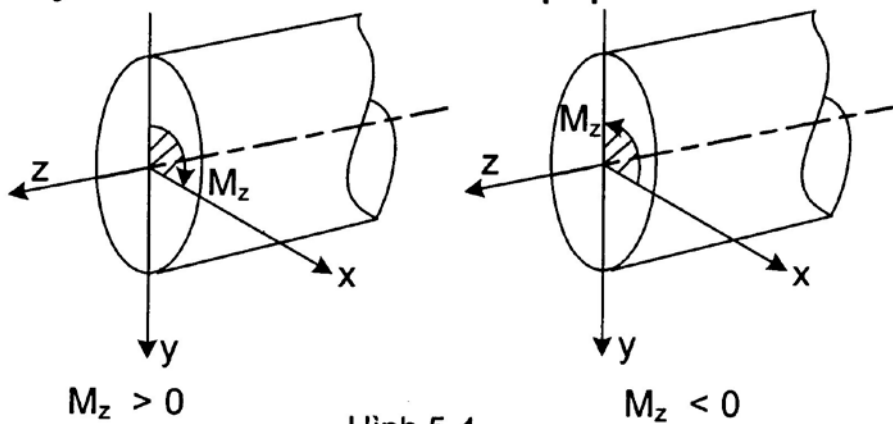
Khi vẽ sơ đồ lực (cho sơ đồ lực không gian của hình 5-2 thì có hai cách vẽ, phụ thuộc vào hướng nhìn là từ trái sang phải hay từ phải sang trái hình 5-3).

Hình 5-3



5.2. Mômen xoắn – Biểu đồ mômen xoắn:

5.2.1. Quy ước dấu của mômen xoắn nội lực:



Nếu nhìn vào mặt cắt ta thấy *mômen xoắn nội lực* quay cùng chiều kim đồng hồ thì nó có dấu dương ($M_z > 0$) còn quay ngược chiều kim đồng hồ thì nó có dấu âm ($M_z < 0$).

Trường hợp ở phần thanh được xét có nhiều mômen xoắn ngoại lực thì mômen xoắn nội lực bằng tổng đại số mômen xoắn nội lực do từng mômen xoắn ngoại lực gây ra một cách riêng rẽ trên mặt cắt đang xét.

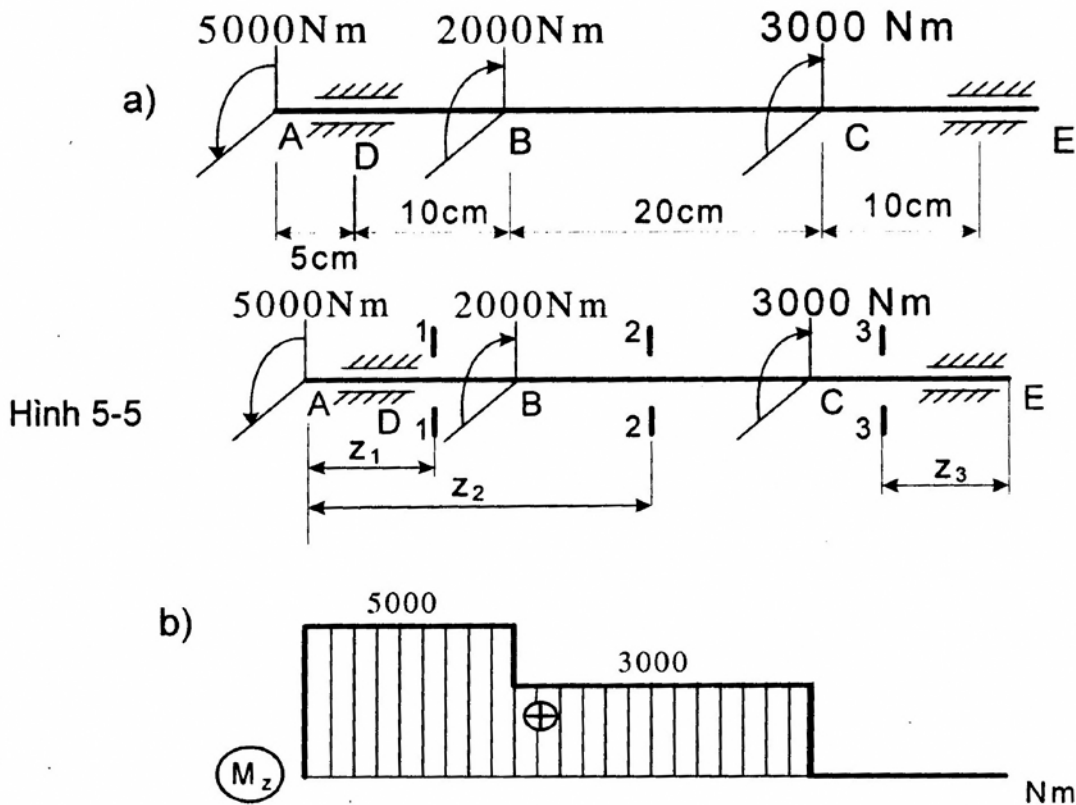
5.2.2. Biểu đồ mômen xoắn:

Biểu đồ mômen xoắn thể hiện sự thay đổi của mômen xoắn nội lực trên các mặt cắt khác nhau dọc theo trục thanh.

