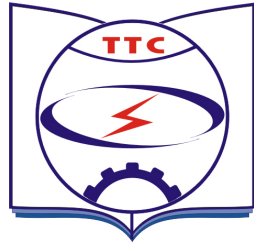


BỘ LAO ĐỘNG – THƯƠNG BINH VÀ XÃ HỘI
TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ KỸ THUẬT CÔNG NGHỆ



GIÁO TRÌNH
CƠ KỸ THUẬT
NGHỀ: CẮT GỌT KIM LOẠI

Hà Nội, năm 2019

BỘ LAO ĐỘNG – THƯƠNG BINH VÀ XÃ HỘI
TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ KỸ THUẬT CÔNG NGHỆ



GIÁO TRÌNH

MÔ ĐUN: CƠ KỸ THUẬT

NGÀNH, NGHỀ: CẮT GỌT KIM LOẠI

*(Ban hành kèm theo QĐ số 248a/QĐ - CDNKTCN ngày 17 tháng 9 năm 2019.
của Hiệu trưởng Trường CDN Kỹ thuật công nghệ)*

Hà Nội, năm 2019

TUYÊN BỐ BẢN QUYỀN

Tài liệu này thuộc loại sách giáo trình nên các nguồn thông tin có thể được phép dùng nguyên bản hoặc trích dùng cho các mục đích về đào tạo và tham khảo.

Mọi mục đích khác mang tính lệch lạc hoặc sử dụng với mục đích kinh doanh thiếu lành mạnh sẽ bị nghiêm cấm.

LỜI GIỚI THIỆU

Ngày nay khoa học kỹ thuật phát triển như vũ bão, các ngành kỹ thuật chiếm một vị trí quan trọng trong nền kinh tế. Vì vậy việc đào tạo nhân lực cho các ngành kỹ thuật đóng vai trò quan trọng để tạo ra nguồn nhân lực có năng lực phục vụ cho nền kinh tế đang phát triển của nước ta.

Cơ lý thuyết là môn học cơ sở được giảng dạy trong các trường cao đẳng, đại học kỹ thuật. Nó không những là môn học cơ sở cho rất nhiều các môn học chuyên ngành mà còn có tiềm lực phát triển tư duy kỹ thuật cho sinh viên.

Giáo trình “Cơ kỹ thuật” được xây dựng trên cơ sở những giáo trình đã được giảng dạy trong các trường kỹ thuật kết hợp với kinh nghiệm giảng dạy của những giáo viên trong ngành. Giáo trình đã được biên soạn cho phù hợp với đặc điểm của sinh viên trường cao đẳng nghề.

Giáo trình “Cơ kỹ thuật” được biên soạn ngắn gọn, dễ hiểu, bổ sung nhiều kiến thức mới, nội dung đề cập tới những kiến thức cơ bản, cốt lõi để đáp ứng được những tính chất đặc trưng của nghề cơ khí.

Trong khi biên soạn giáo trình tác giả đã có nhiều cố gắng nhưng không tránh khỏi những khiếm khuyết. Rất mong nhận được sự đóng góp ý kiến từ bạn đọc.

Hà Nội, ngày tháng năm 2019

BAN CHỦ NHIỆM BIÊN SOẠN GIÁO TRÌNH
NGHỀ: CẮT GỌT KIM LOẠI
TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ KỸ THUẬT CÔNG NGHỆ

MỤC LỤC**TRANG**

Lời giới thiệu

Mục lục

Phần một : Cơ học vật rắn**Chương I: Tĩnh học**

1. Các khái niệm cơ bản và các định luật tĩnh học.
2. Hệ lực phẳng.
3. Hệ lực không gian.
4. Ma sát.

Chương II: Động học

1. Chuyển động của chất điểm
2. Chuyển động của vật rắn.
3. Tổng hợp chuyển động.
4. Chuyển động song phẳng của vật rắn

Chương III: Động lực học

1. Lực quán tính
2. Trọng tâm, khối tâm
3. Nguyên lý Đalambé

Phần hai: Sức bền vật liệu

1. Mở đầu
2. Kéo, nén đúng tâm- cắt
3. Đặc trưng hình học của hình phẳng
4. Xoắn thuần túy những thanh tròn
5. Uốn phẳng của thanh thẳng

Phần ba : Chi tiết máy**Chương V: Các tiết máy ghép**

1. Mối ghép bằng Đinh tán.
2. Mối ghép bằng Hàn.
3. Mối ghép bằng Ren.
4. Mối ghép bằng Then và Then hoa.

Chương VI: Một số bộ truyền chuyển động.

1. Bộ truyền Đai.
2. Bộ truyền Xích
3. Bộ truyền Bánh răng
4. Bộ truyền Trục vít – Bánh vít.

Chương VII: Cơ cấu biến đổi chuyển động

1. Cơ cấu Bánh răng – Thanh răng.
2. Cơ cấu trục vít – Đai ốc.
3. Cơ cấu Cam.
4. Cơ cấu Cu lít.

Chương VIII: Trục

1. Khái niệm chung
2. Cấu tạo và phân loại.
3. Phương pháp tính trục.

Trả lời các câu hỏi và bài tập

Tài liệu tham khảo

TÊN MÔN HỌC: CƠ KỸ THUẬT

Mã môn học : MHCG12

Vị trí, tính chất, ý nghĩa và vai trò của môn học

- Vị trí:

+ Môn học có thể được bố trí trước, đồng thời hoặc sau khi học sinh học xong các môn học chung bắt buộc.

+ Môn học được bố trí trước các môn học, mô-đun đào tạo chuyên môn nghề.

- Tính chất:

+ Là môn học kỹ thuật cơ sở thuộc các môn học, mô-đun đào tạo nghề bắt buộc.

+ Môn học cung cấp những kiến thức căn bản về tải trọng phổ biến dùng trong ngành cơ khí.

+ Môn học cung cấp nguyên lý hoạt động của một số bộ truyền, cơ cấu thông dụng.

- Ý nghĩa, vai trò

+ Tính toán về các yếu tố của lực tác dụng lên vật rắn ở trạng thái tĩnh (trạng thái cân bằng), sức bền vật liệu trong các kết cấu và các yếu tố động học, động lực học của vật rắn.

+ Là cơ sở tính toán cho các môn chuyên ngành khác.

Mục tiêu môn học:

+ Kiến thức:

- Trình bày được các định luật tĩnh học, các khái niệm liên kết và phản lực liên kết.

- Trình bày được các khái niệm về lực, hệ lực, mômen của lực đối với một điểm, ngẫu lực, véc tơ chính, mô men chính của hệ lực, lực ma sát.

- Trình bày được phương pháp giải phóng liên kết, cách hợp và tách lực đồng quy, phương pháp dời lực song song, phương pháp thu gọn hệ lực về một tâm.

- Trình bày được điều kiện và các phương trình cân bằng của hệ lực phẳng, hệ lực không gian (Bất kỳ, đồng qui, song song).

- Trình bày được các vấn đề cơ bản về chuyển động của chất điểm và vật rắn: Khái niệm, phương trình chuyển động, vận tốc dài, vận tốc góc, gia tốc, gia tốc tiếp tuyến, gia tốc pháp tuyến

- Trình bày được các vấn đề cơ bản về động lực học: Khối tâm, trọng tâm, lực quán tính, động lượng, nguyên lý Đalambe ...

- Trình bày được các vấn đề cơ bản về kéo nén, cắt, dập, xoắn, uốn: Khái niệm, phương pháp xác định nội lực, ứng suất và cách vẽ biểu đồ nội lực của chúng.

- Trình bày được các mối ghép Hàn, đinh tán, ren, then , then hoa.

- Trình bày được những vấn đề cơ bản (Khái niệm, đặc điểm, cấu tạo, nguyên lý hoạt động, phương pháp tính) của các cơ cấu truyền và biến đổi chuyển động.

- Trình bày được cấu tạo, phân loại, phương pháp tính trục.

+ Kỹ năng:

- Tính toán được lực bằng phương pháp đa giác lực hoặc phương pháp chiếu.

- Giải được các bài toán về liên kết: Giải phóng các liên kết, biểu diễn lực tác dụng và phản lực liên kết, lập được hệ phương trình cân bằng lực và mô men, tính toán các phản lực liên kết.

- Giải được bài toán cân bằng của vật rắn đặt trên mặt phẳng ngang.

- Xác định được điều kiện cân bằng khi có ma sát và giải được các bài toán về ma sát.

- Lập được phương trình chuyển động, vẽ được họa đồ và xác định được vận tốc dài, vận tốc góc, gia tốc của chất điểm và vật rắn trong các chuyển động thẳng, quay và chuyển động song phẳng.

- Trình bày được các khái niệm về Lực quán tính, trọng tâm, khối tâm, nguyên lý Đalambe.

- Tính được trọng tâm của của hình phẳng, khối tâm của vật thể.

- Tính được Lực quán tính, động lượng của vật thể chuyển động và biến đổi động lượng khi va chạm.

- Giải được các bài toán cơ bản (Kiểm nghiệm bền, tính toán kích thước hoặc tải trọng cho phép) của thanh chịu kéo - nén, cắt, dập, xoắn, uốn thuần túy.

- Áp dụng và tính được biến dạng của thanh trong một số trường hợp đơn giản.

- Tính toán và chọn lựa được một số cơ cấu truyền động, biến đổi chuyển động thông dụng: Đai, Bánh răng, Xích, Trục vít - Bánh vít Bánh răng- thanh răng, Cam, Culit.

- Tính toán được Trục đơn giản.

+ Năng lực tự chủ và trách nhiệm:

- Rèn luyện tính cẩn thận, tác phong của người làm kỹ thuật ; Ý thức tự giác trong học tập, tuân thủ qui định.

Nội dung môn học

Nội dung tổng quát và phân phối thời gian:

Số TT	Tên chương mục	Thời gian			
		Tổng số	Lý thuyết	Thực hành/ thực tập/thí nghiệm/bài tập/thảo luận	Thi/Kiểm tra*
	Phần một : Cơ học vật rắn	25	16	8	1
I	Tĩnh học	11	7	4	
	1. Các khái niệm cơ bản và các định luật tĩnh học.				
	2. Hệ lực phẳng.				
	3. Hệ lực không gian.				
	4. Ma sát.				
II	Động học	11	6	4	1
	1. Chuyển động của chất điểm				
	2. Chuyển động của vật rắn.				
	3. Tổng hợp chuyển động.				
	4. Chuyển động song phẳng của vật rắn				
III	Động lực học	3	3	0	0
	1. Lực quán tính				
	2. Trọng tâm, khối tâm				
	3. Nguyên lý Đalambre				
IV	Phần hai: Sức bền vật liệu	20	12	7	1
	1. Mở đầu				
	2. Kéo, nén đúng tâm- cắt				
	3. Đặc trưng hình học của hình phẳng				
	4. Xoắn thuần túy những thanh tròn				
	5. Uốn phẳng của thanh thẳng				
	Phần ba : Chi tiết máy	28	19	7	2
V	Các tiết máy ghép	8	7	1	0
	1. Mối ghép bằng Đinh tán.				

	2. Mối ghép bằng Hàn.				
	3. Mối ghép bằng Ren.				
	4. Mối ghép bằng Then và Then hoa.				
VI	Một số bộ truyền chuyển động.	13	7	5	1
	1. Bộ truyền Đai.				
	2. Bộ truyền Xích				
	3. Bộ truyền Bánh răng				
	4. Bộ truyền Trục vít – Bánh vít.				
VII	Cơ cấu biến đổi chuyển động	3	3	0	0
	1. Cơ cấu Bánh răng – Thanh răng.				
	2. Cơ cấu trục vít – Đai ốc.				
	3. Cơ cấu Cam.				
	4. Cơ cấu Cu lít.				
VIII	Trục	4	2	1	1
	1. Khái niệm chung				
	2. Cấu tạo và phân loại.				
	3. Phương pháp tính trục.				
	Thi kết thúc môn học	2			2
	Tổng cộng	75	45	24	6

PHẦN I : CƠ HỌC VẬT RẮN

CHƯƠNG 1: TĨNH HỌC

Mã chương: MHCG12-01

Những khái niệm cơ bản giúp chúng ta hiểu biết những đặc trưng, những mối liên hệ cơ bản nhất giữa các đại lượng tính toán trong phần này

Mục tiêu:

- Trình bày được các định luật tĩnh học, các khái niệm liên kết và phản lực liên kết.
- Trình bày được các khái niệm về lực, hệ lực, mômen của lực đối với một điểm, ngẫu lực, véc tơ chính, mô men chính của hệ lực, lực ma sát.
- Trình bày được phương pháp giải phóng liên kết, cách hợp và tách lực đồng quy, phương pháp dời lực song song, phương pháp thu gọn hệ lực về một tâm.
- Trình bày được điều kiện và các phương trình cân bằng của hệ lực phẳng, hệ lực không gian (Bất kỳ, đồng qui, song song).
- Tính toán được lực bằng phương pháp đa giác lực hoặc phương pháp chiếu.
- Giải được các bài toán về liên kết: Giải phóng các liên kết, biểu diễn lực tác dụng và phản lực liên kết, lập hệ phương trình cân bằng lực và mô men, tính toán các phản lực liên kết.
- Giải được bài toán cân bằng của vật rắn đặt trên mặt phẳng ngang.
- Xác định được điều kiện cân bằng khi có ma sát và giải được các bài toán về ma sát.
- Rèn luyện tính cẩn thận, tác phong làm việc khoa học của người làm kỹ thuật.

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

1.1. Những khái niệm cơ bản

Mục tiêu

- Trình bày được: Các khái niệm về vật rắn tuyệt đối, lực, hệ lực, hợp lực, hai hệ lực tương đương, hệ lực cân bằng;
- Phân tích được các khái niệm về lực

1.1.1. Vật rắn tuyệt đối

- Vật rắn tuyệt đối là vật rắn khi chịu tác dụng của lực vật không bị biến dạng.
- Biến dạng là sự thay đổi về hình dạng hình học và kích thước.
- Trong tính toán ở phần này ta có thể coi vật khảo sát là vật rắn tuyệt đối.

1.1.2. Vật rắn cân bằng

- Một vật ở trạng thái cân bằng nếu nó đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều đối với hệ quy chiếu quán tính.

- Hệ quy chiếu quán tính là hệ gắn liền với trái đất, trái đất coi như đứng yên khi ta khảo sát vật

1.1.3. Lực

1.1.3.1. Khái niệm về lực

a. Định nghĩa

- Là đại lượng đặc trưng cho tương tác cơ học giữa vật thể này với vật thể khác mà kết quả tác động của nó là làm cho vật bị biến dạng hoặc thay đổi trạng thái của vật (trạng thái chuyển động và hình dáng hình học)

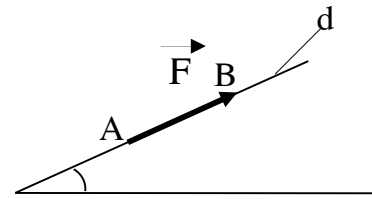
b. Các yếu tố đặc trưng của lực

+ Điểm đặt: Là điểm mà tại đó vật nhận được tác dụng cơ học từ vật thể khác.
+ Phương và chiều: Là phương và chiều chuyển động của vật chất dưới tác dụng của lực.

+ Độ lớn: Là số đo mức độ mạnh yếu của tương tác lực.

* Từ các yếu tố đặc trưng ta thấy lực là một đại lượng có hướng và độ lớn. Do đó lực được biểu diễn là véctơ lực

Ví dụ: Véctơ AB biểu diễn lực \vec{F}



Hình 1-1

+ Đường thẳng (d) là đường tác dụng của lực \vec{F} (Hình 1-1)

c. Ký hiệu: Lực được ký hiệu bằng các chữ cái in hoa trên đầu có dấu véctơ

Ví dụ : $\vec{F}, \vec{Q}, \vec{P}, \vec{N}, \vec{K}, \dots$

d. Đơn vị đo : Niuton , kí hiệu : N

$$1\text{KN} = 10^3 \text{ N} \quad ; \quad 1\text{N} = 10^{-3}\text{KN}$$

$$1\text{MN} = 10^3 \text{ KN} = 10^6 \text{ N} \quad ; \quad 1\text{N} = 10^{-6}\text{MN}$$

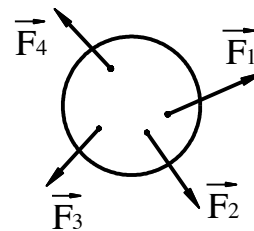
1.1.3.2. Hệ lực

- Định nghĩa: Hệ lực là tập hợp các lực cùng tác dụng lên một vật.

- Ký hiệu: $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n)$

- Phân loại: Hệ lực phẳng, hệ lực không gian, hệ lực đồng quy và hệ lực song song

Ví dụ : Hệ lực $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4)$ (Hình 1-2)



Hình 1-2

1.1.3.3. Hệ lực cân bằng

- **Định nghĩa:** Là hệ lực khi tác dụng lên vật rắn không làm thay đổi trạng thái của vật, như khi vật chưa chịu tác dụng của hệ lực ấy. Tác dụng của hệ lực tương đương với không.

- Ký hiệu: $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n) \sim 0$

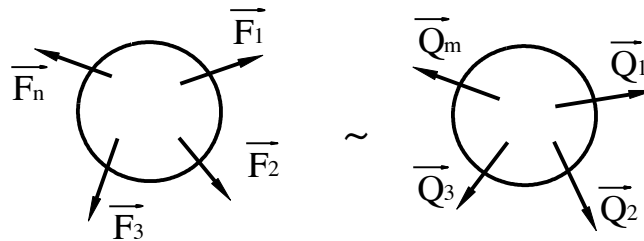
1.1.3.4. Hai hệ lực tương đương

- **Định nghĩa:** Hai hệ lực được gọi là tương đương khi chúng cùng tác dụng lên một vật và kết quả tác dụng của chúng là như nhau

- Hai hệ lực tương đương có thể thay thế cho nhau.

- **Ký hiệu:** $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n) \sim (\vec{Q}_1, \vec{Q}_2, \vec{Q}_3, \dots, \vec{Q}_m)$

hoặc $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n) \equiv (\vec{Q}_1, \vec{Q}_2, \vec{Q}_3, \dots, \vec{Q}_m)$

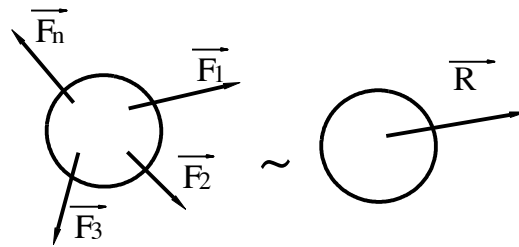


Hình 1-3

1.1.3.5. Hợp lực của hệ lực

- **Định nghĩa:** Là một lực duy nhất có tác dụng tương đương với hệ lực.

- Ký hiệu: $\vec{R} \sim (\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n)$

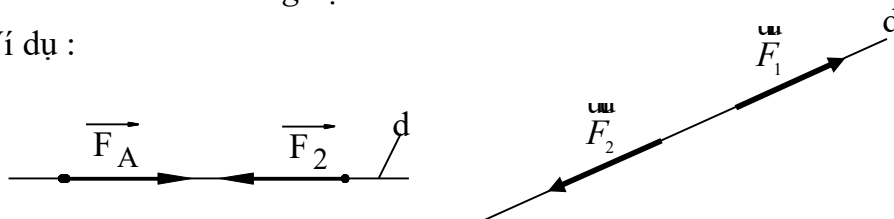


Hình 1-4

1.1.3.6. Hai lực trực đối

- **Định nghĩa:** Hai lực trực đối là hai lực cùng nằm trên một đường tác dụng, ngược chiều nhau và có cùng độ lớn.

Ví dụ :



Hình 1-5

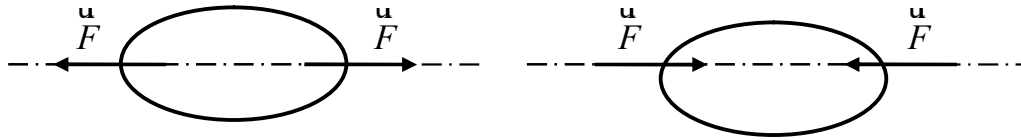
1.2. Các định luật tĩnh học.

Mục tiêu

- + Trình bày được nội dung các tiên đề tĩnh học;
- + Phân tích được các tiên đề tĩnh học, chứng minh được hệ quả của tiên đề 2.

1.2.1. Tiên đề 1: *Cặp lực cân bằng*

Điều kiện cần và đủ để một vật rắn nằm cân bằng dưới tác dụng của hai lực là: hai lực cùng nằm trên một đường tác dụng, hướng ngược nhau và cùng độ lớn.



Hình 1-6

1.2.2. Tiên đề 2: *Thêm hoặc bớt cặp lực cân bằng*

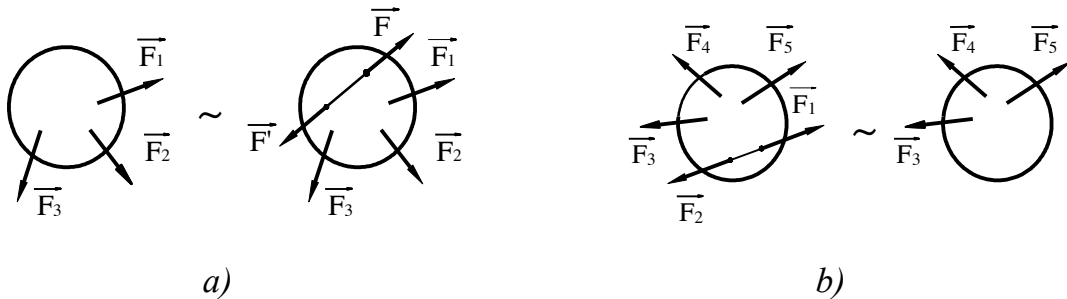
- Nội dung: *Tác dụng của hệ lực không thay đổi khi ta thêm vào hoặc bớt đi cặp lực cân bằng.*

Như vậy nếu (\vec{F}, \vec{F}') là cặp lực cân bằng thì ta có thể thêm vào hệ lực cặp lực này. (Hình 1-7a)

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3) \sim (\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}, \vec{F}')$$

Hoặc nếu (\vec{F}_1, \vec{F}_2) là cặp lực cân bằng thì ta có thể bớt đi cặp lực này trong hệ lực. (Hình 1-7b)

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4, \vec{F}_5) \sim (\vec{F}_3, \vec{F}_4, \vec{F}_5)$$



Hình 1-7

- **Hệ quả: (Định lý trượt lực)**

Tác dụng của lực lên vật rắn không thay đổi khi trượt lực trên đường tác dụng của nó.

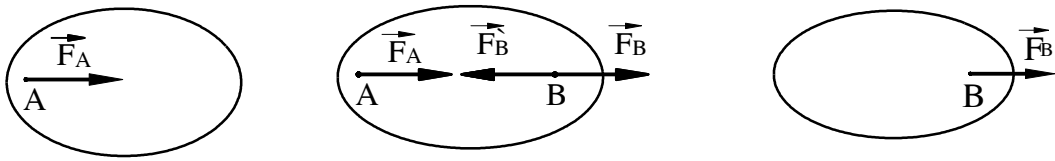
Chứng minh:

Vật chịu tác dụng của lực \vec{F}_A đặt tại điểm A, muốn di chuyển lực \vec{F}_A đến vị trí B.

Ta thêm vào cặp lực cân bằng (\vec{F}_B, \vec{F}'_B) đặt tại B có cùng phương, cùng độ lớn với lực \vec{F}_A (Hình 1-8). Ta có: $(\vec{F}_A) \sim (\vec{F}_A, \vec{F}_B, \vec{F}'_B)$

Mà (\vec{F}_A, \vec{F}'_B) là hai lực cân bằng nhau nên dựa vào tiên đề 2, bớt hai lực này.

$$\begin{aligned} \text{Tức là } \vec{F}_A &\sim (\vec{F}_A, \vec{F}_B, \vec{F}'_B) \sim \vec{F}_B \\ \Rightarrow \vec{F}_A &\sim \vec{F}_B \end{aligned}$$

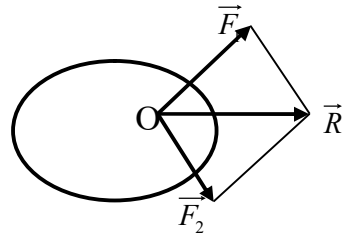


Hình 1-8

1.2.3. Tiên đề 3: Tiên đề hình bình hành lực

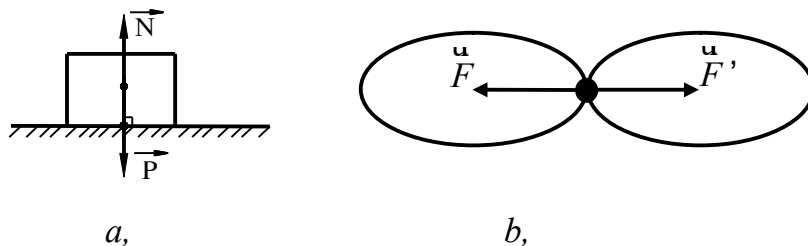
Hai lực cùng tác dụng lên vật rắn tại một điểm tương đương với một lực đặt tại điểm chung đó và có véctơ lực bằng véctơ chéo của hình bình hành mà hai cạnh là hai véctơ lực đã cho.

+ Ví dụ: $(\vec{F}_1, \vec{F}_2) \sim \vec{R}$ (Hình 1-9)



1.2.4. Tiên đề 4: Tiên đề lực tác dụng và phản lực tác dụng ^{Hình 1-9}

Lực tác dụng và phản lực tác dụng giữa hai vật có cùng độ lớn, cùng đường tác dụng và ngược chiều nhau.



Hình 1-10

Chú ý: Lực tác dụng và phản lực tác dụng không phải là hai lực cân bằng vì chúng không cùng tác dụng lên một vật rắn

1.2.5. Tiên đề 5: *Hóa rắn*

Một vật cân bằng dưới tác dụng của một hệ lực thì khi hóa rắn lại nó vẫn cân bằng.

Tiên đề 5 giúp chúng ta có thể sử dụng các kết quả đã nghiên cứu cho vật rắn cân bằng trong trường hợp vật biến dạng cân bằng. Tuy nhiên các kết quả đó chưa đủ để giải quyết bài toán cân bằng của vật biến dạng mà cần phải thêm các giả thuyết về biến dạng (Ví dụ như định luật Húc về biến dạng)

1.2.6. Tiên đề 6: *Thay thế liên kết:*

Vật không tự do (tức là vật chịu liên kết) cân bằng có thể được xem là vật tự do cân bằng nếu giải phóng các liên kết. Thay thế tác dụng của các liên kết được giải phóng bằng các phản lực liên kết tương ứng

1.3. Liên kết và phản lực liên kết

Mục tiêu

- + Trình bày được định nghĩa liên kết, phản lực liên kết, nhận biết được các loại mối liên kết thường gặp;
- + Phân tích được các loại liên kết, vẽ được các phản lực liên kết của các mối liên kết thường gặp.

1.3.1. Vật tự do

- Vật thể tự do: là những vật có thể thực hiện mọi chuyển động tùy ý theo mọi phương trong không gian mà không bị cản trở.

Ví dụ: Các vật thể ở trên không trung:

- Vật thể không tự do: Là những vật có một hoặc nhiều phương chuyển động bị cản trở.

Ví dụ: Tất cả các vật đặt trên mặt đất: Máy móc, đồ vật....

1.3.2. Khái niệm về liên kết và phản lực liên kết

1.3.2.1. Khái niệm về liên kết

- Liên kết: Là những điều kiện cản trở (ràng buộc) về chuyển động hay xu hướng chuyển động giữa vật thể này với vật thể khác.

- Vật chịu liên kết (vật khảo sát): Là những vật có chuyển động (xu hướng chuyển động) bị cản trở.

Ví dụ: Quyển sách đặt trên bàn: Quyển sách là vật khảo sát

- Vật gây liên kết: Là những vật gây ra sự cản trở chuyển động (xu hướng chuyển động) của vật khảo sát.

1.3.2.2. Phản lực liên kết

a. Định nghĩa

Phản lực liên kết là lực do vật gây liên kết gây ra để chống lại chuyển động hay xu hướng chuyển động của vật khảo sát.

b. Các yếu tố đặc trưng

- Điểm đặt: Tại điểm tiếp xúc giữa vật khảo sát và vật gây liên kết.
- Phương, chiều: Cùng phương, ngược chiều với phương chiều chuyển động bị cản trở của vật khảo sát.

1.3.3. Các loại liên kết thường gặp

- Liên kết tựa
- Liên kết dây mềm
- Liên kết thanh
- Liên kết gối đỡ bản lề
- Liên kết ngàm phẳng
- Liên kết gối cầu

1.3.4. Giải phóng liên kết

1.3.4.1. Liên kết tựa

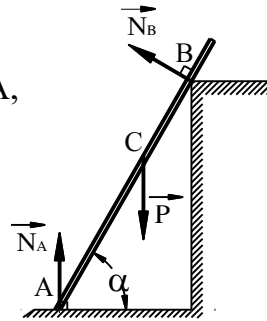
+ Phản lực liên kết có:

- Điểm đặt: Tại điểm tiếp xúc chung các vật liên kết
- Phương, chiều: Vuông góc với tiếp tuyến của mặt tựa chung, chiều ngược chiều chuyển động của vật.

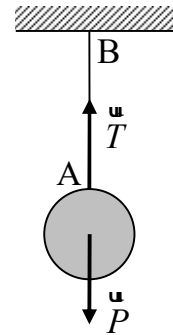
Ví dụ:

Thang AB một đầu tựa vào mặt đất tại A, một đầu tựa vào tường tại B

Phản lực \vec{N}_A, \vec{N}_B (Hình 1-11)



Hình 1-11



Hình 1-12

1.3.4.2. Liên kết dây mềm

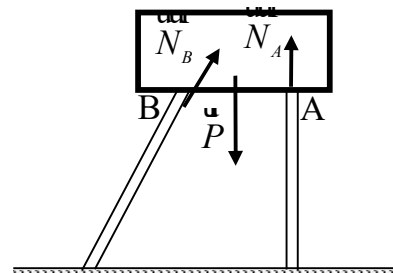
+ Phản lực liên kết có:

- Điểm đặt: Tại điểm tiếp xúc giữa dây và vật khảo sát
- Phương: Dọc theo phương của dây

Ví dụ: Quả cầu có trọng lực P được treo bởi dây AB. Phản lực liên kết \vec{T} (Hình 1-12)

1.3.4.3. Liên kết thanh

+ Phản lực liên kết có:



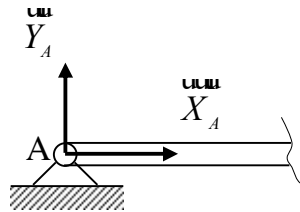
- Điểm đặt: Tại điểm tiếp xúc giữa thanh và vật khảo sát.
- Phương: Dọc theo thanh.
- Ví dụ: Phản lực liên kết N_A, N_B (Hình 1-13)

1.3.4.4. Liên kết gối đỡ bản lề

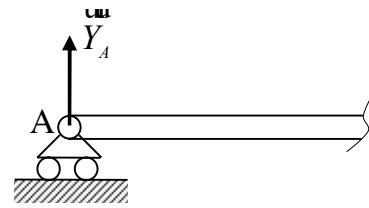
a. Liên kết gối đỡ bản lề cố định:

+ Phản lực liên kết có:

- Điểm đặt: Tại gối
- Phương: Có hai thành phần phản lực theo phương X, Y; hai thành phần này vuông góc với nhau. (Hình 1-14)



Hình 1-14



Hình 1-15

b. Liên kết gối đỡ bản lề di động:

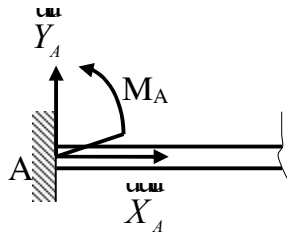
+ Phản lực liên kết có:

- Điểm đặt: Tại gối
- Phương: Có một thành phần phản lực theo phương Y (Hình 1-15)

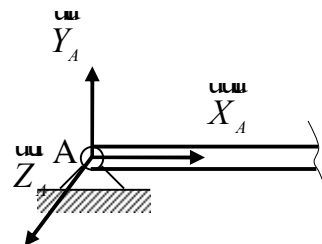
1.3.4.5. Liên kết ngàm phẳng

+ Phản lực liên kết có:

- Điểm đặt: Tại vị trí đầu ngàm
- Phương: Có một phản lực theo phương ngang, một phản lực theo phương thẳng đứng và một thành phần mômen phản lực (Hình 1-16)



Hình 1-16



Hình 1-17

1.3.4.6. Liên kết gối cầu

+ Phản lực liên kết có:

- Điểm đặt: Tại gối

- Phương: Có 3 phản lực liên kết theo 3 phương X,Y,Z. (Hình1-17)

Ví dụ : Các phản lực liên kết tại các mối liên kết tương ứng

* Phản lực liên kết tại các mối liên kết trên hình vẽ:

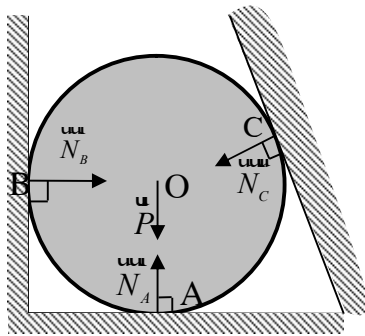
- Hình 1-18: Các mối liên kết tại A, B, C đều là liên kết tựa nên ta có phản lực liên kết là : $\vec{N}_A, \vec{N}_B, \vec{N}_C$

- Hình 1-19 : Các mối liên kết là liên kết thanh nên ta có phản lực liên kết là : $\vec{S}_{AB}, \vec{S}_{BC}$

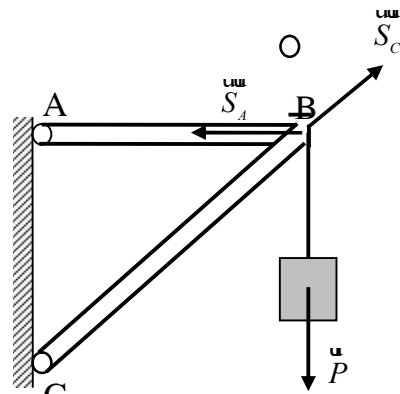
- Hình 1-20: Các mối liên kết ở A là liên kết gối cố định, B là liên kết gối di động nên ta có phản lực liên kết là : $\vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{Y}_E$

- Hình 1-21: Các mối liên kết tại AO là liên kết dây mềm, ở C là liên kết tựa nên ta có phản lực liên kết là : \vec{S}_{AO}, \vec{N}_C

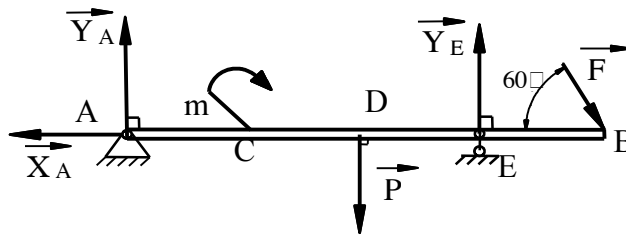
- Hình 1-22: Các mối liên kết là liên kết dây mềm nên ta có phản lực liên kết là : \vec{T}_1, \vec{T}_2



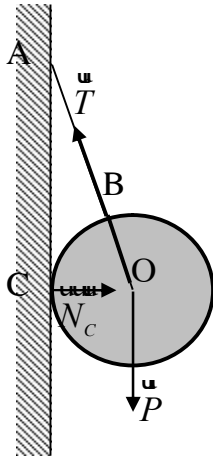
Hình1-18



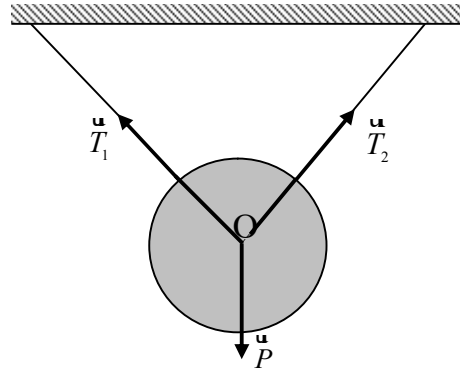
Hình1-19



Hình1-20



Hình 1-21



Hình 1-22

1.4. Các hệ quả

1.4.1 HỆ LỰC PHẪNG ĐỒNG QUI

1.4.1.1. Khảo sát hệ lực phẳng đồng qui bằng hình học

1.4.1.1.1. Định nghĩa

Hệ lực phẳng đồng qui là hệ lực phẳng mà các đường tác dụng của các lực đồng qui tại một điểm.

1.4.1.1.2 Hợp hai lực đồng qui

Xét hệ lực gồm hai lực (\vec{F}_1, \vec{F}_2) đồng qui tại A. Hợp lực của hệ hai lực là $\vec{R} = (\vec{F}_1, \vec{F}_2)$. Tìm \vec{R} ?

a) Quy tắc hình bình hành

Theo tiên đề 3, Vector \vec{R} có:

- Điểm đặt tại A.
- Phương, chiều véctơ lực là véctơ chéo của hình bình hành, như hình vẽ.

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2,$$

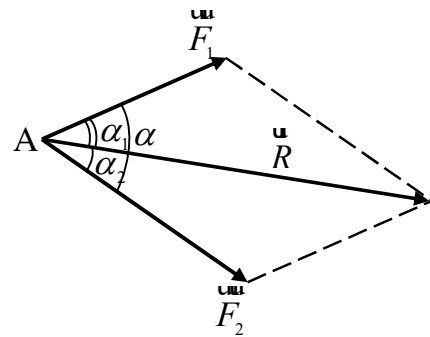
- Độ lớn: $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}$ (2-1)

+ Khi $\alpha = 0$ có \vec{F}_1, \vec{F}_2 cùng phương, cùng chiều: $R = F_1 + F_2$ (2-2)

+ Khi $\alpha = 90^\circ$ có \vec{F}_1, \vec{F}_2 vuông góc với nhau: $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$ (2-3)

+ Khi $\alpha = 180^\circ$ có \vec{F}_1, \vec{F}_2 cùng phương, ngược chiều:

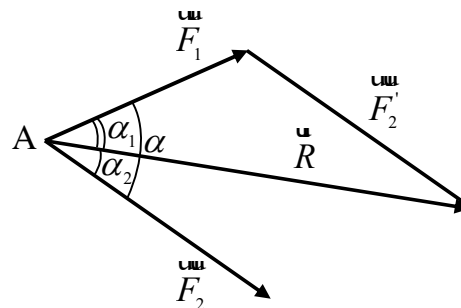
$$R = |F_1 - F_2| \quad (2-4)$$



Hình 2-1

b) Quy tắc tam giác lực

- Từ ngọn véctơ \vec{F}_1 ta kẻ một vectơ \vec{F}'_2 song song, cùng chiều và bằng vectơ \vec{F}_2 . Từ gốc của vectơ \vec{F}_1 nối với ngọn của vectơ \vec{F}'_2 ta được vectơ hợp lực \vec{R} của hệ lực (\vec{F}_1, \vec{F}_2)



Hình 2-2

- Phát biểu: Hợp của hai lực đồng qui là một vectơ lực đóng kín tam giác lực lập bởi các vectơ lực đã cho

- Độ lớn: Tương tự quy tắc hình bình hành.

1.4.1.1.3. Hợp lực của hệ lực phẳng đồng qui – Đa giác lực

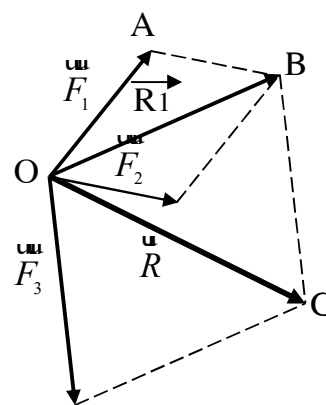
a. Hợp lực của hệ lực phẳng đồng qui

- Xét hệ lực $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3)$ đồng qui tại O.

Phương pháp: Hợp từng cặp lực bằng phương pháp hình bình hành

$$\begin{aligned} (\vec{F}_1, \vec{F}_2) \sim \vec{R}_1 \\ (\vec{R}_1, \vec{F}_3) \sim \vec{R} \end{aligned} \Rightarrow \vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

$$\begin{aligned} \text{Theo hình vẽ có : } \vec{OB} &= \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \\ \vec{R} &= \vec{OB} + \vec{F}_3 \end{aligned}$$



Hình 2-3

Vậy \vec{R} là véc tơ hợp lực của hệ lực $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3)$

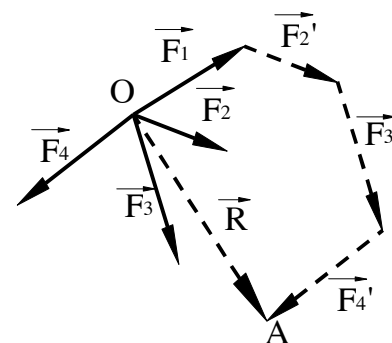
$$\vec{R} \sim (\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3)$$

b. Quy tắc đa giác lực

+ Phương pháp: Từ ngọn véctơ \vec{F}_1 ta kẻ một vectơ \vec{F}'_2 song song, cùng chiều và bằng vectơ \vec{F}_2 , từ ngọn véctơ \vec{F}'_2 ta kẻ một vectơ \vec{F}'_3 song song, cùng chiều và bằng vectơ \vec{F}_3 , từ ngọn véctơ \vec{F}'_3 ta kẻ một vectơ \vec{F}'_4 song song, cùng chiều và bằng vectơ \vec{F}_4

Từ gốc của vectơ \vec{F}_1 nối với ngọn của vectơ vừa lập ta được vectơ hợp lực \vec{R} của hệ lực $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n)$.

+ Quy tắc đa giác lực: Véc tơ hợp lực của hệ lực phẳng đồng qui là véc tơ đóng kín đa giác lực lập bởi các véc tơ lực đã cho.



Hình 2-4

1.4.2. Khảo sát hệ lực phẳng đồng qui bằng giải tích

1.4.2.1. Chiếu một lực trên hệ trục.

- Cho một lực \vec{F} hợp với phương ngang một góc α . Chiếu lực \vec{F} lên hệ trục tọa độ đề các Oxy ta được 2 thành phần lực có phương là phương của các trục trong hệ trục tọa độ Oxy.

- Chiếu lực \vec{F} lên hệ trục tọa độ Oxy ta có:
+ Chiếu điểm ngọn và điểm gốc của lực \vec{F} lên trục Ox: Ta được \vec{F}_x

+ Chiếu điểm ngọn và điểm gốc của lực \vec{F} lên trục Oy: Ta được \vec{F}_y

* Độ lớn của các lực thành phần:

$$- F_x = F \cdot \cos \alpha$$

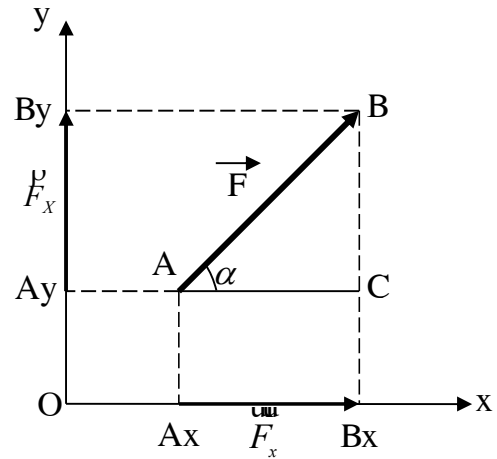
$$- F_y = F \cdot \sin \alpha$$

* Độ lớn của lực \vec{F}

Ta có: $\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$ mà $\vec{F}_x \perp \vec{F}_y$

Vậy độ lớn của lực \vec{F} tính theo hai véc tơ lực thành phần là:

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



Hình2-5

1.4.2.2. Hợp lực của hệ lực phẳng đồng qui bằng giải tích

- Xét hệ lực $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3)$ đồng qui tại A.