Để vẽ biểu đồ, ta vẽ đường chuẩn song song với trục thanh, tính mômen xoắn nội lực trong từng đoạn thanh rồi biểu diễn chúng bằng các tung độ theo một tỷ lệ xích nhất định. Tung độ (+) đặt bên trên đường chuẩn, còn tung độ (-) đặt bên dưới đường chuẩn

Ví dụ 5-1:

Vẽ biểu đồ M_z cho thanh AE chịu lực theo sơ đồ hình 5-5a



Giải

Phân thanh AE thành 3 đoạn :

* Đoạn AB : mặt cắt 1-1 (xét cân bằng phần trái)

$$0 \leq z_1 \leq 15\text{cm}$$

$$M_{z1} = m_A = 5000\text{Nm}$$

* Đoạn BC : mặt cắt 2-2 (xét cân bằng phần trái)

$$15\text{cm} \leq z_2 \leq 35\text{cm}$$

$$M_{z2} = m_A - m_B = 3000\text{Nm}$$

* Đoạn CE : mặt cắt 3-3 (xét cân bằng phần phải)

$$0 \leq z_3 \leq 10\text{cm}$$

$$M_{z3} = 0$$

Vẽ được biểu đồ M_z (Hình 5-5b)

Nhận xét : Tại những mặt cắt có mômen tập trung, biểu đồ M_z có bước nhảy, trị số bước nhảy đúng bằng trị số của mômen tập trung.

5.2.3. Quan hệ giữa mômen xoắn ngoại lực với công suất và số vòng quay của trục truyền:

$$M = \frac{N}{\omega} = 9,55 \frac{N}{n} \quad (5-1)$$

M : mômen xoắn ngoại lực (Nm) ; N : công suất (W)

vận tốc góc: $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ (Rad/s) ; n (vòng/phút). (5-2)

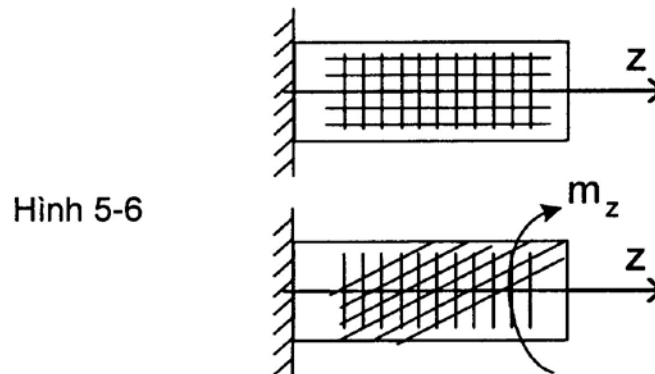
Trong kỹ thuật chúng ta tính M như sau :

$$M = 9736 \frac{N}{n} \text{ (Nm)} ; \quad N : \text{ công suất (kW)} \quad (5-3)$$

$$M = 7162 \frac{N}{n} \text{ (Nm)} ; \quad N : \text{ công suất (Hp)} \quad (5-4)$$

5.3. Thiết lập công thức tính ứng suất tiếp trên mặt cắt ngang của thanh tròn chịu xoắn thuần túy:

5.3.1. Quan sát mẫu (Hình 5-6)



Hình 5-6

Sau khi chịu xoắn thuần túy ta nhận thấy mẫu có:

+ Các đường vuông góc với trục thanh vẫn giữ nguyên hình là đường tròn và vẫn vuông góc với trục thanh, khoảng cách giữa chúng vẫn không đổi.

+ Các đường song song với trục thanh trở thành các đường xoắn ốc; mạng lưới ô vuông trở thành gần như mạng lưới hình bình hành.

5.3.2. Các giả thuyết:

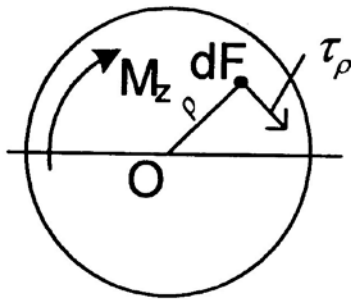
- Giả thuyết về mặt cắt ngang phẳng.
- Giả thuyết về các thớ dọc.
- Giả thuyết chiều dài không đổi : khoảng cách giữa các mặt cắt ngang vẫn giữ nguyên trong quá trình biến dạng.
- Giả thuyết về bán kính thẳng và không đổi: sau khi biến dạng bán kính của mặt cắt ngang vẫn thẳng và có độ dài không đổi.

5.3.3. Biểu thức liên hệ giữa ứng suất tiếp với thành phần mômen xoắn nội lực:

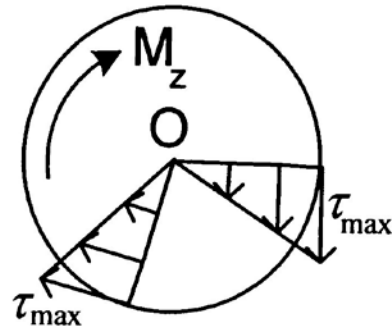
Tách một phân tố trên thanh tròn chịu xoắn thuần túy, ta nhận thấy rằng chỉ có một thành phần ứng suất tiếp theo phương tiếp tuyến τ_ρ nghĩa là phân tố ở trạng thái trượt thuần túy (Hình 5-7).

$$\tau_\rho = \frac{M_z}{J_p} \rho \quad (5-5)$$

ρ : khoảng cách từ điểm tính ứng suất đến trọng tâm mặt cắt ngang
 J_p : mômen quán tính độ cực của mặt cắt ngang;
 thứ nguyên: (chiều dài)⁴.



Hình 5-7



Hình 5-8

Kết quả:

- + Sự biến thiên của τ_ρ theo ρ tuân theo quy luật bậc nhất. Chúng ta có biểu đồ phân bố ứng suất tiếp trên mặt cắt ngang ở hình 5-8.
- + Những điểm nằm trên cùng một đường tròn thì có cùng ứng suất tiếp.
- + Ứng suất tiếp cực đại nằm trên chu vi mặt cắt ngang và có trị số:

$$\tau_{\max} = \frac{M_z}{W_p} \quad (5-6)$$

$W_p = \frac{J_p}{R}$: mômen chống xoắn của mặt cắt ngang,
 thứ nguyên : (chiều dài)³.

Mặt cắt tròn đường kính D :

$$J_p = \frac{\pi D^4}{32} \approx 0,1D^4 ; W_p = \frac{\pi D^3}{16} \approx 0,2D^3$$

Mặt cắt hình vành khăn đường kính ngoài D , đường kính trong d ,

có tỷ số : $\alpha = \frac{d}{D}$

$$J_p = \frac{\pi D^4}{32} (1 - \alpha^4) \approx 0,1D^4(1 - \alpha^4) ; W_p = \frac{\pi D^3}{16} (1 - \alpha^4) \approx 0,2D^3 (1 - \alpha^4)$$

5.4. Biến dạng của thanh tròn chịu xoắn :

Khi thanh chịu xoắn, biến dạng của thanh được đặc trưng bởi hai thông số:

- Góc xoắn tỷ đối : $\theta = \frac{d\varphi}{dz}$ (Rad/chiều dài) (5-7)

- Góc xoắn tương đối giữa hai mặt cắt có chiều dài l , ký hiệu là φ :

$$\varphi = \int_0^l \frac{M_z}{GJ_p} dz \quad (5-8)$$

Tích số GJ_p là độ cứng khi xoắn

Nếu trong suốt chiều dài l , tỷ số $\frac{M_z}{GJ_p}$ không đổi trong từng đoạn thanh thì:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \frac{M_{z_i} \times l_i}{G_i \times J_{p_i}} \quad (\text{Rad}) \quad (5-9)$$

5.5. Điều kiện bền và điều kiện cứng:

5.5.1. Điều kiện bền :

- Nếu mặt cắt ngang không đổi, điều kiện bền có dạng :

$$\tau_{\max} = \frac{|M_z|_{\max}}{W_p} \leq [\tau] \quad (5-10)$$

$[\tau]$: ứng suất cho phép khi xoắn, được xác định bằng thực nghiệm :

Vật liệu dẻo : $[\tau] = \frac{\tau_{ch}}{n}$; trong đó τ_{ch} - giới hạn chảy khi xoắn.

Vật liệu giòn : $[\tau] = \frac{\tau_b}{n}$; trong đó τ_b - giới hạn bền khi xoắn.