- Chiếu các lực lên hai trục Ox và Oy ta được:

F_{1x}, F_{2x}, F_{3x} và F_{1y}, F_{2y}, F_{3y} .

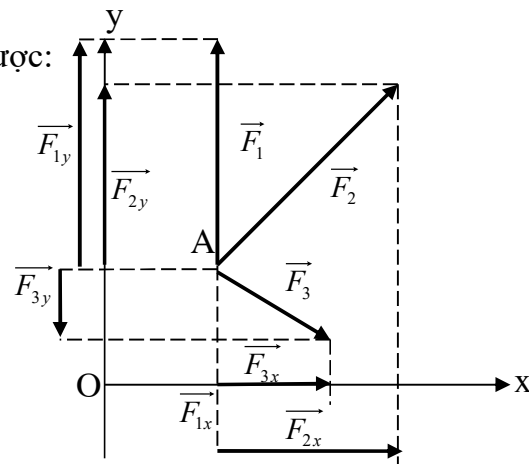
- Gọi \vec{R} là hợp lực: $\vec{R} \sim (\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3)$

- Phân tích \vec{R} thành: \vec{R}_x và \vec{R}_y

$$+ R_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = \sum F_{ix}$$

$$+ R_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = \sum F_{iy}$$

$$\Rightarrow \vec{R} = \vec{R}_x + \vec{R}_y$$



Hình2-6

Vì \vec{R}_x vuông góc với \vec{R}_y nên ta có:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n F_{ix}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n F_{iy}\right)^2} \quad (2-5)$$

- Phương của \vec{R} : $\cos(Ox, \vec{R}) = \frac{R_x}{R}$

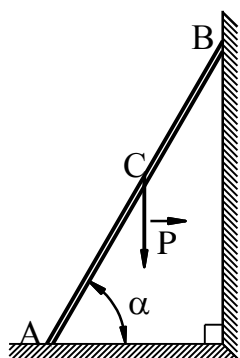
$$\cos(Oy, \vec{R}) = \frac{R_y}{R}$$

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Nêu các khái niệm và các ký hiệu về lực, hệ lực, hợp lực, hệ lực cân bằng, hai lực trực đối?
2. Phát biểu 6 tiên đề tĩnh học?
3. Nêu khái niệm liên kết và phản lực liên kết?
4. Nêu các môi liên kết thường gặp và phản lực liên kết của các môi liên kết đó?

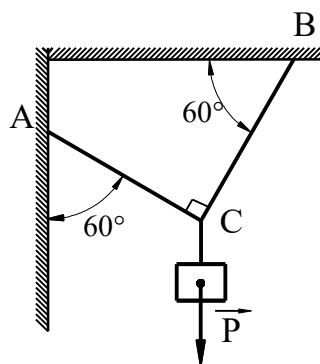
BÀI TẬP

Bài 1: Thang AB có trọng lực P. Một đầu tựa vào tường, một đầu tựa vào mặt đất. Tìm phương, chiều của phản lực liên kết ở A và B? (Hình 1-23)



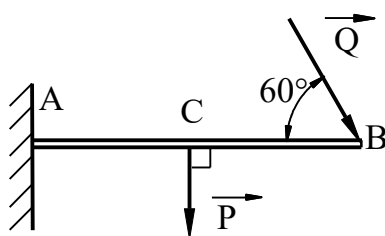
Hình 1-23

Bài 2: Vật nặng trọng lực P được giữ bởi dây AC và BC. Tìm phương, chiều của các phản lực liên kết cho dây AC và BC? (Hình 1-24)

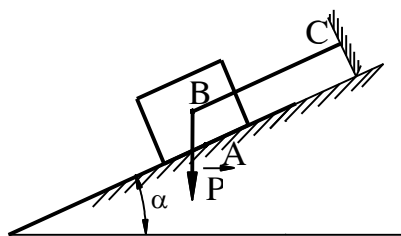


Hình 1-24

Bài 3: Thanh AB có trọng lực P. Một đầu được ngàm vào tường tại A. Tìm phương, chiều của phản lực liên kết ở A? (Hình 1-25)



Bài 4: Một vật nặng có trọng lực P. Đặt trên mặt phẳng nghiêng một góc α . Tìm phương, chiều của các phản lực liên kết ở bề mặt tiếp xúc (A) và dây BC? (Hình 1-26)



Hình 1-25

Hình 1-26

2. HỆ LỰC PHẪNG

Hệ lực phẳng bất kỳ là hệ lực phẳng thường gặp rất nhiều trong thực tế. Khi giải quyết các bài toán về hệ lực phẳng (hệ lực phẳng đồng quy, hệ lực phẳng song song, hệ lực phẳng bất kỳ) ta có thể vận dụng các biểu thức tính toán của hệ lực phẳng bất kỳ đều giải quyết được. Do đó bài toán hệ lực phẳng bất kỳ là bài toán tổng quát nhất của hệ lực phẳng.

Mục tiêu:

- Trình bày được định nghĩa hệ lực phẳng bất kỳ, định lý dời lực song song;
- Phân tích được phương pháp thu gọn hệ lực phẳng bất kỳ về một tâm;
- Giải thích được các dạng phương trình cân bằng của hệ lực phẳng bất kỳ;
- Vận dụng thành thạo các kiến thức vừa học để giải toán tính toán cho hệ lực phẳng bất kỳ;
- Rèn luyện cho người học tính cẩn thận, chính xác và tư duy logic.

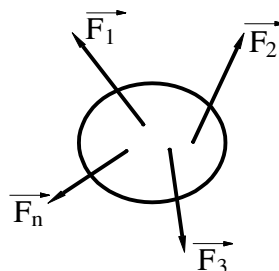
1. Định nghĩa

Mục tiêu:

- Trình bày được định nghĩa hệ lực phẳng bất kỳ
- Xác định được hệ lực phẳng bất kỳ

Định nghĩa: *Hệ lực phẳng bất kỳ là hệ lực phẳng mà các đường tác dụng của các lực có phương bất kỳ.*

Ví dụ: Đường tác dụng của các lực có phương bất kỳ. (Hình 4-1)



Hình 4-1

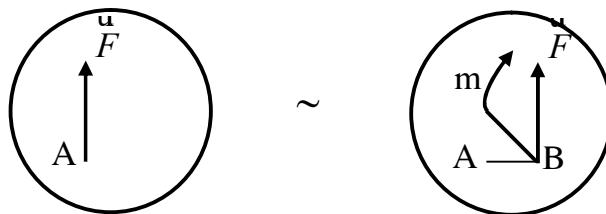
2. Định lý dời lực song song

Mục tiêu:

- Trình bày được định lý dời lực song song;
- Chứng minh được định lý dời lực song song.

Một lực \vec{F} tác dụng vào vật rắn tại điểm A sẽ tương đương với 1 lực \vec{F}' song song, cùng chiều, cùng độ lớn nhưng đặt tại điểm B và một ngẫu lực phụ m có mô men bằng mômen của lực \vec{F} đối với điểm B. (Hình 4-2)

$$\vec{F} \sim (\vec{F}', m) \text{ có } m = m_B(\vec{F})$$



Hình 4-2

3. Thu gọn hệ lực phẳng bất kỳ về 1 tâm.

Mục tiêu:

- Trình bày được phương pháp thu gọn hệ lực phẳng bất kỳ về 1 tâm;
- Xác định được véc tơ lực tổng hợp và một mô men lực tổng hợp.

Xét hệ lực phẳng bất kỳ $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n)$. Áp dụng định lý dời lực song song ta di chuyển lần lượt các lực về một tâm O cho trước

$$\vec{F}_1 \sim (\vec{F}_1', m_1); \text{ có } m_1 = m_0(\vec{F}_1)$$

$$\vec{F}_2 \sim (\vec{F}_2', m_2); \text{ có } m_2 = m_0(\vec{F}_2)$$

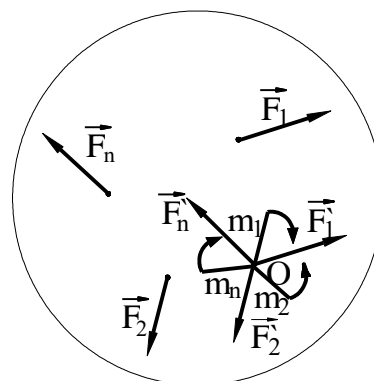
$$\dots\dots\dots$$

$$\vec{F}_n \sim (\vec{F}_n', m_n); \text{ có } m_n = m_0(\vec{F}_n)$$

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n) \sim (\vec{F}_1', m_1, \vec{F}_2', m_2, \dots, \vec{F}_n', m_n)$$

$$\Leftrightarrow (\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n) \sim (\vec{F}_1', \vec{F}_2', \dots, \vec{F}_n'; m_1, m_2, \dots, m_n)$$

$$\Leftrightarrow (\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n) \sim (\vec{R}, M)$$



Hình 4-3

Kết luận: Khi hợp của hệ lực phẳng bất kỳ ta thu được một véc tơ lực tổng hợp \vec{R} và một mô men lực tổng hợp M

* **Vector lực tổng hợp** \vec{R} : $\vec{R} = \vec{R}_x + \vec{R}_y$

Mà $\vec{R}_x = \sum \vec{F}_{kx}; \vec{R}_y = \sum \vec{F}_{ky}$

- Có độ lớn: $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \Leftrightarrow R = \sqrt{(\sum F_{kx})^2 + (\sum F_{ky})^2}$ (4-1)

- Có phương:

$$\cos(\vec{R}, Ox) = \frac{R_x}{R}; \quad \cos(\vec{R}, Oy) = \frac{R_y}{R} \quad (4-2)$$

* **Ngẫu lực tổng hợp M**

$$M = \sum_{k=1}^n m_k = m_1 + m_2 + \dots + m_n$$

$$\Rightarrow M = m_o(\vec{F}_1) + m_o(\vec{F}_2) + \dots + m_o(\vec{F}_n)$$

$$\Leftrightarrow M = \sum_{k=1}^n m_o(\vec{F}_k)$$

4. Điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng bất kỳ

Mục tiêu:

- Trình bày được điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng bất kỳ;
- Vận dụng được điều kiện cân bằng để giải các bài toán tính toán cho hệ lực phẳng bất kỳ;

Điều kiện cần và đủ để một vật cân bằng dưới tác dụng của hệ lực phẳng bất kỳ là hệ lực đó phải là hệ lực cân bằng.

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n) \sim 0$$

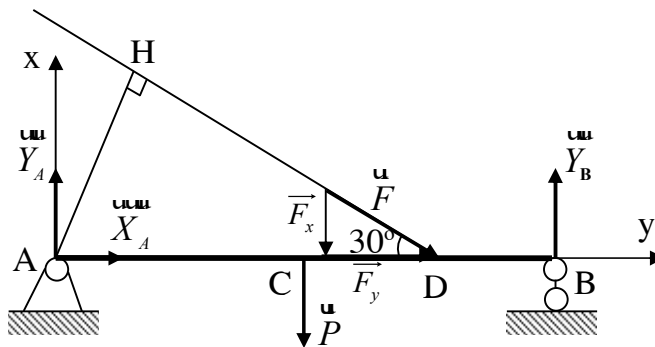
Mà ta đã chứng minh được $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n) \sim (\vec{R}, M)$

$$\Leftrightarrow (\vec{R}, M) \sim 0$$

Hay
$$\begin{cases} R = 0 \\ M = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = 0 \\ R_y = 0 \\ M = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \sum F_{kx} = 0 \\ \sum F_{ky} = 0 \\ \sum m_o(\vec{F}_k) = 0 \end{cases} \quad (4-3)$$

Biểu thức (4-3) là điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng bất kỳ

Bài 1: Cho thanh AB có trọng lực $P = 200\text{N}$, được đỡ nằm ngang bởi 2 gối A và B. Biết $AB = 2\text{m}$, $CD = 0,5\text{m}$; thanh chịu tác dụng của các lực $F = 500\text{N}$ (Hình 4-4). Tính phản lực liên kết tại gối A và B ?



Hình 4-4

Bài làm

+ Hệ lực tác dụng lên thanh AB gồm:

$$(\vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{Y}_B, \vec{F}, \vec{P}) \sim 0$$

+ Áp dụng điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng bất kỳ:

$$\begin{cases} \sum F_{kx} = 0 \\ \sum F_{ky} = 0 \\ \sum m_A(\vec{F}_k) = 0 \end{cases}$$

+ Phân tích lực: $\vec{F} \sim (\vec{F}_x, \vec{F}_y)$

$$F_x = F \cdot \cos 30^\circ = 500 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 425 \text{ N} ; \quad F_y = F \cdot \sin 30^\circ = 500 \cdot 1/2 = 250 \text{ N}$$

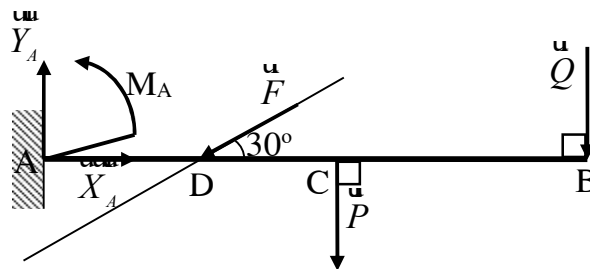
+ Từ hình vẽ, ta có hệ phương trình cân bằng:

$$\begin{cases} X_A + F_x = 0 \\ Y_A - P - F_y + Y_B = 0 \\ m_A(\vec{Y}_A) + m_A(\vec{X}_A) + m_A(\vec{P}) + m_A(\vec{F}) + m_A(\vec{Y}_B) = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} X_A + F \cdot \cos 30^\circ = 0 \\ Y_A + Y_B = P + F \cdot \sin 30^\circ \\ -P \cdot AC - F \cdot AD \cdot \sin 30^\circ + Y_B \cdot AB = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X_A = -425 \text{ N} \\ Y_A = 162,5 \text{ N} \\ Y_B = 287,5 \text{ N} \end{cases}$$

Kết luận: Lực X_A có chiều ngược lại hình vẽ

Bài 2: Cho thanh AB có trọng lượng $P = 200 \text{ N}$ được ngàm cứng vào ường tại A. Chịu tác dụng của lực $F = 500 \text{ N}$, $Q = 400 \text{ N}$, $AB = 4 \text{ m}$, $CD = 1 \text{ m}$. Tính phản lực tại ngàm A? (Hình 4-5)



Hình 4-5

Bài làm

+ Hệ lực tác dụng lên thanh AB gồm $(\vec{X}_A, \vec{Y}_A, M_A, \vec{F}, \vec{P}, \vec{Q}) \sim 0$

+ Áp dụng điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng bất kỳ:

$$\begin{cases} \sum F_{kx} = 0 \\ \sum F_{ky} = 0 \\ \sum m_A(\vec{F}_k) = 0 \end{cases}$$

+ Phân tích lực: $\vec{F} \sim (\vec{F}_x, \vec{F}_y)$

$$F_x = F \cdot \cos 30^\circ = 500 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 425 \text{ N} ; F_y = F \cdot \sin 30^\circ = 500 \cdot 1/2 = 250 \text{ N}$$

+ Từ hình vẽ, ta có hệ phương trình cân bằng:

$$\begin{cases} X_A - F_x = 0 \\ Y_A - F_y - P - Q = 0 \\ m_A(\vec{Y}_A) + m_A(\vec{X}_A) + m_A(\vec{P}) + m_A(\vec{F}) + m_A(\vec{Q}) + m_A = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} X_A - F \cdot \cos 30^\circ = 0 \\ Y_A - F \cdot \sin 30^\circ - P - Q = 0 \\ m_A - F \cdot AD \cdot \sin 30^\circ - P \cdot AC - Q \cdot AB = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} X_A = 425 \text{ N} \\ Y_A = 850 \text{ N} \\ m_A = 2250 \text{ N.m} \end{cases}$$

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Định nghĩa hệ lực phẳng bất kỳ?
2. Phát biểu định lý dời lực song song?
2. Điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng bất kỳ?

BÀI TẬP

Bài 1 : Thanh AB có trọng lượng $P = 80 \text{ KN}$, được đỡ nằm ngang bởi hai gối đỡ A và E (hình 4-6). Biết: $AB = 6\text{m}$; $AE = 4\text{m}$.

Thanh chịu tác dụng của lực $F = 100\text{KN}$ và ngẫu lực $m = -200 \text{ KN.m}$

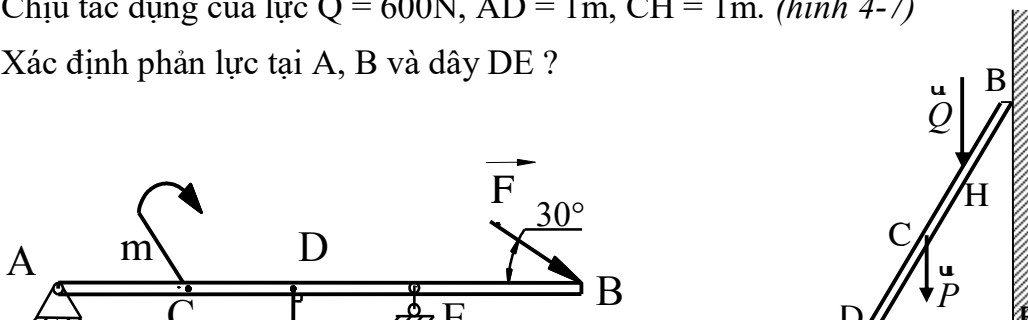
Xác định phản lực tại các gối A và E?

Bài 2:

Cho thanh AB = 6m có trọng lực $P = 200\text{N}$, một đầu tựa vào tường, một đầu tựa vào mặt đất (bỏ qua ma sát) thanh được giữ bởi dây DE.

Chịu tác dụng của lực $Q = 600\text{N}$, $AD = 1\text{m}$, $CH = 1\text{m}$. (hình 4-7)

Xác định phản lực tại A, B và dây DE ?



Bài 3:

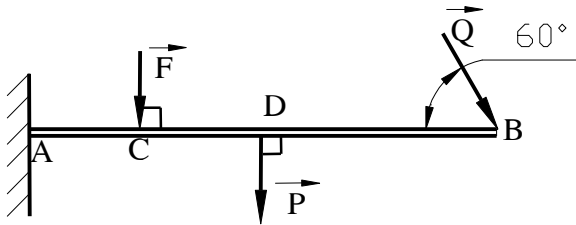
Dầm AB có trọng lượng $P = 200 \text{ N}$ được ngàm cứng vào tường tại A, dầm chịu tác dụng của lực $F = 400 \text{ N}$, $Q = 300 \text{ N}$. Biết $AC = CD = 1 \text{ m}$, $DB = 2 \text{ m}$ (hình 4-8).

Xác định các phản lực tại ngàm A?

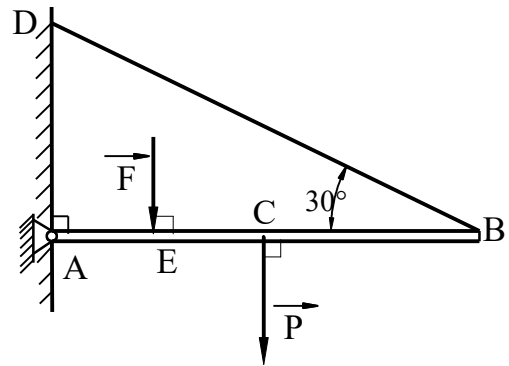
Bài 4:

Dầm AB có trọng lượng $P = 600 \text{ N}$ được đỡ nằm ngang bởi bản lề A và dây BD, dầm chịu tác dụng của lực $F = 800 \text{ N}$. Biết $AB = 4 \text{ m}$, $AE = 1 \text{ m}$ (hình 4-9).

Xác định các phản lực tại A dây BD?



Hình 4-8



Hình 4-9

3. Hệ lực không gian.

2.1. Véc tơ chính và mômen chính của hệ lực phẳng

2.1.1. Véc tơ chính.

a. Định nghĩa.

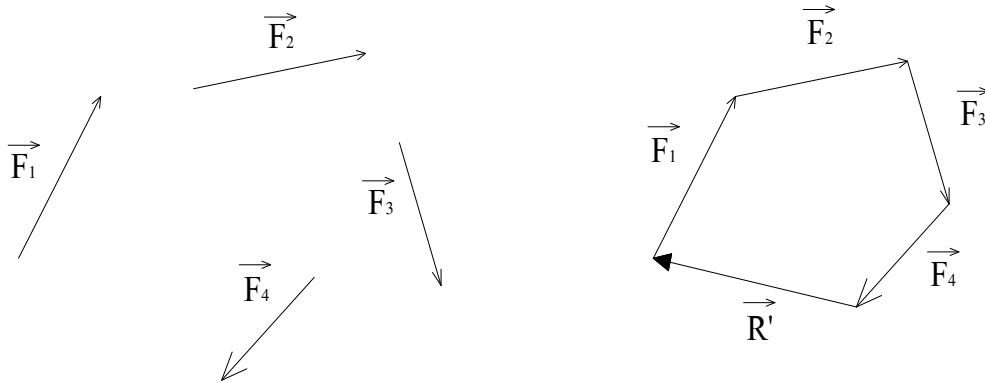
Véc tơ chính của hệ lực, kí hiệu \vec{R} , là tổng hình học của các véc tơ biểu diễn của hệ lực.

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{k=1}^n \vec{F}_k \quad (*)$$

b. Phương pháp xác định véc tơ chính.

+ *Phương pháp hình học:*

Để xác định véc tơ chính có thể vẽ (trên hình vẽ xét hệ lực gồm bốn lực) đa giác lực. Muốn vậy, từ một điểm bất kì ta vẽ nối tiếp những véc tơ song song cùng chiều và có trị số bằng các véc tơ biểu diễn các lực của hệ lực. Đường gãy khúc nhận được gọi là đa giác lực. Véc tơ \vec{OD} được gọi là véc tơ khép kín đa giác lực. *Vậy, véc tơ chính của hệ lực chính là véc tơ khép kín của đa giác lực.*



Hình 1.16

Trong trường hợp hệ lực phẳng, đa giác lực là đa giác phẳng, còn trong trường hợp hệ lực không gian, đa giác lực, nói chung là đa giác gھềnh.

+ *Phương pháp giải tích:*

Dựa vào công thức (*), véc tơ chính có thể được xác định qua các hình chiếu của nó theo các hình chiếu của các lực của hệ lực trên các trục toạ độ vuông góc Oxyz.

$$\vec{R}' \rightarrow \begin{cases} R'_x = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = \sum_{k=1}^n F_{kx} \\ R'_y = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = \sum_{k=1}^n F_{ky} \\ R'_z = F_{1z} + F_{2z} + \dots + F_{nz} = \sum_{k=1}^n F_{kz} \end{cases}$$

Từ đó mô đun và phương chiều của véc tơ chính được xác định theo công thức:

$$R' = \sqrt{R'^2_x + R'^2_y + R'^2_z}$$

$$\cos \alpha = R'_x/R'; \cos \beta = R'_y/R'; \cos \gamma = R'_z/R'$$

2.1.2. Mômen chính của hệ lực không gian đối với một tâm.

a. Định nghĩa.

Mômen chính của hệ lực không gian đối với tâm O, kí hiệu \vec{M}^0 là một vectơ bằng tổng hình học của các vectơ mô men của các lực thuộc hệ lực đối với tâm O.

$$\vec{M}^0 = \sum_{k=1}^n \vec{m}^0(\vec{F}_k) = \sum_{k=1}^n \vec{r}_k \wedge \vec{F}_k (**)$$

b. Phương pháp xác định.

+ Phương hình học:

Dựa vào công thức (**) ta thấy ngay rằng vectơ mômen chính của hệ lực đối với tâm O là vectơ khép kín của đa giác vectơ, có các cạnh là các vectơ song song cùng chiều và có trị số (Tương tự xác định véc tơ chính).

+ Phương giải tích:

Tương tự xác định véc tơ chính.

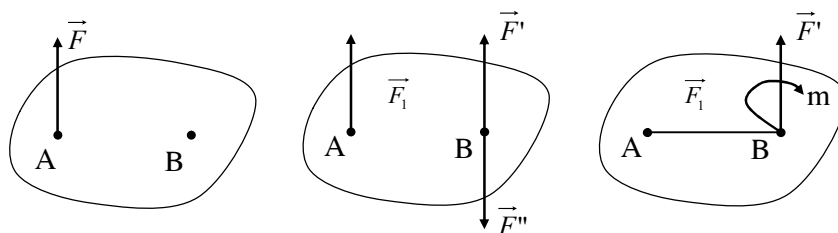
2.2. Định lý dời lực song song

2.2.1. Định lý dời lực song song.

* Khi dời song song một lực, để tác dụng cơ học không thay đổi ta phải thêm vào một ngẫu lực phụ có mômen bằng mômen của lực đã cho đối với điểm mới dời đến.

* Chứng minh:

Giả sử có lực \vec{F} đặt tại A cần phải dời song song lực đó đến điểm B.



Hình 1.17

Ta thêm vào B hai lực cân bằng nhau \vec{F}' và \vec{F}'' sao cho $F' = F'' = F$, và đường tác dụng của \vec{F} , \vec{F}'' song song với nhau. Khi đó (theo tiên đề 2) ta có:

$$\vec{F} \cong (\vec{F}, \vec{F}', \vec{F}'')$$

Nhưng \vec{F} và \vec{F}'' tạo thành một ngẫu lực nên ta có:

$\vec{F}' \cong \vec{F}$ và ngẫu lực (\vec{F}, \vec{F}'') và có cùng trị số với \vec{F} nên có thể coi \vec{F}' là \vec{F} được dời song song từ A đến B.

Ngẫu lực (\vec{F}, \vec{F}'') có mômen $\vec{m} = -F.AB$

Mặt khác: $\vec{m}_B(\vec{F}) = -F.AB$

$$\rightarrow \vec{m} = \vec{m}_B(\vec{F}).$$

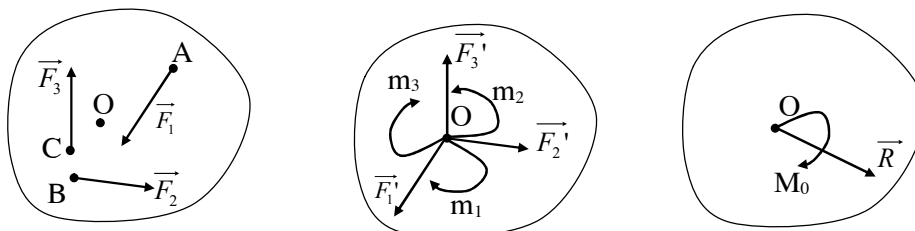
* Định lý đảo:

Một lực và một ngẫu lực cùng nằm trong một mặt phẳng tương đương với một lực song song cùng chiều, cùng trị số với lực đã cho và có mômen đối với điểm đặt của lực đã cho bằng mômen của ngẫu lực.

Từ định lý ta có vị trí của điểm đặt lực tương đương: $a = \frac{m}{F}$

2.2.2. Thu gọn hệ lực bất kỳ về một điểm cho trước.

Giả sử cần phải thu gọn hệ lực bất kỳ $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3)$ về tâm O.



Hình 1.18

Ta dời song song các lực về O:

$$\vec{F}_1 \cong \vec{F}_1' \text{ và ngẫu lực } \vec{m}_1 = \vec{m}_o(\vec{F}_1)$$

$$\vec{F}_2 \cong \vec{F}_2' \text{ và ngẫu lực } \vec{m}_2 = \vec{m}_o(\vec{F}_2)$$

$$\vec{F}_3 \cong \vec{F}_3' \text{ và ngẫu lực } \vec{m}_3 = \vec{m}_o(\vec{F}_3)$$

Như vậy hệ lực bất kỳ tương đương với một hệ lực đồng quy ở O và một hệ ngẫu lực.

Thu gọn hệ lực $\vec{F}_1', \vec{F}_2', \vec{F}_3'$ được \vec{R} :

$$\vec{F}_1' + \vec{F}_2' + \vec{F}_3' = \vec{R}$$

Thu gọn hệ ngẫu lực $\vec{m}_1, \vec{m}_2, \vec{m}_3$ được M_O :

$$\begin{aligned} \vec{M}_O &= \vec{m}_1 + \vec{m}_2 + \vec{m}_3 \\ &= \vec{m}_o(\vec{F}_1) + \vec{m}_o(\vec{F}_2) + \vec{m}_o(\vec{F}_3) = \sum \vec{m}_o(\vec{F}) \end{aligned}$$

\vec{R} được gọi là vectơ chính, M_O được gọi là mômen chính của hệ lực đã cho đối với điểm O.

Vậy một hệ lực bất kỳ tương đương với một vectơ chính và một mômen chính.

* Xác định vectơ chính:

$$\text{Trị số: } R' = \sqrt{(\sum X)^2 + (\sum Y)^2 + (\sum Z)^2}$$

$$\text{Hướng: } \cos \alpha = \frac{\sum X}{R'}, \cos \beta = \frac{\sum Y}{R'}, \cos \gamma = \frac{\sum Z}{R'}$$

* Xác định mômen chính:

$$\vec{M}_O = \sum \vec{m}_o(\vec{F})$$

Qua các công thức trên ta thấy khi thay đổi tâm thu gọn O thì \vec{R} vẫn như cũ, còn M_o sẽ thay đổi vì cánh tay đòn của các lực đã thay đổi.

→ Vectơ chính không phụ thuộc vào tâm thu gọn, còn mômen chính phụ thuộc vào tâm thu gọn.

2.2.3. Các trường hợp xảy ra khi thu gọn hệ lực.

Muốn tìm kết quả gọn nhất của hệ lực đầu tiên ta chọn một tâm O bất kỳ rồi thu hệ về tâm đó, sau đó căn cứ vào kết quả thu được để xác định dạng tối giản.

* Có 4 trường hợp sau:

- *Trường hợp 1:*

Thu về tâm bất kỳ có $R' \neq 0$ và $M_O \neq 0$. Nếu $\vec{R} \cdot \vec{M} = 0$: Hệ lực tương đương với một hợp lực cách tâm thu gọn một khoảng $a = \frac{M_O}{R'}$. Nếu $\vec{R} \cdot \vec{M} \neq 0$: Hệ lực thu về hệ lực xoắn.

- *Trường hợp 2:*

Thu về tâm bất kỳ có $R' \neq 0$ và $M_O = 0$. Đây là kết quả gọn nhất, trường hợp hệ tương đương với hợp lực, chỉ khác với trường hợp trên là hợp lực đặt ngay ở O.

- *Trường hợp 3:*

Thu về tâm O bất kỳ có $R' = 0$, $M_O \neq 0$, trường hợp này hệ lực tương đương với một ngẫu lực. Theo tính chất của ngẫu lực thì ở đây kết quả không phụ thuộc vào việc chọn tâm O.

- *Trường hợp 4:*

Thu về tâm O bất kỳ có $R' = 0$, $M_O = 0$, trường hợp này hệ cân bằng.

* Tóm lại:

Thu hệ lực phẳng bất kỳ về dạng tối giản được hoặc là hệ tương đương với một hợp lực, hoặc là hệ tương đương với một ngẫu lực, hoặc là hệ cân bằng.

3.3. Điều kiện cân bằng và phương trình cân bằng của hệ lực không gian

3.3.1. Hệ lực không gian bất kỳ.

Hệ lực không gian bất kỳ khi tác dụng lên vật rắn có thể làm vật di chuyển theo ba trục và quay quanh ba trục. Sáu chuyển động độc lập đó được gọi là sáu bậc tự do của vật rắn trong không gian. Vật rắn cân bằng khi các chuyển động đó không có hoặc đều, muốn vậy phải có sáu phương trình:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum X = 0 \\ \sum Y = 0 \\ \sum Z = 0 \\ m_x(\vec{F}) = 0 \\ m_y(\vec{F}) = 0 \\ m_z(\vec{F}) = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

* *Như vậy:*

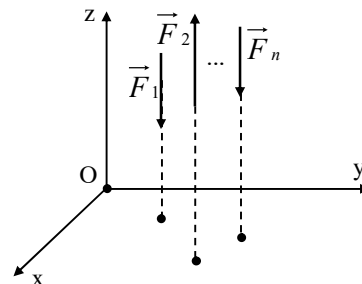
Điều kiện cân và đủ để hệ lực không gian bất kỳ cân bằng là tổng hình chiếu của các lực lên các trục và mômen của các lực đối với các trục đều phải bằng không.

3.3.2. Hệ lực không gian song song.

Hệ lực không gian song song là trường hợp đặc biệt của hệ lực không gian bất kỳ nên có thể suy ra điều kiện cân bằng cho hệ lực không gian song song từ hệ phương trình cân bằng (4.5) của hệ lực không gian bất kỳ.

Giả sử có hệ lực không gian song song $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n)$. Chọn hệ trục tọa độ Oz song song với các lực thì ta có:

$$\begin{cases} \sum X = 0 \\ \sum Y = 0 \\ \sum m_z(\vec{F}) = 0 \end{cases}$$



Hình 1.19

Do vậy từ điều kiện (1) ta có điều kiện cân bằng của hệ lực không gian song song như sau:

$$\begin{cases} \sum Z = 0 \\ m_x(\vec{F}) = 0 \\ m_y(\vec{F}) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

* Như vậy:

Điều kiện cân và đủ để hệ lực không gian song song cân bằng là tổng hình chiếu của các lực lên các trục song song với các lực và tổng mômen của các lực đối với các trục còn lại đều phải bằng không.

3.3.3. Hệ lực không gian đồng quy.

Giả sử có hệ lực không gian đồng quy $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n)$. Chọn hệ trục tọa độ có gốc trùng với điểm đồng quy của các lực, khi đó ta luôn có:

$$\begin{cases} m_x(\vec{F}) = 0 \\ m_y(\vec{F}) = 0 \\ m_z(\vec{F}) = 0 \end{cases}$$

Do đó ta có điều kiện cân bằng của hệ lực không gian đồng quy:

$$\begin{cases} \sum X = 0 \\ \sum Y = 0 \\ \sum Z = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Vậy điều kiện cân và đủ để hệ lực không gian đồng quy cân bằng là tổng hình chiếu của các lực lên các trục tọa độ đều phải bằng không.

3.3.4. Điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng bất kỳ.

1. Điều kiện cân bằng tổng quát.

* Định lý: Điều kiện cân và đủ để một hệ lực phẳng bất kỳ cân bằng là véctơ chính và mômen chính của hệ đối với một tâm bất kỳ đều phải bằng không.

$$\begin{cases} \vec{R}_o = 0 \\ \vec{M}_o = 0 \end{cases}$$

2. Các dạng phương trình cân bằng.

2.1. Dạng 1:

Điều kiện cần và đủ để hệ lực phẳng bất kỳ cân bằng là tổng hình chiếu của các lực lên hai trục tọa độ và tổng mômen của các lực đối với một điểm bất kỳ nằm trong mặt phẳng của các lực đều phải bằng không.

$$\begin{cases} \sum X = 0 \\ \sum Y = 0 \\ \sum \bar{m}_o(\vec{F}) = 0 \end{cases}$$

2.2. Dạng 2:

Điều kiện cần và đủ để hệ lực phẳng bất kỳ cân bằng là tổng mômen của các lực đối với hai điểm A, B bất kỳ trong mặt phẳng chứa các lực và tổng hình chiếu các lực lên trục Ox không vuông góc với phương AB đều phải bằng không.

$$\begin{cases} \sum \bar{m}_A(\vec{F}) = 0 \\ \sum \bar{m}_B(\vec{F}) = 0 \\ \sum X = 0 \quad (\text{x không vuông góc với AB}) \end{cases}$$

2.3. Dạng 3:

Điều kiện cần và đủ để hệ lực phẳng bất kỳ cân bằng là tổng mômen của các lực đối với ba điểm A, B, C không thẳng hàng đều phải bằng không.

$$\begin{cases} \sum \bar{m}_A(\vec{F}) = 0 \\ \sum \bar{m}_B(\vec{F}) = 0 \\ \sum \bar{m}_C(\vec{F}) = 0 \end{cases}$$

3.3.5. Điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng song song.

Hệ lực phẳng song song là trường hợp đặc biệt của hệ lực phẳng, vì vậy có thể suy ra điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng song song từ điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng bất kỳ.

Giả sử có hệ lực phẳng song song $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n)$. Ta chọn hệ tọa độ xOy có trục Ox vuông góc với đường tác dụng của các lực. Khi đó, hình chiếu của các lực lên trục Ox bằng không, nghĩa là $\sum X = 0$ không còn phải là phương trình cân bằng nữa. Do đó từ điều kiện cân bằng dạng 1 và dạng 2 của hệ lực phẳng bất kỳ ta suy ra được điều kiện cân bằng dạng 1 và dạng 2 của hệ lực phẳng song song.

Dạng 1:

$$\begin{cases} \sum Y = 0 \\ \sum \bar{m}_o(\vec{F}) = 0 \end{cases}$$

PB: Điều kiện cần và đủ để hệ lực phẳng song song cân bằng là hình chiếu của các lực lên trục song song và tổng mômen của các lực đối với các điểm bất kỳ trong mặt phẳng chứa các lực đều phải bằng không.

Dạng 2:

$$\begin{cases} \sum \bar{m}_A(\vec{F}) = 0 \\ \sum \bar{m}_B(\vec{F}) = 0 \quad (\text{AB không song song với phương của}$$

lực)

PB: Điều kiện cân và đủ để hệ lực phẳng song song cân bằng là tổng mômen của các lực đối với hai điểm không cùng nằm trên đường song song với đường tác dụng của các lực đều phải bằng không.

4. MA SÁT

4.1. Ma sát trượt

Mục tiêu:

+ Trình bày được sự hình thành của ma sát trượt và các định luật ma sát trượt;

+ Vận dụng các định luật ma sát trượt và điều kiện cân bằng để giải bài toán ma sát trượt.

4.1.1. Định nghĩa

* Ma sát trượt là hiện tượng xuất hiện lực gây cản trở chuyển động trượt hay xu hướng trượt của vật thể khảo sát trên bề mặt vật khác.

Ký hiệu: \vec{F}_{ms}

* Nguyên nhân sinh ra ma sát trượt: là do bề mặt tiếp xúc giữa các vật không tuyệt đối trơn nhẵn.

4.1.2. Định luật ma sát trượt

4.1.2.1. Thí nghiệm Culông

Xét một vật A có trọng lượng P đặt trên mặt phẳng nằm ngang không trơn nhẵn (Hình 5-1)

- Khi chưa tác dụng lực kéo Q vào vật A. Vật A cân bằng dưới tác dụng của hệ lực $(\vec{N}, \vec{P}) \sim 0$. Lúc này $F_{ms} = 0$.

- Khi tác dụng lực Q_1 rất nhỏ vào vật, vật đứng yên. Điều này chứng tỏ đã xuất hiện lực cản trở lực kéo Q_1 . Đó chính là lực ma sát (F_{ms1}). Lúc này vật A cân bằng dưới tác dụng của hệ lực $(\vec{P}, \vec{N}, \vec{Q}_1, \vec{F}_{ms1}) \sim 0$

Theo điều kiện cân bằng ta có

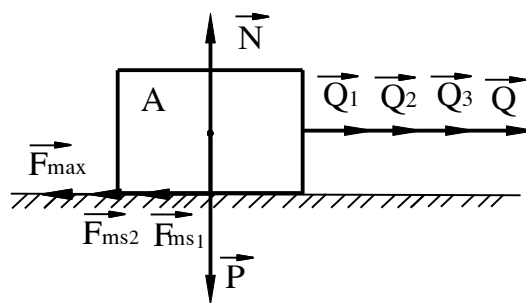
$$\begin{cases} P = N \\ F_{ms1} = Q_1 \end{cases} \Rightarrow F_{ms1} > 0, \text{ nhưng rất nhỏ, cùng độ lớn và ngược chiều với } Q_1$$

- Tiếp tục tăng lực kéo lên Q_2 ($Q_2 > Q_1$)

vật vẫn đứng yên. Điều này chứng tỏ lực ma sát cùng tăng lên và cân bằng với lực kéo Q_2 .

Vật A cân bằng dưới tác dụng của hệ lực $(\vec{P}, \vec{N}, \vec{Q}_2, \vec{F}_{ms2}) \sim 0$,

Theo điều kiện cân bằng ta có



Hình 5-1

$$\begin{cases} P = N \\ F_{ms2} = Q_2 \end{cases} \Rightarrow \text{mà } Q_2 > Q_1 \text{ nên } F_{ms2} > F_{ms1}$$

Ta thấy lực ma sát đã tăng cùng lực kéo Q

- Tiếp tục tăng lực kéo lên Q_3 ($Q_3 > Q_2$) ta thấy vật bắt đầu (chớm) trượt (*chưa chuyển động*).

Điều này chứng tỏ lực ma sát cũng tăng lên và cân bằng với lực kéo Q_3

Vật A cân bằng dưới tác dụng của hệ lực $(\vec{P}, \vec{N}, \vec{Q}_3, \vec{F}_{ms3}) \sim 0$,

Theo điều kiện cân bằng ta có

$$\begin{cases} P = N \\ F_{ms3} = Q_3 \end{cases} \Rightarrow \text{mà } Q_3 > Q_2 \text{ nên } F_{ms3} > F_{ms2}$$

- Tiếp tục tăng lực kéo lên thì vật chuyển động trượt. Điều này chứng tỏ lực ma sát đã không tăng được nữa

Vậy khi vật bắt đầu (chớm) trượt lực ma sát F_{ms3} đạt giá trị lớn nhất hay

$$F_{ms3} = F_{\max}$$

* *Kết luận:*

- Lực ma sát có giá trị giới hạn từ 0 đến lớn nhất

- Vật luôn ở trạng thái cân bằng khi $F_{ms} < F_{\max}$

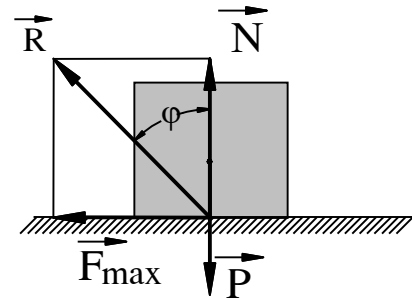
4.1.2.2. Các định luật ma sát trượt

+ **Định luật 1:** Lực ma sát trượt có phương tiếp tuyến với bề mặt tiếp xúc, ngược chiều với chiều chuyển động, hay xu hướng chuyển động của vật khảo sát và có giá trị giới hạn từ 0 đến lớn nhất

$$0 \leq F_{ms} \leq F_{\max}$$

+ **Định luật 2:** Lực ma sát trượt lớn nhất tỷ lệ với phản lực pháp tuyến.

$$F_{\max} = f \cdot N \quad (N, KN, \dots)$$



Hình 5-2

Trong đó:

+ N: Phản lực pháp tuyến (N, KN, ...)