Theo thuyết bền ứng suất tiếp lớn nhất (thuyết bền 3) : $[\tau] = \frac{[\sigma]}{2}$

Theo thuyết bền thế năng biến đổi hình dáng (thuyết bền 4) : $[\tau] = \frac{[\sigma]}{\sqrt{3}}$

- Nếu đường kính thanh thay đổi (trục bậc), điều kiện bền có dạng :

$$\tau_{\max} = \left(\frac{M_z}{W_p} \right)_{\max} \leq [\tau] \quad (5-11)$$

5.5.2. Điều kiện cứng:

$$\theta_{\max} = \left(\frac{M_z}{GJ_p} \right)_{\max} \leq [\theta] \quad (5-12)$$

$[\theta]$ góc xoắn tỷ đối cho phép. Nếu $[\theta]$ tính bằng độ/chiều dài thì khi tính toán dùng công thức biến đổi sau :

$$[\theta] \text{ (Rad/chiều dài)} = \frac{\pi}{180} [\theta] \text{ (độ/chiều dài)}$$

5.5.3. Ba bài toán cơ bản:

Từ điều kiện bền và điều kiện cứng có ba bài toán cơ bản sau :

a) Kiểm tra bền:

Kiểm tra thanh thỏa mãn điều kiện bền và điều kiện cứng theo công thức (5-11) và (5-12).

b) Chọn kích thước mặt cắt ngang :

$$+ \text{ Theo điều kiện bền : } W_p \geq \frac{M_z}{[\tau]} \quad \text{Mặt cắt tròn : } \Rightarrow D \geq \sqrt[3]{\frac{M_z}{0,2[\tau]}}$$

$$+ \text{ Theo điều kiện cứng : } J_p \geq \frac{M_z}{G[\theta]} \quad \text{Mặt cắt tròn : } \Rightarrow D \geq \sqrt[4]{\frac{M_z}{0,1G[\theta]}}$$

Chọn đường kính có trị số lớn nhất.

c) Tìm tải trọng cho phép :

$$+ \text{ Theo điều kiện bền : } M_z \leq W_p [\tau]$$

$$+ \text{ Theo điều kiện cứng : } M_z \leq G [\theta] J_p$$

Từ đó chọn tải trọng có trị số bé hơn để bảo đảm mômen xoắn nội lực thỏa mãn đồng thời cả hai bất đẳng thức trên.

Ví dụ 5-2:

Một trục máy truyền công suất $N = 300\text{kW}$ quay với tốc độ $n = 200\text{v/ph}$; trục bằng thép có $[\tau] = 40 \text{ MN/m}^2$, $[\theta] = 0,3 \text{ }^\circ/\text{m}$, $G = 8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$.

Tính đường kính trục ?

Giải

Trường hợp này mômen xoắn nội lực trên mọi mặt cắt ngang của trục bằng nhau và có giá trị tuyệt đối bằng mômen xoắn ngoại lực.

$$M_z = m = 9736 \frac{N}{n} = 9736 \frac{300}{200} = 14604 \text{ Nm}$$

Đường kính trục xác định theo điều kiện bền :

$$W_p \geq \frac{M_z}{[\tau]} = \frac{14604}{40 \cdot 10^6} = 365,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Mặt cắt tròn $W_p \approx 0,2D^3$, vậy $0,2D^3 \geq 365,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

$$\Rightarrow D \geq \sqrt[3]{\frac{365,1 \cdot 10^{-6}}{0,2}} = 12,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Đường kính trục xác định theo điều kiện cứng:

$$J_p \geq \frac{180}{\pi} \frac{M_z}{G[\theta]} = \frac{180}{3,14} \frac{14604}{8 \cdot 10^{10} \times 0,3} = 3488,22 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

Mặt cắt tròn $J_p \approx 0,1D^4$, vậy $0,1D^4 \geq 3488,22 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$

$$\Rightarrow D \geq \sqrt[4]{\frac{3488,22 \cdot 10^{-8}}{0,1}} = 13,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Để đảm bảo cả hai điều kiện bền và cứng, chọn đường kính cho phép của trục :

$$[D] = 13,7 \text{ cm.}$$

Ví dụ 5-3:

Trục truyền có sơ đồ chịu lực như ví dụ 15-1, vật liệu trục có:

$$G = 8 \cdot 10^4 \text{ MN/m}^2, [\tau] = 30 \text{ MN/m}^2.$$

- Tính đường kính trục theo *điều kiện bền*, tìm góc xoắn tương đối giữa hai đầu trục ?
- Tính đường kính trục theo *điều kiện bền đều*, tìm góc xoắn tương đối giữa hai đầu trục ?

Giải

Dựa vào biểu đồ nội lực đã được vẽ ở ví dụ 5-1, chúng ta tính các thông số theo yêu cầu

a. Theo *điều kiện bền*:

$$\tau_{\max} = \frac{|M_z|_{\max}}{W_p} = \frac{|M_z|_{\max}}{0,2D^3} \leq [\tau]$$

$$\Rightarrow D \geq \sqrt[3]{\frac{|M_z|_{\max}}{0,2[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{5000}{0,2 \times 30 \times 10^6}} = 9,4 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Góc xoắn tương đối giữa hai đầu trục:

$$\begin{aligned} \varphi &= \sum \frac{M_{zi} \times l_i}{GJ_p} \\ &= \frac{1}{8 \cdot 10^{10} \times 0,1(9,4 \cdot 10^{-2})^4} (5000 \times 0,15 + 3000 \times 0,2) = 2,16 \cdot 10^{-3} \text{ Rad} \end{aligned}$$

b. Theo *điều kiện bền đều*:

Điều kiện bền của đoạn thanh AB:

$$\tau_{AB} = \frac{M_{AB}}{W_{pAB}} = \frac{M_{AB}}{0,2D_{AB}^3} \leq [\tau]$$

$$\Rightarrow D_{AB} \geq \sqrt[3]{\frac{M_{AB}}{0,2[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{5000}{0,2 \times 30 \times 10^6}} = 9,4 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Điều kiện bền của đoạn thanh BC:

$$\tau_{BC} = \frac{M_{BC}}{W_{pBC}} = \frac{M_{BC}}{0,2D_{BC}^3} \leq [\tau]$$

$$\Rightarrow D_{BC} \geq \sqrt[3]{\frac{M_{BC}}{0,2[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{3000}{0,2 \times 30 \times 10^6}} = 7,9 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Góc xoắn tương đối giữa hai đầu trục:

$$\varphi = \sum \frac{M_{zi} \times l_i}{G I_{pi}} = \frac{1}{G} \left(\frac{M_{AB} \times l_{AB}}{I_{pAB}} + \frac{M_{BC} \times l_{BC}}{I_{pBC}} \right)$$

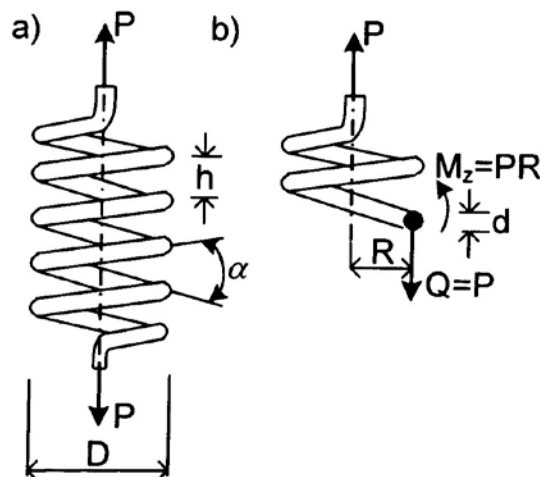
$$= \frac{1}{8.10^{10} \times 0,1} \left(\frac{5000 \times 0,15}{(9,4 \times 10^{-2})^4} + \frac{3000 \times 0,2}{(7,9 \times 10^{-2})^4} \right) = 3.10^{-3} \text{ Rad}$$

5.6. Tính lò xo hình trụ có bước ngắn chịu kéo – nén:

5.6.1. Khái niệm:

Lò xo (Hình 15-9) là một loại chi tiết máy được dùng rộng rãi trong kỹ thuật, thí dụ trong các bộ phận của máy hoặc trong các công trình cần tránh chấn động, các thiết bị bảo vệ của những máy chịu áp lực cao.

Hình 5-9



5.6.2. Tính toán:

- h là bước của lò xo.
- D là đường kính trung bình của lò xo.

- d là đường kính của dây lò xo.
- α là góc nghiêng của các dây lò xo.
- n là số vòng dây làm việc của lò xo.

Tưởng tượng cắt lò xo bằng 1 mặt cắt đi qua trục lò xo chia lò xo thành 2 phần, xét sự cân bằng của phần trên (Hình 5-10b).

Nội lực trên mặt cắt gồm có lực cắt $Q_y = P$ và mômen xoắn $M_z = P.R$ như trên hình 5-10b. Ứng suất tiếp cực đại được xác định một cách gần đúng bằng công thức:

$$\tau_{\max} = \frac{8PD}{\pi d^3} \quad (5-13)$$

Để kể đến ảnh hưởng của lực cắt và các yếu tố khác (như độ cong của dây, biến dạng dọc trục v.v..) thì (5-13) được viết dưới dạng:

$$\tau_{\max} = K \frac{8PD}{\pi d^3} \quad (5-14)$$

Trong đó K là hệ số điều chỉnh được tra bảng theo tỷ số $\frac{R}{r} = \frac{D}{d}$

Bảng các trị số của K

$\frac{R}{r}$	3	4	5	6	7	8	9	10
K	1,58	1,40	1,31	1,25	1,21	1,18	1,16	1,14

* Điều kiện bền của lò xo: $\tau_{\max} \leq [\tau] \quad (5-15)$

* Độ co hay giãn của lò xo: $\lambda = \frac{8PD^3n}{Gd^4} \quad (5-16)$

* Độ cứng của lò xo $C = \frac{Gd^4}{8D^3n} \quad (5-17)$

chúng ta có thể viết (5-17) dưới dạng: $\lambda = \frac{P}{C} \quad (5-17a)$

Ví dụ 5-4:

Kiểm tra độ bền của một lò xo hình trụ, dây lò xo có mặt cắt ngang là hình tròn, lực kéo tác dụng lên lò xo là 3kN. Đường kính trung bình của lò xo là $D = 0,2m$. Đường kính của dây làm lò xo $d = 2cm$. Số vòng làm việc của lò xo là $n = 18$, $[\tau] = 2,5 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$, $G = 8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$.