+ f: Hệ số ma sát trượt. (f phụ thuộc vào vật liệu và tình trạng của hai mặt tiếp xúc và được tra trong sổ tay kỹ thuật)

+ $\varphi = \arctg f$ ($f = \tan \varphi$): góc ma sát

Gỗ trên gỗ	$f = 0,2$
Thép trên thép	$f = 0,57$

*Ví dụ:

Thép trên thép (Bôi trơn)

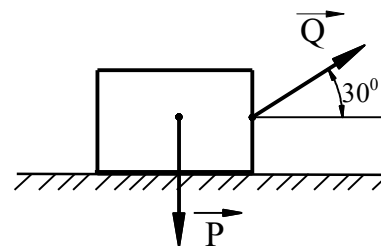
 $f = 0,06$ + **Định luật 3:** Lực ma sát tĩnh luôn luôn lớn hơn lực ma sát động.**4.1.3. Điều kiện cân bằng của vật chịu ma sát trượt**

- Điều kiện cần và đủ để vật cân bằng khi có ma sát trượt là:

$$F_{ms} \leq f \cdot N$$

- Điều kiện để vật bắt đầu trượt (chớm trượt) là: $F_{ms} = f \cdot N$

Ví dụ 1: Một vật có trọng lượng $P = 500N$ đặt trên mặt phẳng nằm ngang, có hệ số ma sát trượt $f = 0,3$. Người ta kéo vật với lực kéo Q . Tính Q để vật bắt đầu trượt? (Hình 5-3)



Hình 5-3

Bài làm

+ Điều kiện để vật bắt đầu trượt là:

$$F_{ms} = F_{max} = f \cdot N$$

Vật cân bằng dưới tác dụng của hệ lực

$$(\vec{P}, \vec{N}, \vec{Q}, \vec{F}_{max}) \sim 0$$

+ Chọn hệ trục tọa độ Oxy (hình 5-4)

+ Áp dụng điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng :

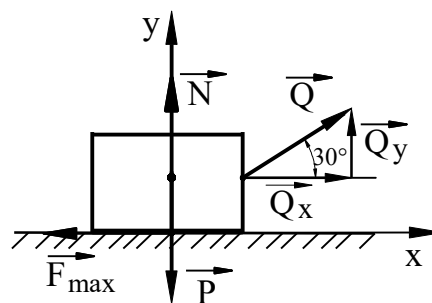
$$\begin{cases} \sum F_{kx} = 0 \\ \sum F_{ky} = 0 \end{cases}$$

+ Phân tích lực ta có $\vec{Q} = (Q_x, Q_y)$

$$Q_x = Q \cdot \cos 30^\circ = Q \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad Q_y = Q \cdot \sin 30^\circ = Q \cdot \frac{1}{2}$$

+ Từ hình vẽ ta có

$$\begin{cases} Q_x - F_{max} = 0 \\ Q_y - P + N = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot Q - f \cdot N = 0 \\ \frac{1}{2} \cdot Q + N - P = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} N = \frac{Q\sqrt{3}}{2 \cdot f} \\ Q = \frac{1}{\frac{\sqrt{3}}{2} + 0,3} = 0,5(KN) \end{cases}$$



Hình 5-4

* Kết luận : Với $Q = 0,5KN = 500N$ thì vật bắt đầu trượt

*Các bước giải bài toán ma sát trượt

Bước 1: Xác định phương, chiều của phản lực liên kết và lực ma sát trên hình vẽ

Bước 2: Nêu điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng

Bước 3: Phân tích lực

Bước 4: Từ hình vẽ viết hệ phương trình cân bằng \Rightarrow giải hệ phương trình \Rightarrow

Kết quả

4.2. Ma sát lăn

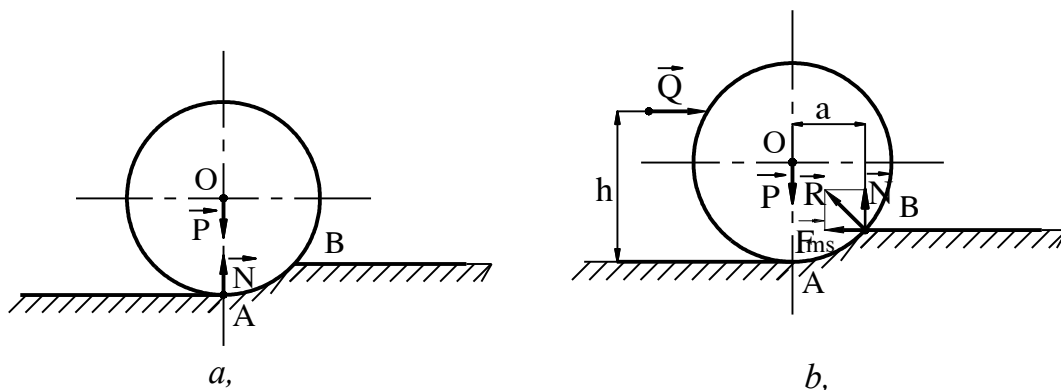
4.2.1. Định nghĩa

+ Định nghĩa: Ma sát lăn là hiện tượng xuất hiện những ngẫu lực có tác dụng cản trở chuyển động lăn hay xu hướng lăn của vật thể khảo sát trên bề mặt vật thể khác.

+ Nguyên nhân gây ra ma sát lăn: là do bề mặt tiếp xúc không rắn tuyệt đối.

4.2.2. Mô men ma sát lăn.

Xét một ống trụ có trọng lực P trên mặt phẳng nằm ngang không rắn tuyệt đối và không trơn nhẵn hoàn toàn (con lăn tiếp xúc với mặt phẳng ngang một cung là AB) (Hình 5-5a). Ống trụ chịu tác dụng của lực $Q \parallel Ox$ và cách mặt phẳng nằm ngang một khoảng là h . Tương tự thí nghiệm Culông:



Hình 5-5

- Khi chưa tác dụng lực Q con lăn ở trạng thái cân bằng dưới tác dụng của hệ lực $(\overset{P}{P}, \overset{N}{N}) \sim 0$, ma sát bằng 0

- Tăng dần lực Q thì ma sát lăn cũng tăng theo (Hình 5-5b). Tăng lực Q đến một giá trị xác định nào đó thì ống trụ bắt đầu lăn (chớm lăn). Lúc này trọng lực dồn gần như toàn bộ về điểm B, vật chịu tác dụng của hệ lực. $(\overset{Q}{Q}, \overset{P}{P}, \overset{R}{R}) \sim 0$. Do đó ta có thể phân tích $\overset{R}{R} \sim (\overset{N}{N}, \overset{F_{ms}}{F_{ms}})$. Ta có hệ lực $(\overset{P}{P}, \overset{N}{N}, \overset{Q}{Q}, \overset{F_{ms}}{F_{ms}}) \sim 0$.

Theo điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng

$$\begin{cases} N = P \\ Q = F_{ms} \end{cases}, \text{ Như hình vẽ có } \overset{P}{P} \parallel \overset{N}{N}, \overset{Q}{Q} \parallel \overset{F_{ms}}{F_{ms}}$$

Suy ra hai cặp lực (\vec{P}, \vec{N}) và (\vec{Q}, \vec{F}_{ms}) là các ngẫu lực.

- Ngẫu lực (\vec{Q}, \vec{F}_{ms}) có xu hướng làm cho ống trụ chuyển động lăn, có trị số mômen $M = Q.h$

- Ngẫu lực (\vec{P}, \vec{N}) có chiều quay ngược chiều với ngẫu lực (\vec{Q}, \vec{F}_{ms}) . Như vậy nó cản trở chuyển động lăn của ống trụ. Vì vậy ngẫu lực này gọi là ngẫu lực ma sát lăn. Có trị số mômen $m_l = a.N$

- Khi tiếp tục tăng lực Q lên thì ống trụ sẽ lăn nhanh. Điều này chứng tỏ ma sát đã không tăng được nữa

Vậy khi vật bắt đầu lăn lực F_{ms} và m_l đạt giá trị lớn nhất

$$\begin{cases} F_{ms} = F_{\max} \\ m_l = m_{\max} \end{cases}$$

Kết luận: Khi vật có chuyển động lăn hoặc có xu hướng lăn trên bề mặt vật khác thì trên bề mặt tiếp xúc sẽ xuất hiện ma sát lăn hay mômen ma sát lăn.

4.2.3. Các định luật ma sát lăn

Ma sát lăn: KH: m_l

- *Định luật 1:* Ngẫu lực ma sát lăn có chiều ngược với chiều lăn của vật, có trị số giới hạn từ 0 đến m_{\max} . $0 \leq m_l \leq m_{\max}$

- *Định luật 2:* Trị số của ngẫu lực ma sát lăn lớn nhất tỷ lệ với phản lực pháp tuyến

$$m_{\max} = k.N$$

Trong đó: + k : Hệ số ma sát lăn (có đơn vị là độ dài cm, m ...)

+ N : Phản lực pháp tuyến

+ m_{\max} : Ngẫu lực ma sát lăn lớn nhất

4.2.4. Điều kiện cân bằng của vật khi có ngẫu lực ma sát lăn

- Điều kiện cần và đủ để vật cân bằng khi có ma sát lăn là: $\begin{cases} F_{ms} \leq f.N \\ m_l \leq k.N \end{cases}$

- Điều kiện để vật bắt đầu lăn (chớm lăn) là: $\begin{cases} F_{ms} = f.N \\ m_l = k.N \end{cases}$

4.3. Bài toán cân bằng trên mặt phẳng nghiêng.

Ví dụ: Một bánh xe có trọng lực $P = 200\text{N}$, bán kính $R = 10\text{cm}$ đặt trên mặt phẳng nằm ngang. Bánh xe chịu tác dụng của lực Q và mô men M . Biết: Hệ số ma sát trượt $f = 0.3$, hệ số ma sát lăn bằng 2 cm . (Hình 5-6)

Tính lực Q và mô men M để bánh xe bắt đầu lăn ?

Bài làm

Điều kiện để bánh xe bắt đầu lăn

$$\begin{cases} F_{ms} = f \cdot N \\ m_l = k \cdot N \end{cases}$$

Hệ lực tác dụng lên bánh xe gồm $(\vec{P}, \vec{Q}, m_l, \vec{F}_{ms}) \sim 0$

Áp dụng điều kiện cân bằng của hệ lực phẳng

$$\begin{cases} \sum F_{kx} = 0 \\ \sum F_{ky} = 0 \\ \sum m_A(\vec{F}_k) = 0 \end{cases}$$

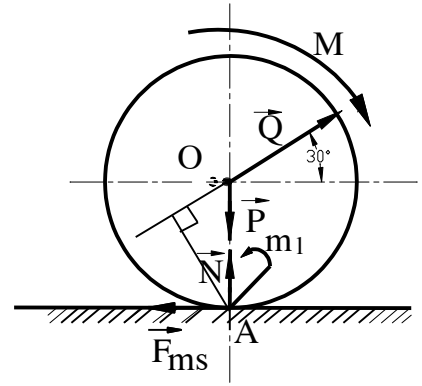
Phân tích lực $\vec{Q} \sim (\vec{Q}_x, \vec{Q}_y)$

$$Q_x = Q \cdot \cos 30^\circ = \frac{Q\sqrt{3}}{2}; \quad Q_y = Q \cdot \sin 30^\circ = \frac{Q}{2}$$

Từ hình vẽ ta có

$$\begin{cases} Q_x - F_{ms} = 0 \\ Q_y + N - P = 0 \\ m_l - M - Q \cdot R \cdot \cos 30^\circ = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} Q = 60\text{N} \\ N = 100\sqrt{3}\text{N} \\ m_l = 3\sqrt{3}\text{Nm} \end{cases}$$

* Kết luận: Với $\begin{cases} Q = 60\text{N} \\ N = 100\sqrt{3}\text{N} \\ m_l = 3\sqrt{3}\text{Nm} \end{cases}$ bánh xe bắt đầu lăn



Hình 5-6

CÂU HỎI ÔN TẬP

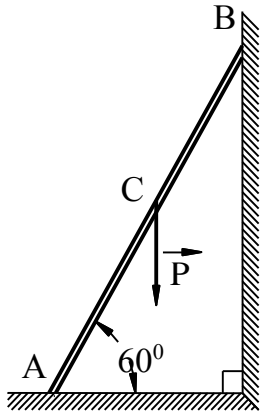
1. Phát biểu định nghĩa, các định luật ma sát trượt và điều kiện cân bằng của vật chịu ma sát trượt?
2. Phát biểu định nghĩa, các định luật ma sát lăn và điều kiện cân bằng của vật chịu ma sát lăn?

BÀI TẬP

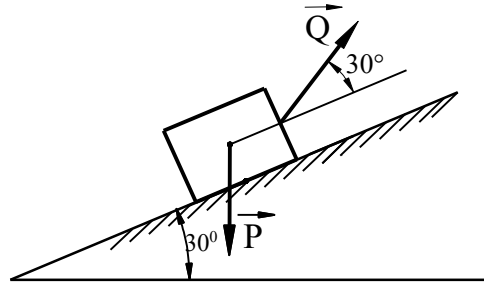
Bài 1: Thang AB = 6m, có P = 200N, đầu A tựa vào mặt đất có hệ số ma sát trượt $f = 0,3$. Đầu B tựa vào tường (bỏ qua ma sát). Một người có khối lượng 60kg leo lên thang. (Hình 5-7)

Hỏi người đó leo đến vị trí nào của thang thì thang bắt đầu trượt ?

Bài 2: Một vật có trọng lượng $P = 800\text{N}$ đặt trên mặt phẳng nghiêng một góc $\alpha = 30^\circ$, có hệ số ma sát trượt $f = 0,2$. Tính Q để vật bắt đầu trượt? (Hình 5-8)



Hình 5-7

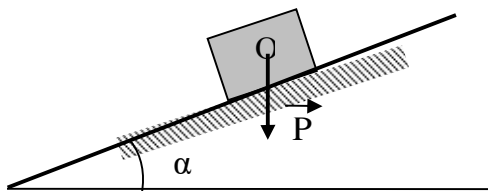


Hình 5-8

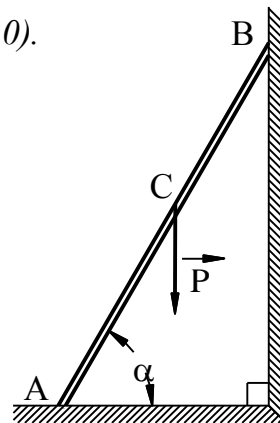
Bài 3: Một vật có trọng lượng $P = 400\text{N}$ đặt trên mặt phẳng nghiêng một góc α , có hệ số ma sát trượt $f = 0,3$ (Hình 5-9). Tính góc α để vật bắt đầu trượt?

Bài 4: Thang AB có chiều dài 4m, có trọng lượng $P = 300\text{ N}$. Một đầu A tựa vào mặt đất có hệ số ma sát trượt $f_1 = 0,3$, đầu B tựa vào tường (bỏ qua ma sát).

Tính góc α để thang bắt đầu trượt? (Hình 5-10).



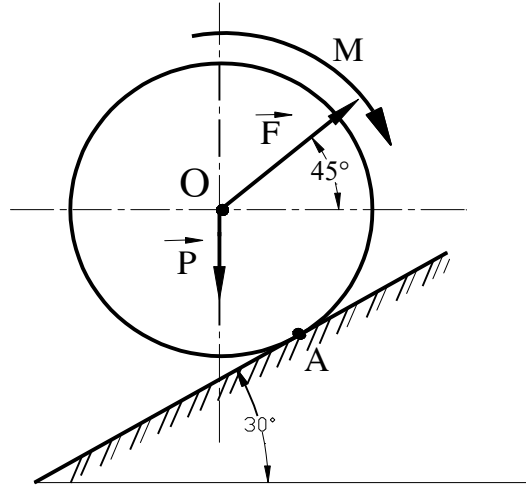
Hình 5-9



Hình 5-10

Bài 5: Một con lăn có trọng lực $P = 800\text{N}$, bán kính $R = 20\text{cm}$ chịu tác dụng của lực F và mô men M (Hình 5-11).

Tính lực F và mô men M để ống trụ bắt đầu lăn?



Hình 5-11

CHƯƠNG II: ĐỘNG HỌC

Mã chương: MHCG12-02

Giới thiệu

Động học có nhiệm vụ:

- Thiết lập phương trình chuyển động của chất điểm tại từng thời điểm.
- Tìm các đặc trưng động học của chất điểm: Vận tốc, gia tốc.

Động học điểm là khảo sát chuyển động của điểm đối với hệ quy chiếu đã chọn. Động học điểm là cơ sở nghiên cứu về chuyển động cơ bản của vật rắn và những chuyển động phức tạp của vật rắn. Bởi vì một vật rắn được tạo bởi vô số các chất điểm. Tập hợp vô số các chất điểm tạo thành vật rắn.

Mục tiêu:

- Trình bày được các vấn đề cơ bản về chuyển động của chất điểm và vật rắn: Khái niệm, phương pháp lập phương trình chuyển động, vẽ họa đồ và xác định vận tốc dài, vận tốc góc, gia tốc của chất điểm và vật rắn trong các chuyển động thẳng, quay và chuyển động song phẳng.

- Lập được phương trình chuyển động, vẽ được họa đồ và tính được vận tốc dài, vận tốc góc, gia tốc của chất điểm và vật rắn trong các chuyển động thẳng, quay và chuyển động song phẳng.

- Rèn luyện tính cẩn thận, tác phong làm việc khoa học của người làm kỹ thuật.

1. 1. Chuyển động của chất điểm.

Mục tiêu:

- Trình bày được các khái niệm cơ bản về động học điểm;
- Phân tích được các khái niệm về chuyển động của chất điểm

Trong chương động học điểm, chúng ta khảo sát chuyển động của một điểm đối với một hệ quy chiếu đã chọn. Chuyển động của điểm là sự thay đổi vị trí của nó so với một vật hoặc một điểm được chọn làm hệ quy chiếu. Tập hợp tất cả các vị trí của điểm trong không gian quy chiếu đã chọn được gọi là quỹ đạo chuyển động của điểm trong hệ quy chiếu đó. Tùy thuộc quỹ đạo của chất điểm là đường thẳng hay đường cong mà chuyển động của nó được gọi là chuyển động thẳng hay chuyển động cong.

+ Điểm: là một mô hình đơn giản nhất trong vật thể mà kích thước của nó rất nhỏ so với kích thước của vật thể.

+ Vật thể: Tập hợp hữu hạn hoặc vô hạn các điểm trong vật thể sẽ tạo thành một vật thể, trong đó chuyển động của một điểm bất kỳ luôn luôn phụ thuộc vào chuyển động của các chất điểm còn lại trong vật thể.

Có rất nhiều phương pháp khảo sát chuyển động của điểm, trong chương trình này chúng ta sử dụng hai phương pháp khảo sát chuyển động của điểm là:

- Phương pháp vectơ: Để mô tả rõ ràng về đặc trưng của chuyển động
- Phương pháp tọa độ đề các: Để tính toán thuận tiện

1.1. Khảo sát chuyển động của điểm bằng phương pháp vectơ

Mục tiêu:

- Trình bày được các khái niệm về phương trình chuyển động, phương trình quỹ đạo, vận tốc, gia tốc;
- Xác định được quỹ đạo, phương trình chuyển động, vận tốc, gia tốc của một chuyển động cụ thể.

1.1.1. Phương trình chuyển động chất điểm

Xét điểm M chuyển động theo quỹ đạo (C) đối với hệ quy chiếu (A)

- Vị trí của điểm M được xác định bởi vectơ định vị $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$. O là điểm bất kỳ thuộc (A)
- Khi chất điểm M chuyển động thì vectơ định vị \vec{r} thay đổi theo thời gian

$$\text{Ta có } \dot{\vec{r}} = \dot{\vec{r}}_{(t)} \quad (8-1)$$

⇒ Phương trình (8-1) là phương trình chuyển động của điểm M dạng vectơ

1.1.2. Vận tốc chuyển động của chất điểm

- Tại thời điểm t chất điểm ở vị trí M, được xác định bởi vectơ định vị \vec{r}
- Tại thời điểm lân cận $t' = t + \Delta t$ chất điểm ở vị trí M₁, được xác định bởi vectơ định vị \vec{r}_1
- Trong khoảng thời gian $t' - t = \Delta t$ chất điểm M dịch

chuyển một khoảng là $\overrightarrow{MM_1} = \Delta \vec{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}$

Vậy vận tốc trung bình của điểm M là

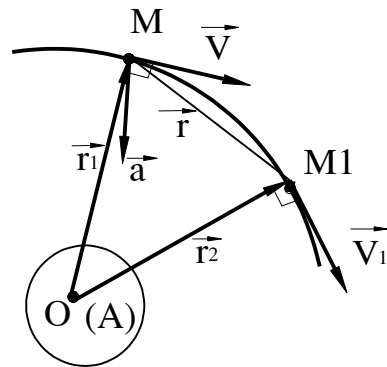
$$\vec{v}_{tb} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

⇒ Vận tốc của điểm M tại thời điểm t

$$\vec{v} = \lim_{M_1 \rightarrow M} \vec{v}_{tb} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}$$

**Kết luận*: Vận tốc của chất điểm luôn có phương tiếp tuyến với quỹ đạo chuyển động, có chiều theo chiều chuyển động, có độ lớn bằng đạo hàm bậc nhất của vectơ định vị theo thời gian

Đơn vị : m/s , km/h....



Hình 8-1

1.1.3. Gia tốc chuyển động của chất điểm

- Tại thời điểm t chất điểm ở vị trí M có vận tốc là \vec{v}

- Tại thời điểm lân cận $t' = t + \Delta t$ chất điểm ở vị trí M_1 có vận tốc \vec{v}'

Trong khoảng thời $t' - t = \Delta t$ vận tốc của chất điểm M biến đổi một khoảng là

$$\Delta \vec{v} = \vec{v}' - \vec{v}$$

Ta có : Gia tốc trung bình của chất điểm

$$\vec{a}_{tb} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

\Rightarrow Gia tốc của điểm M tại thời điểm t

$$\vec{a} = \lim_{M \rightarrow M_1} \vec{a}_{tb} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{v}' - \vec{v}$$

**Kết luận*: Vectơ gia tốc của điểm luôn hướng tâm của quỹ đạo, có độ lớn bằng đạo hàm bậc nhất của vectơ vận tốc hoặc đạo hàm bậc hai của vectơ định vị theo thời gian .

Đơn vị : m/s^2 ,

1.2. Khảo sát chuyển động của điểm bằng phương pháp tọa độ đề các

Mục tiêu:

- Trình bày được các khái niệm về phương trình chuyển động, phương trình quỹ đạo, vận tốc, gia tốc;

- Xác định được quỹ đạo, phương trình chuyển động, vận tốc, gia tốc của một chuyển động cụ thể.

1.2.1. Phương trình chuyển động của điểm

Xét điểm M chuyển động theo quỹ đạo (C). Vị trí của điểm M được xác định theo hệ trục tọa độ $oxyz$, M có tọa độ (x,y,z)

Khi điểm M chuyển động thì tọa độ x, y, z sẽ biến đổi theo thời gian

$$x = x(t)$$

Ta có phương trình :

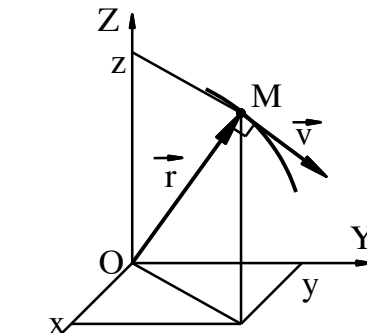
$$y = y(t) \quad (8-2)$$

$$z = z(t)$$

Phương trình (8-2) là phương trình chuyển động của điểm dạng tọa độ đề các

1.2.2. Vận tốc của điểm

Gọi $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ là các vectơ đơn vị của các trục tọa độ ox, oy, oz



Hình 8-2

Ta có : $\vec{r} = x.\vec{i} + y.\vec{j} + z.\vec{k}$

- Theo phương pháp vectơ có

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \Rightarrow \vec{v} = \frac{dx}{dt}.\vec{i} + \frac{dy}{dt}.\vec{j} + \frac{dz}{dt}.\vec{k} \quad (8-3)$$

- Gọi hình chiếu của vectơ \vec{v} lên các trục tọa độ ox, oy, oz

là v_x, v_y, v_z

$$\text{ta có } \vec{v} = v_x.\vec{i} + v_y.\vec{j} + v_z.\vec{k} \quad (8-4)$$

So sánh (3) và (4) ta có

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x}, \quad v_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} = \dot{z}$$

Kết luận : Hình chiếu của vectơ vận tốc bằng đạo hàm bậc nhất theo thời gian của tọa độ của điểm

*Vectơ vận tốc \vec{v} có :

$$+ \text{Độ lớn } v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$$

$$+ \text{Phương } \cos(\alpha, \vec{v}) = \frac{v_x}{v}, \quad \cos(\beta, \vec{v}) = \frac{v_y}{v}, \quad \cos(\gamma, \vec{v}) = \frac{v_z}{v}$$

1.2.3. Gia tốc của chất điểm

- Theo phương pháp vectơ có

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

Ta có :

$$\vec{a} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \Rightarrow \vec{a} = \frac{d^2x}{dt^2}.\vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2}.\vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2}.\vec{k} \quad (8-5)$$

- Gọi hình chiếu của vectơ \vec{a} lên các trục tọa độ ox, oy, oz

là a_x, a_y, a_z

$$\text{ta có } \vec{a} = a_x.\vec{i} + a_y.\vec{j} + a_z.\vec{k} \quad (8-6)$$

So sánh (5) và (6) ta có

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt} = \dot{v}_x = \ddot{x}, \quad a_y = \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{dv_y}{dt} = \dot{v}_y = \ddot{y}, \quad (8-7)$$

$$a_z = \frac{d^2z}{dt^2} = \frac{dv_z}{dt} = \dot{v}_z = \ddot{z}$$

Kết luận: Hình chiếu của véctor gia tốc bằng đạo hàm bậc hai theo thời gian của tọa độ của điểm

*Véctor gia tốc \vec{a} có :

$$+ \text{Độ lớn} \quad a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = \sqrt{\cancel{a_x^2} + \cancel{a_y^2} + \cancel{a_z^2}} \quad (8-8)$$

$$+ \text{Phương} \quad \cos(\text{ox}, \vec{a}) = \frac{a_x}{a} ; \cos(\text{oy}, \vec{a}) = \frac{a_y}{a} ; \cos(\text{oz}, \vec{a}) = \frac{a_z}{a}$$

***Chú ý: Các chuyển động thường gặp của chất điểm**

- Chuyển động thẳng

Phương trình chuyển động $x = x(t)$

$$\begin{aligned} v &= \dot{x} \\ a &= \dot{v} = \ddot{x} \end{aligned} \quad (8-9)$$

+ Chuyển động thẳng đều

$$\begin{aligned} v &= \text{const} \\ a &= 0 \\ x &= v_0(t - t_0) + x_0 \end{aligned} \quad (8-10)$$

v_0, t_0, x_0 : là thời điểm, vị trí, vận tốc ban đầu của chất điểm

+ Chuyển động thẳng biến đổi đều

$$\begin{aligned} a &= \text{const} \\ v &= \pm a_0(t - t_0 + v_0) \\ x &= \pm \frac{1}{2} a_0(t - t_0)^2 + v_0(t - t_0) + x_0 \end{aligned} \quad (8-11)$$

Dấu (+): chuyển động nhanh dần

(-) : chuyển động chậm dần

- Chuyển động tròn

Xét điểm M chuyển động theo quỹ đạo tròn tâm O bán kính OM=R

+ Phương trình chuyển động

$$s = \bar{s}(t) = R \cdot \bar{\varphi}(t)$$

+ Vận tốc của chất điểm

$$v = R \cdot \dot{\bar{\varphi}} = \frac{ds}{dt}$$

+ Gia tốc của chất điểm: $\vec{a} = \vec{a}^n + \vec{a}^t$

Gia tốc pháp tuyến có

- Phương : Hướng về tâm

- Độ lớn : $a_n = \frac{v^2}{R}$

Gia tốc tiếp tuyến có

- Phương : Tiếp tuyến với quỹ đạo chuyển động

- Độ lớn : $a_t = \frac{d^2s}{dt} = \frac{dv}{dt}$

Độ lớn gia tốc của chất điểm $a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$ (8-12)

+ Chuyển động tròn đều

$$v = v_0 = \text{const}$$

$$a_t = 0, a_n = \frac{v^2}{R}, a = a_n \quad (8-13)$$

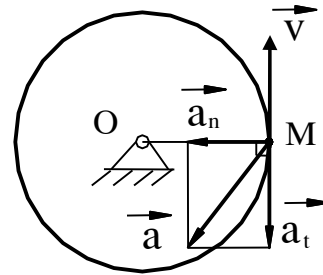
$$s = v_0 \cdot (t - t_0) + s_0$$

+ Chuyển động tròn biến đổi đều (Hình 8-3)

$$a_t = a_0 = \text{const}$$

$$v = \pm a_0 \cdot (t - t_0) + v_0 \quad (8-14)$$

$$s = \pm a_0 (t - t_0)^2 + v_0 \cdot (t - t_0) + s_0$$



Hình 8-3

Ví dụ 1: Một chất điểm chuyển động theo quy luật sau:

$$x = 4.t - 2.t^2$$

$$y = 3.t - t^2$$

x, y: tính bằng mét ; t: tính bằng giây (s)

Xác định quỹ đạo vận tốc, gia tốc của chất điểm tại thời điểm ban đầu ?

Bài làm

- Tại thời điểm ban đầu tức là có $t = 0$ (s)

- Theo phương pháp tọa độ đề các ta có

+ Vận tốc của chất điểm tại thời điểm ban đầu

$$v_x = \dot{x} = 4 - 4.t$$

$$v_y = \dot{y} = 3 - 2.t$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ m/s}$$

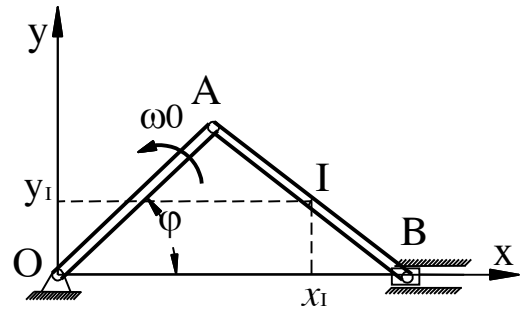
+ Gia tốc của chất điểm tại thời điểm ban đầu

$$a_x = \ddot{x} = -4$$

$$a_y = \ddot{y} = -2$$

$$\Rightarrow a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{(-4)^2 + (-2)^2} = 4,47 \text{ m/s}^2$$

Ví dụ 2: Cơ cấu tay quay con trượt OAB (Hình 8-4), có $OA = AB = l$. Tay quay OA quay đều quanh trục O theo luật $\varphi = \omega_0 t$; $\omega_0 = \text{const}$. Viết phương trình chuyển động cho trung điểm I của thanh AB, tính vận tốc, gia tốc của điểm I?



Hình 8-4

Bài làm

- Chọn hệ trục như hình vẽ.
 - Trung điểm I của thanh truyền AB có tọa độ (x_I, y_I) :
 - Xác định tọa độ trung điểm I (x_I, y_I) dựa vào các tam giác vuông trên hình vẽ
- Từ hình vẽ ta có

$$x = l \cdot \cos \omega_0 t + \frac{1}{2} l \cos \omega_0 t \Rightarrow x = \frac{3}{2} l \cdot \cos \omega_0 t$$

$$y = \frac{1}{2} l \cdot \sin \omega_0 t$$

Phương trình chuyển động của điểm I là

$$x = \frac{3}{2} l \cdot \cos \omega_0 t ; \quad y = \frac{1}{2} l \cdot \sin \omega_0 t$$

Vận tốc của điểm I

$$v_x = -\frac{3}{2} l \cdot \omega_0 \cdot \sin \omega_0 t$$

$$v_y = \frac{1}{2} l \cdot \omega_0 \cdot \cos \omega_0 t$$

$$v_I = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

Gia tốc của điểm I

$$a_x = -\frac{3}{2} l \cdot \omega_0^2 \cdot \cos \omega_0 t$$

$$a_y = -\frac{1}{2} l \cdot \omega_0^2 \cdot \sin \omega_0 t$$

$$a_I = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

2. Chuyển động của vật rắn.

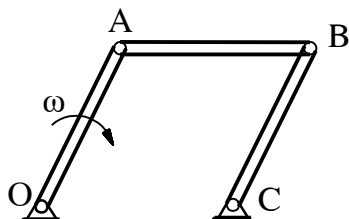
2.1. Hai chuyển động cơ bản của vật rắn.

2.1.1. Chuyển động tịnh tiến

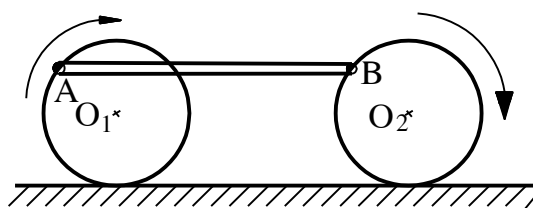
2.1.1.1. Định nghĩa :

Chuyển động tịnh tiến của vật rắn là chuyển chuyển động mà mỗi đoạn thẳng bất kỳ thuộc vật luôn song song với vị trí ban đầu của nó

Ví dụ : Chuyển động của ngăn kéo bàn, thùng xe ô tô trên đường thẳng, thanh truyền AB (Hình 9-1), tay biên tàu hỏa (Hình 9-2)



Hình 9-1



Hình 9-2

2.1.1.2. Định lý :

Khi vật rắn chuyển động tịnh tiến thì quỹ đạo vận tốc, gia tốc của các điểm thuộc vật là như nhau

Giả sử xét các điểm A, B, C cùng thuộc vật rắn

$$\begin{aligned} \text{Ta có : } \quad \underline{v}_A &= \underline{v}_B = \underline{v}_C = \dots \\ \underline{a}_A &= \underline{a}_B = \underline{a}_C = \dots \end{aligned} \quad (9-1)$$

2.1.2. Chuyển động quay của vật rắn quanh 1 trục cố định

2.1.2.1 Khảo sát chuyển động quay của vật rắn quanh 1 trục cố định

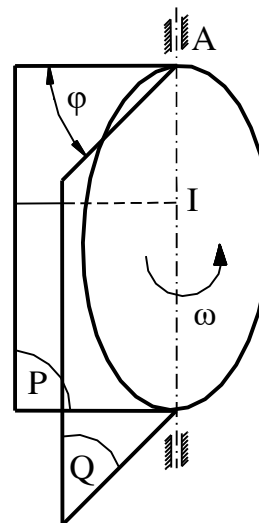
a. Định nghĩa

Chuyển động quay của vật rắn quanh 1 trục cố định là chuyển động mà trong đó có hai điểm bất kỳ thuộc vật luôn luôn cố định. Đường thẳng nối hai điểm cố định gọi là trục quay

b. Phương trình chuyển động

Gắn vào trục quay AB một mặt phẳng cố định (P) dùng làm mặt phẳng quy chiếu, gắn vào vật mặt phẳng di động (Q) quay cùng với vật quanh trục quay. Hai mặt phẳng (P), (Q) tạo với nhau một góc φ . Khi vật chuyển động quay quanh trục AB thì góc φ sẽ thay đổi theo thời gian. Ta có

$$\varphi = \varphi(t) \quad (9-2)$$



Hình 9-3

Phương trình (1) là phương trình chuyển động của vật quay quanh một trục cố định

c. **Vận tốc góc** : $\bar{\omega}$ (rad/s)

$$\bar{\omega} = \frac{d\bar{\varphi}}{dt} = \dot{\bar{\varphi}} \quad (9-3)$$

Vận tốc góc của vật rắn quay quanh một trục cố định bằng đạo hàm bậc nhất của góc quay theo thời gian

*Vận tốc góc còn được tính theo công thức :

$$\omega = \frac{\pi.n}{30} \quad (9-4)$$

n: tốc độ vòng quay của trục trong một phút (vòng /phút)

d. **Gia tốc góc**: $\bar{\varepsilon}$ (rad/s²)

$$\bar{\varepsilon} = \frac{d\bar{\omega}}{dt} = \frac{d^2\bar{\varphi}}{dt^2} = \dot{\bar{\omega}} = \ddot{\bar{\varphi}} \quad (9-5)$$

Gia tốc góc của vật rắn quay quanh một trục cố định bằng đạo hàm bậc nhất của vận tốc góc hay đạo hàm bậc hai của góc quay theo thời gian

2.1.2.2. Các chuyển động thường gặp

a. **Vật quay đều**

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_0 = const, \varepsilon = 0 \\ \varphi &= \omega_0(t - t_0) + \varphi_0 \end{aligned} \quad (9-6)$$

b. **Vật quay biến đổi đổi đều**

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \pm \varepsilon_0 = const, (\varepsilon = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1}) \\ \omega &= \pm \varepsilon_0 \cdot (t - t_0) + \omega_0 \\ \varphi &= \pm \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 \cdot (t - t_0)^2 + \omega_0 \cdot (t - t_0) + \varphi_0 \end{aligned} \quad (9-7)$$

...

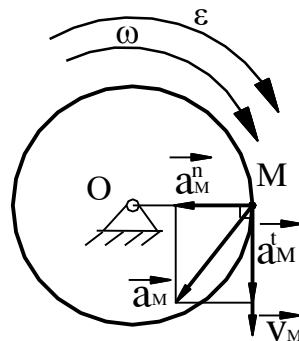
2.1.2.3. Chuyển động của điểm thuộc vật có chuyển động quay quanh một trục cố định

Xét điểm M có bán kính OM = R thuộc vật rắn có chuyển động quay quanh một trục cố định (Hình 9-4)

2.1.2.3..1. **Phương trình chuyển động của điểm**

$$\bar{s} = R \cdot \bar{\varphi}_{(t)} \quad (9-8)$$

2.1.2.3..2. **Vận tốc của điểm**



Hình 9-4

$$\vec{v}_M = \frac{ds}{dt} = R \cdot \omega \quad (9-9)$$

* Véc tơ vận tốc \vec{v}_M

- có: $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Phương: Vuông góc với bán kính quay} \\ - \text{Chiều: theo chiều quay } \omega \\ - \text{Độ lớn: } v_M = R \cdot \omega \end{array} \right.$

2.1.2.3.3. Gia tốc của điểm: \vec{a}_M

$$\vec{a}_M = \vec{a}_t + \vec{a}_n \quad (9-10)$$

- * Gia tốc tiếp: \vec{a}_t có $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Phương: Vuông góc với bán kính quay} \\ - \text{Chiều: theo chiều quay } \varepsilon \\ - \text{Độ lớn: } a_t = R \cdot \varepsilon \end{array} \right.$

- * Gia tốc pháp: \vec{a}_n có $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Phương: Dọc theo bán kính quay} \\ - \text{Chiều: Hướng về tâm} \\ - \text{Độ lớn: } a_n = R \cdot \omega^2 \end{array} \right.$

* Độ lớn của gia tốc của điểm : $a_M = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} \quad (9-11)$

Ví dụ 1: Một trục máy đang quay với vận tốc $n = 600$ vòng/phút thì tắt máy và sau 20 giây thì dừng hẳn. Tính gia tốc góc, và số vòng quay của trục trong 20s đó

Bài làm

Sau khi tắt máy, trục quay chậm dần đều

$$\omega = -\varepsilon_0 \cdot (t - t_0) + \omega_0$$

Ta có : $\varphi = -\frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 \cdot (t - t_0)^2 + \omega_0 \cdot (t - t_0) + \varphi_0 \quad (9-12)$

Trong đó :

Khi $t_0 = 0s$ thì $\omega_0 = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 600}{30} = 20 \cdot \pi (rad/s)$, $\varphi_0 = 0$

Khi $t = 20s$ thì $\omega = 0$

Thay vào (9-12) Ta Có

$$0 = -\varepsilon \cdot 20 + 20 \cdot \pi \Rightarrow \varepsilon = \pi (rad/s^2)$$

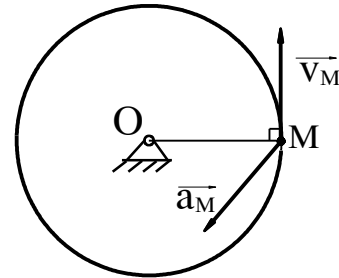
$$\varphi = -\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 20^2 + 20 \cdot \pi \cdot 20 = 200 \cdot \pi (rad)$$

Số vòng quay của trục trong 20s là

$$N = \frac{\varphi}{2.\pi} = \frac{200.\pi}{2.\pi} = 100(\text{vòng})$$

Ví dụ 2:

Một vật quay quanh trục cố định O (Hình 9-5). Tại thời điểm khảo sát điểm M cách trục quay một khoảng $R = 0,5\text{m}$; có vận tốc $v = 2\text{m/s}$; $a = 10\text{ m/s}^2$. Tính vận tốc góc và gia tốc góc của vật?



Hình 9-5

Bài làm

*Vận tốc góc của vật là ω

$$\text{Ta có } v = \omega.R \Rightarrow \omega = \frac{v}{R} = \frac{2}{0,5} = 4(\text{rad/s})$$

*Gia tốc góc của vật là ε

- Gia tốc tiếp của điểm M là

$$a_t = \varepsilon.R \Rightarrow \varepsilon = \frac{a_t}{R}$$

- Gia tốc pháp của điểm M là

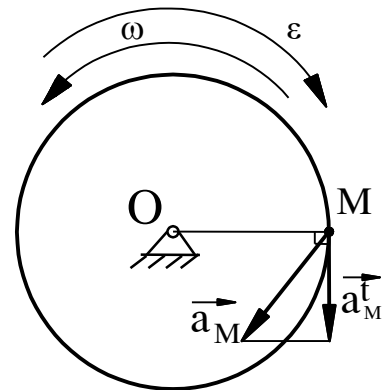
$$a_n = \omega^2.R \Rightarrow a_n = 4^2.0,5 = 8(\text{m/s}^2)$$

\Rightarrow Gia tốc của điểm M là

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} \Rightarrow a_t = \sqrt{a^2 - a_n^2} = \sqrt{10^2 - 8^2} = 6(\text{m/s}^2) \quad \text{Hình 9-6}$$

Vậy gia tốc góc của vật là: $\varepsilon = \frac{6}{0,5} = 12(\text{rad/s}^2)$

* Hình vẽ (Hình 9-6)



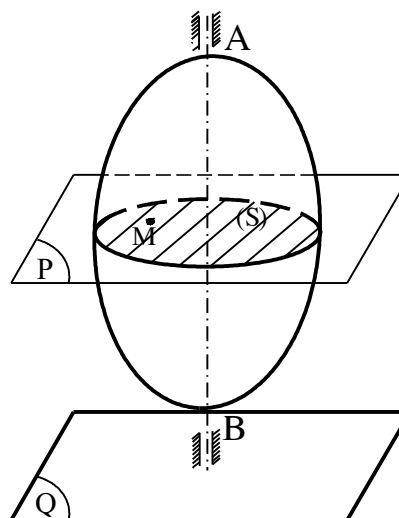
2.2. CHUYỂN ĐỘNG SONG PHẪNG CỦA VẬT RẮN

2.2.1. Định nghĩa và phương pháp nghiên cứu vật chuyển động song phẳng

2.2.1.1. Định nghĩa :

Chuyển động song phẳng của vật rắn là chuyển động trong đó mỗi điểm thuộc vật luôn di chuyển trong một mặt phẳng song song với mặt phẳng quy chiếu cho trước

Ví dụ: Điểm M và mặt phẳng (S) cùng thuộc vật rắn có chuyển động song phẳng. Điểm M luôn luôn chuyển động trong mặt phẳng (S), mặt phẳng (S) thuộc mặt phẳng (P), mặt phẳng (P) luôn song song với mặt phẳng (Q); (Q) là mặt phẳng quy chiếu cho trước (Hình 10-1)



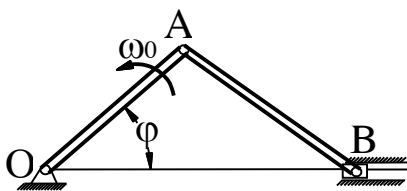
Hình 10-1

2.2.1.2. Phương pháp nghiên cứu vật chuyển động song phẳng

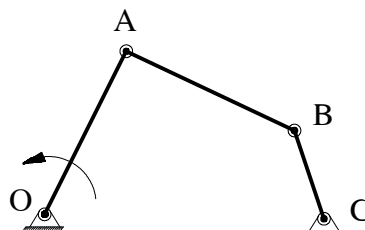
Chuyển động song phẳng của vật rắn là một chuyển động phức hợp hay gặp trong kỹ thuật. Khi nghiên cứu chuyển động phức hợp của vật rắn ta thường phân tích chuyển động phức hợp ra các chuyển động cơ bản đã biết phương pháp tính. Phương pháp nghiên cứu vật chuyển động song phẳng tương đối tổng quát: Đầu tiên khảo sát chuyển động của toàn vật sau đó khảo sát chuyển động của các điểm thuộc vật rắn chuyển động song phẳng.

2.2.1.3. Mô hình

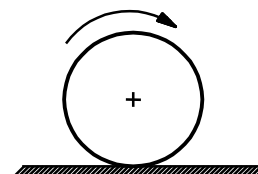
- Thanh truyền AB trong cơ cấu tay quay con trượt (Hình 10-2);
- Cơ cấu bốn khâu (Hình 10-3)
- Bánh xe lăn không trượt trên đường thẳng (Hình 10-4).....



Hình 10-2



Hình 10-3



Hình 10-4

2.2.2. Khảo sát chuyển động song phẳng bằng phương pháp tịnh tiến và quay

2.2.2.1. Phân tích chuyển động của hình phẳng (S) thành chuyển động tịnh tiến và quay

Xét hình phẳng (S) chuyển động trong mặt phẳng (P).

- Trong mặt phẳng (P) chọn hệ trục tọa độ cố định $x_1O_1y_1$.
- Lấy một điểm O thuộc hình phẳng (S) gắn vào đó hệ trục động xOy sao cho

$$Ox // O_1x_1$$

$$Oy // O_1y_1$$

Vậy hệ trục xOy có chuyển động tịnh tiến đối với hệ trục $x_1O_1y_1$

- Đối với hệ trục xOy tấm phẳng có chuyển động quay quanh trục O và góc định vị là góc φ

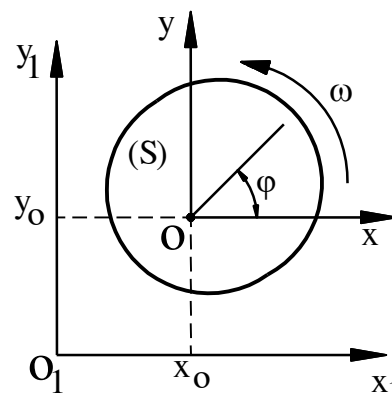
+ Khi hình phẳng chuyển động thì các thông số x_0, y_0, φ sẽ thay đổi theo thời gian

Ta có

Phương trình chuyển động của hình phẳng

$$\begin{aligned} x_0 &= x_0(t) \\ y_0 &= y_0(t) \quad ; \quad \varphi = \varphi(t) \end{aligned} \quad (10-1)$$

Qua phân tích trên ta thấy, chuyển động của hình phẳng (S) được phân tích thành chuyển động tịnh tiến cùng với hệ trục Oxy và quay quanh trục qua O



Hình 10-5

2.2.2.2. Các yếu tố động học của chuyển động của hình phẳng

- Hệ trục Oxy có chuyển động tịnh tiến đối với hệ trục $O_1x_1y_1$. Trong chuyển động tịnh tiến này ta chỉ cần khảo sát chuyển động của một điểm O thuộc hệ trục Oxy nên có các thông số động học là vận tốc \vec{v}_O và gia tốc \vec{a}_O của điểm O

- Tấm phẳng có chuyển động quay quanh trục O và được xác định bởi góc định vị là góc φ nên có các thông số động học là vận tốc góc ω , gia tốc góc ε

Vậy có 4 yếu tố động học của chuyển động của hình phẳng là: $\vec{v}_O, \vec{a}_O, \omega, \varepsilon$

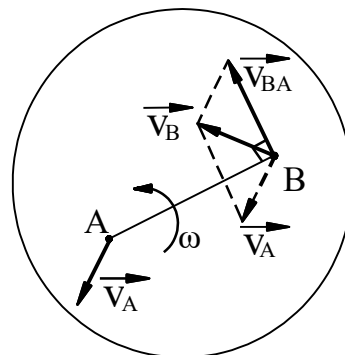
2.2.2.3. Khảo sát chuyển động của các điểm thuộc hình phẳng

2.2.2.3.1. Quan hệ vận tốc giữa hai điểm

Định lý 1: Vận tốc của điểm B bằng tổng hình học vận tốc của điểm A và vận tốc của điểm B khi hình phẳng quay quanh cực A. (Hình 10-6)

$$\text{Biểu thức: } \vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA} \quad (10-2)$$

Trong đó \vec{v}_{BA} : là vận tốc của điểm B



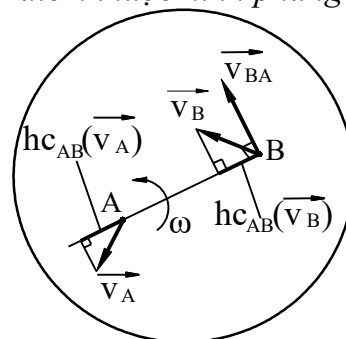
Hình 10-6

khi hình phẳng quay quanh cực A

Vận tốc \vec{v}_{BA} có: $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Phương: Vuông góc với BA} \\ - \text{Chiều: theo chiều quay } \omega \\ - \text{Độ lớn: } v_{BA} = \omega.BA \end{array} \right.$

Định lý 2: Hình chiếu của các véc tơ vận tốc của hai điểm thuộc hình phẳng lên đường thẳng nối hai điểm đó bằng nhau (hình 10-7)

$$hc_{AB}(\vec{v}_B) = hc_{AB}(\vec{v}_A) \quad (10-3)$$



Hình 10-7

2.2.3.2. Liên hệ gia tốc giữa 2 điểm

Định lý 3: Gia tốc của điểm B bằng tổng hình học gia tốc của điểm A và gia tốc của điểm B khi hình phẳng quay quanh cực A. (Hình 10-8)

$$\text{Biểu thức } \vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA} \quad (10-4)$$

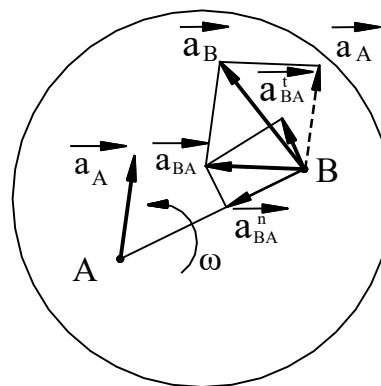
$$\text{Trong đó: } \vec{a}_{BA} = \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^t \quad (10-5)$$

- Gia tốc tiếp tuyến \vec{a}_{BA}^t có

\vec{a}_{BA}^t có $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Phương: Vuông góc với BA} \\ - \text{Chiều: theo chiều của } \varepsilon \\ - \text{Độ lớn: } a_{BA}^t = \varepsilon.BA \end{array} \right.$

- Gia tốc pháp tuyến \vec{a}_{BA}^n có

\vec{a}_{BA}^n có $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Phương: Dọc theo BA} \\ - \text{Chiều: Hướng về cực A} \\ - \text{Độ lớn: } a_{BA}^n = \omega^2.BA \end{array} \right.$



Hình 10-8

3. TỔNG HỢP CHUYỂN ĐỘNG

3.1. CHUYỂN ĐỘNG TỔNG HỢP CỦA ĐIỂM

1. Khái niệm và định nghĩa các chuyển động trong chuyển động tổng hợp

Mục tiêu:

+ Trình bày được phương pháp chọn hệ quy chiếu động và hệ quy chiếu cố định;

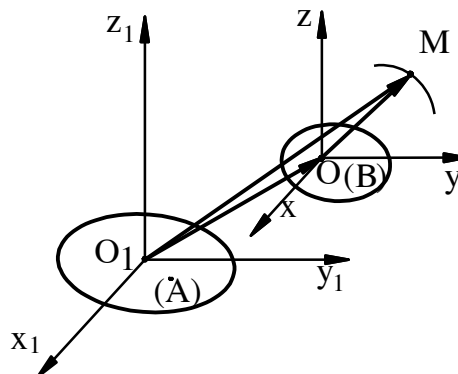
+ Phân biệt được chuyển động tương đối, chuyển động tuyệt đối, chuyển động theo.

1.1. Khái niệm

Nếu một điểm tham gia đồng thời nhiều chuyển động thì điểm đó thực hiện tổng hợp chuyển động của điểm

1.2. Mô hình

Chất điểm M có chuyển động đối với hệ quy chiếu động (B), hệ quy chiếu động (B) có chuyển động đối với hệ quy chiếu cố định (A). Vậy chuyển động của điểm M đối với hệ quy chiếu cố định (A) được gọi là tổng hợp chuyển động từ hai chuyển động trên



Hình 11-1

- Chuyển động của điểm M đối với hệ quy chiếu động (B) là *chuyển động tương đối*

- Chuyển động của hệ quy chiếu động (B) đối với hệ quy chiếu cố định (A) gọi là *chuyển động theo*

- Chuyển động của điểm M đối với hệ quy chiếu cố định (A) được gọi là *chuyển động tuyệt đối*

1.3. Các định nghĩa về vận tốc

a. *Vận tốc tuyệt đối của điểm*: Ký hiệu: $\overset{p}{v}_a$

Vận tốc tuyệt đối của điểm là vận tốc chuyển động của điểm đó đối với hệ quy chiếu cố định

$$\overset{p}{v}_a = \frac{d\overrightarrow{O_1M}}{dt} \quad (11-1)$$

b. *Vận tốc tương đối*: Ký hiệu: $\overset{p}{v}_r$

Vận tốc tương đối là vận tốc chuyển động của điểm đối với hệ quy chiếu động

$$\overset{p}{v}_r = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} \quad (11-2)$$

c. *Vận tốc theo*: Ký hiệu: $\overset{p}{v}_e$

Vận tốc theo là vận tốc chuyển động của hệ quy chiếu động đối với hệ quy chiếu cố định

Xét điểm M* thuộc hệ quy chiếu động (B). Tại thời điểm khảo sát có M* \equiv M

$$\text{Ta có : } \overset{p}{v}_e = \frac{d\overrightarrow{OM^*}}{dt} \quad (11-3)$$

2. Định lý hợp vận tốc

Mục tiêu:

- Trình bày được định lý hợp vận tốc;
- Xác định được các chuyển động trong tổng hợp chuyển động.

Định lý : Tại mỗi thời điểm, vận tốc tuyệt đối của điểm bằng tổng hình học vận tốc tương đối và vận tốc theo

$$\text{Ta có : } \vec{v}_a = \vec{v}_r + \vec{v}_e \quad (11-4)$$

Ví dụ : Một ống tròn bán kính R quay quanh trục cố định O với vận tốc ω . Một chất điểm (viên bi) chuyển động đều trong ống tròn với vận tốc không đổi v_0 . Tính vận tốc tuyệt đối của chất điểm khi nó ở vị trí M?

(Hình 11-2) Biết $O_1O = 2R$

Bài giải

Chọn ống tròn làm hệ quy chiếu động, trục quay là hệ quy chiếu cố định vậy ta có các chuyển động tương đối sau:

- Chuyển động của chất điểm đối với ống tròn là chuyển động tương đối

$$\vec{v}_r = \vec{v}_0$$

- Chuyển động của ống tròn đối với trục quay là chuyển động theo

$$\vec{v}_e \text{ có : } \left\{ \begin{array}{l} + \text{ Phương: vuông góc với OM} \\ + \text{ Chiều: Theo chiều của } \omega \\ + \text{ Độ lớn: } v_e = \omega \cdot OM \end{array} \right.$$

- Chuyển động của chất điểm đối với trục quay là chuyển động tuyệt đối

$$\vec{v}_a = \vec{v}_e + \vec{v}_r \quad (1)$$

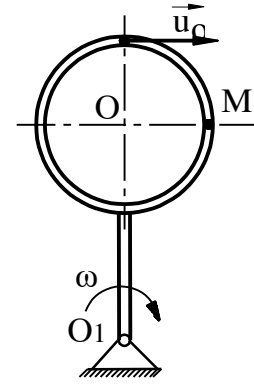
Lập hệ trục tọa độ xMy, chiếu biểu thức (1)

lên hệ trục ta được:

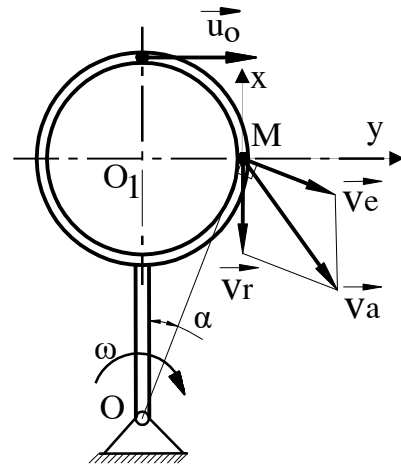
$$v_{ax} = v_{ex} + v_{rx} = v_e \cdot \cos \alpha$$

$$v_{ay} = v_{ey} + v_{ry} = -v_e \cdot \sin \alpha - v_0$$

Từ hình vẽ ta có :



Hình 11-2



Hình 11-3

$$OM = R\sqrt{5}$$

$$\cos \alpha = \frac{2.R}{R\sqrt{5}} = \frac{2}{\sqrt{5}}; \sin \alpha = \frac{R}{R\sqrt{5}} = \frac{1}{\sqrt{5}}$$

Thay vào ta có

$$\begin{aligned} v_{ax} &= 2.R.\omega \\ v_{ay} &= -R.\omega - v_o \end{aligned} \Rightarrow v_a = \sqrt{(2.R.\omega)^2 + (R.\omega + v_o)^2}$$

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Các định nghĩa vận tốc tuyệt đối của điểm, vận tốc tương đối, vận tốc theo?
2. Phát biểu định lý hợp vận tốc của điểm? Viết biểu thức ?

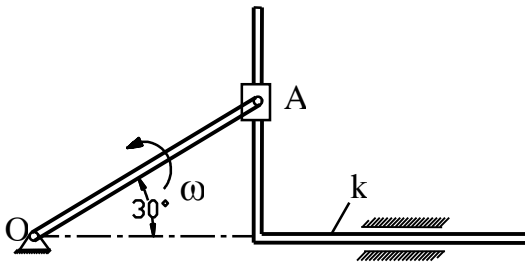
BÀI TẬP:

Bài 1: Tay quay OA = 1 quay quanh trục cố định O với vận tốc góc $\omega = \text{const}$ làm cần k trượt theo phương ngang (Hình 11-4).

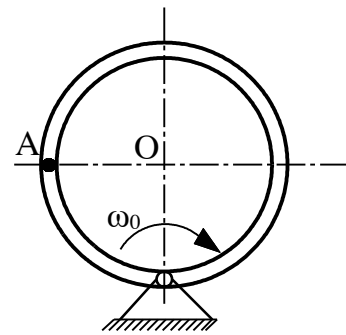
Tính vận tốc của cần k. Biết ở vị trí này $\varphi = 30^\circ$?

Bài 2: Vành tròn có bán kính $R = 30\text{cm}$ quay trong mặt phẳng của nó quanh trục O với vận tốc góc không đổi $\omega_0 = 4\text{rad/s}$ (Hình 11-5). Điểm M chuyển động trên vành tròn theo quy luật $s = \widehat{OM} = 5.\pi t$ cm

Tìm vận tốc tuyệt đối của điểm M lúc $t = 2\text{s}$?



Hình 11-4



Hình 11-5

CHƯƠNG 3: ĐỘNG LỰC HỌC

Mã chương: MHCG12-03

Động lực học nghiên cứu các quy luật của chuyển động cơ học của các vật thể dưới tác dụng của ngoại lực. Như chúng ta đã biết phần tĩnh học chỉ nghiên cứu vật rắn ở trạng thái cân bằng dưới tác dụng của ngoại lực, động học thì nghiên cứu chuyển động về mặt hình học. Động lực học nghiên cứu chuyển động của các vật thể một cách toàn diện (cả về lực tác dụng và về chuyển động của vật) nhằm thiết lập các mối quan hệ có tính chất quy luật giữa hai loại đại lượng: Các đại lượng đặc trưng cho lực tác dụng và các đại lượng đặc trưng cho chuyển động của vật thể.

Mục tiêu:

- Trình bày được các khái niệm về Lực quán tính, trọng tâm, khối tâm, nguyên lý Đalambe.
- Tính được trọng tâm của của hình phẳng, khối tâm của vật thể.
- Tính được Lực quán tính, động lượng của vật thể chuyển động và biến đổi động lượng khi va chạm.
- Rèn luyện tính cẩn thận, tác phong làm việc khoa học của người làm kỹ thuật.

1. Lực quán tính

Mục tiêu:

- Trình bày được các khái niệm cơ bản và các định luật cơ bản;
- Giải được hai bài toán cơ bản của động lực học.

1.1. Các khái niệm

1.1.2. Chất điểm

Chất điểm là mô hình đơn giản nhất của vật thể khi kích thước của nó có thể bỏ qua được do quá nhỏ so với vật thể khác.

Trong chuyển động chất điểm có thể ở trạng thái tự do (được gọi là chất điểm tự do) hoặc không tự do (được gọi là chất điểm không tự do).

Chất điểm tự do là chất điểm mà tại thời điểm khảo sát các di chuyển (vô cùng bé) của nó từ vị trí đang xét theo bất kỳ phương nào cũng không bị cản trở. Chất điểm không tự do (còn được gọi là chất điểm chịu liên kết) là chất điểm mà tại thời điểm đang xét các di chuyển (vô cùng bé) của nó từ vị trí đang xét bị cản trở ít nhất theo một phương nào đó. Đối với chất điểm không tự do tồn tại các điều kiện ràng buộc về vị trí, vận tốc đối với chuyển động của chất điểm, chúng được gọi là những liên kết.

Chất điểm không tự do có thể được thay thế bằng chất điểm tự do nhờ giải phóng liên kết và đặt thêm các phản lực liên kết.

1.1.3. Cơ hệ

Cơ hệ là tập hợp hữu hạn hoặc vô hạn các chất điểm, trong đó chuyển động của một chất điểm bất kỳ phụ thuộc vào chuyển động của các chất điểm còn lại, tức chuyển động của các chất điểm phụ thuộc vào nhau. Có cơ hệ tự do và cơ hệ không tự do. Cơ hệ tự do gồm chỉ các chất điểm tự do. Cơ hệ không tự do gồm các chất điểm không tự do, ví dụ các cơ cấu máy, các vật rắn tuyệt đối,...

Cơ hệ tự do được khảo sát như cơ hệ tự do nhờ thay thế liên kết.

1.1.4. Lực

Trong động lực học, lực nói chung là đại lượng biến đổi theo thời gian cả về độ lớn và hướng:

$$\vec{F} = \vec{F}(t, \vec{r}, \vec{v})$$

1.1.5. Hệ quy chiếu quán tính

Hệ quy chiếu quán tính là hệ quy chiếu trong đó định luật quán tính được nghiệm đúng. Trong kỹ thuật hệ quy chiếu gắn liền với trái đất được xem là hệ quy chiếu quán tính (hệ quy chiếu quán tính gần đúng).

1.2. Các định luật cơ bản của động lực học

1.2.1. Định luật quán tính

Định luật quán tính: Chất điểm không chịu tác dụng của lực nào sẽ đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều. Trạng thái đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều của chất điểm được gọi là trạng thái quán tính của nó

Như vậy theo định luật này nếu không có lực tác dụng lên chất điểm (chất điểm như vậy gọi là chất điểm cô lập) thì nó có trạng thái quán tính. Nói khác đi, chất điểm cô lập sẽ bảo toàn trạng thái quán tính của mình cho đến khi chưa có lực buộc nó thay đổi trạng thái quán tính của nó. Do đó định luật quán tính cho một tiêu chuẩn về hệ quy chiếu quán tính và khẳng định lực là nguyên nhân làm biến đổi trạng thái chuyển động.

1.2.2. Định luật cơ bản của động lực học

Trong hệ quy chiếu quán tính, dưới tác dụng của lực, chất điểm chuyển động với gia tốc cùng hướng với lực và có giá trị tỉ lệ với cường độ tác dụng của lực (Hình 12-1)

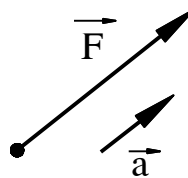
Định luật cơ bản của động lực học được biểu thị bằng biểu thức sau:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (12-1)$$

Trong đó: m là khối lượng của chất điểm

\vec{a} là gia tốc chuyển động của chất điểm

Trong đó: hệ số tỉ lệ m có giá trị không đổi, nó là số đo quán tính của chất điểm được gọi là khối lượng của chất điểm. Định luật này còn gọi



Hình 12-1

là định luật 2 Niuton.

Nếu $\vec{F} = \vec{0}$ thì $\vec{a} = \vec{0}$ (bao gồm cả trường hợp $\vec{v} = \vec{0}$), tức chất điểm có trạng thái quán tính.

Khi chất điểm rơi tự do trong trọng trường, ta có:

$$P = m.g \quad (12-2)$$

Từ đây ta có mối quan hệ giữa khối lượng và trọng lượng chất điểm, trong đó $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, được gọi là gia tốc trọng trường (gia tốc của rơi tự do).

Để khảo sát bài toán động lực học ngoài hai định luật nêu trên, ta còn sử dụng các tiên đề đã nêu trong tĩnh học như tiên đề lực tác dụng và phản lực tác dụng, tiên đề thay thế liên kết.

2. Trọng tâm, khối tâm

2.1. Định nghĩa cơ hệ

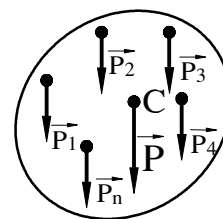
Xét một vật rắn A (Hình 7-1). Ta coi vật rắn là tập hợp của n phần tử

Mỗi phần tử đều chịu lực hút của trái đất tương ứng là:

$$\vec{P}_1, \vec{P}_2, \vec{P}_3 \dots \vec{P}_n$$

Hệ lực $(\vec{P}_1, \vec{P}_2, \vec{P}_3 \dots \vec{P}_n)$ trên là hệ lực song song, cùng chiều nên ta có hợp lực là \vec{P} có điểm đặt tại tâm của vật và có độ lớn là P:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = \sum_{i=1}^n P_i \quad (7-1)$$



Hình 7-1

Lực \vec{P} gọi là trọng lực, điểm đặt C của trọng lực gọi là trọng tâm.

- Nếu vật rắn được ghép từ n phần, mỗi phần có trọng lượng P_i và trọng tâm là $C_i (X_i, Y_i, Z_i)$. Như vậy C là trọng tâm của vật thì tọa độ của điểm C (X_C, Y_C, Z_C) được xác định bằng biểu thức sau:

$$X_C = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{P}; \quad Y_C = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{P}; \quad Z_C = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Z_i}{P} \quad (7-2)$$

Trong đó : P_i : là trọng lực của phần tử thứ i

P : là trọng lực của cả vật thể được xác định bằng công thức (7-1)

X_i, Y_i, Z_i : là tọa độ của phần tử thứ i

Như vậy trọng tâm của vật là một điểm C trên vật và chính là điểm đặt của trọng lực của vật.

2.2. Khối tâm

2.1. Khối tâm.

2.1.1. Khối tâm của cơ hệ

Xét một cơ hệ gồm n chất điểm M_k ($k = 1, 2, \dots, n$) có khối lượng m_k , vectơ định vị \vec{r}_k . Điểm hình học C được gọi là khối tâm cơ hệ nếu vị trí của nó được xác định theo công thức sau (Hình 13-1)

$$\vec{r}_C = \frac{\sum_{k=1}^n m_k \cdot \vec{r}_k}{\sum m_k} \left\{ x_C = \frac{\sum m_k x_k}{\sum m_k}; y_C = \frac{\sum m_k y_k}{\sum m_k}; z_C = \frac{\sum m_k z_k}{\sum m_k} \right\} \quad (13-4)$$

2.1.2. Khối tâm của vật rắn :

Xét một vật rắn và chia nó thành nhiều phần tử nhỏ M_k ($k = 1, 2, \dots, n$), mỗi phần có trọng lượng P_k và trọng tâm là $C_k (X_k, Y_k, Z_k)$. Như vậy C là trọng tâm của vật thì tọa độ của điểm $C (X_C, Y_C, Z_C)$ được xác định bằng biểu thức sau:

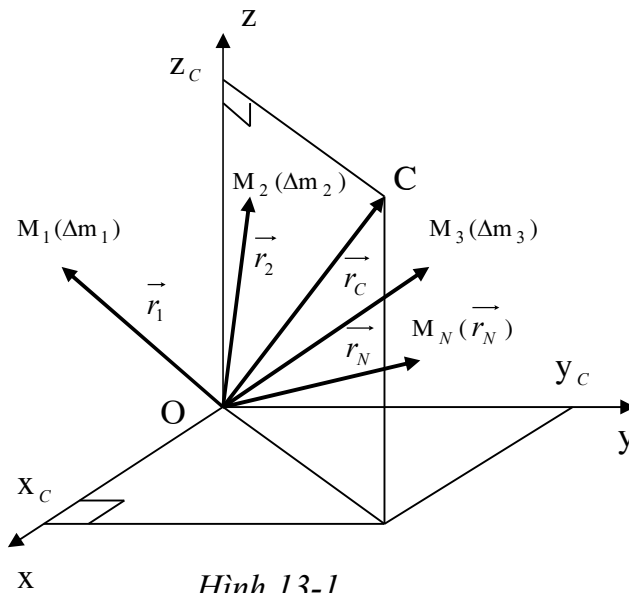
$$X_C = \frac{\sum_{k=1}^n P_k \cdot X_k}{P}; \quad Y_C = \frac{\sum_{k=1}^n P_k \cdot Y_k}{P}; \quad Z_C = \frac{\sum_{k=1}^n P_k \cdot Z_k}{P} \quad (13-5)$$

Trong đó : P_k - là trọng lực của phần tử thứ k

P - là trọng lực của cả vật thể được xác định bằng công thức $P = \sum_{k=1}^n P_k$

X_k, Y_k, Z_k - là tọa độ của phần tử thứ k

Như vậy trọng tâm của vật là một điểm C trên vật và chính là điểm đặt của trọng lực của vật.



Hình 13-1

Định lý 8-1: Nếu vật rắn đồng chất có tâm (trục, mặt phẳng) đối xứng thì khối tâm (trọng tâm) của nó nằm tại tâm (trục, mặt phẳng) đối xứng.

Định lý 8-2: Nếu vật rắn gồm các phần mà khối tâm (trọng tâm) của chúng nằm trên một đường thẳng (mặt phẳng) thì khối tâm (trọng tâm) của vật cũng nằm trên đường thẳng (mặt phẳng) đó.

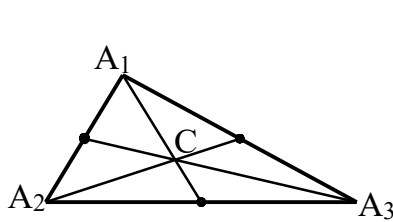
Áp dụng các định lý trên ta tìm ngay được:

- Khối tâm (trọng tâm) của một thanh thẳng đồng chất tại điểm giữa của thanh.

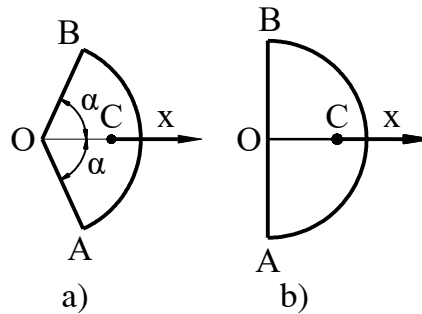
- Khối tâm (trọng tâm) của tam giác đồng chất là giao điểm của các trung tuyến (Hình 13-2).

- Khối tâm (trọng tâm) của cung tròn đồng chất AB có bán kính R và góc tại tâm $OAB = 2\alpha$ được tính theo công thức (Hình 13-3a).

$$x_C = \frac{R \sin \alpha}{\alpha}$$



Hình 13-2



Hình 13-3

Nếu cung AB là nửa đường tròn ($\alpha = \frac{\pi}{2}$) (Hình 13-3b) thì khối tâm (trọng tâm) tính theo công thức: $x_C = \frac{2R}{\pi}$

Khối tâm (trọng tâm) của một quạt tròn đồng chất AOB tâm O, có bán kính R và góc tại tâm $AOB = 2\alpha$ được tính theo công thức (Hình 13-4a).

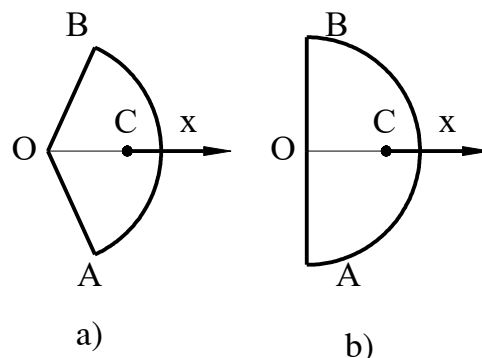
$$x_C = \frac{2R \sin \alpha}{3}$$

Nếu quạt tròn AOB là nửa mặt tròn ($\alpha = \frac{\pi}{2}$) (Hình 13-6b) thì khối tâm

(trọng tâm) tính theo công thức: $x_c = \frac{4R}{3\pi}$

Định lý 8-3: Nếu tấm phẳng đồng chất được ghép từ m phần, mỗi phần có diện tích F_i , có mô men tĩnh đối với các trục x,y tương ứng là S_{xi}, S_{yi} thì khối tâm (trọng tâm) của nó được tính theo công thức :

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^m S_{yi}}{\sum_{i=1}^m F_i} ; \quad Y_c = \frac{\sum_{i=1}^m S_{xi}}{\sum_{i=1}^m F_i} \quad ($$



Hình 13-4

2.3. Trọng tâm của hình phẳng

2.3.1. Trọng tâm của vật thể đối xứng

Đối với vật đối xứng: Trong một vật thể đối xứng bao giờ cũng tìm được hai phần tử đối xứng có trọng lượng P_1, P_2 như nhau song song cùng chiều qua tâm đối xứng, trục đối xứng hoặc mặt phẳng đối xứng của vật và như vậy hợp lực của nó sẽ đi qua điểm đối xứng nằm trên trục đối xứng hay mặt phẳng đối xứng. Chắc chắn rằng hợp lực P_i ($i=1,2,3\dots n$) nghĩa là trọng lực P của vật bao giờ cũng đi qua tâm đối xứng, trục đối xứng hay nằm trong mặt phẳng đối xứng nếu như xoay vật sao cho mặt phẳng đối xứng luôn ở vị trí thẳng đứng. Nói cách khác vật có tâm đối xứng, trục đối xứng hoặc mặt phẳng đối xứng thì bao giờ Trọng tâm của vật cũng nằm trên tâm đối xứng, trục đối xứng hay mặt phẳng đối xứng đó

- Nếu vật thể có tâm đối xứng thì trọng tâm của vật thể sẽ nằm tại tâm đối xứng.
- Nếu vật thể có mặt phẳng hay trục đối xứng thì trọng tâm của vật thể sẽ nằm trên mặt phẳng hay trục đối xứng đó.
- Nếu vật thể có một mặt phẳng đối xứng thì trọng tâm của vật thể sẽ nằm trên mặt phẳng đối xứng đó, trọng tâm được xác định theo các công thức sau:

+ Trường hợp mặt phẳng đối xứng chứa trục Oxy thì tọa độ trọng tâm C là:

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{P} ; \quad Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{P} ; \quad Z_c = 0$$

+ Trường hợp mặt phẳng đối xứng chứa trục Oxz thì tọa độ trọng tâm C là:

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{P} ; \quad Y_c = 0 ; \quad Z_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Z_i}{P}$$

+ Trường hợp mặt phẳng đối xứng chứa trục Oyz thì tọa độ trọng tâm C là:

$$X_C = 0 \quad ; \quad Y_C = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{P} \quad ; \quad Z_C = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Z_i}{P}$$

2.3.2. Trọng tâm của vật thể có thể phân chia thành những vật đơn giản

Mục tiêu:

- Trình bày được công thức xác định trọng tâm của của hình phẳng;
- Vận dụng được công thức xác định trọng tâm của một số hình ghép bởi những hình đơn giản.

Trong trường hợp vật có hình dạng phức tạp ta có thể phân chia thành những vật đơn giản để dễ xác định trọng tâm sau đó coi mỗi vật nhỏ như là một phần tử của vật, mỗi phần tử này có trọng lực đặt tại trọng tâm. Xác định được trọng lượng và trọng tâm của các phần tử nhỏ ta sẽ tính được trọng tâm của cả vật nhờ các biểu thức xác định tọa độ ở trên.

- **Tọa độ trọng tâm của vật rắn:** Nếu vật rắn được ghép từ n phần, mỗi phần có trọng lượng P_i và trọng tâm là $C_i (X_i, Y_i, Z_i)$. Như vậy C là trọng tâm của vật thì tọa độ của điểm C (X_C, Y_C, Z_C) được xác định bằng biểu thức sau:

$$X_C = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad ; \quad Y_C = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad ; \quad Z_C = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (7-6)$$

- **Tọa độ trọng tâm của hình (tấm) phẳng:** Nếu hình phẳng ghép bởi nhiều hình đơn giản thì tọa độ trọng tâm C (x_C, y_C) của hình phẳng ghép được xác định bằng biểu thức sau:

$$x_C = \frac{x_{C1} \cdot F_1 + x_{C2} \cdot F_2 + \dots + x_{Cn} \cdot F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum x_{Ci} \cdot F_i}{\sum F_i} \quad (7-7)$$

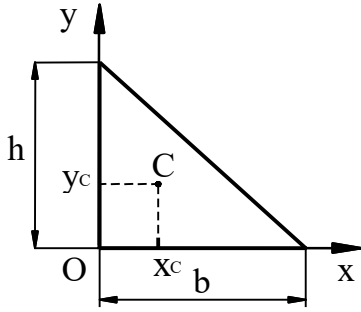
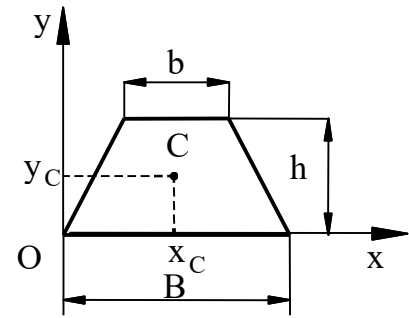
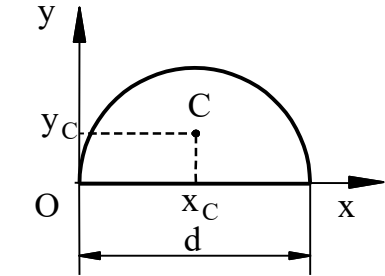
$$y_C = \frac{y_{C1} \cdot F_1 + y_{C2} \cdot F_2 + \dots + y_{Cn} \cdot F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum y_{Ci} \cdot F_i}{\sum F_i} \quad (7-8)$$

Trong đó : (x_{Ci}, y_{Ci}): Là tọa độ trọng tâm của hình phẳng thứ i

F_i : Diện tích của hình thứ i

Tọa độ trọng tâm của một số hình phẳng đặc biệt

Hình vẽ	Diện tích	Tọa độ trọng tâm
---------	-----------	------------------

	$\frac{1}{2}b.h$	$x_c = \frac{1}{3}b$ $y_c = \frac{1}{3}h$
	$\frac{B+b}{2}.h$	$x_c = \frac{B}{2}$ $y_c = \frac{B+2b}{B+b} \cdot \frac{h}{3}$
	$\frac{\pi.d^2}{8}$	$d = 2R$ $x_c = R$ $y_c = 0,2122.d$

Hình 7 -2

3. Nguyên lý Đalămbe.

3.1. Lực quán tính của chất điểm.

Khảo sát chất điểm dưới tác dụng của lực \vec{F} chuyển động với gia tốc \vec{a} đối với hệ quy chiếu quán tính. Ta đưa vào định nghĩa:

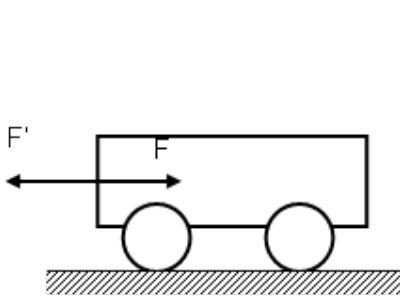
Lực quán tính của chất điểm, kí hiệu là \vec{F}_{qt} , có cùng phương, ngược chiều với gia tốc chất điểm và có giá trị bằng tích của khối lượng với gia tốc của chất điểm:

$$\vec{F}_{qt} = -m\vec{a} \quad (12-5)$$

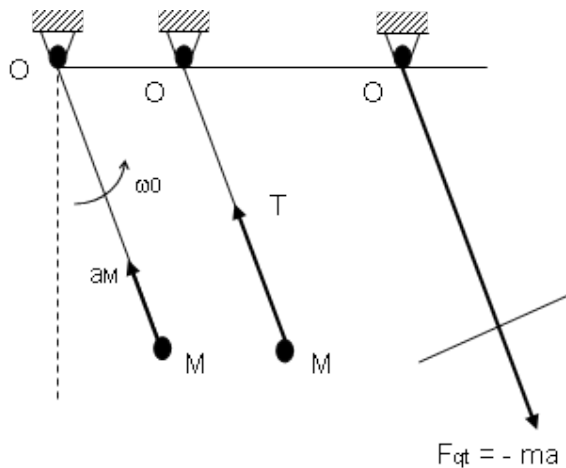
Cần nhấn mạnh rằng lực quán tính của chất điểm không phải là lực tác dụng lên chất điểm. Để làm rõ ta xét hai ví dụ sau:

Giả sử dưới tác dụng của lực \vec{F} xe chạy với gia tốc \vec{a} . Theo định luật 2 của động lực học, ta có $\vec{F} = m\vec{a}$. Khi ta tác dụng lên xe một lực \vec{F}' (lực này đặt lên xe) thì để bảo toàn tính quán tính của nó xe tác dụng lại \vec{F}' , lực này đặt lên tay đẩy (không đặt lên xe). Do định luật tác dụng và phản tác dụng ta có:

$$\vec{F}' = -\vec{F} = -m\vec{a} = \vec{F}_{qt} \quad (12-6)$$



Hình 12-4



Hình 12-5

Vậy lực quán tính của xe không phải là lực tác dụng lên xe mà là lực từ xe tác dụng lên tay đẩy (Hình 12-4).

Ta khảo sát một ví dụ khác: Một chất điểm có khối lượng m buộc vào đầu một sợi dây, nó quay đều với vận tốc góc ω_0 . Gia tốc của chất điểm là gia tốc hướng tâm. lực quán tính của chất điểm là lực ly tâm. Lực này không đặt lên chất điểm mà chính là lực chất điểm tác dụng lên dây và nhờ đó mà dây luôn luôn căng. Lực tác dụng lên chất điểm, ngoài trọng lực có lực do dây tác dụng lên chất điểm (phản lực của dây tác dụng lên chất điểm). Lực này hướng về tâm (lực hướng tâm) ngược chiều với lực quán tính (Hình 12-5).

3.2. Nguyên lý Dälămbe đối với chất điểm :

Tại mỗi thời điểm lực quán tính của chất điểm cân bằng với lực tác dụng lên chất điểm.

$$\vec{F}_{qt} + \vec{F} = 0 \quad (12-7)$$

Để khẳng định sự đúng đắn của nguyên lý ta dựa vào định luật 2 của Niuton. Thực vậy theo định luật 2 Niuton ta có (Hình 12-6).

$$\vec{F} = m.\vec{a}$$

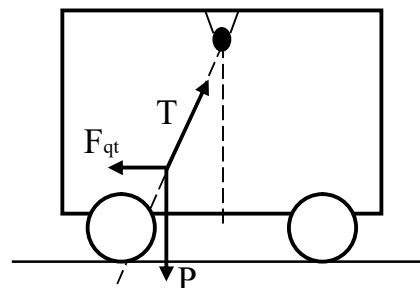
$$\text{Từ đó : } \vec{F} + (-m.\vec{a}) = 0 \Rightarrow \vec{F} + \vec{F}_{qt} = 0 \quad (12-8) \quad \begin{array}{c} \vec{F}_{qt} = -m\vec{a} \\ \leftarrow \text{-----} \vec{a} \text{-----} \vec{F} \rightarrow \end{array}$$

Hình 12-6

**Chú thích :*

- 1) Nguyên lý chỉ khẳng định sự cân bằng về lực (hai lực cùng phương, ngược chiều và cùng cường độ) chứ không phải sự cân bằng của chất điểm.
- 2) Trong trường hợp của chất điểm không tự do, lực tác dụng lên chất điểm là hợp lực của lực hoạt động và lực liên kết.
- 3) Trạng thái cân bằng về lực được thiết lập ở mọi thời điểm. Do đó, có thể thiết lập điều kiện cân bằng (các phương trình cân bằng) đối với hệ trục bất kỳ.

Ví dụ : Một quả cầu nhỏ trọng lượng P được treo vào toa xe chuyển động thẳng với gia tốc \vec{a} . Dây treo quả cầu bị lệch một góc $\alpha = \text{const}$ so với đường thẳng đứng. Xác định gia tốc \vec{a} của toa xe (Hình 12-7).



Hình 12-7

Bài làm :

Xem quả cầu như một chất điểm chịu tác dụng của trọng lực và phản lực dây \vec{T} do dây tác dụng lên quả cầu.

Lực quán tính của chất điểm do gia tốc của chất điểm (tức gia tốc của xe) sẽ bằng :

$$\vec{F}_{qt} = -m\vec{a} = -\frac{P}{g}\vec{a}$$

Còn lực thật tác dụng lên quả cầu là hợp lực của trọng lực \vec{P} và phản lực dây. Theo nguyên lý Đalămbe ta có:

$$\vec{T} + \vec{P} + \vec{F}_{qt} = 0$$

Chiếu hai vế của đẳng thức này lên phương Δ thẳng góc với dây, ta nhận được :

$$F_{qt} \cos \alpha - P \sin \alpha = 0$$

$$\Rightarrow \frac{P}{g} a \cos \alpha - P \sin \alpha = 0$$

Vậy : $a = g.tg\alpha$

Từ đây ta có một phương pháp đơn giản để đo gia tốc của xe bằng cách đo góc lệch α của dây.

3.2. Nguyên lý Đalămbe đối với cơ hệ

Khảo sát cơ hệ gồm N chất điểm M_1, \dots, M_n dưới tác dụng của các lực $\vec{F}_1, \dots, \vec{F}_n$ chuyển động với các gia tốc $\vec{a}_1, \dots, \vec{a}_n$ tương ứng. Xét chất điểm M_k có khối lượng m_k , chịu tác dụng của lực \vec{F}_k . Lực quán tính của chất điểm này là:

$$\vec{F}_k^{qt} = -m_k \vec{a}_k \quad (12-9)$$

Theo nguyên lý Đalămbe đối với chất điểm M_k và do đó đối với mọi chất điểm M_k ($k = 1, 2, \dots, n$), ta có $(\vec{F}_k, \vec{F}_k^{qt}) \equiv 0$. Nguyên lý Đalămbe đối với cơ hệ được phát biểu như sau:

Tại mỗi thời điểm, các lực tác dụng lên các chất điểm của cơ hệ và các lực quán tính của các chất điểm thuộc cơ hệ tạo thành một hệ lực cân bằng:

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n, \vec{F}_1^{qt}, \vec{F}_2^{qt}, \dots, \vec{F}_n^{qt}) \equiv 0 \quad (12-10)$$

Ví dụ :

Một trục máy mát cân bằng được mô hình bằng hai chất điểm M_1 và M_2 có các khối lượng tương ứng bằng m_1 và m_2 nằm trong cùng mặt phẳng chứa trục quay, khoảng cách của chúng đối trục quay lần lượt bằng e_1 và e_2 . Trục quay quay đều với vận tốc góc ω_0 . Xác định các phản lực tại các ổ trục A và B. Các kích thước được cho trên (Hình 12-8). Bỏ qua ma sát tại trục quay.