Tính độ giãn dài của lò xo ?

Giải:

Ứng suất tiếp cực đại trong lò xo được tính với công thức (5-13) là:

$$\tau_{\max} = \frac{8PD}{\pi d^3} = \frac{8 \times 3.10^3 \times 0,2}{3,14(0,02)^3} = 1,91.10^8 \text{ N/m}^2.$$

Nếu tính bằng công thức (15-14), với $\frac{D}{d} = 10$, $K = 1,14$ ta có :

$$\tau_{\max} = K \frac{8PD}{\pi d^3} = 1,14 \times 1,91.10^8 = 2,18.10^8 \text{ N/m}^2 < [\tau] = 2,5.10^8 \text{ N/m}^2$$

Vậy lò xo đảm bảo được điều kiện bền.

Độ giãn của lò xo được tính theo công thức (5-16)

$$\lambda = \frac{8PD^3n}{Gd^4} = \frac{8 \times 3.10^3 \times (0,2)^3 \times 18}{8.10^{10} \times (0,02)^4} = 0,27\text{m}$$

5.7. Khái niệm về mặt cắt ngang hợp lý:

So sánh hai mặt cắt ngang tròn và hình vành khăn cùng diện tích F , chúng ta thấy mặt cắt ngang hình vành khăn chống xoắn tốt hơn do vậy mặt cắt ngang hình vành khăn hợp lý hơn hình tròn (đặc). Để đánh giá mức độ hợp lý ta dùng một đại lượng không thứ nguyên sau để so sánh

$$k_m = \frac{W_p}{\sqrt{F^3}}$$

trong đó: W_p - môđun chống xoắn của mặt cắt ngang;

F - diện tích mặt cắt ngang.

k_m càng lớn thì mặt cắt ngang càng hợp lý. Nhưng không thể tăng W_p tùy ý bằng cách cho bề dày hình vành khăn quá mỏng. Bề dày quá mỏng sẽ làm cho thanh dễ bị mất ổn định, khi chịu xoắn (trên toàn thanh sẽ hình thành các nếp nhăn).

5.8. Bài tập chương 5

5.1. Trục truyền có đường kính $D = 10 \text{ cm}$, $[\tau] = 40 \text{ MN/m}^2$,

$$[\theta] = 0,3 \text{ } ^\circ/\text{m}, G = 8.10^{10} \text{ N/m}^2.$$

Tính mômen xoắn ngoại lực cho phép của trục?

$$\underline{\text{ĐS:}} \quad [M] = 4187 \text{ Nm}$$

5.2. Trục rỗng có $n = 100 \text{ v/ph}$, $N = 5882 \text{ kW}$, $d/D = 0,6$. Trục bằng thép có $[\tau] = 30 \text{ MN/m}^2$.

Theo điều kiện bền, hãy tính các đường kính của mặt cắt ngang ?

$$\underline{\text{ĐS:}} \quad [D] = 48 \text{ cm}; [d] = 28,8 \text{ cm}$$

5.3. Để xác định công suất của một turbin hơi nước, người ta đo góc xoắn của trục trên một đoạn chiều dài 5m, trục rỗng có đường kính $D = 25\text{cm}$, $d = 17\text{cm}$, vận tốc góc $n = 250 \text{ v/ph}$, $G = 8.10^6 \text{ N/cm}^2$.

Xác định công suất của turbin khi góc xoắn đo được là 1° , sau đó tính τ_{\max} ?

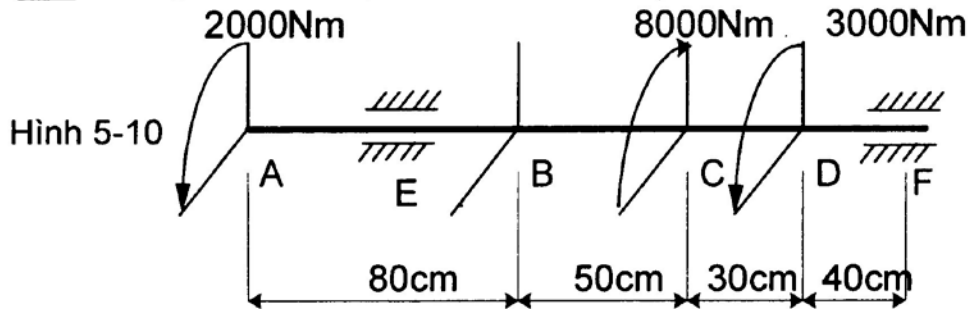
$$\underline{\text{ĐS:}} \quad N = 2200 \text{ Kw}; \tau_{\max} = 3500 \text{ N/cm}^2.$$

5.4. Trục truyền có sơ đồ lực hình 5-10.

Cho $[\tau] = 30 \text{ MN/m}^2$, $G = 8 \cdot 10^4 \text{ MN/m}^2$.

- Xác định m_B để trục cân bằng?
- Tìm đường kính trục theo điều kiện bền?
- Xác định góc xoắn tương đối giữa 2 đầu trục.

ĐS: a. $m_B = 3000 \text{ Nm}$; b. $D = 95 \text{ mm}$; c. $\varphi = 4,9 \times 10^{-3} \text{ rad}$.

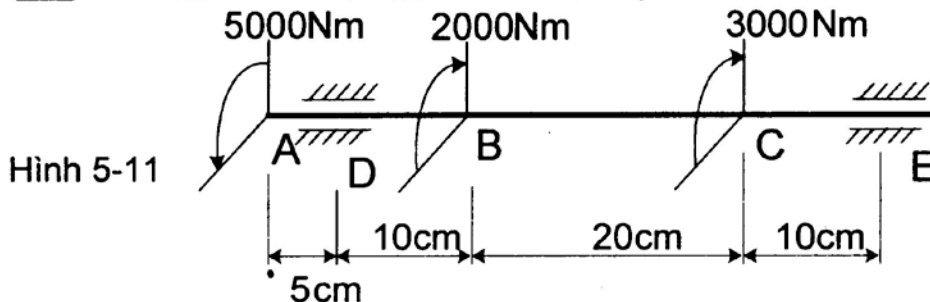


5.5. Trục truyền có sơ đồ lực hình 5-11.

Vật liệu trục có $[\tau] = 30 \text{ MN/m}^2$, $G = 8 \cdot 10^4 \text{ MN/m}^2$

- Tính đường kính của đoạn trục AB và BC theo điều kiện bền đều
- Xác định góc xoắn tương đối giữa 2 đầu trục.

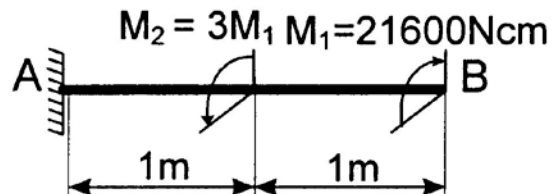
ĐS: a. $D_{AB} = 94 \text{ mm}$; $D_{BC} = 79 \text{ mm}$; b. $\varphi = 3 \times 10^{-3} \text{ rad}$



5.6. Trục truyền chịu xoắn (Hình 5-12).

Cho biết trục có $[\tau] = 4500 \text{ N/cm}^2$, $[\theta] = 0,25 \text{ }^\circ/\text{m}$, $G = 8 \cdot 10^6 \text{ N/cm}^2$.

Hình 5-12



- Xác định đường kính d_1 khi mặt cắt ngang tròn.
- Giả thiết trục truyền có mặt cắt ngang là hình vành khăn, hãy xác định D và d . Cho biết $\alpha = \frac{d}{D} = 0,7$; so sánh sự tiết kiệm vật liệu trong hai trường hợp trên.

c. Xác định góc xoắn tương đối giữa 2 mặt cắt ngang A và B?

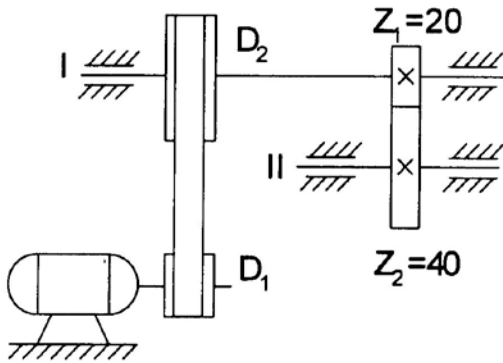
ĐS: a) $d_1 = 6 \text{ cm}$; b) $D = 6,4 \text{ cm}$; $d = 4,5 \text{ cm}$; c) $\varphi_{AB} = - 0,0105 \text{ rad}$

5.7. Trục truyền có sơ đồ truyền động hình 5-13, động cơ có công suất truyền động $N = 10 \text{ kW}$, $n = 1440 \text{ v/ph}$, $D_1 = 180 \text{ mm}$, $D_2 = 540 \text{ mm}$. Bỏ qua tổn thất truyền động, tìm đường kính trục I và trục II theo điều kiện bền xoắn. Vật liệu trục có $[\tau] = 30 \text{ MN/m}^2$