Bài làm

Khảo sát cơ hệ là trục

máy có gắn hai chất điểm. Các lực tác dụng lên cơ hệ gồm các trọng lực

(lực hoạt động) \vec{P}_1, \vec{P}_2 và các phản lực

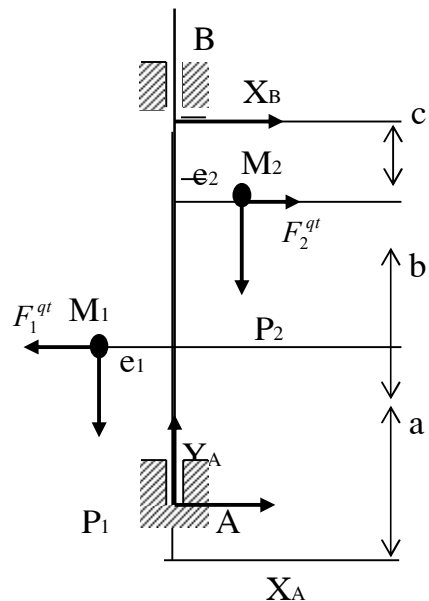
(lực liên kết) $\vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{X}_B$. Các lực quán

tính của hai chất điểm M_1 và M_2 là:

$$\vec{F}_1^{qt} = -m_1 \vec{a}_1 \text{ với } a_1 = e_1 \omega_0^2$$

$$\vec{F}_2^{qt} = -m_2 \vec{a}_2 \text{ với } a_2 = e_2 \omega_0^2$$

Chọn hệ trục tọa độ Axy trong đó



Hình 12-8

Ay trùng với trục quay, còn các chất điểm nằm trong mặt phẳng Axy.

Ta có hệ lực phẳng cân bằng sau:

$$(\vec{P}_1, \vec{P}_2, \vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{X}_B, \vec{F}_1^{qt}, \vec{F}_2^{qt}) \equiv 0$$

Lập các phương trình cân bằng cho hệ lực trên ta có:

$$\sum F_X = X_A + X_B + F_2^{qt} - F_1^{qt} = 0$$

$$\sum F_Y = Y_A - P_1 - P_2 = 0$$

$$\sum \vec{m}_A(\vec{F}) = P_1 e_1 - P_2 e_2 - X_B(a+b+c) - F_2^{qt}(a+b) - F_1^{qt} a = 0$$

Giải các phương trình này ta được:

$$Y_A = P_1 + P_2$$

$$X_B = \frac{1}{a+b+c} \left\{ P_1 e_1 - P_2 e_2 + \frac{\omega_0^2}{g} [P_1 e_1 a - P_2 e_2 (a+b)] \right\}$$

$$X_A = \frac{1}{a+b+c} \left\{ P_2 e_2 - P_1 e_1 + \frac{\omega_0^2}{g} [P_1 e_1 (b+c) - P_2 e_2 c] \right\}$$

Nhận xét: Phản lực ổ trục gồm các thành phần: thành phần không phụ thuộc vào chế độ quay (vận tốc góc của tay quay) được gọi là thành phần phản lực tĩnh và thành phần phụ thuộc vào chế độ quay của trục được gọi là thành phần phản lực không lực. Các phản lực ổ trục không những có giá trị phụ thuộc vào vận tốc góc của trục quay mà còn có phương thay đổi vì các phản lực \vec{X}_A, \vec{X}_B nằm trong mặt phẳng quay Axy.

CÂU HỎI ÔN TẬP:

1. Định nghĩa về chất điểm, cơ hệ: Chất điểm tự do và chất điểm không tự do, cơ hệ tự do và cơ hệ không tự do?
2. Định nghĩa về lực trong động lực học?
3. Phương trình vi phân chuyển động của chất điểm?
4. Các định luật cơ bản về động lực học, hai bài toán cơ bản của động lực học?
5. Lực quán tính và nguyên lý Đalămbe?

BÀI TẬP

Bài 1: Bàn máy bào có khối lượng $m_1 = 700\text{kg}$, vật gia công có khối lượng $m_2 = 300\text{kg}$. Vận tốc bình ổn trong hành trình là $v = 0,5 \text{ m/s}$, thời gian lấy đà là

$T = 0,5s$. Xác định lực cần thiết để lấy đà (xem chuyển động của bàn trong khoảng thời gian này là nhanh dần đều) và lực đẩy duy trì bàn máy chuyển động đều trong quá trình chuyển động bình ổn tiếp theo. Cho biết hệ số ma sát trượt động lúc lấy đà là $f_1 = 0,14$ và lúc chuyển động đều là $f_2 = 0,07$.

Bài 2: Một đoàn tàu hỏa không kể đầu máy có khối lượng là 200 tấn chạy nhanh dần trên đoạn ray thẳng nằm ngang. Sau 60 giây kể từ lúc bắt đầu chạy nó đạt tới vận tốc 54km/giờ. Tính lực kéo của đầu máy lên đoàn toa ở chỗ móc nối trong chuyển động đó. Biết rằng lực cản của chuyển động bằng 0,005 trọng lượng của đoàn tàu.

Bài 3: Một vật nặng rơi xuống giếng mỏ không vận tốc đầu. sau thời gian 6,5 giây người ta nghe thấy tiếng va đập của vật vào đáy giếng. Cho biết vận tốc của tiếng động là 330m/s. Tìm chiều sâu của giếng mỏ?

Bài 4: Tìm vận tốc lớn nhất của một quả cầu có khối lượng $m = 10kg$, bán kính $r = 8\text{ cm}$ chuyển động trong không khí với lực cản $R = kSv^2$ (trong đó v là vận tốc rơi, S là diện tích của hình chiếu của vật rơi trên mặt phẳng thẳng góc với phương vận tốc chuyển động, k là hệ số tỷ lệ trong trường hợp này thì $k = 0,2352Ns^2/m^4$).

Phần hai: Sức bền vật liệu**Chương 4. Sức bền vật liệu****Mã chương: MHCG12-04***Mục tiêu:*

- Trình bày được các khái niệm cơ bản về vật rắn biến dạng (thanh), biến dạng đàn hồi, nội lực, ứng suất, các giả thuyết về vật liệu, các trạng thái chịu lực của thanh.
- Viết và giải thích được các công thức tính toán về đặc trưng hình học của hình phẳng.
- Trình bày được phương pháp mặt cắt để xác định nội lực.
- Vẽ được biểu đồ nội lực khi thanh bị kéo, nén, cắt, xoắn, uốn thuần túy.
- Viết và giải thích được các công thức tính về biến dạng của thanh.
- Giải được các bài toán kiểm nghiệm bền, thiết kế thanh, tính tải trọng cho phép với các trạng thái chịu lực kéo, nén, cắt, xoắn, uốn (tĩnh định hoặc siêu tĩnh).
- Rèn luyện tính cẩn thận, tác phong làm việc khoa học của người làm kỹ thuật.

1- Bài mở đầu**1.1. Nhiệm vụ và đối tượng nghiên cứu****1.1.1. Nhiệm vụ**

Sức bền vật liệu là môn khoa học nghiên cứu thực nghiệm, khả năng chịu lực và biến dạng của vật thể để đề ra phương pháp tính sao cho các vật thể đủ bền, đủ cứng, đủ ổn định và tiết kiệm vật liệu.

- *Độ bền:* là khả năng chịu lực lớn nhất của chi tiết sao cho chi tiết không bị phá hỏng.

- *Độ cứng:* Là khả năng chịu lực lớn nhất của chi tiết sao cho biến dạng không quá lớn làm ảnh hưởng đến điều kiện làm việc bình thường

- *Độ ổn định:* Là khả năng chịu lực lớn nhất của chi tiết sao cho chi tiết không bị thay đổi hình dáng hình học trong quá trình làm việc bình thường

Sức bền vật liệu đề ra phương pháp tính toán, lập nên các biểu thức toán học thỏa mãn điều kiện bền, điều kiện cứng và điều kiện ổn định. Xuất phát từ đó Sức bền vật liệu chủ yếu giải quyết 3 dạng bài toán cơ bản:

- + *Bài toán kiểm tra độ bền*
- + *Bài toán xác định kích thước hợp lý*
- + *Bài toán xác định tải trọng cho hợp lý*

1.1.2. Đối tượng nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu của bộ môn sức bền vật liệu là vật rắn thực

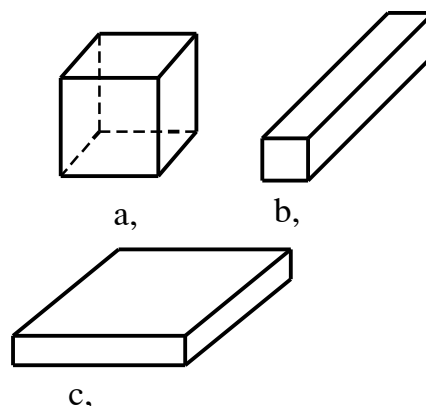
- Vật rắn thực là vật rắn khi có tác dụng của ngoại lực sẽ xảy ra biến dạng và có thể bị phá hỏng

- Vật rắn thực được phân làm 3 dạng cơ bản:

+ *Vật thể dạng khối*: Vật thể có kích thước theo ba phương lớn tương đương nhau. (Hình 1-1a)

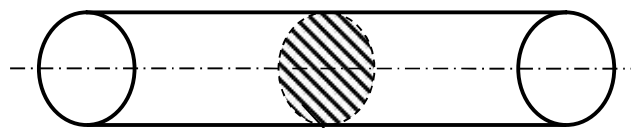
+ *Vật thể dạng thanh*: Vật thể có kích thước một phương lớn hơn rất nhiều so với phương còn lại. (Hình 1-1b)

+ *Vật thể dạng tấm*: Là vật thể mà kích thước hai phương lớn hơn rất nhiều so với phương còn lại, phương có kích thước bé gọi là bề dày. (Hình 1-1c)



Hình 1-1

Sức bền vật liệu trong chương trình chủ yếu nghiên cứu về vật thể dạng thanh thẳng (Hình 1-2)



Mặt cắt ngang

Hình 1-2

Phân loại theo tiết diện: Hình chữ nhật, hình vuông, hình tròn...

Đối tượng nghiên cứu của môn học là vật rắn thực (tức là vật rắn biến dạng)

1. 2. Khái niệm về thanh.

1. 3. Tính đàn hồi của vật thể.

1.3.1 Giả thuyết về sự liên tục, đồng tính và đẳng hướng

**Sự liên tục*: Các phần tử vật liệu ở mọi nơi trong vật thể phân bố đều và liên tục. Tức là giữa chúng không có khe hở coi vật thể không có khuyết tật.

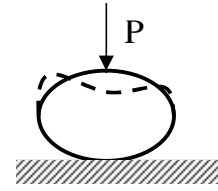
**Sự đồng tính*: Các phần tử vật liệu ở tất cả mọi nơi trong vật thể có cùng tính chất

**Sự đẳng hướng*: Khả năng chịu lực của các phần tử vật liệu trong vật thể theo mọi hướng đều như nhau

1.3.2. Giả thuyết về vật liệu đàn hồi tuyệt đối

- Tính đàn hồi là khả năng trở về trạng thái ban đầu khi vật có biến dạng do tác dụng của ngoại lực

- Khi lực tác dụng còn nằm trong giới hạn đàn hồi của vật thể. Dưới tác dụng của ngoại lực vật thể bị biến dạng, khi thôi tác dụng lực vật thể trở lại y nguyên trạng thái ban đầu (tức là bỏ qua biến dạng dư trong vật thể)



Hình 1-3

Giả thuyết này chỉ rõ sức bền vật liệu chỉ nghiên cứu bài toán trong giai đoạn đàn hồi. Ngoài miền đàn hồi bài toán sẽ được nghiên cứu trong một môn học khác là lý thuyết dẻo.

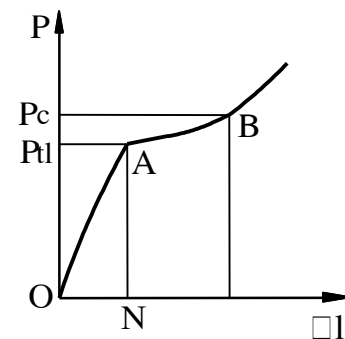
1.3.3. Giả thuyết về tương quan giữa biến dạng và lực.

Khi lực tác dụng còn nằm trong giới hạn đàn hồi của vật thì biến dạng của vật có quan hệ bậc nhất với lực tác dụng gây nên biến dạng đó.

* Thí nghiệm thử kéo vật liệu dẻo:

Khi lực tác dụng còn nằm trong giới hạn đàn hồi ($0 \div P_{tl}$) của vật liệu. Biến dạng là đoạn ON. Trong giới hạn này ta thấy lực tăng nhanh còn biến dạng tăng rất chậm. Quan hệ giữa lực và biến dạng là đường cong OA. Do độ cong của OA rất nhỏ nên ta có thể coi nó là đường thẳng.

⇒ Quan hệ giữa lực và biến dạng là quan hệ bậc nhất.



Hình 1-4

Kết luận: Tất cả các loại vật liệu là đối tượng để nghiên cứu trong môn sức bền thì nó phải thỏa mãn các giả thiết trên.

1. 4. Khái niệm về nội lực, ứng suất.

1.4.1. Ngoại lực

1.4.1.1. Định nghĩa

Ngoại lực là những lực hoặc mô men lực từ vật thể khác hoặc từ môi trường xung quanh tác dụng lên vật thể khảo sát

Ngoại lực có hai loại: Tải trọng (lực) tác dụng và phản lực liên kết

1.4.1.2. Phân loại

1.4.1.2.1. Phân loại ngoại lực:

Định nghĩa: Là ngoại lực tác dụng lên vật thể mà điểm đặt, phương, chiều, trị số đã biết trước.

+ Phân loại theo hình thức tác dụng:

- *Tải trọng tập trung*: Là những lực hoặc ngẫu lực tác dụng lên vật trên một diện tích rất nhỏ, coi như tác dụng tại một điểm.

- *Tải trọng phân bố*:

. *Tải trọng phân bố đường* (Hình 1-6):

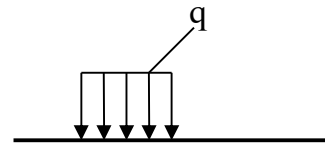
Tải trọng tác dụng lên vật thể theo một đường.

$$Q = q \cdot l \quad (1-1)$$

Trong đó : Q : Là độ lớn của hệ lực phân bố

q : Lực đơn vị

l : độ dài của đoạn thẳng mà hệ lực phân bố



Hỡnh 1-6

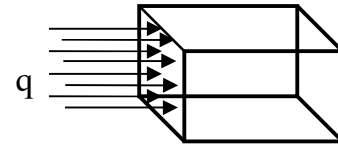
. *Tải trọng phân bố mặt* (Hình 1-7): Tải trọng tác dụng lên vật thể trên một mặt nào đó.

$$Q = q \cdot S \quad (1-2)$$

Trong đó : Q : Là độ lớn của hệ lực phân bố

q : Lực đơn vị

S : diện tích mà hệ lực phân bố



Hỡnh 1-7

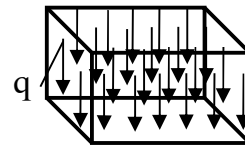
. *Tải trọng phân bố khối* (Hình 1-8): Tải trọng tác dụng liên tục trên một khối.

$$Q = q \cdot V \quad (1-3)$$

Trong đó : Q : Là độ lớn của hệ lực phân bố

q : Lực đơn vị

V : thể tích mà hệ lực phân bố



Hỡnh 1-8

+ Theo mức độ tác dụng:

- *Tải trọng tĩnh*: Là tải trọng tác dụng lên vật thể có trị số tăng dần từ 0 đến giá trị xác định rồi sau đó không thay đổi nữa. Tải trọng tĩnh thường gặp như: trọng lượng và các phản lực

- *Tải trọng động*: Là tải trọng có trị số, phương, chiều hoặc điểm đặt liên tục thay đổi theo thời gian và làm cho vật thể chuyển động có gia tốc.

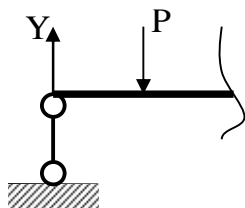
1.4.1.2.2. *Phản lực liên kết*

Định nghĩa: Phản lực liên kết là lực, mô men do vật gây liên kết gây ra để chống lại chuyển động hay xu hướng chuyển động của vật khảo sát.

**Một số liên kết phẳng thường sử dụng*:

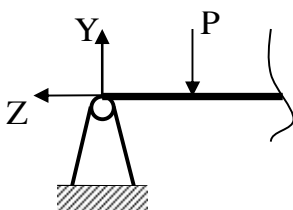
- *Liên kết gối di động*: Đây là một loại liên kết đơn, trong mặt phẳng nó chỉ hạn chế một dịch chuyển thẳng. Các liên kết thực tế như ổ bi đỡ lòng cầu, ụ con lăn di động, v.v... Khi sơ đồ hoá đều đưa về dạng gối này. Gối có một thành

phần phản lực liên kết Y



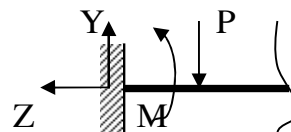
Hình 1-9. Liên kết gối di động

- Liên kết gối cố định: Là loại liên kết hạn chế hai dịch chuyển thẳng (trong không gian hai chiều) và 3 dịch chuyển thẳng (trong không gian ba chiều). Ví dụ: như các ụ con lăn cố định dưới các nhịp cầu, các ổ bi đỡ chặn trong máy công cụ, v.v... Ký hiệu gối cố định chỉ ra trên hình 1-10. Gối có hai thành phần phản lực liên kết Y, Z



Hình 1-10. Liên kết gối cố định

- Liên kết ngàm: Là loại liên kết hạn chế hoàn toàn sáu bậc tự do của hệ. Ví dụ liên kết giữa chân cột và mặt đất, liên kết giữa các dầm đỡ hành lang với tường nhà, v.v...



Hình 1-11. Liên kết ngàm

1.4.1.2.3. Phân loại tải trọng.

Tải trọng được phân thành tải trọng tĩnh và tải trọng động.

+ Tải trọng tĩnh là tải trọng mà giá trị của nó tăng dần từ không đến một trị số xác định trong quá trình đó gia tốc chuyển động của các chất điểm là không đáng kể và có thể bỏ qua.

+ Tải trọng động là tải trọng tác dụng lên hệ làm cho các chất điểm của hệ chuyển động có gia tốc hoặc có xuất hiện lực quán tính.

- Tải trọng động mà trị số thay đổi rất nhanh trong một khoảng thời gian nhỏ được gọi là tải trọng va chạm.

- Tải trọng mà phương chiều, độ lớn đã biết còn điểm đặt. Thay đổi được gọi là tải trọng di động. Ví dụ: Trọng lượng mô khi chạy tác dụng lên cầu.

- Tải trọng biến thiên tuần hoàn theo thời gian là tải trọng gây nên dao động.

1.4.2. Nội lực

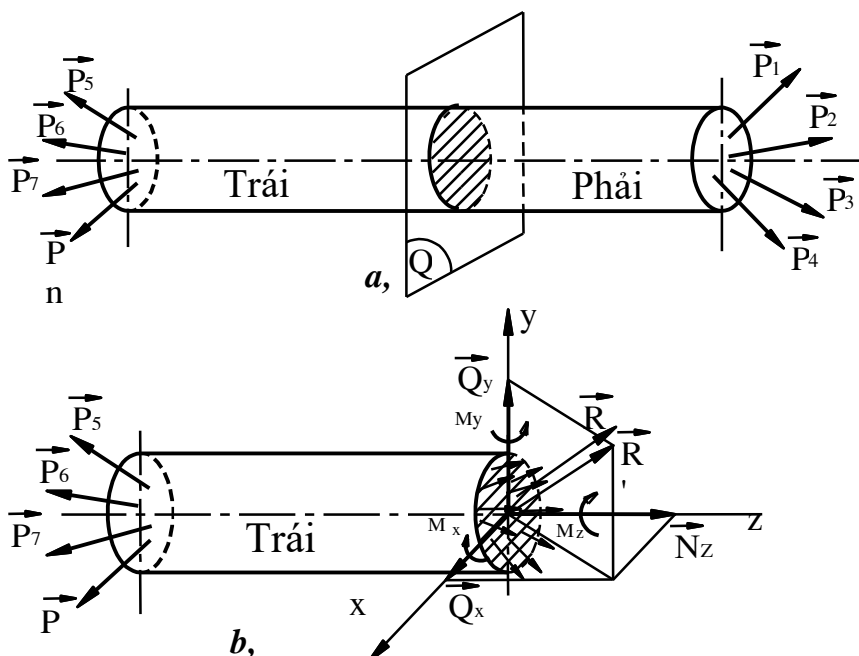
- Nội lực là lực do chính bản thân vật sinh ra để chống lại biến dạng khi có ngoại lực tác dụng.

- Nội lực là phần tăng lên của lực liên kết phân tử của vật liệu khi có ngoại lực tác dụng.

- Không có ngoại lực tác dụng thì không có nội lực. Khi ngoại lực tăng thì nội lực cũng tăng theo nhưng nội lực chỉ tăng tới một giới hạn nhất định, nếu ngoại lực cứ tiếp tục tăng mà nội lực không tăng được nữa thì liên kết phân tử bị phá vỡ hay vật liệu bị phá hỏng.

1.4.3. Cách xác định nội lực (Phương pháp mặt cắt)

Xét thanh thẳng chịu tác dụng của hệ lực cân bằng như trên (hình 1-12a)



- Tưởng dùng một mặt phẳng (Q) vuông góc với trục thanh, cắt thanh làm hai phần. Giữ lại một phần ~~để~~ khảo sát (giả sử giữ lại phần trái)

- Xét cân bằng cho phần trái (hình 1-12b). Để phần trái cân bằng thì phải có lực sinh ra cân bằng với các lực tác dụng lên phần trái. Đó chính là nội lực sinh ra trên mặt cắt ngang của phần trái, ta hợp các nội lực đó được véc tơ hợp lực là \vec{R}

- Phần khảo sát cân bằng dưới tác dụng của ngoại lực và nội lực

$$\sum \vec{P}_i(\text{trái}) = \vec{R} \quad (1-4)$$

$$(\sum \vec{P}_i(\text{trái}) = \vec{F}_5 + \vec{F}_6 + \vec{F}_7 + \dots + \vec{F}_n)$$

Lập hệ trục tọa độ Oxyz có gốc tọa độ O trùng với tâm mặt cắt ngang, các trục Ox, Oy nằm trong mặt phẳng chứa cắt ngang của thanh, trục Oz trùng với trục thanh.

Di chuyển \vec{R} bằng phương pháp dời lực song song về tâm O ta được một véc tơ lực \vec{R}' và mômen \vec{M}

* Chiếu véc tơ lực \vec{R}' và mô men \vec{M} lên hệ trục tọa độ Oxyz ta được 6 thành phần nội lực $N_z, Q_x, Q_y, M_x, M_y, M_z$ đó gọi là 6 thành phần nội lực trên toàn bộ mặt cắt ngang đang khảo sát, mỗi thành phần nội lực có một tên riêng

- Thành phần N_z gọi là Lực dọc có phương vuông góc với mặt cắt ngang

$$N_z = \sum P_{iz}(\text{Trái}) \quad (1-5)$$

- Thành phần Q_x, Q_y gọi là lực cắt hay lực ngang có phương vuông góc với trục của thanh

$$\begin{aligned} Q_x &= \sum P_{ix}(\text{trái}) \\ Q_y &= \sum P_{iy}(\text{trái}) \end{aligned} \quad (1-6)$$

- Thành phần M_z : Mômen xoắn quanh trục Oz

$$M_z = \sum m_z(\vec{P}_i) \text{ trái} \quad (1-7)$$

- Thành phần M_x, M_y : Mômen uốn quanh trục Ox, Oy

$$\begin{aligned} M_x &= \sum m_x(\vec{P}_i) \\ M_y &= \sum m_y(\vec{P}_i) \end{aligned} \text{ trái} \quad (1-8)$$

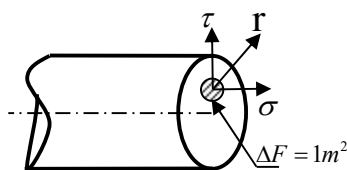
1.4.4. Ứng suất

1.4.4.1. Định nghĩa

Ứng suất là giá trị của nội lực sinh ra trên một đơn vị diện tích mặt cắt

* Nếu nội lực phân bố đều: ứng suất = $\frac{\text{Nội lực}}{\text{Diện tích mặt cắt}}$

* Nếu nội lực phân bố không đều: Cần phải tìm được quy luật phân bố, xác định được vùng phát sinh lớn nhất sau đó xác định ứng suất lớn nhất trong mặt cắt để tính toán.



Hình 1-13. Ứng suất trên mặt cắt ngang

* Đơn vị của ứng suất: $N/m^2, kN/m^2, MN/m^2, \dots$

1.4.4.2. Phân loại ứng suất

Dựa vào 2 phương cơ bản của nội lực, ứng suất được phân thành hai thành phần là: ứng suất pháp và ứng suất tiếp

- Ứng suất pháp: Ký hiệu σ : Khi nội lực có phương vuông góc với mặt cắt ngang ta có ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang là ứng suất pháp

- Ứng suất tiếp: Ký hiệu τ : Khi nội lực có phương tiếp tuyến (trùng) với mặt cắt ngang ta có ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang là ứng suất tiếp

1. 5. Các thành phần nội lực trên mặt cắt ngang của thanh.

1. 6. Quan hệ giữa ứng suất và các thành phần nội lực trên mặt cắt ngang của thanh.

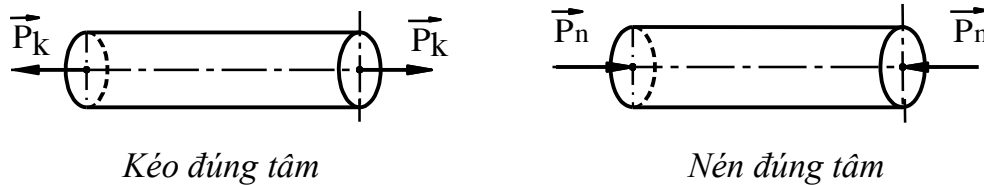
1. 7. Các trạng thái chịu lực

2. Kéo, nén đúng tâm

2.1. KHÁI NIỆM VỀ KÉO – NÉN ĐÚNG TÂM

+ Định nghĩa: Khi một thanh thẳng chịu tác dụng của các lực có phương trùng với trục thanh thì thanh đó chịu Kéo - Nén đúng tâm.

Ví dụ:



Hình 2-1

- Thanh chịu kéo đúng tâm: Ngoại lực hướng từ trong thanh ra ngoài.

- Thanh chịu nén đúng tâm: Ngoại lực hướng từ ngoài vào trong thanh.

Thanh chịu nén đúng tâm là trường hợp ngược lại của thanh chịu kéo đúng tâm do đó trong quá trình nghiên cứu chúng ta chỉ nghiên cứu thanh chịu kéo đúng tâm còn thanh chịu nén thì ngược lại.

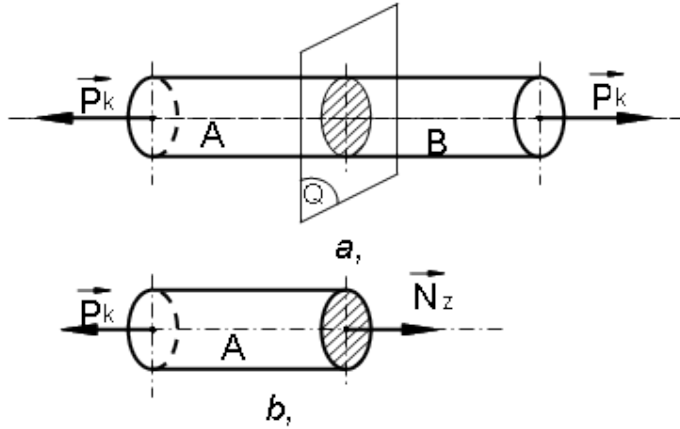
2.2. NỘI LỰC

Mục tiêu

- Phân tích được khái niệm lực dọc;
- Vẽ được biểu đồ lực dọc trên mặt cắt ngang.

2.2.1. Nội lực.

* Xét một thanh thẳng chịu kéo đúng tâm ở trạng thái cân bằng (Hình 2-2a). Xác định nội lực trong thanh?



Hình 2-2

- Tưởng tượng dùng một mặt phẳng (Q) vuông góc với trục thanh cắt thanh làm hai phần, giữ lại phần A để khảo sát. Theo phương pháp mặt cắt thì phần A cân bằng dưới tác dụng của ngoại lực P_k và nội lực. Gọi nội lực trên phần A là N_z thì ta phải xác định N_z (Hình 2-2b).

- Phần A cân bằng nên P_k và N_z là hai lực cân bằng: $(P_k, N_z) \sim 0$

Vậy dựa vào P_k để xác định N_z :

Kết luận: Nội lực trong thanh chịu kéo (nén) đúng tâm chỉ có một thành phần dọc theo trục thanh, ta gọi là lực dọc.

- Ký hiệu: N_z

- Có
- + Phương: Trùng với trục của thanh.
 - + Chiều: Ngược chiều với ngoại lực tác dụng.
 - + Trị số: $N_z = \sum P_k$
 - + Điểm đặt: Tại tâm mặt cắt.

* *Quy ước dấu:*

- + Nội lực hướng từ trong mặt cắt ra thì mang dấu dương (thanh chịu kéo)
- + Nội lực hướng từ ngoài vào trong mặt cắt mang dấu âm (thanh chịu nén)

2.2.2. Biểu đồ nội lực

2.2.2.1. Định nghĩa

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

2.2.2.2. Các bước vẽ biểu đồ nội lực

- **Bước 1:** Xác định phản lực liên kết (nếu cần)

- **Bước 2:** Chia đoạn cho thanh, dựa trên cơ sở điểm đặt của lực tương ứng với một điểm, hai điểm liên tiếp là một đoạn.

- **Bước 3:** Xác định nội lực trong từng đoạn

+ Dùng phương pháp mặt cắt, cắt thanh làm hai phần, giữ lại một phần để khảo sát

+ Đặt nội lực vào mặt cắt (giả định nội lực dương và hướng ra ngoài mặt cắt)

+ Viết phương trình cân bằng và giải các phương trình

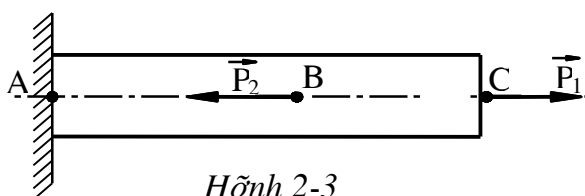
- **Bước 4:** Vẽ biểu đồ nội lực.

+ Kẻ đường thẳng song song với trục thanh gọi là đường không.

+ Kẻ các đoạn thẳng song song với nhau và vuông góc với đường không

+ Điền dấu, điền giá trị nội lực

* **Ví dụ 2.1:** Cho thanh AC chịu tác dụng của các lực dọc trục $P_1=10\text{ KN}$; $P_2=30\text{KN}$. Vẽ biểu đồ nội lực cho thanh AC?



Bài làm

+ Xác định phản lực:

Phương trình cân bằng:

$$X_A + P_1 - P_2 = 0$$

$$\Leftrightarrow X_A = P_2 - P_1 = 30 - 10 = 20\text{ kN}$$

+ Chia đoạn cho thanh: Chia thanh làm 2 phần AB, BC

+ Xác định nội lực trên từng đoạn:

- Xét đoạn AB: Dùng mặt cắt (1-1), cắt thanh, làm hai phần, giữ lại phần trái để khảo sát

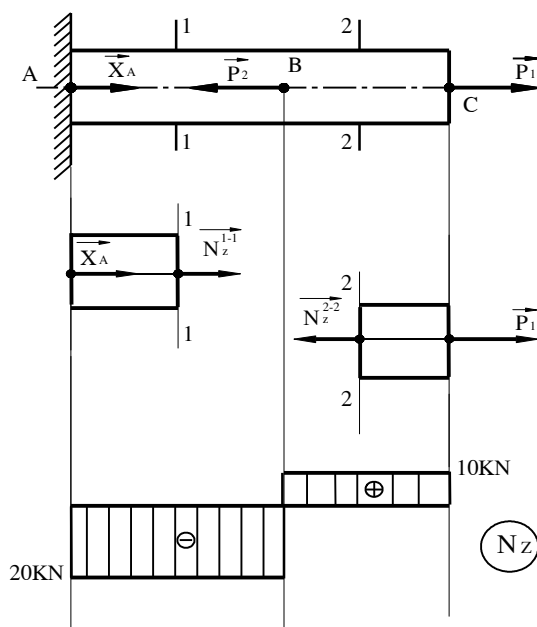
Ta có phương trình cân bằng

$$N_Z^{1-1} + X_A = 0$$

$$\Leftrightarrow N_Z^{1-1} = -X_A = -20\text{ KN}$$

Vậy đoạn AB chịu nén, nội lực mang dấu âm,

- Xét đoạn BC: Dùng mặt cắt (2-2), cắt thanh làm hai phần, giữ lại phần phải để khảo sát



Hình 2-4

Ta có phương trình cân bằng

$$N_Z^{2-2} - P_1 = 0$$

$$\Leftrightarrow N_Z^{2-2} = P_1 = 10 \text{ KN}$$

Vậy đoạn BC chịu kéo

+ Vẽ biểu đồ nội lực. (Hình 2-4)

Nhận xét biểu đồ nội lực: Nhìn vào biểu đồ nội lực thấy đoạn AB là đoạn nguy hiểm nhất.

Chú ý: Chỉ có thể nhận xét đoạn nguy hiểm khi thanh có tiết diện không đổi.

2.3. ỨNG SUẤT VÀ BIẾN DẠNG

Mục tiêu

- Vẽ được biểu đồ ứng suất trên mặt cắt ngang;
- Tính được ứng suất và biến dạng trong thanh.

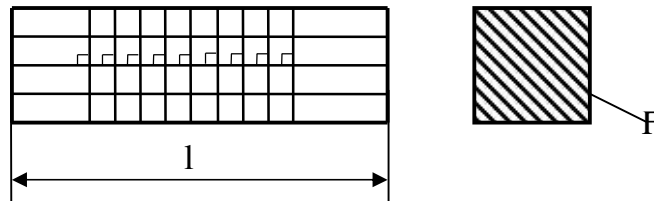
2.3.1. Ứng suất

2.3.1.1. Thí nghiệm

Xét thanh thẳng có tiết diện hình chữ nhật chịu kéo đúng tâm

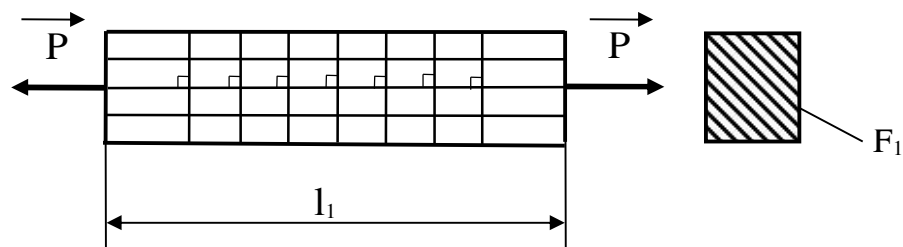
- Trước khi cho thanh chịu kéo

+ Kẻ lên mặt ngoài của thanh các đoạn thẳng song song với trục thanh, các đoạn thẳng này đặc trưng cho các thớ dọc và kẻ các đoạn thẳng vuông góc với trục thanh, các đoạn thẳng này đặc trưng cho các mặt cắt ngang. Tạo thành một lưới ô vuông



Hình 2-5

- Sau khi cho thanh chịu kéo: Lưới ô vuông biến thành lưới chữ nhật



Hình 2-6

Làm nhiều lần thí nghiệm ta đều thu được kết quả như trên

- Nhận xét:

+ *Các thớ dọc*: Vẫn thẳng, vẫn song song với nhau và song song với trục thanh. Các thớ dọc bị giãn dài ra, khoảng cách giữa chúng bị thu hẹp lại nhưng chúng vẫn có chiều dài bằng nhau điều này chứng tỏ các thớ dọc biến dạng giống nhau.

+ *Các mặt cắt ngang*: Khoảng cách giữa chúng tăng lên, tiết diện mặt cắt bị thu hẹp lại nhưng các mặt cắt vẫn phẳng và vẫn vuông góc với trục thanh. Điều này chứng tỏ các mặt cắt ngang có biến dạng giống nhau

+ Chiều dài của thanh thay đổi một đoạn $\Delta l = l_1 - l$ (Δl : biến dạng dài tuyệt đối)

+ Tiết diện mặt cắt ngang co lại $\Delta F = |F_1 - F|$

+ Ta thấy: $\Delta F \ll \Delta l$, biến dạng ngang của thanh nhỏ hơn rất nhiều so với biến dạng dọc nên ta có thể bỏ qua biến dạng ngang. (Vì trong quá trình chịu lực biến dạng ngang ít ảnh hưởng đến quá trình làm việc của chi tiết)

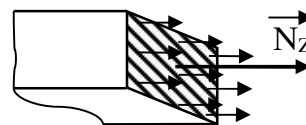
- *Kết luận*: Biến dạng trong thanh chịu kéo (nén) đúng tâm là biến dạng dài, các phần tử vật liệu có biến dạng đều như nhau

2.3.1.2. Ứng suất

Xét một mặt cắt ngang của thanh. Nội lực có phương vuông góc với mặt cắt ngang nên ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang là ứng suất pháp.

Kí hiệu: σ_z hoặc $\sigma_{k,n}$

Biến dạng tại mọi điểm trên mặt cắt ngang là giống nhau nên nội lực sinh ra phân bố đều trên mặt cắt ngang.



Hỡnh 2- 7

Công thức tính ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang

$$\sigma_z = \frac{N_z}{F} \quad (\text{N/m}^2, \text{KN/m}^2, \dots) \quad (2-1)$$

Trong đó: $+\sigma_z$: Ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của thanh

+ N_z : Lực dọc (nội lực)

+ F : Diện tích mặt cắt ngang của thanh

2.3.2. Biến dạng

Khi thanh chịu kéo (nén) đúng tâm thanh có thể bị co ngắn hoặc giãn dài một lượng là Δl , $\Delta l = l_1 - l$ (biến dạng dài tuyệt đối)

Trong đó: $+l$: Chiều dài ban đầu của thanh

+ l_1 : Chiều dài thanh sau khi biến dạng

Dấu (+) nếu thanh chịu kéo; (-) nếu thanh chịu nén.

- Xét một đoạn thanh có chiều dài l , biến dạng của đoạn thanh là:

$$\Delta l = \frac{N_Z \cdot l}{E \cdot F} \quad (2-2)$$

- Nếu trên thanh có n đoạn, mỗi đoạn có chiều dài là l_i , biến dạng của toàn thanh

là:
$$\Delta l = \sum_{i=1}^n \frac{N_{Zi} \cdot l_i}{E_i \cdot F_i} \quad (2-3)$$

Trong đó: + N_Z : Nội lực (lực dọc)

+ F : Diện tích mặt cắt ngang

+ E : Môđun đàn hồi của vật liệu (tra bảng)

2.3.3. Định luật Húc

Trong giai đoạn đàn hồi, ứng suất pháp tỷ lệ với biến dạng dài tỷ đối

$$\varepsilon_Z = \frac{\Delta l}{l} = \frac{N_Z}{E \cdot F} \Leftrightarrow \varepsilon_Z = \frac{\sigma_Z}{E} \Leftrightarrow \sigma_Z = \varepsilon_Z \cdot E \quad (2-4)$$

Trong đó: + ε_Z : Biến dạng dài tỷ đối

+ EF : Độ cứng chống kéo (nén)

2.3.4. Bài tập ứng dụng

Bài 1: Tính biến dạng dài tuyệt đối và ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của thanh có chiều dài $l = 100\text{cm}$, chịu lực $P = 8\text{KN}$. Biết $F = 10\text{cm}^2$, $E = 2.10^4 \text{KN/cm}^2$

Bài làm

- Biến dạng dài tuyệt đối của thanh

Áp dụng công thức: $\Delta l = \frac{N_Z \cdot l}{E \cdot F} \Rightarrow \Delta l = \frac{8 \cdot 100}{10 \cdot 2 \cdot 10^4} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ (cm)}$

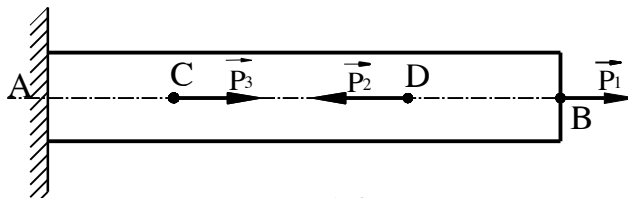
- Ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của thanh

Có $N_Z = P = 8 \text{ (KN)}$,

$$\Rightarrow \sigma_Z = \frac{N_Z}{F} = \frac{8}{10} = 0,8 \text{ (KN/cm}^2\text{)}$$

Bài 2: Thanh AB chịu tác dụng của các lực $P_1 = 30 \text{ KN}$, $P_2 = 50 \text{ KN}$, $P_3 = 60 \text{ KN}$. Biết $l_1 = 50 \text{ cm}$, $l_2 = 80 \text{ cm}$, $l_3 = 40 \text{ cm}$, $F = 8 \text{ cm}^2$, $E = 2.10^4 \text{ (KN/cm}^2\text{)}$

Tính biến dạng dài tuyệt đối của thanh chịu lực?



Bài làm

*Vẽ biểu đồ nội lực:

Hỡnh 2- 8

+ Xác định phản lực liên kết:

Phương trình cân bằng:

$$P_A - P_1 + P_2 - P_3 = 0$$

$$\Leftrightarrow P_A = P_1 - P_2 + P_3 = 30 - 50 + 60$$

$$\Leftrightarrow P_A = 40 \text{ KN}$$

+ Chia đoạn cho thanh: Chia thanh làm 3 đoạn là : AC, CD, DB

- Xét đoạn BD: Dùng mặt cắt(1-1), cắt thanh, giữ lại phần phải để khảo sát

Ta có phương trình cân bằng

$$N_Z^{1-1} - P_1 = 0$$

$$\Leftrightarrow N_Z^{1-1} = P_1 = 30 \text{ KN}$$

Vậy đoạn DB chịu kéo, nội lực N_Z^{1-1} mang dấu dương

- Xét đoạn CD: Dùng mặt cắt(2-2), cắt thanh, giữ lại phần phải để khảo sát

Ta có phương trình cân bằng

$$N_Z^{2-2} + P_2 - P_1 = 0$$

$$\Leftrightarrow N_Z^{2-2} = -P_2 + P_1 = -50 + 30 \Leftrightarrow N_Z^{2-2} = -20 \text{ KN}$$

Vậy đoạn CD chịu nén, chiều N_Z^{2-2} có chiều ngược lại.

- Xét đoạn AC: Dùng mặt cắt (3-3), cắt thanh, giữ lại phần trái để khảo sát

Ta có phương trình cân bằng

$$N_Z^{3-3} - P_A = 0$$

$$\Leftrightarrow N_Z^{3-3} = P_A = 40 \text{ KN}$$

Vậy đoạn AC chịu kéo, nội lực N_Z^{3-3} mang dấu dương

+ Biểu đồ nội lực N_z (hình 2-9)

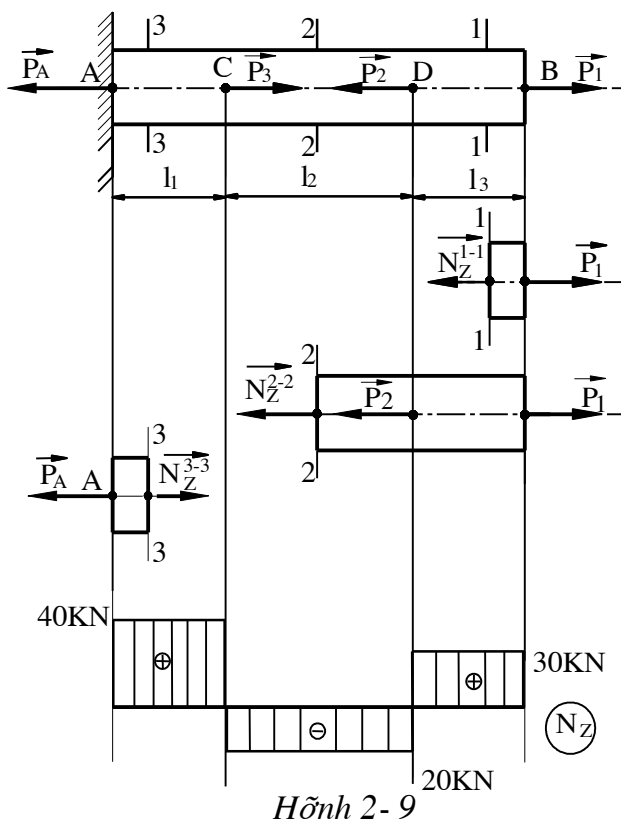
***Biến dạng dài tuyệt đối của thanh AB**

Áp dụng công thức:

$$\Delta l = \sum \frac{N_Z^{i-i} \cdot J_i}{E_i \cdot F_i} = \frac{N_Z^{1-1} \cdot J_1}{E_1 \cdot F_1} + \frac{N_Z^{2-2} \cdot J_2}{E_2 \cdot F_2} + \frac{N_Z^{3-3} \cdot J_3}{E_3 \cdot F_3}$$

Vì thanh có tiết diện không đổi nên $F = F_1 = F_2 = F_3$;

$$E = E_1 = E_2 = E_3 = 2 \cdot 10^4 \text{ KN/cm}^2$$



Hình 2-9

$$\text{Vậy ta có } \Delta l = \frac{30.50 - 20.80 + 40.60}{2.10^4.8} = 0,014 \text{ cm}$$

2.4. TÍNH TOÁN VỀ KÉO – NÉN ĐÚNG TÂM

2.4.1. Khái niệm về ứng suất cho phép và hệ số an toàn

2.4.1.1. Ứng suất nguy hiểm và ứng suất cho phép

- **Ứng suất nguy hiểm:** là giá trị ứng suất nhỏ nhất mà tương ứng với nó vật liệu xem như bị phá hỏng, ký hiệu là: σ_0, τ_0

- **Ứng suất cho phép:** là giá trị ứng suất lớn nhất mà tương ứng với nó vật liệu còn làm việc được. Nếu vượt quá giá trị đó vật liệu xem như bị phá hỏng.

Ký hiệu là:

$[\sigma]$: Ứng suất pháp cho phép

$[\tau]$: Ứng suất tiếp cho phép

* Giá trị của ứng suất cho phép được tra bảng trong sổ tay kỹ thuật .

2.4.1.2. Hệ số an toàn : $n > 1$

Hệ số an toàn là hệ số dự trữ bền tùy theo điều kiện làm việc của chi tiết, nó phụ thuộc vào các yếu tố sau:

- Vật liệu
- Điều kiện làm việc và thời gian làm việc
- Trình độ công nghệ
- Mức độ quan trọng của chi tiết....

Từ các yếu tố ảnh hưởng trên người ta tổng hợp được hệ số an toàn n

$$[\sigma] = \frac{\sigma_0}{n}; \quad [\tau] = \frac{\tau_0}{n} \quad (2-11)$$

Trong đó: n - là hệ số an toàn

2.4.2. Điều kiện bền và các bài toán cơ bản

2.4.2.1. Điều kiện bền

Điều kiện cần và đủ để thanh chịu kéo nén đúng tâm đảm bảo độ bền là ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của thanh phải nhỏ hơn hoặc bằng ứng suất cho phép.

$$\sigma_z \leq [\sigma]_{k,n} \quad (2-12)$$

2.4.2.2. Các bài toán cơ bản

2.4.2.2.1. Kiểm tra độ bền

Từ điều kiện bền ta có công thức kiểm tra độ bền:

$$\sigma_z = \frac{N_z}{F} \leq [\sigma]_{k,n} \Rightarrow \text{Thanh đảm bảo độ bền} \quad (2-13)$$

*** Các bước giải bài toán**

- Bước 1: Vẽ biểu đồ nội lực (với thanh có tiết diện thay đổi thì phải vẽ biểu đồ ứng suất)

- Bước 2: Xác định đoạn nguy hiểm (đoạn có ứng suất lớn nhất trong thanh). Tính ứng suất sinh ra tại đoạn nguy hiểm

- Bước 3: Áp dụng điều kiện bền để kiểm tra độ bền

+ Nếu $\sigma_{z_{\max}} \leq [\sigma]$: Thanh đủ bền

+ Nếu $\sigma_{z_{\max}} > [\sigma]$: Thanh không đủ bền

Bài 1: Cho thanh thẳng chịu kéo đúng tâm (hình 2-14). Diện tích mặt cắt ngang: $F = 20(\text{cm}^2)$, $P = 120 \text{ KN}$. Kiểm tra độ bền cho thanh? Biết $[\sigma] = 10 \text{ KN/cm}^2$

Bài làm

- Dùng mặt cắt (1-1) cắt thanh làm 2 phần, giữ lại phần phải để khảo sát,

Ta có phương trình cân bằng

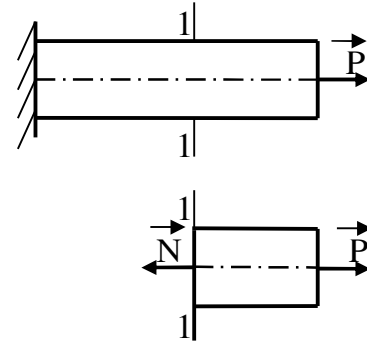
$$N_z = P = 120(\text{KN})$$

- Ứng suất sinh ra trên mặt cắt (1-1) của thanh:

$$\sigma_z = \frac{N_z}{F} = \frac{120}{20} = 6(\text{KN/cm}^2)$$

Áp dụng điều kiện bền ta thấy : $\sigma_z < [\sigma]$

Kết luận : Thanh đảm bảo độ bền

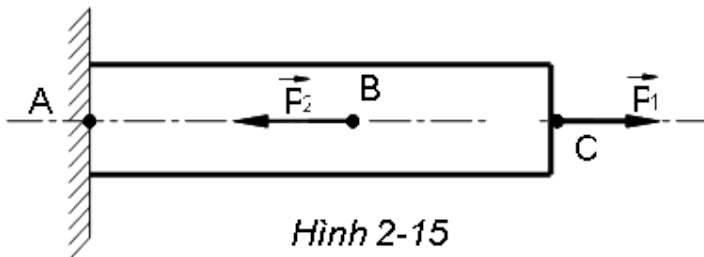


Hình 2-14

Bài 2: Cho thanh AC có tiết diện tròn đường kính $d = 2 \text{ cm}$, chịu tác dụng của các lực dọc trục $P_1 = 10 \text{ KN}$, $P_2 = 30 \text{ KN}$. (Hình 2-15)

a, Vẽ biểu đồ nội lực cho thanh AC?

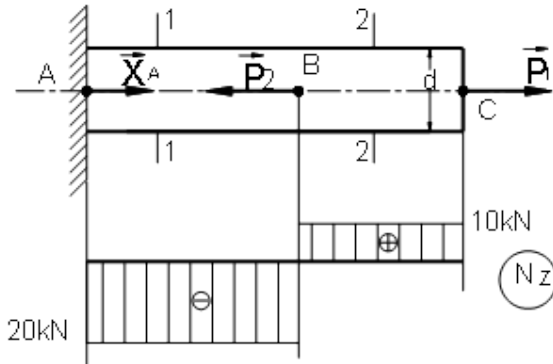
b, Kiểm tra độ bền cho thanh AC? Biết $[\sigma]_{k,n} = 10 \text{ KN/cm}^2$



Hình 2-15

Bài làm**a, Biểu đồ nội lực của thanh AC**

Biểu đồ được vẽ trong ví dụ 2.1 trang 19



Hình 2-16

b, Kiểm tra độ bền cho thanh AC

Nhìn vào biểu đồ nội lực ta thấy đoạn AB là nguy hiểm nhất. Vậy ta chỉ cần kiểm tra độ bền cho đoạn AB. Nếu đoạn AB đảm bảo độ bền thì thanh AC đảm bảo độ bền

$$\text{Áp dụng công thức kiểm tra độ bền : } \sigma_z = \frac{N_z^{1-1}}{F} \leq [\sigma]_{k,n}$$

- Nội lực $N_z = 20\text{KN}$

$$\text{- Diện tích mặt cắt ngang : } F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 3,14\text{cm}^2$$

Ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của đoạn AB là

$$\sigma_z^{1-1} = \frac{20}{3,14} = 6,37\text{KN/cm}^2$$

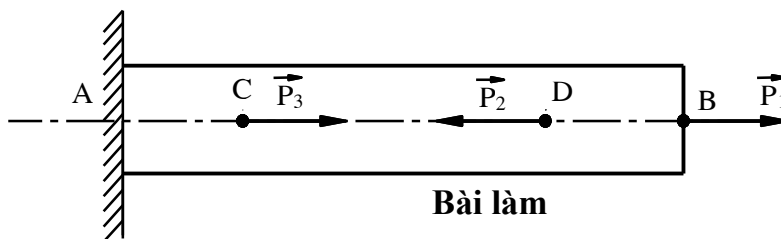
$$\text{So sánh ta thấy } \sigma_z^{1-1} = 6,37\text{KN/cm}^2 \leq [\sigma]_{k,n} = 10\text{KN/cm}^2$$

Kết luận : Thanh AC đủ bền.

Bài tập 3 : Cho thanh thẳng AB, tiết diện tròn đường kính $d = 2\text{cm}$, chịu tác dụng của lực dọc trục $P_1 = 30\text{KN}$, $P_2 = 50\text{KN}$, $P_3 = 60\text{KN}$.

- Vẽ biểu đồ nội lực cho thanh AB?

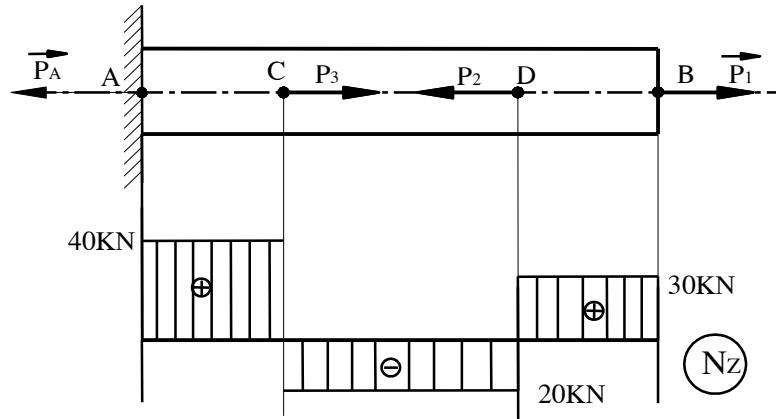
- Kiểm tra độ bền cho thanh AB? Biết $[\sigma] = 10\text{KN/cm}^2$



Hình 2-17

a. Vẽ biểu đồ nội lực: Hình 2 - 18

Biểu đồ được vẽ trong bài 2 trang 22



Hình 2-18

b. Kiểm tra độ bền

Nhìn vào biểu đồ ta thấy nội lực trên đoạn AC là lớn nhất, do đó AC là đoạn nguy hiểm nhất. Nên ta chỉ cần kiểm tra bền cho đoạn AC. Nếu đoạn AC đảm bảo độ bền thì thanh cũng đảm bảo độ bền.

Điều kiện bền:

$$\sigma_{Z_{\max}} = \frac{N_Z^{3-3}}{F} \leq [\sigma]$$

Tacó: + Nội lực $N_Z^{3-3} = 40 \text{ kN}$

+ Diện tích mặt cắt ngang của thanh là:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 3,14 \text{ (cm}^2\text{)}$$

⇒ Ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của đoạn AC:

$$\sigma_{Z_{\max}} = \frac{N_Z^{3-3}}{3,14} = \frac{40}{3,14} = 12,7 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$$

So sánh ta thấy: $\sigma_Z = 12,7 \text{ kN/cm}^2 > [\sigma]_{k,n} = 10 \text{ kN/cm}^2$

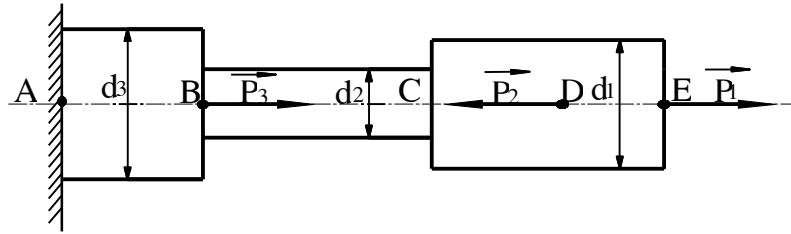
Kết luận: Thanh không đủ độ bền

Bài tập 4: Thanh AE có tiết diện tròn có các đường kính tương ứng là $d_1 = 6 \text{ cm}$, $d_2 = 4 \text{ cm}$, $d_3 = 8 \text{ cm}$ (hình 2-19), thanh chịu tác dụng của các lực dọc trục $P_1 = 100 \text{ kN}$, $P_2 = 60 \text{ kN}$, $P_3 = 140 \text{ kN}$.

a. Vẽ biểu đồ nội lực cho thanh AE ?

b. Vẽ biểu đồ ứng suất cho thanh AE ?

c. Tính bền cho thanh AE ? Biết $[\sigma]_{k,n} = 10 \text{ kN/cm}^2$



Hỡnh 2-19

Bài làm**a. Vẽ biểu đồ nội lực:**

+ *Bước 1:* Xác định phản lực liên kết

Ta có phương trình cân bằng:

$$P_A - P_1 + P_2 - P_3 = 0$$

$$\Leftrightarrow P_A = P_1 - P_2 + P_3 = 100 - 60 + 140$$

$$\Leftrightarrow P_A = 180 \text{ KN}$$

+ *Bước 2:* Chia đoạn cho thanh: Chia thanh làm 3 đoạn là : AB, BD, DE

+ *Bước 3:* Xác định nội lực cho từng đoạn

- Xét đoạn DE: Dùng mặt cắt (1-1) cắt thanh, giữ lại phần trái để khảo sát

Ta có phương trình cân bằng

$$N_Z^{1-1} - P_1 = 0$$

$$\Leftrightarrow N_Z^{1-1} = P_1 = 100 \text{ KN}$$

Vậy đoạn DE chịu kéo, chiều N_Z^{1-1} có chiều như hình vẽ

- Xét đoạn BD: Dùng mặt cắt (2-2) cắt thanh, giữ lại phần phải để khảo sát

Ta có phương trình cân bằng

$$N_Z^{3-3} + P_2 - P_1 = 0$$

$$\Leftrightarrow N_Z^{3-3} = -60 + 100 = 40 \text{ KN}$$

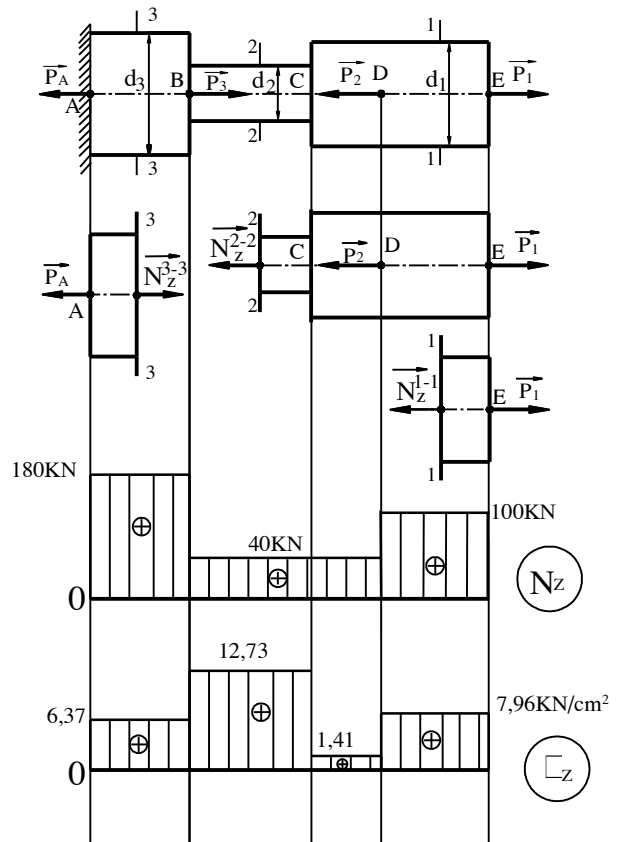
Vậy đoạn BD chịu nén, chiều N_Z^{2-2} có chiều như hình vẽ.

- Xét đoạn AB: Dùng mặt cắt (3-3) cắt thanh, giữ lại phần phải để khảo sát

Ta có phương trình cân bằng

$$N_Z^{3-3} - P_A = 0$$

$$\Leftrightarrow N_Z^{3-3} = P_A = 180 \text{ KN}$$



Hỡnh 2-20

Vậy đoạn AB chịu kéo, nội lực N_Z^{3-3} mang dấu dương, có chiều hình vẽ

+ *Bước 4: Vẽ biểu đồ nội lực N_z (hình 2-20)*

* Trong bài toán này tính toán cho thanh có tiết diện thay đổi. Vì vậy không thể dựa vào biểu đồ nội lực để xác định điểm nguy hiểm. Như chúng ta đã biết điểm nguy hiểm là điểm có giá trị ứng suất lớn nhất, do đó để tìm được điểm nguy hiểm cần phải vẽ biểu đồ ứng suất.

b. Vẽ biểu đồ ứng suất

Diện tích mặt cắt ngang của các đoạn AB, BC, CE tương ứng là:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} = 12,56 \text{ cm}^2$$

$$F_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 3,14 \text{ cm}^2$$

$$F_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 6^2}{4} = 28,26 \text{ cm}^2$$

+ Ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của đoạn DE là:

$$\sigma_Z^{DE} = \frac{N_Z^{1-1}}{F_1} = \frac{100}{12,56} = 7,96 \text{ KN/cm}^2$$

+ Ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của đoạn CD là:

$$\sigma_Z^{CD} = \frac{N_Z^{2-2}}{F_3} = \frac{40}{28,26} = 1,41 \text{ KN/cm}^2$$

+ Ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của đoạn BC là:

$$\sigma_Z^{BC} = \frac{N_Z^{2-2}}{F_2} = \frac{40}{3,14} = 12,73 \text{ KN/cm}^2$$

+ Ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của đoạn AB là:

$$\sigma_Z^{DE} = \frac{N_Z^{3-3}}{F_3} = \frac{180}{28,26} = 6,37 \text{ KN/cm}^2$$

Biểu đồ ứng suất: σ_z (Hình 2-20)

* *Nhận xét biểu đồ ứng suất:* Nhìn vào biểu đồ ứng suất ta thấy đoạn BC nguy hiểm nhất.

c. Kiểm tra độ bền cho thanh AE

Nhìn vào biểu đồ ta thấy ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của đoạn BC là lớn nhất, do đó đoạn BC là đoạn nguy hiểm nhất. Nên ta chỉ cần kiểm tra bền cho đoạn BC. Nếu đoạn BC đảm bảo độ bền thì thanh cũng đảm bảo độ bền.

* Áp dụng điều kiện bền

$$\sigma_{Z \max} \leq [\sigma]_{k,n}$$

Ta có:

$$\sigma_Z^{BC} = \sigma_{Z_{\max}} = 12,73 \text{KN} / \text{cm}^2 ; \quad [\sigma]_{k,n} = 10 \text{KN} / \text{cm}^2$$

So sánh ta thấy: $\sigma_{Z_{\max}} = 12,73 \text{KN} / \text{cm}^2 > [\sigma]_{k,n} = 10 \text{KN} / \text{cm}^2$

* *Kết luận*: Thanh AE không đủ độ bền

2.4.2.2.2. Xác định kích thước mặt cắt ngang hợp lý

Nội dung: Cho lực tác dụng và ứng suất cho phép. Xác định kích thước mặt cắt hợp lý sao cho thanh đảm bảo độ đủ bền ?

Từ điều kiện bền ta có

$$F \geq \frac{|N_{Z_{\max}}|}{[\sigma]} = [F] \quad (2-14)$$

$[F]$: là diện tích mặt cắt cho phép

* Các bước giải bài toán

- Bước 1: Vẽ biểu đồ nội lực
- Bước 2: Xác định ứng suất lớn nhất trong thanh
- Bước 3: Xác định diện tích mặt cắt ngang từ điều kiện bền

* *Chú ý*: Theo kinh nghiệm nên chọn một kích thước F hợp lý trong khoảng:

$$[F] \leq F \leq [F] + 5\%[F] \quad (2-15)$$

Bài 5: Cho thanh thẳng AD, tiết diện tròn đường kính d, chịu tác dụng của lực dọc trục $P_1=30 \text{KN}$, $P_2=50 \text{KN}$, $P_3=60 \text{KN}$. Biết $[\sigma]_{k,n} = 10 \text{KN}/\text{cm}^2$ (hình vẽ). Xác định đường kính hợp lý cho thanh?

Bài làm

(Biểu đồ lấy kết quả từ hình 2-18- bài 3 trang 30)

Ta thấy đoạn AC là nguy hiểm nhất vậy ta phải xác định đường kính hợp lý cho thanh ở vị trí AC (nếu cần ta cũng phải tính đường kính hợp lý cho đoạn CB và DB)

Ta có: Nội lực sinh ra trên mặt cắt ngang của đoạn AC: $N_Z^{3-3} = 40 \text{KN}$

Từ điều kiện bền ta có diện tích mặt cắt ngang của thanh:

$$F \geq \frac{N_Z^{3-3}}{[\sigma]} = \frac{40}{10} = 4(\text{cm}^2),$$

$$\text{Mà có } F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow \frac{\pi \cdot d^2}{4} \geq 4 \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 4}{3,14}} = 2,26(\text{cm})$$

Chọn đường kính $d = 2,3 \text{ (cm)}$

2.4.2.2.3. Xác định lực tác dụng hợp lý

Nội dung: Cho kích thước mặt cắt ngang, ứng suất cho phép, phương, chiều, điểm đặt của tải trọng nhưng chưa biết trị số. Yêu cầu xác định trị số của tải trọng sao cho thanh đủ bền.

Từ điều kiện bền ta có :

$$N_z (= P) \leq F \cdot [\sigma]_{k,n} = [P] \quad (2-16)$$

* Các bước giải bài toán

- Bước 1: Vẽ biểu đồ nội lực
- Bước 2: Xác định tải trọng từ điều kiện bền

* Theo kinh nghiệm nên chọn tải trọng tác dụng hợp lý trong khoảng:

$$[P] - 5\%[P] \leq P \leq [P] \quad (2-17)$$

Bài 6: Cho thanh AB có diện tích mặt cắt ngang $F=8\text{cm}^2$. Xác định lực tác dụng hợp lý để thanh đủ bền? Biết $[\sigma]_{k,n} = 10 \text{ (KN/cm}^2\text{)}$.

Bài làm

Từ điều kiện bền ta có

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \frac{N_z}{F} = \frac{P}{F} \leq [\sigma]_{k,n} \\ \Rightarrow P &\leq F \cdot [\sigma]_{k,n} = 8 \cdot 10 = 80 \text{ KN} \end{aligned}$$

* Tải trọng tác dụng hợp lý chọn trong khoảng:

$$[P] - 5\%[P] \leq P \leq [P]$$

\Rightarrow Vậy chọn $P = 78 \text{ KN}$

3. Đặc trưng hình học của hình phẳng.

3.1. MÔ MEN TÍNH

Mục tiêu:

- Trình bày được khái niệm về mô men tính;
- Viết được công thức xác định tọa độ trọng tâm;
- Xác định được tọa độ trọng tâm.

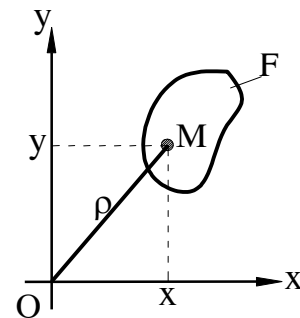
Xét một mặt cắt có diện tích F và hệ trục xoy ta lấy xung quanh điểm $M(x, y)$ một phân tố có diện tích dF

3.1.1. Định nghĩa: Ký hiệu S_x ; S_y

Mô men tính của mặt cắt F lấy đối với trục Ox, Oy được định nghĩa bằng biểu thức sau:

Mô men tính của mặt cắt F lấy đối với trục Ox

$$S_x = \int_F y \cdot dF \text{ (chiều dài)}^3 \quad (4-1)$$



Hình 4-1

Mômen tĩnh của mặt cắt F lấy đối với trục Oy

$$S_y = \int_F x \cdot dF \text{ (chiều dài)}^3 \quad (4-2)$$

Trị số của mômen tĩnh có thể (+); (-) hoặc không

Nếu mô men tĩnh của mặt cắt F lấy đối với một trục nào đó bằng không thì trục trung tâm gọi là trọng tâm của mặt cắt.

3.1.2. Công thức xác định tọa độ trọng tâm

- Giả sử xoy là hệ trục trung tâm thì khi đó:

$$+ S_x = S_y = 0 ; X_c = a, Y_c = b$$

$$\Rightarrow S_x = Y_c \cdot F ; S_y = X_c \cdot F \quad (4-3)$$

Công thức xác định trọng tâm

$$Y_c = \frac{S_x}{F}, X_c = \frac{S_y}{F} \quad (4-4)$$

3.1.3. Tọa độ trọng tâm C (x_c, y_c) của hình phẳng phức tạp (ghép bởi nhiều hình đơn giản)

$$x_c = \frac{x_{c1} \cdot F_1 + x_{c2} \cdot F_2 + \dots + x_{cn} \cdot F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum x_{ci} \cdot F_i}{\sum F_i} \quad (4-5)$$

$$y_c = \frac{y_{c1} \cdot F_1 + y_{c2} \cdot F_2 + \dots + y_{cn} \cdot F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum y_{ci} \cdot F_i}{\sum F_i}$$

Trong đó : (x_{ci}, y_{ci}): Là tọa độ trọng tâm của hình phẳng thứ i

F_i : Diện tích của hình thứ i

Ví dụ 4-1 : Xác định tọa độ trọng tâm

của tấm phẳng (Hình 4 -3)

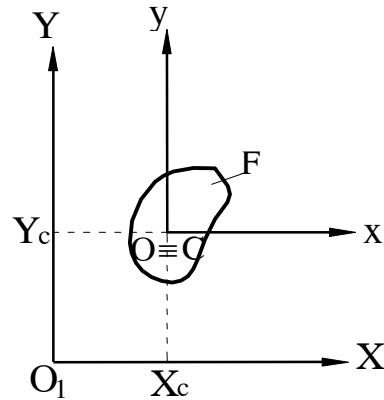
- Đặt hệ trục tọa độ Oxy vào tấm phẳng
- Gọi C (x_c, y_c) là trọng tâm của cả tấm phẳng
- Chia hình phẳng làm 2 phần: 1, 2
- Tọa độ trọng tâm của các tấm phẳng tương ứng là : C₁ (x₁, y₁) ; C₂ (x₂, y₂)

$$x_1 = 2m; y_1 = 3m ; x_2 = 5m, y_2 = 2m$$

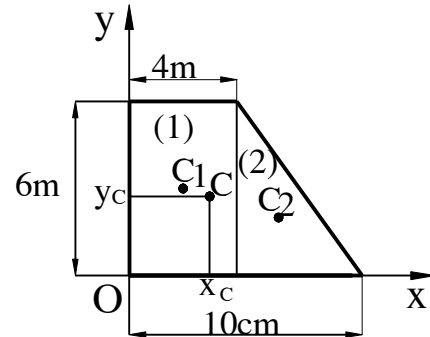
Diện tích các tấm phẳng tương ứng là

$$S_1 = 24m^2 ; S_2 = 9m^2$$

Thay vào công thức ta có :



Hình 4-2



Hình 4-3

$$x_c = \frac{x_1 \cdot S_1 + x_2 \cdot S_2}{S_1 + S_2} = \frac{2 \cdot 24 + 5 \cdot 9}{24 + 9} = \frac{31}{11} m$$

$$y_c = \frac{y_1 \cdot S_1 + y_2 \cdot S_2}{S_1 + S_2} = \frac{3 \cdot 24 + 2 \cdot 9}{24 + 9} = \frac{30}{11} m$$

Trọng tâm của cả tấm phẳng trên là $C \left(\frac{31}{11}, \frac{30}{11} \right)$

Ví dụ 4-2 : Xác định tọa độ trọng tâm của tấm phẳng (Hình 4 -4)

- Đặt hệ trục tọa độ Oxy vào tấm phẳng
- Gọi $C(x_c, y_c)$ là trọng tâm của cả tấm phẳng
- Chia hình phẳng làm 2 phần: 1, 2
- Tọa độ trọng tâm của các tấm phẳng tương ứng là: $C_1(x_1, y_1)$; $C_2(x_2, y_2)$

$$x_1 = 20 \text{cm}; y_1 = 20 \text{cm}; x_2 = 20 \text{cm}; y_2 = 8,5 \text{cm}$$

- Diện tích các tấm phẳng tương ứng là

$$S_1 = 1800 \text{cm}^2, \quad S_2 = 628 \text{cm}^2$$

- Diện tích cả tấm phẳng:

$$S = S_1 - S_2 = 1800 - 628 = 1172 \text{cm}^2$$

Thay vào công thức ta có:

$$x_c = \frac{x_1 \cdot S_1 - x_2 \cdot S_2}{S_1 - S_2} = \frac{20 \cdot 1800 - 20 \cdot 628}{1172} = 20 \text{cm}$$

$$y_c = \frac{y_1 \cdot S_1 - y_2 \cdot S_2}{S_1 - S_2} = \frac{20 \cdot 1800 - 8,5 \cdot 628}{1172} = 26,16 \text{cm}$$

Trọng tâm của cả tấm phẳng C (20;26;16)

3.2. KHÁI NIỆM VỀ MÔ MEN QUÁN TÍNH..

3.2.1. Định nghĩa

3.2.1.1. Mô men quán tính trục: Ký hiệu J_x ; J_y

Mô men quán tính của mặt cắt F lấy đối với trục Ox, Oy

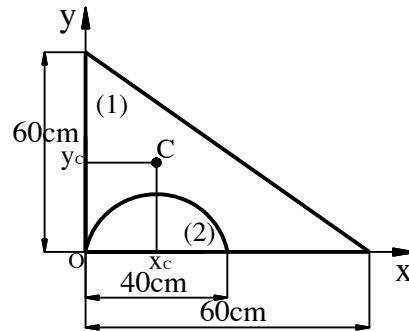
$$J_x = \int_F y^2 \cdot dF \quad (\text{chiều dài})^4 \quad (4-6)$$

$$J_y = \int_F x^2 \cdot dF \quad (\text{chiều dài})^4 \quad (4-7)$$

Trị số mô men quán tính luôn dương

3.2.1.2. Mô men quán tính độc cực: (mô men quán tính đối với một điểm).

Ký hiệu: J_p



Hình 4 -4

Mô men quán tính độc cực của mặt cắt F lấy đối với gốc tọa độ, được định nghĩa bằng công thức sau:

$$J_{\rho} = \int_F \rho^2 . dF \quad (\text{chiều dài})^4 \quad (4-8)$$

$$J_{\rho} = \int_F (x^2 + y^2) . dF = J_x + J_y \quad (\text{chiều dài})^4 \quad (4-9)$$

Điều này chứng tỏ mô men quán tính độc cực bao giờ cũng có trị số dương.

3.2.1.3. Mô men quán tính ly tâm: Ký hiệu J_{xy}

Mômen quán tính của mặt cắt F lấy đối với hệ trục xoy

$$J_{xy} = \int_F x . y . dF \quad (\text{chiều dài})^4 \quad (4-10)$$

Trị số của mômen quán tính ly tâm có thể (+), (-) hoặc không

+ *Mô men quán tính chính trung tâm:*

Khi mô men quán tính ly tâm của mặt cắt lấy đối với hệ trục nào đó bằng không thì hệ trục đó gọi là hệ trục quán tính chính trung tâm.

Nếu mặt cắt có một trục đối xứng thì trục đối xứng đó chính là một trục của hệ trục quán tính chính trung tâm.

- Hệ trục quán tính chính là hệ trục có mô men quán tính ly tâm bằng không ($J_{xy} = 0$)

- Hệ trục quán tính chính trung tâm là hệ trục có gốc tọa độ trùng với trọng tâm mặt cắt ($J_{xy} = S_x = S_y = 0$)

- Mô men quán tính trục của hệ trục quán tính chính gọi là mô men quán tính chính

- Khi mô men tĩnh của diện tích F đối với một trục nào đó bằng không, thì trục đó được gọi trục trung tâm. Giao điểm của hai trục trung tâm được gọi là trung tâm của mặt cắt.

Mô men quán tính trục của hệ trục quán tính chính trung tâm gọi là mô men quán tính chính trung tâm

* *Chú ý:* Nếu mặt cắt có một trục đối xứng thì hệ trục được tạo bởi một trục đối xứng đó và trục vuông góc với nó chính là hệ trục quán tính chính

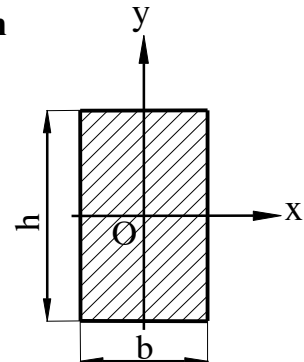
3.2.3. Đặc trưng hình học của một số mặt cắt đơn giản

3.2.3.1. Mặt cắt hình chữ nhật

- Mô men tĩnh: $S_x = S_y = 0$

- Mô men quán tính ly tâm: $J_{xy} = 0$

- Mô men quán tính trục: $J_x = \frac{b . h^3}{12}$



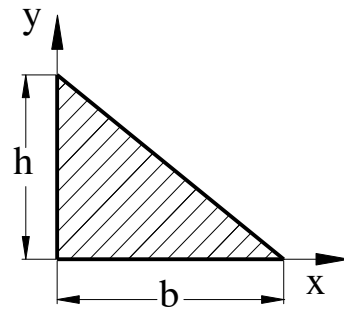
Hình 4-5

$$J_y = \frac{h.b^3}{12}$$

3.2.3.2. Mặt cắt hình tam giác

- Mô men quán tính trục: $J_x = \frac{bh^3}{12}$

$$J_y = \frac{hb^3}{12}$$



Hỡnh 4-6

3.2.3.3. Mặt cắt ngang là hình tròn đặc

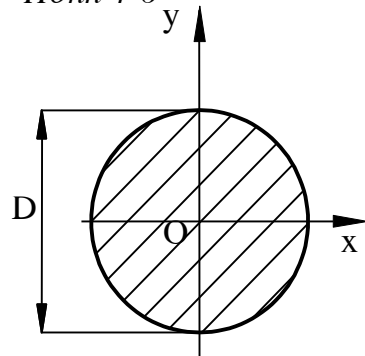
- Mô men tĩnh: $S_x = S_y = 0$

- Mô men quán tính ly tâm: $J_{xy} = 0$

- Mô men quán tính độc cực: $J_\rho = \frac{\pi D^4}{32} \approx 0,1D^4$

- Mô men quán tính trục:

$$J_x = J_y = \frac{J_\rho}{2} = \frac{\pi D^4}{64} = 0,05D^4$$



Hỡnh 4-7

3.2.3.4. Mặt cắt ngang là hình tròn rỗng

- Mô men tĩnh: $S_x = S_y = 0$

- Mô men quán tính ly tâm: $J_{xy} = 0$

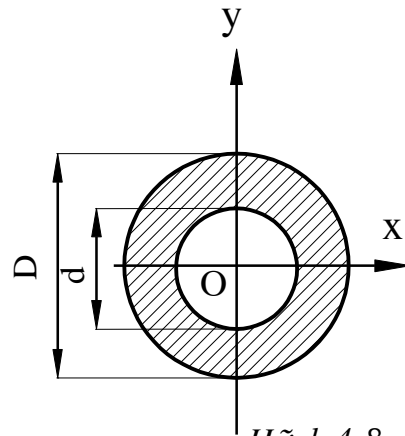
- Mô men quán tính độc cực:

$$J_\rho = \frac{\pi D^4}{32} (1 - \eta^4) \approx 0,1D^4 (1 - \eta^4)$$

- Mô men quán tính trục:

$$J_x = J_y = \frac{J_\rho}{2} = 0,05D^4 (1 - \eta^4)$$

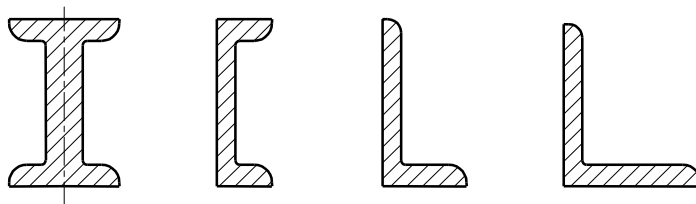
Trong đó: $\eta = \frac{d}{D}$



Hỡnh 4-8

3.2.3.5 Mặt cắt ngang của các thép định hình

Tra bảng đặc trưng hình học của các mặt cắt trong các sổ tay kỹ thuật



Hỡnh 4-9

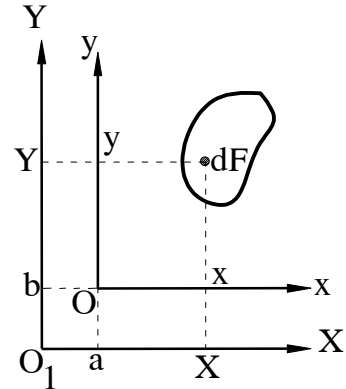
3.2.4. Công thức chuyển trục song song (Định lý tịnh tiến trục)

Trong thực tế ta thường gặp các chi tiết, bộ phận công trình mà tiết diện mặt cắt ngang được ghép bởi nhiều tiết diện đơn giản, tạo khả năng chịu lực tốt nhất. Tiết kiệm nhất. Điều này yêu cầu chúng ta phải biết cách tính các loại mômen quán tính khi biết mômen quán tính của những hình đơn giản.

- Cho mặt cắt F với các đặc trưng hình học của hệ trục xoy coi như đã biết. (Hình 4-7)

- Xác định đặc trưng hình học của mặt cắt F đối với XO_1Y được tạo thành khi ta tịnh tiến trục Ox đi một khoảng b và Oy đi một khoảng a

$$\begin{cases} X = x + a \\ Y = y + b \end{cases}$$



Hình 4-10

3.2.4.1. Mômen tĩnh

Mô men tĩnh của mặt cắt F lấy đối với trục O_1X, O_1Y

$$S_X = \int_F Y \cdot dF = \int_F (y + b) dF = S_x \int_F b \cdot dF = S_x + b \cdot F \quad (4-11)$$

Tương tự: $S_Y = S_y + a \cdot F$

3.2.4.2. Mô men quán tính

Mô men quán tính của mặt cắt F lấy đối với trục O_1X, O_1Y

$$J_X = \int_F Y^2 dF = \int_F (y + b)^2 dF = \int_F (y^2 + 2yb + b^2) dF = J_x + 2bS_x + b^2F$$

Tương tự: $J_Y = J_y + 2aS_y + a^2F$ (4-12)

3.2.4.3. Mô men quán tính li tâm

- Mô men quán tính li tâm của mặt cắt F lấy đối với hệ trục XO_1Y

$$J_{XY} = \int_F XY dF = \int_F (x + a)(y + b) dF = J_{xy} + b \cdot S_y + a \cdot S_x + abF$$

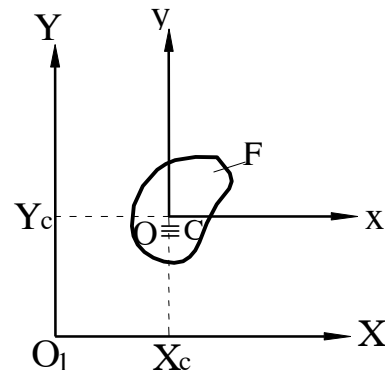
(4-13)

- Giả sử xoy là hệ trục trung tâm (Hình 4-11), thì khi đó:

$$+ S_x = S_y = 0 ; X_c = a, Y_c = b$$

Ta có: $S_X = Y_c \cdot F ; S_Y = X_c \cdot F$

$$J_X = J_x + b^2 \cdot F \quad (4-14)$$



Hình 4-11

$$J_Y = J_y + a^2 \cdot F$$

Công thức xác định trọng tâm C

$$Y_c = \frac{S_x}{F}, X_c = \frac{S_y}{F} \quad (4-15)$$

+ Mô men tĩnh của một mặt cắt lấy đối với một trục thì bằng diện tích của mặt cắt đó nhân với khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt ấy lấy đối với trục.

$$J_X = J_x + Y_c^2 \cdot F$$

$$J_Y = J_y + X_c^2 \cdot F \quad (4-16)$$

$$J_{XY} = J_{xy} + X_c \cdot F$$

3.3. BÁN KÍNH QUÁN TÍNH: Ký hiệu i_x ; i_y

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}}, i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}} \quad (\text{chiều dài}) \quad (4-17)$$

Ví dụ 4.3:

Xác định mô men quán tính chính trung tâm của hình phẳng (Hình 4 -12) ?

Lập hệ trục xOy , Oy là trục đối xứng nên là trục quán tính chính trung tâm.

* Xác định trọng tâm của hình phẳng:

Có $x_c = 0$

$$y_c = \frac{y_1 \cdot S_1 + y_2 \cdot S_2}{S_1 + S_2} = \frac{4 \cdot 8 + 1 \cdot 12}{8 + 12} = 2,2 \text{ cm}$$

Lập hệ trục quán tính chính trung tâm x_0Cy_0

* Xác định mô men quán tính chính trung tâm J_{x_0}, J_{y_0}

Áp dụng công thức:

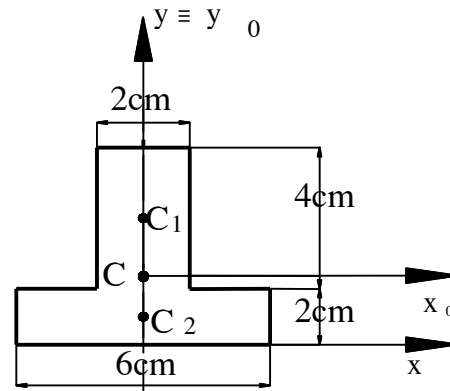
$$J_{x_0} = J_{x_0}^1 + J_{x_0}^2$$

$$\text{Ta có: } J_{x_0}^1 = \frac{b \cdot h^3}{12} + C_1 C \cdot F_1 = \frac{2 \cdot 4^3}{12} + 1,8 \cdot 8 = \frac{376}{15}$$

$$J_{x_0}^2 = \frac{b \cdot h^3}{12} + C_2 C \cdot F_2 = \frac{6 \cdot 2^3}{12} + 1,2 \cdot 12 = \frac{92}{5}$$

$$\Rightarrow J_{x_0} = J_{x_0}^1 + J_{x_0}^2 = \frac{376}{15} + \frac{92}{5} = \frac{652}{15}$$

Tương tự ta có



Hình 4 -12

$$J_{y_0} = J_{y_0}^1 + J_{y_0}^2 = \frac{4.2^3}{12} + \frac{2.6^3}{12} = \frac{116}{3}$$

Mô men quán tính chính trung tâm là: $J_{x_0} = \frac{652}{15}$, $J_{y_0} = \frac{116}{3}$

4. Xoắn thuần túy những thanh tròn.

4.1. KHÁI NIỆM VỀ XOẮN THUẦN TÚY

Mục tiêu:

- Trình bày được khái niệm về xoắn thuần túy
- Vẽ được biểu đồ mô men xoắn nội lực

4.1.1. Định nghĩa

Thanh chịu xoắn thuần túy là thanh mà ngoại lực tác dụng là các ngẫu lực hay các mô men có chiều quay ngược nhau và có mặt phẳng tác dụng trùng với các mặt cắt ở trong thanh.