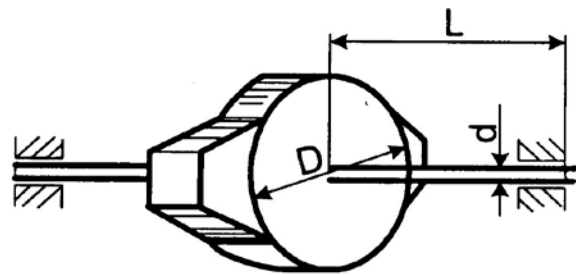
ĐS: $d_I = 32,3 \text{ mm}$; $d_{II} = 40,7 \text{ mm}$

5.8. Bộ phận thẳng của cần trục có cấu tạo hình 5-14; $D = 300 \text{ mm}$, $d = 30 \text{ mm}$, $L = 400 \text{ mm}$ (Hình 15-16). Xác định ứng suất tiếp lớn nhất và góc xoắn của trục khi lực ép lên má phanh là 800 N , hệ số ma sát giữa má thẳng và thẳng $f = 0,4$; $G = 8.10^6 \text{ N/cm}^2$.

ĐS: $\tau_{\max} = 1777,7 \text{ N/cm}^2$; $\varphi = 0,34^\circ$



Hình 5-13



Hình 5-14

5.9. Một bộ phận tiện trong có cấu tạo (Hình 5-15).

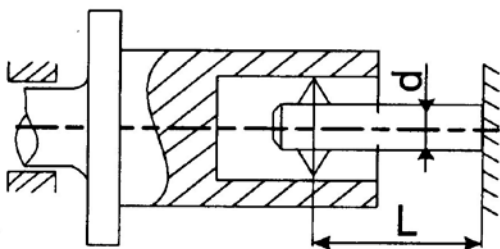
Tính đường kính d của trục lắp dao tiện, $L = 1600 \text{ mm}$, công suất của động cơ điện $N = 10 \text{ kW}$, hiệu suất $\eta = 0,8$; $n = 60 \text{ v/ph}$; $[\tau] = 4000 \text{ N/cm}^2$; $G = 8.10^6 \text{ N/cm}^2$. Tính góc xoắn của trục ?

ĐS: $\varphi = 1^\circ 41'$

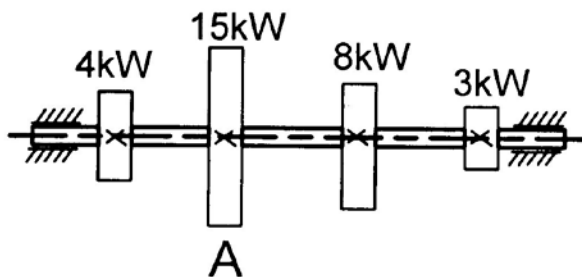
5.10. Kiểm tra độ bền và độ cứng của trục có đường kính $d = 6 \text{ cm}$, $n = 150 \text{ v/ph}$, $[\tau] = 2000 \text{ N/cm}^2$, $[\theta] = 0,4 \text{ }^\circ/\text{m}$, $G = 8.10^6 \text{ N/cm}^2$.

Bánh A là bánh chủ động (Hình 5-16) .

ĐS: $\tau_{\max} = 1652,7 \text{ N/cm}^2$; $\theta_{\max} = 0,394 \text{ }^\circ/\text{m}$



Hình 5-15



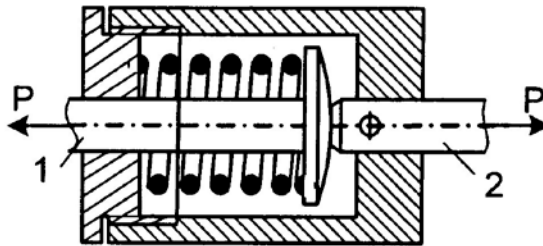
Hình 5-16

5.11. Phải nén trước lò xo trong thiết bị an toàn một đoạn bằng bao nhiêu, nếu lò xo quấn bằng dây thép có $d = 4\text{mm}$, $D = 32\text{mm}$, $n = 6$ để bảo đảm khi hai thanh kéo chịu lực $P \geq 200\text{N}$ chúng vẫn luôn luôn tiếp xúc được với nhau trong quá trình làm việc (Hình 5-17).

$$G = 8,2 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2.$$

Tìm ứng suất lớn nhất trong lò xo khi ta lắp nó vào thiết bị .

ĐS: $\chi = 15,36\text{mm}$; $\tau_{\max} = 300,6 \text{ N/mm}^2$



Hình 5-17