Ví dụ: Mũi khoan, trục động cơ, trục hộp giảm tốc...

4.1.2. Nội lực và biểu đồ mô men xoắn nội lực

4.1.2.1. Nội lực

Xét thanh thẳng có tiết diện tròn chịu tác dụng của các mô men như hình vẽ (*Hình 5-1*)

Dùng phương pháp mặt cắt để xác định nội lực.

Ta xác định được mô men xoắn nội lực M_z có:

- Phương: Trùng với mặt cắt ngang của thanh
- Trị số: Bằng tổng đại số của các mômen ngoại lực tác dụng ($M_z = m$)

***Quy ước dấu**

Mômen xoắn nội lực: Ký hiệu: M_z

+ Nhìn từ bên ngoài vào mặt cắt thấy mô men M_z quay cùng chiều kim đồng hồ thì M_z mang dấu dương.

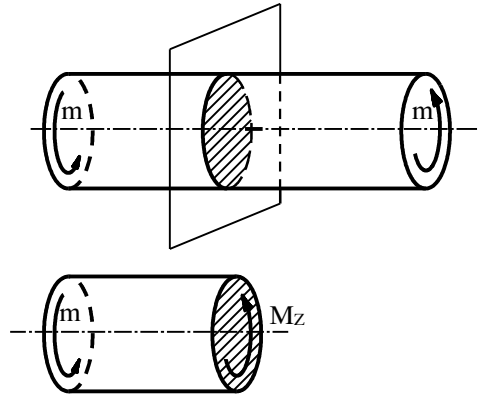
+ Nhìn từ bên ngoài vào mặt cắt thấy mô men M_z quay ngược chiều kim đồng hồ thì M_z mang dấu âm.

- Đơn vị: N.m, KN.m, ...

4.1.2.2. Biểu đồ nội lực

Các bước vẽ biểu đồ nội lực

- **Bước 1:** Xác định phản lực liên kết (nếu cần)



Hình 5-1

- **Bước 2:** Chia đoạn cho thanh, dựa trên cơ sở vị trí tác dụng của mômen tương ứng với một điểm, hai điểm liên tiếp là một đoạn.

- **Bước 3:** Xác định nội lực trong từng đoạn

+ Dùng phương pháp mặt cắt, cắt thanh làm hai phần, giữ lại một phần để khảo sát

+ Đặt nội lực vào mặt cắt (giả định nội lực M_z dương)

+ Viết phương trình cân bằng và giải các phương trình \Rightarrow giá trị của nội lực

- **Bước 4:** Vẽ biểu đồ nội lực

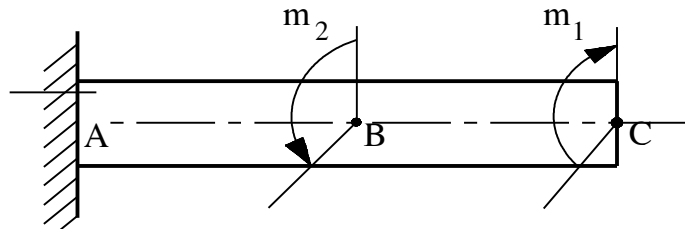
+ Kẻ đường thẳng song song với trục thanh gọi là đường không.

+ Kẻ các đoạn thẳng song song với nhau và vuông góc với đường không

+ Điền dấu, điền giá trị nội lực

***Ví dụ 1:**

Cho thanh chịu xoắn thuần túy như trên (hình 5-2): $m_1 = 20 \text{ KNm}$, $m_2 = 60 \text{ KNm}$. Vẽ biểu đồ nội lực cho thanh AC?



Hỡnh 5-2

Bài làm

- B1: Xác định phản lực liên kết (hỡnh5-3)

Ta có phương trình cân bằng

$$\sum m_z = m_A + m_1 - m_2 = 0$$

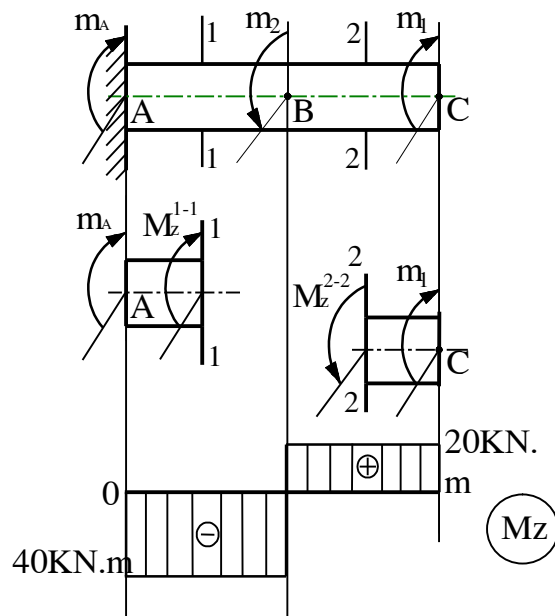
$$\Rightarrow m_A = m_2 - m_1 = 60 - 20 = 40 \text{ KN.m}$$

- B2: Chia đoạn cho thanh: AB, BC

- B3: Xác định nội lực trên từng đoạn

+ Xét đoạn AB: Dùng mặt cắt (1-1) cắt thanh, xét cân bằng phần bên phải, ta có:

$$M_z^{1-1} - m_2 + m_1 = 0$$



Hỡnh 5-3

$$\Rightarrow M_Z^{1-1} = m_2 - m_1 = 50 - 30 = 20 \text{ KN}$$

+ Xét đoạn BC: Dùng mặt cắt (2-2) cắt thanh, xét cân bằng phần bên phải, ta có:

$$M_Z^{2-2} + m_1 = 0$$

$$\Rightarrow M_Z^{2-2} = -m_1 = -30 \text{ KN}$$

- B4: Vẽ biểu đồ nội lực (hình 5-3)

***Nhận xét:** Nhìn vào biểu đồ ta thấy đoạn AB là đoạn nguy hiểm nhất

4.1.3. Liên hệ giữa mô men ngoại lực với công suất và vận tốc góc

Giữa công suất của động cơ truyền đến các trục của mô men xoắn ngoại lực tác dụng lên trục có mối quan hệ sau:

Công A do mô men M thực hiện khi trục quay một góc α trong thời gian t là:

$$A = M \cdot \alpha \quad (5-1)$$

$$\text{Vậy công suất: } W = \frac{A}{t} = M \cdot \frac{\alpha}{t} = M \cdot \omega \quad (5-2)$$

$$\text{Từ đó rút ra: } M = \frac{W}{\omega} \quad (5-3)$$

Trong đó: - M là mô men xoắn ngoại lực (Nm)

- W là công suất (w)

- ω là vận tốc góc (rad/s)

- n là tốc độ vòng quay (vòng/phút)

$$\text{Vận tốc góc: } \omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (\text{rad/s}) \quad (5-4)$$

Trong kỹ thuật người ta còn sử dụng công thức sau:

$$M = 9,55 \cdot \frac{W}{n} \quad (\text{Nm}) \quad (5-5)$$

$$\text{W tính bằng mã lực ta có: } M = 7162 \cdot \frac{W}{n} \quad (\text{Nm}) \quad (5-6)$$

4.2. ỨNG SUẤT VÀ BIẾN DẠNG TRONG THANH MẶT CẮT TRÒN CHỊU XOẮN

Mục tiêu:

- Trình bày được biến dạng trong thanh chịu xoắn thuần túy.
- Phân tích và tính được ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang.
- Tính được biến dạng trong thanh chịu xoắn.

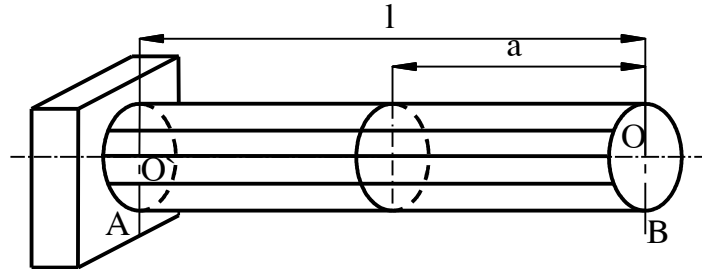
4.2.1. Biến dạng

Xét một thanh thẳng có tiết diện tròn, chiều dài là l, bán kính R.

+ Trước khi cho thanh chịu xoắn (Hình 5- 4)

- Kẻ lên mặt ngoài của thanh các đường thẳng song song với trục thanh, các đường thẳng này đặc trưng cho các thớ dọc.

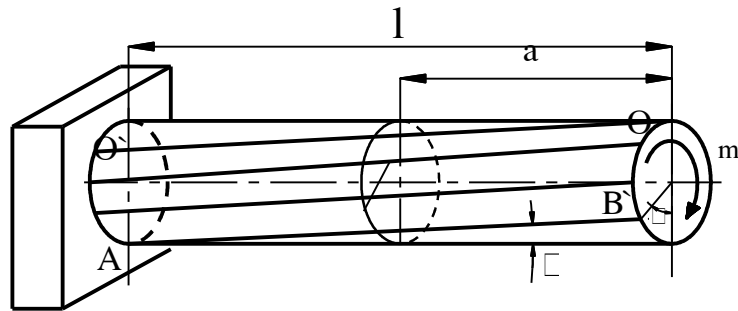
- Kẻ các đường tròn vuông góc với trục của thanh, các đường này đặc trưng cho các mặt cắt ngang.



Hình 5- 4

Tác dụng vào thanh mô men xoắn m làm cho thanh chịu xoắn.

+ Sau khi cho thanh chịu xoắn (Hình 5- 5)



Hình 5-5

Nhận xét:

- Các thớ dọc:

+ Các thớ dọc bị lệch đi so với ban đầu một góc là γ , nhưng chúng vẫn song song với nhau và không còn song song với trục của thanh.

γ : là góc trượt của các thớ dọc

+ Xét thớ dọc là trục OO' , ta thấy thớ OO' không bị lệch đi so với ban đầu, vậy biến dạng góc γ của thớ OO' bằng 0. Xét thớ dọc cách trục một khoảng r bất kỳ ($r < R_{\max}$) ta thấy r tăng thì góc γ tăng, khi r đạt R_{\max} ta thấy góc γ đạt giá trị lớn nhất. Như vậy góc γ có giá trị thay đổi từ 0 đến γ_{\max}

Ta có: $0 \leq \gamma \leq \gamma_{\max}$

Vậy ta thấy thờ dọc trùng với trục thanh không bị biến dạng góc $\gamma = 0$.
Càng tiến ra mặt trụ ngoài cùng thì góc γ càng tăng dần và ở mặt trụ ngoài cùng thì góc γ đạt giá trị lớn nhất là γ_{\max}

- Các mặt cắt ngang:

+ Khoảng cách giữa các mặt cắt ngang không đổi, chiều dài thanh không đổi vậy thanh không có biến dạng dọc trục (dài)

+ Các mặt cắt ngang vẫn tròn, vẫn phẳng và vẫn vuông góc với trục thanh.

+ Xét điểm B thuộc thanh, ta thấy trước biến dạng điểm B là giao điểm của thờ dọc thứ nhất với mặt đầu tự do, nhưng sau chịu xoắn điểm B dịch chuyển thành điểm B'. Như vậy ta thấy điểm B dịch chuyển một cung tương ứng là cung BB', tức là mặt đầu tự do xoay đi một góc tương ứng là φ .

φ : là góc xoay của mặt cắt ngang

Xét điểm A thuộc mặt đầu cố định, ta thấy điểm A không bị xoay, vậy góc xoay của mặt đầu cố định bằng 0 tức $\varphi = 0$

Xét mặt cắt ngang cách mặt đầu tự do một khoảng là a ta thấy mặt cắt này cũng bị xoay đi một góc (như hình vẽ), góc xoay này lớn hơn 0 nhưng nhỏ hơn góc φ của mặt đầu tự do.

Vậy ta có: $0 \leq \varphi \leq \varphi_{\max}$.

Kết luận: Biến dạng trong thanh chịu xoắn là biến dạng trượt của vật liệu. Biến dạng của các phần tử vật liệu trên mặt cắt ngang là khác nhau.

4.2.2. Ứng suất

- Ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của thanh chịu xoắn thuần túy là ứng suất tiếp ký hiệu: τ_x

4.2.2.1. Biểu đồ phân bố ứng suất trên mặt cắt ngang

Theo định luật Húc có: $\tau = G.\gamma$ (5-7)

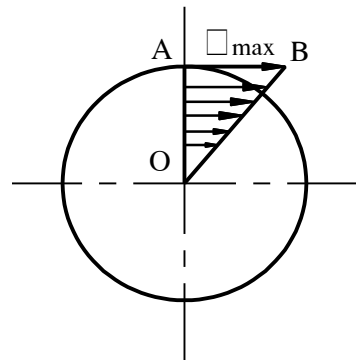
Trong đó:

- G là mô đun đàn hồi trượt của vật liệu, $G = \text{const}$
- γ là biến dạng trượt của vật liệu

+ Quy luật phân bố ứng suất:

- Khi $R=0 \Leftrightarrow \gamma = 0 \Leftrightarrow \tau_x = 0$
- Khi R tăng $\Leftrightarrow \gamma$ tăng $\Leftrightarrow \tau_x$ tăng
- Khi $R_{\max} \Leftrightarrow \gamma_{\max} \Leftrightarrow \tau_{x \max}$

Biểu đồ phân bố ứng suất trên mặt cắt ngang
(Hình 5-6)



Hình 5-6

Chú ý: Biểu đồ phân bố ứng suất trên chỉ thể hiện ứng suất sinh ra tại các điểm thuộc bán kính OA. Xoay biểu đồ ứng suất đó một góc 360° ta có thể biểu diễn được ứng suất sinh ra tại tất cả các điểm thuộc mặt cắt ngang

Nhận xét biểu đồ:

- Ứng suất tăng dần từ tâm mặt cắt đến bán kính lớn nhất của mặt cắt và đạt giá trị lớn nhất khi bán kính lớn nhất.

- Ứng suất có giá trị thay đổi từ $0 \leq \tau_x \leq \tau_{\max}$

4.2.2.2. Ứng suất lớn nhất trên mặt cắt ngang

* Ứng suất lớn nhất được xác định bằng công thức:

$$\tau_{\max} = \frac{M_Z}{W_p} \quad (5-8)$$

Trong đó:

- M_Z : Mô men xoắn nội lực (Ncm; KNm, ...)

- W_p : Mômen chống xoắn của mặt cắt ngang của thanh (chiều dài³)

$$W_p = \frac{J_p}{R} \quad (5-9)$$

+ Với mặt cắt ngang của thanh có tiết diện tròn đặc:

$$W_p = \frac{J_p}{R} = \frac{\pi \cdot D^4 \cdot 2}{32 \cdot D} = \frac{\pi \cdot D^3}{16} \approx 0,02 \cdot D^3 \quad (5-10)$$

+ Với mặt cắt ngang của thanh có tiết diện tròn rỗng

$$W_p = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot (1 - \eta)^4}{32} \approx 0,2 \cdot D^3 \cdot (1 - \eta)^4; \eta = \frac{d}{D} \quad (5-11)$$

Trong đó: - D là đường kính ngoài

- d là đường kính trong

4.3. TÍNH TOÁN VỀ XOẮN THUẦN TÚY

Mục tiêu:

Tính thành thạo ba bài toán cơ bản của sức bền theo điều kiện bền và điều kiện cứng.

4.3.1. Điều kiện bền và ba bài toán cơ bản.

4.3.1.1. Điều kiện bền

Điều kiện cần và đủ để thanh chịu xoắn thuần túy đảm bảo độ bền là ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của thanh phải nhỏ hơn hoặc bằng ứng suất cho phép.

$$\tau_{\max} \leq [\tau]_x \quad (5-12)$$

Nếu chi tiết đảm bảo điều kiện trên nó sẽ đảm bảo độ bền khi chịu lực.

4.3.1.2. Ba bài toán cơ bản

a. Kiểm tra bền

Từ điều kiện bền ta có công thức kiểm tra độ bền:

$$\tau_{\max} = \frac{|M_z|}{W_p} \leq [\tau]_x \quad (5-13)$$

- Tìm ứng suất lớn nhất
- So sánh ứng suất lớn nhất với ứng suất cho phép
- Kết luận:

+ Nếu $\tau_{\max} \leq [\tau]_x$ thanh đủ bền

+ Nếu $\tau_{\max} > [\tau]_x$ thanh không đủ bền

b. Xác định kích thước mặt cắt ngang hợp lý

Từ điều kiện bền ta có

$$W_p \geq \frac{M_z}{[\tau]_x} \quad (5-14)$$

+ Với mặt cắt ngang của thanh có tiết diện tròn đặc:

Ta xác định được đường kính hợp lý của thanh là

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{M_z \cdot 0,2}{[\tau]_x}} = [D] \quad (5-15)$$

* Chú ý: Nên chọn đường kính hợp lý của thanh trong khoảng:

$$[D] \leq D \leq [D] + 5\%[D] \quad (5-16)$$

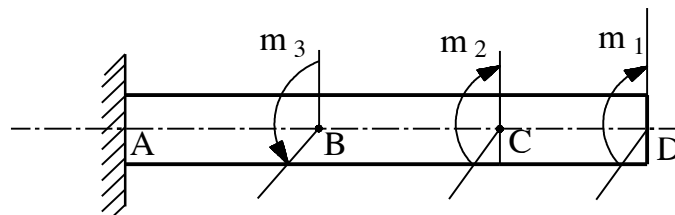
c. Xác định lực tác dụng hợp lý $M_x(m) \leq W_x [\tau]_x$ (5-17)

BÀI TẬP VÍ DỤ:

Bài 1: Thanh AD chịu tác dụng của các mô men như trên hình vẽ:

$m_1 = 30\text{KNcm}$; $m_2 = 60\text{KNcm}$; $m_3 = 50\text{KNcm}$

Vẽ biểu đồ mô men xoắn nội lực cho thanh AD?



Hỡnh 5-7

Bài làm

- Xác định phản lực liên kết

Ta có phương trình cân bằng

$$\sum m_A = m_A + m_1 + m_2 - m_3 = 0$$

$$\Rightarrow m_A = m_3 - m_2 - m_1 = 50 - 60 - 30$$

$$\Rightarrow m_A = -40 \text{KN.cm}$$

- Chia đoạn cho thanh: AB, BC, CD

- Xác định nội lực trên từng đoạn

+ Xét đoạn AB: Dùng mặt cắt (1-1) cắt thanh, xét cân bằng phần bên phải, ta có:

$$M_Z^{1-1} + m_A = 0$$

$$\Rightarrow M_Z^{1-1} = -m_A = 40 \text{KNcm}$$

+ Xét đoạn BC: Dùng mặt cắt (2-2) cắt thanh, xét cân bằng phần bên phải, ta có:

$$M_Z^{2-2} - m_1 - m_2 = 0$$

$$\Rightarrow M_Z^{2-2} = m_1 + m_2 = 30 + 60 = 90 \text{KNcm}$$

+ Xét đoạn CD: Dùng mặt cắt (3-3) cắt thanh, xét cân bằng phần bên phải, ta có:

$$M_Z^{3-3} - m_1 = 0$$

$$\Rightarrow M_Z^{3-3} = m_1 = 30 \text{KNcm}$$

- Bước 4: Vẽ biểu đồ nội lực (Hình 5-8)

***Nhận xét** : Nhìn vào biểu đồ ta thấy đoạn BC là đoạn nguy hiểm nhất

4.3.2. Điều kiện cứng và ba bài toán cơ bản

4.3.2.1. Điều kiện cứng

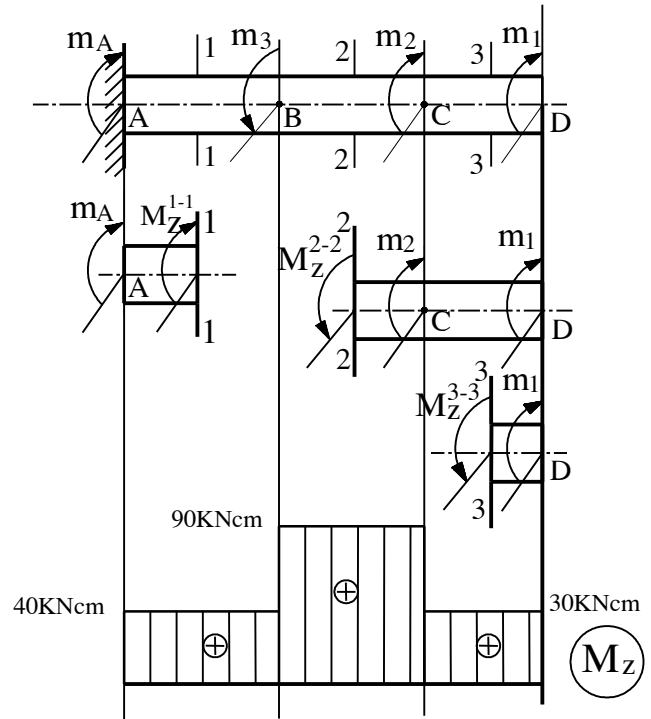
Là điều kiện sao cho: $\theta_{\max} \leq [\theta]$ (5-18)

- θ_{\max} là góc xoắn tỷ đối lớn nhất tính được (đơn vị: Rad/m).

- $[\theta]$ là góc xoắn tỷ đối cho phép thường cho $[\theta] = \text{Rad}/m$, (nếu $[\theta]$ cho là θ°/m thì đổi ra Rad/m với $360^\circ = 2\pi \text{ rad}$)

- Trường hợp thanh chỉ có một mômen xoắn ngoại lực và tiết diện không đổi:

$$\theta_{\max} = \frac{M_z}{G.J_p} \leq [\theta] \quad (5-19)$$



Hình 5-8

Trường hợp thanh có nhiều đoạn, mỗi đoạn có nội lực M_{zi} và độ cứng GJ_{pi} khác nhau thì ta phải tính θ_i trên từng đoạn: $\theta_i = \frac{M_{zi}}{G.J_{pi}}$ (5-20)

Sau đó tìm θ_{\max} để kiểm tra theo điều kiện cứng.

4.3.2.2. Ba bài toán cơ bản

- + Bài toán kiểm tra độ cứng
- + Bài toán xác định kích thước hợp lý theo điều kiện cứng
- + Bài toán xác định tải trọng cho hợp lý theo điều kiện cứng

5. Uốn phẳng của thanh thẳng.

5.1. KHÁI NIỆM VỀ UỐN NGANG PHẪNG

Mục tiêu:

Trình bày được khái niệm về uốn ngang phẳng.

Khái niệm về uốn ngang phẳng

- Khi có ngoại lực tác dụng, trục của thanh bị cong đi người ta nói thanh chịu uốn.
- Nếu trục thanh bị cong nhưng vẫn nằm trong mặt phẳng thẳng đứng thì thanh bị uốn ngang phẳng
- Ngoại lực: lực tập trung, lực phân bố, ngẫu lực... nằm trong mặt phẳng tải trọng của thanh
- Mặt phẳng tải trọng của thanh là mặt phẳng đi qua trục thanh và chứa tải trọng của thanh.
- Khi ngoại lực tác là các ngẫu lực hoặc mômen lực có mặt phẳng tác dụng trùng với mặt phẳng tải trọng của thanh thì thanh chịu uốn phẳng thuần túy.

5.2. NỘI LỰC VÀ BIỂU ĐỒ NỘI LỰC

Mục tiêu:

- Trình bày được quy ước dấu về nội lực Q_y và M_x trong thanh chịu uốn ngang phẳng.
- Vẽ được biểu đồ nội lực trong thanh chịu uốn ngang phẳng.

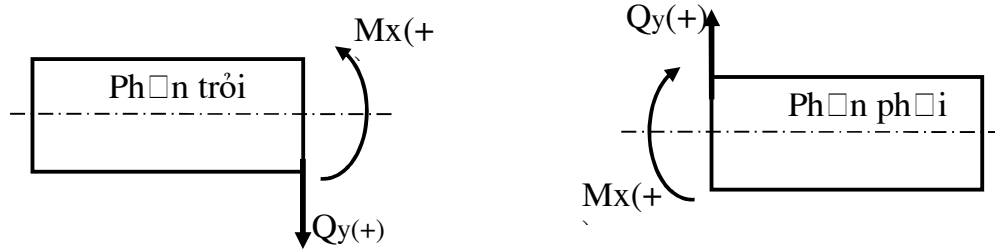
5.2.1. Nội lực

- Thanh uốn phẳng có hai thành phần nội lực là lực cắt Q_y và mô men uốn nội lực M_x
- Thanh uốn phẳng thuần túy có một và chỉ một thành phần nội lực là mômen uốn nội lực M_x

- *Quy ước dấu: (Hình 6-1)*

+ Lực cắt Q mang dấu (+) khi pháp tuyến ngoài của mặt cắt quay 90^0 theo chiều kim đồng hồ đến trùng với véc tơ lực Q_y và ngược lại Q_y mang dấu âm

+ Mômen uốn có dấu (+) nếu nội lực làm cho thanh căng thõ về phía dương của trục y và ngược lại



5.2.2. Biểu đồ nội lực

Hỡnh 6-1

Các bước vẽ biểu đồ nội lực

- **Bước 1:** Xác định phản lực liên kết (nếu cần)

- **Bước 2:** Chia đoạn cho thanh, dựa trên cơ sở điểm đặt của lực tương ứng với một điểm, hai điểm liên tiếp là một đoạn.

- **Bước 3:** Xác định nội lực trong từng đoạn

+ Dùng phương pháp mặt cắt, cắt thanh làm hai phần, giữ lại một phần để khảo sát

+ Đặt nội lực vào mặt cắt (giả định nội lực dương)

+ Viết phương trình cân bằng và giải các phương trình

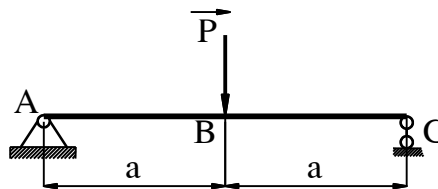
- **Bước 4:** Vẽ biểu đồ nội lực.

+ Kẻ đường thẳng song song với trục thanh gọi là đường không.

+ Kẻ các đoạn thẳng song song với nhau và vuông góc với đường không

+ Điền dấu, điền giá trị nội lực

Ví dụ 6.1: Cho dầm AC dài $a = 1\text{m}$, chịu tác dụng lực uốn $P = 60\text{KN}$. Vẽ biểu đồ nội lực Q_y , M_x cho dầm AC?



Bài làm Hỡnh 6-2

* Xác định phản lực liên kết

$$\begin{cases} \sum X = X_A = 0 \\ \sum Y = Y_A + Y_C - P = 0 \\ \sum m_A = m_A(\vec{P}) + m_A(\vec{Y}_C) = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} X_A = 0 \\ Y_A + Y_C = 100 \\ -P \cdot a + Y_C \cdot 2a = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} X_A = 0 \\ Y_A = 30 \text{ KN} \\ Y_C = \frac{P}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ KN} \end{cases}$$

* Chia thanh làm 2 đoạn: AB, BC

+ Xét đoạn AB: Dùng mặt cắt (1-1) cắt thanh, mặt cắt (1-1) tiến từ A đến B, tức là $(0 \leq z_1 \leq a)$.

Xét cân bằng phần trái, ta có:

$$+ \sum F_y = Q_1 - Y_A = 0$$

$$\Leftrightarrow Q_1 = Y_A = 30 \text{ KN}$$

$$+ M_{x1} - Y_A \cdot z_1 = 0$$

$$\Leftrightarrow M_{x1} = Y_A \cdot z_1$$

- Khi $z_1 = 0 \Rightarrow M_{x1} = 0 \text{ KNm}$

- Khi $z_1 = a = 1 \text{ m} \Rightarrow M_{x1} = 30 \text{ KNm}$

+ Xét đoạn BC: Dùng mặt cắt (2-2) cắt thanh, mặt cắt (2-2) tiến từ C đến B, tức là $(0 \leq z_2 \leq a)$. Xét cân bằng phần phải, ta có:

$$+ \sum F_y = Q_2 + Y_C = 0$$

$$\Leftrightarrow Q_2 = -Y_C = -30 \text{ KN}$$

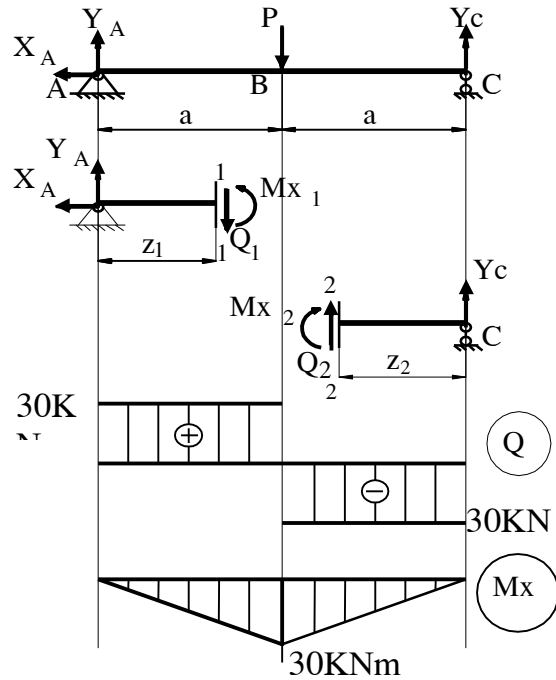
$$+ M_{x2} - Y_C \cdot z_2 = 0 \Leftrightarrow M_{x2} = Y_C \cdot z_2$$

- Khi $z_2 = 0 \Rightarrow M_{x2} = 0 \text{ KNm}$

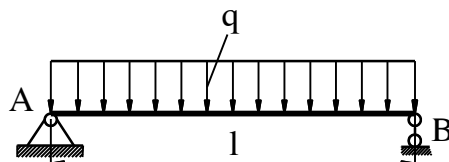
- Khi $z_2 = a = 1 \text{ m} \Rightarrow M_{x2} = 30 \text{ KNm}$

Ví dụ 6.2: Cho thanh AB chịu tác dụng của lực phân bố $q = 10 \text{ N/m}$, chiều dài thanh $l = 10 \text{ m}$. (Hình 6-4)

Vẽ biểu đồ nội lực cho dầm AB ?



Hình 6-3



Hình 6-4

Bài làm

* Xác định phản lực liên kết

$$\begin{cases} \sum P_x = X_A = 0 \\ \sum P_y = Y_A + Y_B - q.l = 0 \\ \sum m_A = -q.l \cdot \frac{l}{2} + Y_B.l = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} X_A = 0 \\ Y_A + Y_B = q.l = 100 \\ Y_B = q \cdot \frac{l}{2} = 10 \cdot \frac{10}{2} = 50 \text{KN} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} X_A = 0 \\ Y_A = 50 \text{KN} \\ Y_B = 50 \text{KN} \end{cases}$$

* Chia đoạn và xác định nội lực

+ Xét đoạn AB: Cắt thanh AB bởi mặt cắt (1-1) cách góc A một khoảng z ($0 \leq z \leq l$).

Xét cân bằng phần phải, ta có

* $\sum F_y = Q_1 + Y_B - q.z = 0$

$\Leftrightarrow Q_1 = -Y_B + q.z = 0$

$\Leftrightarrow Q_1 = -50 + 10z$

- Khi $z = 0 \Rightarrow Q_1 = -50 \text{N}$

- Khi $z = 1 = 10\text{m} \Rightarrow Q_1 = 50 \text{N}$

* $M_x - Y_B.z + q.z \cdot \frac{z}{2} = 0$

$\Leftrightarrow M_x = Y_B.z - q \cdot \frac{z^2}{2}$

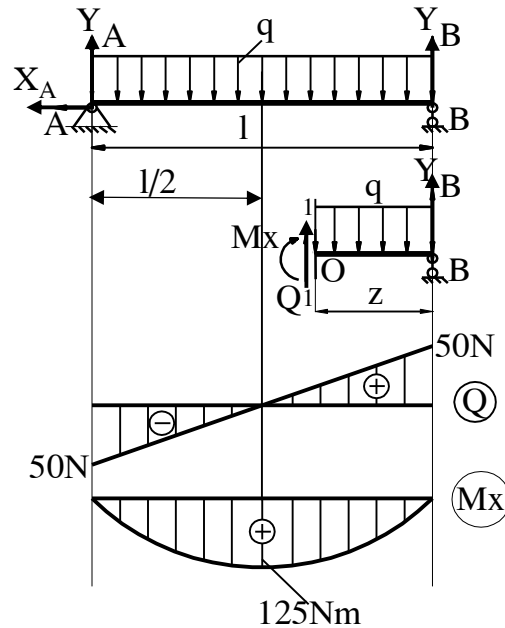
$\Leftrightarrow M_x = 50.z - 5.z^2$

- Khi $z = 0 \Rightarrow M_x = 0 \text{ Nm}$

- Khi $z = 1/2 = 5\text{m} \Rightarrow M_x = 125 \text{ Nm}$

- Khi $z = 1 = 10\text{m} \Rightarrow M_x = 0 \text{ Nm}$

* Vẽ biểu đồ nội lực: Hình 6-5

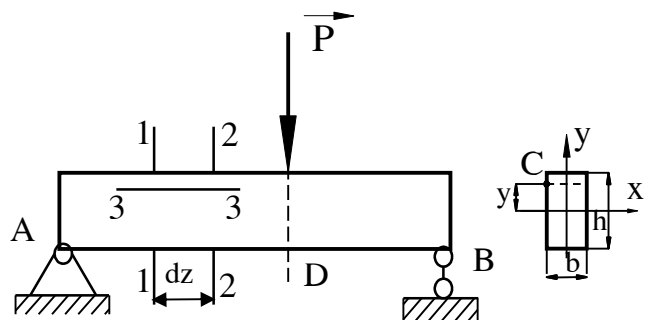


Hình 6-5

5.3. ĐỊNH LÝ GIN - RAP- SKI

Xét một dầm có mặt cắt chữ nhật ($b < h$) chịu uốn ngang phẳng hình 6-6. Ta xác định ứng suất tiếp tại một điểm C cách trục trung hòa một khoảng y thuộc mặt cắt 1-1, cách gối đỡ A một khoảng z , mặt cắt 1-1 cách mặt cắt 2-2 một khoảng dz . Dùng mặt cắt 3-3 đi qua điểm C song song với lớp thứ trung hòa. Ta có

Định lý Gin - Rap- Ski



Hình 6-6

$$\frac{dM}{dz} = Q \quad (6-1)$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{Q \cdot S_x^C}{b \cdot J_x} \quad (6-2)$$

Trong đó:

- Q là trị số tuyệt đối của lực cắt tại mặt cắt chứa điểm cần tìm ứng suất
- M là mô men uốn nội lực
- J_x là mô men quán tính của mặt cắt ngang đối với trục trung hòa x
- S_x^C là trị số tuyệt đối của mô men tĩnh đối với trục trung hòa x của phần diện tích bị cắt ở phía trên(hay dưới) đường thẳng song song với trục trung hòa đi qua điểm cần tìm ứng suất.
- b là chiều rộng của mặt cắt tại điểm cần tìm ứng suất

5.4. ỨNG SUẤT TRONG DÀM CHỊU UỐN

5.4.1. Thí nghiệm:

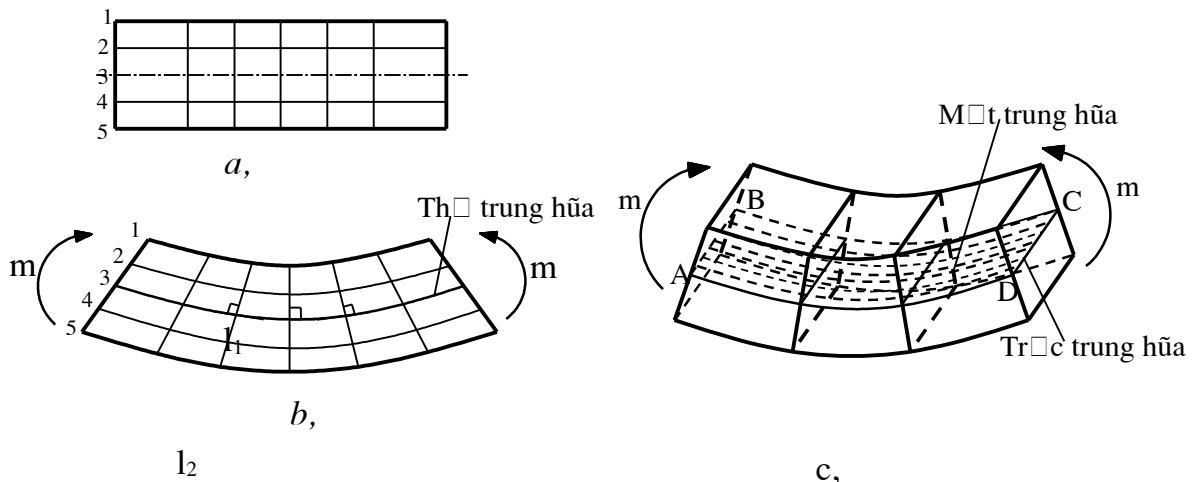
Xét thanh thẳng có tiết diện hình chữ nhật

+ Trước khi cho thanh chịu uốn (Hình 6-7a)

Kẻ lên mặt ngoài của thanh các đường thẳng song song với trục thanh: đặc trưng cho các thớ dọc, và kẻ các đường thẳng vuông góc với trục: đặc trưng cho các mặt cắt ngang

Tác dụng ngoại lực là hai mômen uốn, thanh chịu uốn thuần túy (hai ngẫu lực nằm trong mặt phẳng đối xứng chứa trục thanh)

+ Sau khi cho thanh chịu uốn (Hình 6-7b,c)



Hình 6-7

* Nhận xét

- Trục thanh bị cong đi so với ban đầu, trục thanh bị biến dạng

- Các mặt cắt ngang:

Khi có ngoại lực tác dụng các mặt cắt ngang trong thanh bị xoay đi một góc, nhưng vẫn phẳng và vẫn vuông góc với tiếp tuyến của trục thanh và không còn song song với nhau nữa

- Các thớ dọc:

+ Các thớ dọc trong thanh bị uốn cong đồng dạng với trục thanh và chiều dài của chúng có sự thay đổi liên tục từ thớ dọc bị co lại ngắn nhất (l_1) tới thớ dọc bị giãn dài nhất (l_2) như vậy từ thớ dọc ngắn nhất đến thớ dọc dài nhất ($l_1 < l < l_2$) sẽ có một thớ có chiều dài không thay đổi. Thớ có chiều dài không thay đổi đó gọi là *thớ trung hòa*.

+ Tập hợp tất cả các thớ trung hòa thanh sẽ tạo thành một lớp thớ gọi là *lớp thớ trung hòa* (mặt trung hòa)

+ Giao tuyến của lớp thớ trung hòa với mặt cắt ngang gọi là *trục trung hòa*

+ Nếu mặt cắt ngang là mặt cắt đối xứng thì trục trung hòa sẽ trùng với trục đối xứng trên mặt cắt ngang.

* *Kết luận*: Biến dạng trong thanh chịu uốn là biến dạng kéo - nén đồng thời của vật liệu

5.4.2. Ứng suất

- Ứng suất trong thanh chịu uốn là ứng suất pháp - Ký hiệu: σ_u

- Ứng suất không đều trên mặt cắt (biến dạng không đều)

+ Vật liệu trùng trục trung hòa không bị biến dạng kéo-nén, càng xa trục trung hòa ứng suất càng tăng và xa trục trung hòa nhất thì ứng suất là lớn nhất

Xét phần chịu kéo:

Theo định luật Húc ta có

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (6-3)$$

Mà: $E = \text{const}$

Xét phần dương của thanh: có $\varepsilon = \frac{l_2 - l}{l}$

+ Khi $y = 0 \Rightarrow \varepsilon = 0 \Rightarrow \sigma_k = 0$

+ Khi y tăng $\Rightarrow \varepsilon$ tăng $\Rightarrow \sigma_k$ tăng

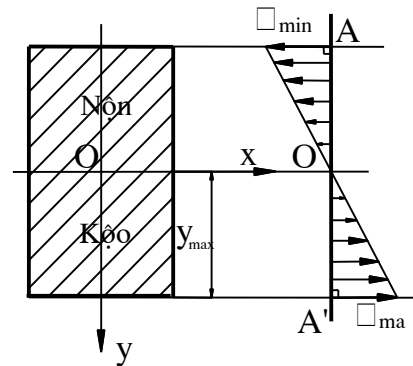
+ Khi $y_{\max} \Rightarrow \varepsilon_{\max} \Rightarrow \sigma = \sigma_{\max}$

\Rightarrow Biểu đồ ứng suất trên mặt cắt ngang của thanh chịu uốn

+ Tại trục trung hòa có $y = 0 \Rightarrow \sigma = 0$

+ Tại thớ ngoài cùng có $y = \pm \frac{h}{2}$ có $\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$

+ Ứng suất lớn nhất khi y lớn nhất: $y_{\max} = h/2$



Hình 6-8

* Ứng suất kéo lớn nhất trên mặt cắt ngang bằng công thức:

$$\sigma_{\max}^k = \frac{|M_x|}{W_x^k} \quad (6-4)$$

Trong đó: $W_x^k = \frac{J_x}{y_{\max}^k}$; là mô men chống uốn của mặt cắt ngang.

* Ứng suất nén lớn nhất trên mặt cắt ngang bằng công thức:

$$|\sigma_{\max}^n| = \frac{|M_x|}{W_x^n} \quad (6-4')$$

Trong đó: $W_x^n = \frac{J_x}{|y_{\max}^n|}$ là mô men chống uốn của mặt cắt ngang.

- σ_{\max} là ứng suất lớn nhất trên mặt cắt ngang của dầm chịu uốn

- W_x là mô men chống uốn

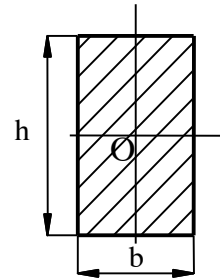
- M_x là mô men uốn nội lực

+ Mặt cắt ngang hình chữ nhật có:

$$J_x = \frac{bh^3}{12} \rightarrow W_x = \frac{bh^2}{6}, W_y = \frac{b^2h}{6} \quad (6-5)$$

+ Mặt cắt ngang hình tròn có:

$$J_x = \frac{\pi d^4}{64} \rightarrow W_x = \frac{\pi d^3}{32} = W_y \approx 0,1d^3 \quad (6-6)$$



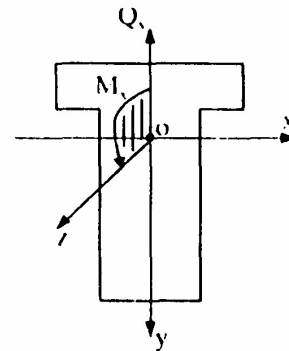
Trong đó: - b và h được xác định như hình vẽ bên

- d là đường kính của mặt cắt ngang

W_x càng lớn khả năng chống uốn càng cao vì σ_{\max} càng giảm.

* Với các mặt cắt có hình dạng phức tạp thì mô men chống uốn có thể tra bảng trong sổ tay kỹ thuật.

Bằng hàng loạt thí nghiệm và lý thuyết đàn hồi đã chứng minh: mặt cắt ngang của dầm chịu uốn ngang phẳng không hoàn toàn phẳng và vuông góc và trực thành như uốn thuần túy, nhưng sự biến dạng của mặt cắt ngang dù là không đáng kể và có thể bỏ qua. Vì vậy, người ta vẫn dùng công thức ứng suất pháp của uốn phẳng thuần túy.



Hình 6-9

5.5. TÍNH TOÁN CHO THANH CHỊU UỐN PHẪNG

Mục tiêu:

- Viết được điều kiện bền và các bài toán cơ bản

- Áp dụng thành thạo ba bài toán cơ bản theo điều kiện bền về ứng suất pháp

5.5.1. Điều kiện bền về ứng suất pháp và ba bài toán cơ bản

5.5.1.1. Điều kiện bền về ứng suất pháp

Điều kiện cần và đủ để thanh chịu uốn đảm bảo độ bền là ứng suất sinh ra trên mặt cắt ngang của thanh phải nhỏ hơn hoặc bằng ứng suất cho phép.

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]_{k,n} \quad (6-7)$$

5.5.1.2. Ba bài toán cơ bản

a. Kiểm tra bền

* Với vật liệu dẻo thì $[\sigma]_k = [\sigma]_n = [\sigma]_{k,n}$ do đó chỉ cần tính cho một biến dạng

Công thức kiểm tra độ bền:

$$\sigma_{\max} = \frac{Mx}{Wx} \leq [\sigma]_{k,n} \quad (6-8)$$

* Với vật liệu giòn thì $[\sigma]_k < [\sigma]_n$ nên cần kiểm tra độ bền cho cả hai biến dạng kéo và nén

$$\text{Phần chịu kéo: } \sigma_{\max}^k = \frac{|M_x|}{W_x^k} \leq [\sigma]_k \quad (6-9)$$

$$\text{Phần chịu nén: } |\sigma_{\max}^n| = \frac{|M_x|}{W_x^n} \leq [\sigma]_n \quad (6-10)$$

Với thanh chịu uốn vật liệu thường dùng là vật liệu dẻo nên công thức kiểm tra độ bền thường dùng là công thức (6-8)

- Tìm ứng suất lớn nhất

- So sánh ứng suất lớn nhất với ứng suất cho phép

- Kết luận: + Nếu $\sigma_{\max} \leq [\sigma]_{k,n}$ thanh đủ độ bền

+ Nếu $\sigma_{\max} > [\sigma]_{k,n}$ thanh không đủ độ bền

b. Xác định kích thước mặt cắt ngang hợp lý

$$W_x \geq \frac{M_x}{[\sigma]_{k,n}} \quad (6-11)$$

c. Xác định lực tác dụng hợp lý $M_u = M_x \leq W_x \cdot [\sigma]_{k,n} \quad (6-12)$

5.5.2. Toán áp dụng.

Bài 1: Dầm AC có mặt cắt chữ nhật cạnh (b x h = 6x8)cm chịu tác dụng lực uốn P= 60KN, chiều dài dầm 2a = 2m, dầm được tựa trên 2 gối đỡ như hình 6-10.

- Vẽ biểu đồ nội lực Q_y, M_x cho dầm AC?
- Hãy kiểm tra độ bền của dầm theo ứng suất pháp? Biết: $[\sigma] = 100MN/m^2$

Bài làm

- * Vẽ biểu đồ nội lực (Ví dụ 6.2 trang 63)
- * Kiểm tra độ bền của dầm theo ứng suất pháp.

Áp dụng công thức kiểm tra độ bền:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} \leq [\sigma]_{k,n}$$

- Có mô men chống uốn W_x

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{6 \cdot 8^2}{6} = 64cm^3 = 64 \cdot 10^{-6} (m^3)$$

- Mô men uốn nội lực là:

$$M_{x\max} = 30KNm = 30 \cdot 10^{-3} MNm$$

- Ứng suất lớn nhất trên mặt cắt ngang tại điểm nguy hiểm (B) của dầm

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{64 \cdot 10^{-6}} = 468MN/m^2$$

So sánh ta thấy $\sigma_{\max} = 468MN/m^2 > [\sigma] = 100MN/m^2$

Kết luận : Dầm AC không đảm bảo độ bền.

5.6. CHUYỂN VỊ CỦA DẦM CHỊU UỐN NGANG PHẪNG

Mục tiêu:

- Viết được công thức tính chuyển vị của dầm chịu uốn ngang phẳng;
- Tính được chuyển vị của dầm chịu uốn ngang phẳng.

Xét một thanh thẳng chịu uốn ngang phẳng. Sau khi chịu uốn, trục thanh bị cong đi, đường cong của thanh gọi là đường đàn hồi (Hình 6-11)

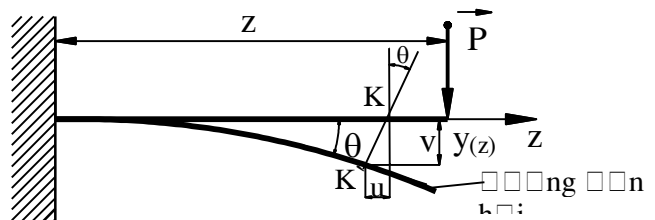
Phương trình của đường đàn hồi

$$y = y(z) \tag{6-13}$$

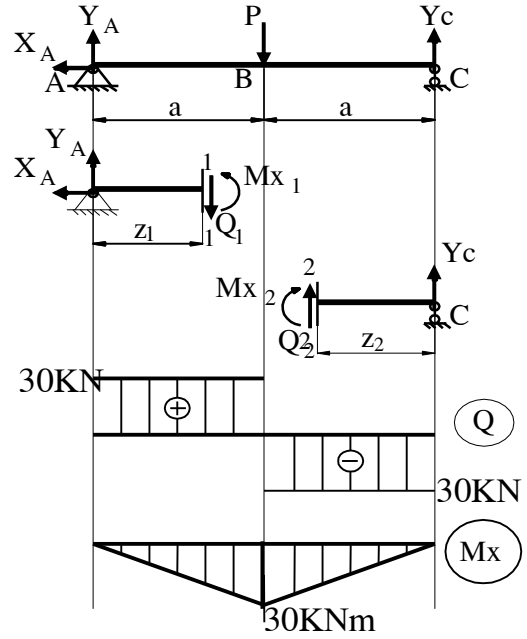
Xét chuyển vị của điểm K ta thấy sau biến dạng điểm K di chuyển thành điểm K'. Khi đó chuyển vị của điểm K là:

$$f_K = KK'$$

- Phân KK' thành 2 thành phần u và v



Hỡnh 6-11



Hỡnh 6-10

u: là thành phần nằm ngang

v: là thành phần thẳng đứng

Lý thuyết đàn hồi đã chứng minh được rằng: u là vô cùng bé bậc cao so với v cho nên khi khảo sát ta thường bỏ qua u.

Vậy ta có:

$$f_K \approx v_{(z)}$$

$v_{(z)}$: là độ võng

Từ hình vẽ ta có thể suy ra:

$$f_K \approx v_{(z)} \approx y_{(z)} \quad (6-14)$$

Xét mặt cắt ngang đi qua điểm K trước và sau biến dạng tạo nên một góc $\theta_{(z)}$

$\theta_{(z)}$: là chuyển vị góc (góc xoay)

- Qua K' kẻ tiếp tuyến với đường đàn hồi tạo với trục z một góc là θ

Từ đó ta có: $\text{tg}\theta \approx \theta$ (bởi vì θ rất nhỏ)

$$\text{Vậy: } \text{tg}\theta \approx \theta \approx y'_{(z)} \approx v'_{(z)} \quad (6-15)$$

Kết luận: Đạo hàm của độ võng bằng góc xoay.

Phần ba. Chi tiết máy.

Chương 5. Các tiết máy ghép

Mã chương: MHCG12-05

Mục tiêu:

- Trình bày được khái niệm, phân loại, đặc tính và phương pháp tính toán các mối ghép bằng Đinh tán, Hàn, Ren, Then, then hoa.
- Tính được các mối ghép bằng Đinh tán, Hàn, Ren, Then, then hoa.
- Rèn luyện tính cẩn thận, tác phong làm việc khoa học của người làm kỹ thuật.

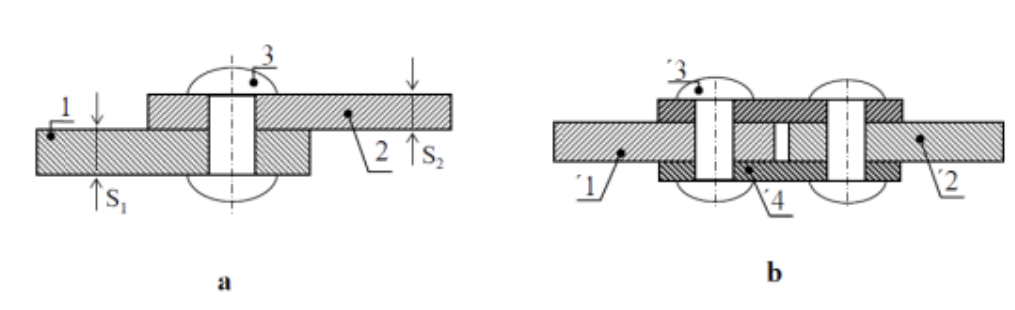
1. Mối ghép bằng đinh tán

1.1. Khái niệm chung

1.1.1 Cấu tạo mối ghép

Cấu tạo mối ghép đinh tán được thể hiện ở hình 7.1, các tấm ghép 1 và 2 được liên kết trực tiếp với nhau bằng các đinh tán số 3, hoặc liên kết thông qua tấm đệm 4 và đinh tán số 3. Các tấm ghép được đục lỗ hoặc khoan lỗ.

- Mối ghép đinh tán thuộc loại mối ghép cố định và không thể tháo rời được.



Hình 7.1. Mối ghép đinh tán

1.1.2. Đinh tán

* Định nghĩa:

Đinh tán là chi tiết có hình trụ tròn, một đầu có mũ gọi là mũ sẵn, đầu kia chưa có mũ, sau khi lắp ghép thì đầu còn lại được tán thành mũ gọi là mũ tán.

Có hai cách tán mũ:

- Tán nguội: Dùng cho những đinh bằng thép có đường kính dưới 10mm hoặc những đinh làm bằng kim loại màu có đường kính bất kỳ.
- Tán nóng: Nung nóng phần tán đến nhiệt độ ($1000^{\circ}\text{C} \div 1100^{\circ}\text{C}$) rồi tán thành mũ

Vật liệu chế tạo đinh thường là kim loại dẻo, có hàm lượng cacbon thấp như: CT2, CT3,... hoặc kim loại màu như: đồng, nhôm,... tốt nhất là cùng mác thép với kim loại tấm ghép.

** Phân loại đinh tán*

Dựa vào hình dạng của mũ đinh có:

Đinh mũ tròn

Đinh mũ côn

Đinh mũ chìm

Đinh mũ nửa chìm

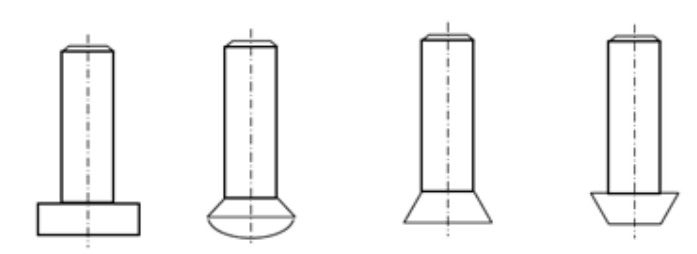
Đinh tán mũ tròn:

$$R = (0,8 \div 1)d$$

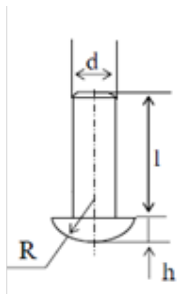
$$h = (0,6 \div 0,65)d$$

$$l = S_1 + S_2 + (1,6 \div 1,7)d$$

S_1, S_2 : Chiều dày hai tấm ghép



Hình 7.2. Đinh tán



Hình 7.3. Đinh tán mũ tròn

1. 2. Ví dụ tính toán.

1.2.1. Mỗi ghép chồng một hàng đinh.

1.2.1.1. Kiểm tra bền cho mỗi ghép chồng chịu lực ngang

- Tính lực tác dụng lên một đinh tán

Giả thiết tải trọng F được phân bố đều trên tiết diện ngang của tấm ghép, ta có lực tác dụng lên một đinh tán là: $F_1 = \frac{F}{Z}$

F : Lực tác dụng lên mỗi ghép

Z : Số đinh tán trong mỗi ghép

- Kiểm tra độ bền cắt cho đinh tán $F_1 \leq \left(\frac{\pi d^2}{4}\right) \cdot [\tau]$ (7.1)

$[\tau]$: ứng suất cắt cho phép của đinh

- Kiểm tra độ bền dập cho đinh tán $F_1 \leq S.d.[\sigma_d]$

$[\sigma_d]$: ứng suất dập cho phép của đinh

S: Chiều dày tấm ghép

d: Đường kính đinh tán

- Kiểm tra độ bền kéo (nén) đối với tấm ghép nào yếu nhất, theo tiết diện ngang qua lỗ đinh

$$F_1 \leq (t-d)S.d.[\sigma]_{kt}$$

t: Khoảng cách đường tâm của hai đinh tán liền kề

$[\sigma]_{kt}$: Ứng suất kéo cho phép của tấm ghép

- Độ bền cắt của mép lỗ trên tấm ghép theo mép đinh

$$F_1 \leq 2\left(e - \frac{d}{2}\right)S.[\tau]$$

1.2.1.2. Tính số đinh tán cần thiết

Số đinh tán cần thiết của mỗi ghép được xác định từ điều kiện (7.1):

$$Z \geq \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F}{d^2[\tau]}$$

Quan hệ kích thước của:

- Mỗi ghép chồng 1 dãy đinh là: $d = 2S$, $t = 3d$, $e = 1,5d$

- Mỗi ghép giáp mỗi 1 dãy đinh: $d = 1,5S$, $t = 3,5d$, $e = 2d$

1.2.2. Mỗi ghép nhiều hàng đinh.

Khi tính toán cho mỗi ghép nhiều hàng đinh

Ghép chồng 2 dãy đinh : $d = 2S$, $t = 4d$, $e = 1,5d$

Ghép chồng n dãy đinh : $d = 2S$, $t = (1,6n + 1)d$, $e = 1,5d$

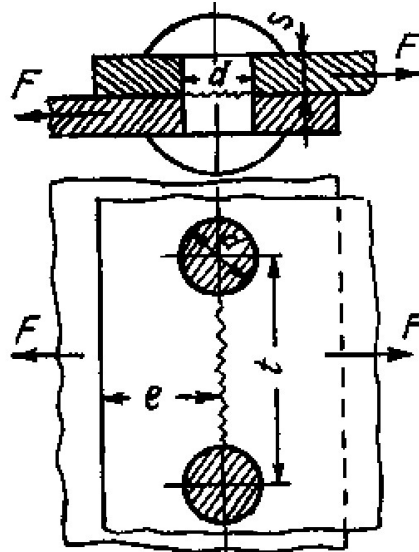
Ghép giáp mỗi 2 tấm đệm 2 dãy đinh: $d = 1,5S$, $t = 6d$, $e = 2d$

Ghép giáp mỗi 2 tấm đệm n dãy đinh: $d = 1,5S$, $t = (2,4n + 1)d$, $e = 2d$

Sau khi chọn kết cấu theo quan hệ kích thước trên, ta chọn số đinh cần thiết cho mỗi ghép theo độ bền cắt

$$Z \geq \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F}{id^2[\tau]}$$

Trong đó: i là số tiết diện chịu cắt của mỗi đinh



Hình 7.3. Kịch th□□c m□i
ghép □inh t□n

Đối với mỗi ghép chồng và ghép giáp mỗi 1 tấm đệm thì $i = 1$

Đối với mỗi ghép giáp mỗi 2 tấm đệm thì $i = 2$

3.3. Ứng suất cho phép

* *Ứng suất cắt cho phép*

Đối với mỗi ghép chịu tải trọng tĩnh, hoặc chịu tải trọng thay đổi nhưng không đổi chiều, có thể lấy giá trị ứng suất cho phép như sau :

Vật liệu đinh tán là thép CT31, CT34, CT38

Lỗ khoan : $[\tau] = 140 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$

Lỗ đột, dập : $[\tau] = 100 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$

Trường hợp tải trọng đổi chiều, cần lấy giảm đi một lượng bằng cách nhân thêm hệ số γ với $\gamma = \frac{1}{\frac{a \cdot F_{\max}}{b \cdot F_{\min}}}$

Trong đó : F_{\max} : tải trọng lớn nhất

F_{\min} : tải trọng nhỏ nhất

Tấm ghép bằng thép ít cacbon, $a = 1$; $b = 0,3$

Tấm ghép bằng thép cacbon trung bình, $a = 1,2$; $b = 0,8$

2. Mối ghép bằng hàn.

2.1. Các khái niệm chung.

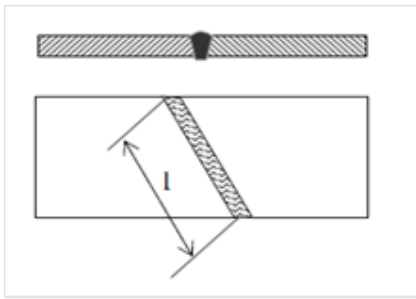
1.1.1 Định nghĩa

Mối ghép hàn là mối ghép không tháo được. Trong quá trình hàn các chi tiết máy, vùng hàn được đốt nóng cục bộ tới nhiệt độ nóng chảy hoặc dẻo rồi gắn lại với nhau nhờ lực hút phân tử của kim loại

1.1.2. Phân loại

a. *Theo trạng thái kim loại vùng hàn*

- Hàn nóng chảy: Kim loại vùng hàn được nung nóng đến trạng thái chảy và gắn lại với nhau khi đông đặc.
- Hàn áp lực: Kim loại vùng hàn chỉ được nung nóng tới trạng thái dẻo rồi dùng lực ép chúng lại
- Hàn vảy: Kim loại của các chi tiết máy không được nung nóng chảy mà vật liệu hàn được nung nóng chảy để dính kết các chi tiết lại với nhau



Hình 8.1. Mối hàn giáp mối

b. Theo mức độ tự động hóa

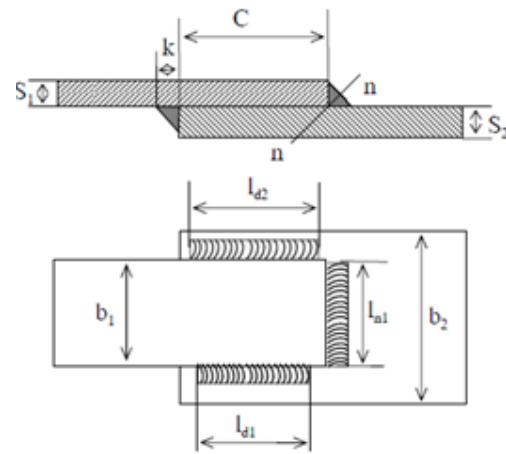
- Hàn tự động: Rôbot hàn
- Hàn bán tự động: Máy hàn
- Hàn thủ công

c. Theo công dụng của mối hàn

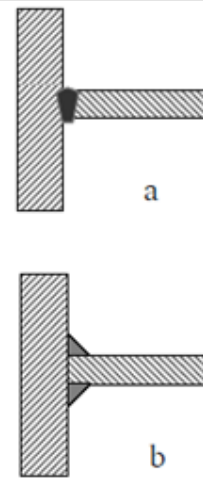
- Mối hàn chắc
- Mối hàn chắc kín

d. Theo hình thức ghép

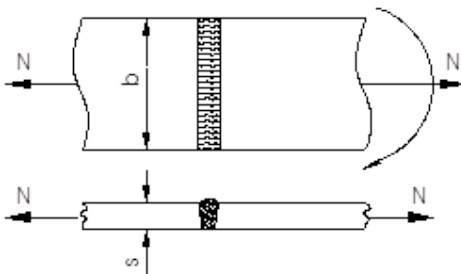
- Mối hàn giáp mối (hình 8.1)
- Mối hàn chồng (hình 8.2)
- Mối hàn chữ T (hình 8.3)



Hình 8.2. Mối hàn chồng



Hình 8.3. Mối hàn chữ T



Hình 8.4. Mối hàn ngang

2.2. Ví dụ tính toán.

2.2.1. Tính toán mối ghép hàn.

* Trường hợp mối hàn chịu kéo (nén) ta có điều kiện bên:

$$\sigma = \frac{N}{bs} \leq [\sigma]'$$

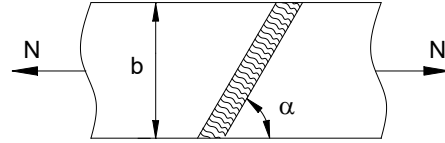
Trong đó:

b và s - chiều dài mối hàn và chiều dày tấm ghép (khi hàn các tấm có chiều dày khác nhau thì s lấy theo chiều dày nhỏ).

$[\sigma]$ - ứng suất kéo nén cho phép của mối ghép (Bảng 1)

Khi cần tăng sức bền của mối ghép, có thể dùng mối hàn xiên (hình 8.5). Điều kiện bền

$$s = \frac{N \sin \alpha}{bs} \leq [\sigma]$$



Hình 8.5. Mối hàn xiên

* Trong trường hợp mối hàn chịu mô men uốn trong mặt phẳng của tấm ghép ta có điều kiện bền:

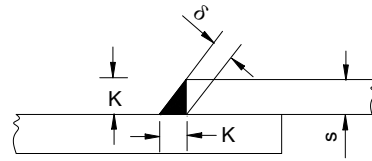
$$s = \frac{M_u}{W} \leq [\sigma]$$

Trong đó:

M_u - Mô men uốn

W - Mô đun chống uốn:

$$W = \frac{b^2 s}{6}$$



Hình 8.6. Mối hàn

* Trường hợp mối hàn chịu kéo (nén) và uốn trong mặt phẳng các tấm ghép:

$$s = \pm \frac{N}{bs} + \frac{M_u}{W} \leq [\sigma]$$

Dấu cộng dùng cho mối ghép chịu kéo, dấu trừ dùng cho mối ghép chịu nén.

2.2.2. Mối hàn chồng.

2.2.2.1. Kết cấu và đặc điểm của mối hàn

a. Kết cấu của mối hàn chồng

Tùy theo vị trí tương đối giữa phương của mối hàn và phương chịu lực, có thể chia mối hàn chồng ra các loại sau: Mối hàn ngang, mối hàn xiên, mối hàn dọc.

Chiều cao mối hàn chồng lấy như sau:

$$\delta = \eta \cdot k$$

Trong đó:

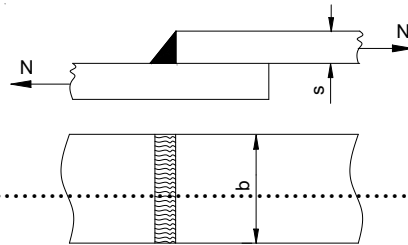
k - chiều rộng cạnh mối hàn

η - hệ số phụ thuộc vào phương pháp hàn

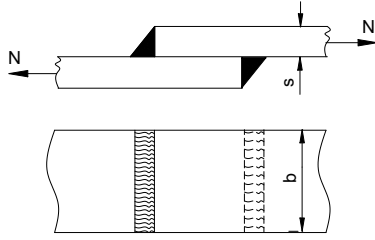
$\eta = 0,7$ khi hàn tay

$\eta = 0,8$ khi hàn bán tự động

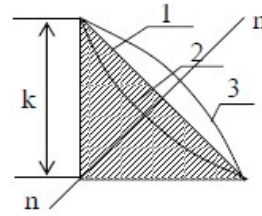
$\eta = 1,0$ khi hàn tự động



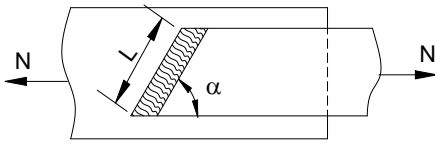
Hình 8.7a. Hàn chồng một mối (Mối hàn ngang)



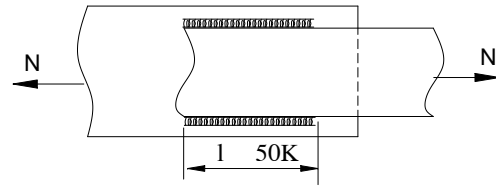
Hình 8.7b. Hàn chồng hai mối
(Mối hàn ngang)



Hình 8.7c. Chiều rộng
cạnh mối hàn



Hình 8.8 Kết cấu hàn chồng (xiên)



Hình 8.9. Kết cấu hàn chồng ($d \square c$)

b. Đặc điểm của mối hàn chồng

Mối hàn chồng có ba loại tiết diện ngang khác nhau, ứng với đường 1 là mối hàn bình thường, đường 2 là mối hàn lõm, đường 3 là mối hàn lồi. Mối hàn bình thường được dùng rộng rãi nhất. Mối hàn lồi gây tập trung ứng suất. Mối hàn lõm giảm được sự tập trung ứng suất nhưng phải qua gia công cơ mới tạo được.

Khi chịu bất cứ loại tải trọng nào, mối hàn chồng cũng bị cắt đứt theo tiết diện pháp tuyến n-n, ứng suất trên tiết diện nguy hiểm là ứng suất cắt. Vì vậy, ta tính mối hàn chồng theo ứng suất cắt.

2.2.2.2. Tính toán mối ghép hàn.

Điều kiện bền của mối hàn chồng là:

$$\tau \leq [\tau]$$

$$\tau = \frac{N}{\delta \cdot L} \leq [\tau]$$

Trong đó τ là ứng suất cắt sinh ra trên mối hàn,

$[\tau]$ là ứng suất cắt cho phép của mối hàn.

L: Chiều dài đường hàn

δ : Chiều cao mối hàn

3. Mối ghép bằng ren.

3.1. Các khái niệm chung.

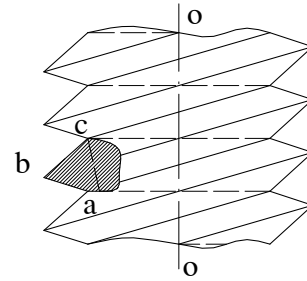
** Công dụng*

Ghép bằng ren là loại mối ghép có thể tháo được, trong đó mối ghép được tạo thành nhờ các tiết máy có ren như: bu lông và đai ốc, vít, ...

Các tiết máy có ren chiếm khoảng 60% tổng số các tiết máy hiện đại.

** Sự tạo thành ren*

Ren được tạo thành trên cơ sở đường xoắn ốc trụ hoặc côn. Cho một hình phẳng, thí dụ tam giác abc, di chuyển theo đường xoắn ốc và luôn nằm trong mặt phẳng qua trục của đường xoắn ốc (hình 10.1), các cạnh của hình phẳng sẽ quét thành mặt ren.



Hình 10.1. Nguyên lý tạo thành ren

Tùy theo hình phẳng là tam giác, hình vuông, hình thang, hình bán nguyệt, hình tròn v.v...ta sẽ có ren tam giác, ren hình vuông, ren hình thang, hình bán nguyệt, ren tròn, v.v...

3.2. Tính toán mối ghép bằng ren.

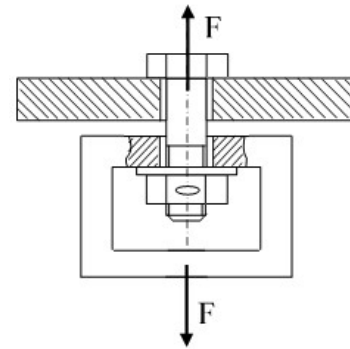
3.2.1. Tính bu lông đơn

3.2.1.1. Mối ghép bu lông có khe hở

** Bu lông ghép lỏng chịu lực dọc trục (hình 10.10)*

Trong trường hợp này, đai ốc không được xiết chặt, lực xiết ban đầu bằng không. Ví dụ: bulông của các móc treo hoặc phần có ren của đoạn cuối móc cần trục, ...

Dưới tác dụng của ngoại lực F, thân bu lông chịu kéo. Điều kiện bền có dạng:



Hình 10.10. Bu lông ghép lỏng chịu lực dọc trục

..... (

F - lực dọc trục, N;

$[\sigma_k]$ - ứng suất kéo cho phép, MPa;

d_1 - đường kính trong của bu lông, mm.

Từ d_1 tra bảng tiêu chuẩn tìm các kích thước khác của ren.

** Bulông được xiết chặt không chịu tải trọng ngoài (hình 10.11)*

Ví dụ: bulông của nắp các bình kín,

$$\sigma_d = \frac{4F}{[\sigma_k]}, \quad (4.7)$$

Hình 10.11. Bulông được xiết chặt không chịu tải trọng

không có áp suất dư. Cần xiết bu lông với lực siết V , thân bu lông chịu kéo (do lực xiết) và chịu xoắn (do ma sát sinh ra trên bề mặt ren khi siết đai ốc).

Gọi V là lực xiết cần thiết, M_r là mô men sinh ra trên bề mặt ren, ta có:

$$M_r = V \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') \frac{d_2}{2}, \quad (\text{Nmm}) \quad (4.8)$$

$$V = k(1 - \chi)F$$

φ' - góc ma sát thay thế, $\varphi' = \operatorname{arctg} f'$

f' - hệ số ma sát tương đương;

γ - góc nâng của ren;

d_2 - đường kính trung bình của ren.

k - hệ số an toàn, $k = 1,3 \div 1,5$ khi tải trọng ngoài không đổi; $k = 1,5 \div 4$ khi tải trọng ngoài thay đổi

χ - hệ số ngoại lực.

F - Ngoại lực tác dụng nên mối ghép theo phương dọc trục bulông

Tải trọng tác dụng lên bulông $F_0 = 1,3.V + \chi.F$

Ứng suất kéo do V gây nên:

$$\sigma_k = \frac{4V}{\pi d_1^2}, \quad (\text{MPa})$$

Ứng suất xoắn do M_r gây nên:

$$\tau_x = \frac{M_r}{W_0} = \frac{16d_2 \operatorname{tg}(\gamma + \varphi')}{2\pi d_1^3} = \frac{8d_2 \operatorname{tg}(\gamma + \varphi')}{\pi d_1^3}, \quad (\text{MPa}) \quad (4.9)$$

W_0 - mômen cản xoắn của tiết diện nguy hiểm của thân bu lông

$$W_0 = \frac{\pi d_1^3}{16}, \quad (\text{mm}^3)$$

Ứng suất tương đương được xác định theo thuyết bền thế năng biến đổi hình dáng (thuyết bền 4)

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma_k^2 + 3\tau_x^2} = \sigma_k \sqrt{1 + \frac{3\tau_x^2}{\sigma_k^2}} = \sigma_k \sqrt{1 + 12 \left[\frac{d_2}{d_1} \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') \right]^2} \quad (4.10)$$

Đối với các bu lông tiêu chuẩn, có thể lấy:

$$d_2 = 1,1d_1; \quad \gamma = 2^\circ 30'; \quad f' = 0,2. \quad \text{Khi đó: } \sigma_{td} \approx 1,3\sigma_k$$

Như vậy, đối với bu lông được xiết chặt, không chịu tải trọng ngoài có thể tính gần đúng theo độ bền kéo với ứng suất tương đương bằng $1,3\sigma_k$. Ứng suất tăng lên 30% là xét đến ứng suất xoắn do tác dụng của mô men ma sát trên ren.

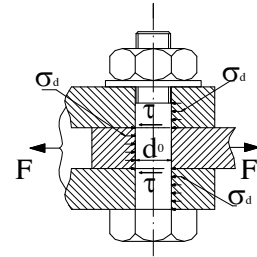
Điều kiện bền có dạng

$$\sigma_{td} = 1,3\sigma_k = 1,3 \frac{4V}{\pi d_1^2} \leq [\sigma_k] \Rightarrow d_1 \geq \sqrt{\frac{5,2V}{\pi[\sigma_k]}}, \quad (4.11)$$

Từ d_1 tra bảng tiêu chuẩn tìm các kích thước khác của ren

* *Bu lông được xiết chặt chịu lực F ngang thân (hình 10.12)*

Phải xiết bulông với lực xiết V để tạo ma sát giữa các tấm ghép, giữ cho chúng không bị trượt do tác dụng của tải trọng ngoài.



Điều kiện làm việc của mối ghép:

..... *Hình 10.12. Bu lông* (4.12)

Để kết cấu làm việc an toàn, lấy

được xiết chặt chịu lực F ngang thân

..... *ms - r . j u - m* (4.13)

k - hệ số an toàn;

i - số đôi bề mặt tiếp xúc giữa các tấm ghép;

f - hệ số ma sát giữa các tấm ghép.

Khi xiết, thân bulông chịu kéo do lực xiết V và chịu xoắn do mômen masát trên ren. Bulông được tính theo độ bền kéo với ứng suất tương đương:

$$\sigma_{td} = 1,3\sigma_k = \frac{1,3 \cdot 4V}{\pi d_1^2} \leq [\sigma_k] \quad (4.14)$$

$$\rightarrow d_1 \geq \sqrt{\frac{1,3 \cdot 4V}{\pi[\sigma_k]}}; d_1 \geq \sqrt{\frac{1,3 \cdot 4kF}{\pi[\sigma_k] f i}}$$

Từ d_1 tra bảng tiêu chuẩn tìm các kích thước khác của ren

3.2.1.2. Mối ghép bulông không khe hở

Khi làm việc, thân bulông chịu cắt và chịu dập.

Điều kiện bền cắt:

$$\tau_c = \frac{4F}{\pi d_0^2 i} \leq [\tau_c]; d_0 \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi i [\tau_c]}}, \quad (4.15)$$

i - số bề mặt chịu cắt;

d_0 - đường kính thân bulông (đường kính lỗ).

Điều kiện bền dập:

$$\sigma_d = \frac{F}{s d_0} [\sigma_d]; d_0 \geq \frac{F}{s [\sigma_d]}, \quad (4.16)$$

s - chiều dày chịu dập, là trị số nhỏ trong 2 trị số $s_1 + s_3$ và s_2 , nếu vật liệu các tấm ghép như nhau và $s/d_0 > 1$ thì lấy $s = d_0$

Đường kính thân bulông được chọn là trị số lớn trong 2 trị số, xác định được từ (4.15) và (4.16) sau đó qui tròn theo tiêu chuẩn.

3.2.2. Tính nhóm bulông

Một nhóm bulông gồm các bulông có cùng khoảng cách từ tâm các bulông đến tâm mỗi ghép (hình 10.13).

Khi tính mỗi ghép nhóm bulông, ta giả thiết rằng:

- Các bulông có cùng kích thước và chịu lực siết như nhau
- Bề mặt ghép luôn phẳng.

Tính mỗi ghép nhóm bulông là:

- Tìm tải trọng tác dụng lên bulông chịu tải lớn nhất;
- Xác định đường kính các bulông theo tải trọng này

3.2.2.1. Mỗi ghép chịu lực ngang đi qua trọng tâm của bề mặt ghép

Giả thiết tải trọng P phân bố đều cho các bulông. Khi đó, mỗi bulông chịu một lực

$$F_i = \frac{P}{z}, \quad (4.17)$$

z - số bulông của toàn mỗi ghép.

Lực xiết V cần thiết đối với mỗi bulông là: $V = \frac{kF_i}{i.f}$

3.2.2.2. Mỗi ghép chịu mômen trong mặt phẳng ghép

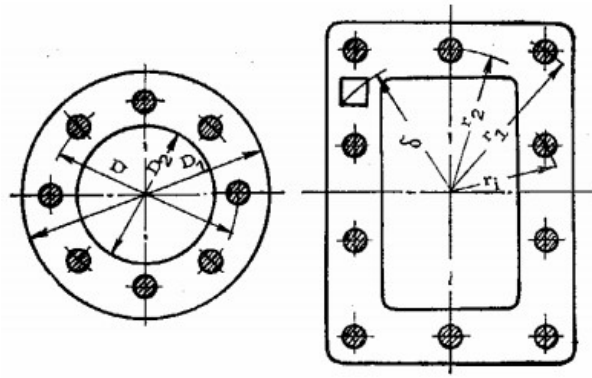
Mỗi ghép chịu mômen M trong mặt phẳng ghép. Tải trọng tác dụng lên mỗi bulông tỷ lệ thuận với khoảng cách từ tâm bulông tới tâm mỗi ghép (có phương vuông góc với khoảng cách từ tâm bulông tới tâm mỗi ghép, chiều ngược với chiều mômen):

$$\dots\dots\dots \frac{F_1}{r_1} = \frac{F_2}{r_2} = \frac{F_3}{r_3} = \dots = \frac{F_z}{r_z}. \quad (4.18)$$

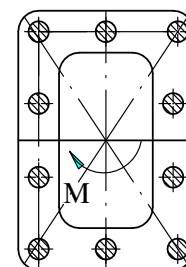
Giả sử F_1 lớn nhất (r_1 lớn nhất) ta cần xác định F_1 . Từ (4.18), ta có:

$$F_i = F_1 \frac{r_1}{r_i}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (4.19)$$

Điều kiện cân bằng mômen của mỗi ghép có dạng:



Hình 10.13. Mỗi ghép nhóm bulông



Hình 10.14. Mỗi ghép chịu mômen

$$F_1 r_1 z_1 + F_2 r_2 z_2 + \dots + F_n r_n z_n = M, \quad (4.20)$$

n - số nhóm bulông của mỗi ghép.

Thay (4.19) vào (4.20), ta được:

$$F_1 r_1^2 z_1 + F_1 r_2^2 z_2 + \dots + F_1 r_n^2 z_n = M r_1 \Rightarrow F_1 = F_{\max} = \frac{M r_1}{\sum_{i=1}^n r_i^2 z_i}.$$

$$\text{Điều kiện bền của mỗi ghép: } \sum V \cdot f \cdot Z_i \cdot r_i \geq M \quad (4.21)$$

Z_i : Số bulông có cùng khoảng cách đến tâm mỗi ghép r_i

Nếu các bulông lắp có khe hở thì lực xiết V cần thiết là:

$$V \geq \frac{M}{f \cdot \sum Z_i \cdot r_i} \quad \text{hoặc} \quad V = \frac{kM}{f \cdot \sum Z_i \cdot r_i}$$

Đối với mỗi ghép có hình vành khăn $V = \frac{2kM}{f \cdot Z \cdot D_o}$

k : hệ số an toàn

D_o : Đường kính vòng tròn qua tâm các bulông

Từ V tìm đường kính các bu lông theo công thức (4.14).

Nếu các bulông lắp không khe hở thì từ F_{\max} tính đường kính bulông theo điều kiện bền dập và bền cắt (công thức 4.15 và 4.16).

4. Mỗi ghép bằng then và then hoa.

4.1. Mỗi ghép bằng then.

4.1.1. Định nghĩa

Then là tiết máy tiêu chuẩn dùng để ghép các tiết máy quay (mayơ) với trục, truyền mômen xoắn từ trục tới mayơ và ngược lại.

4.1.2. Phân loại mỗi ghép then

Có thể chia mỗi ghép then ra làm 2 loại: then ghép lỏng và then ghép căng

4.1.3. Tính toán mỗi ghép then bằng

Do then là chi tiết máy tiêu chuẩn nên chỉ phải tính chọn theo điều kiện

chịu tải của mỗi ghép. Từ đường kính trục d , tra bảng được các thông số của then (h, b, t_1, t_2) còn chiều dài then l_t được xác định theo chiều dài mayơ l_{m0} theo công thức sau:

$$l_t = (0,8 \div 0,9) l_{m0} \quad (9.1)$$

Sau đó theo tiêu chuẩn chọn lấy giá trị gần nhất.

Khi làm việc, dưới tác dụng của mômen xoắn T , then chịu dập ở hai mặt bên và chịu cắt ngang thân. Vì vậy, phải nghiệm then theo điều kiện bền dập và điều kiện bền cắt.

Điều kiện bền dập

$$\sigma_d = \frac{2T}{d.(h - t_1).l_t} \leq [\sigma_d] \quad (9.2)$$

Điều kiện bền cắt

$$\tau_c = \frac{2T}{d.b.l_t} \leq [\tau_c] \quad (9.3)$$

T - mômen xoắn trên trục, MPa;

d - đường kính trục tại vị trí lắp then, mm;

h, b, t₁, l_t - chiều cao then, chiều rộng then, chiều sâu rãnh then trên trục và chiều dài tính toán của then, mm;

[σ_d], [τ_c] - ứng suất dập, ứng suất cắt cho phép của vật liệu then, MPa.

Nếu mối ghép không đủ bền thì có thể tăng chiều dài then sau đó kiểm tra lại các điều kiện bền của then. Nếu không thoả mãn thì ta dùng hai then đặt cách nhau 180°, khi đó mỗi then chịu 0,75T.

Nếu 2 then không đủ bền thì dùng ba then hoặc then hoa.

4.2. Mối ghép bằng then hoa.

Chương 6. Một số bộ truyền chuyển động

.Mã chương: MHC12-06

Mục tiêu:

- Trình bày được khái niệm, cấu tạo, nguyên lý làm việc, đặc điểm, phạm vi ứng dụng của các bộ truyền: Đai, Xích, Bánh răng, Bánh vít - Trục vít.
- Nêu được các thông số hình học, động học, động lực học chủ yếu của từng bộ truyền.
- Trình bày được phương pháp tính toán các bộ truyền trên theo sức bền tiếp xúc và sức bền uốn.
- Rèn luyện tính cẩn thận, tác phong làm việc khoa học của người làm kỹ thuật.

1. BỘ TRUYỀN ĐAI

1.1. Khái niệm chung

1.1.1. Khái niệm

Cơ cấu đai truyền dùng để truyền chuyển động quay giữa 2 trục đặt cách xa nhau

(hình 3-5)

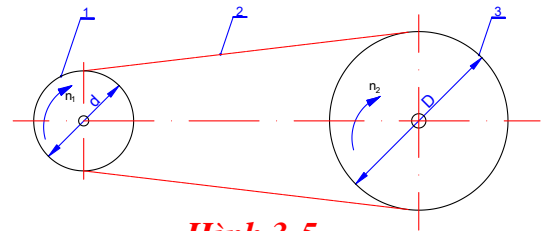
1.1.2. Cấu tạo

Gồm 2 khâu:

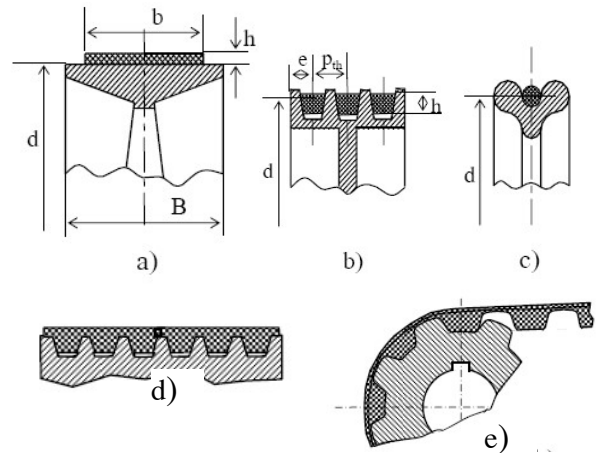
- + Hai bánh đai có đường kính d và D
- + Đai: làm bằng cao su, sợi tổng hợp,...
- + Ngoài ra còn có thiết bị căng đai

1.1.3. Phân loại đai

- + Đai dẹt (Hình 3-6a)
- + Đai thang (Hình 3-6 b)
- + Đai tròn (Hình 3-6c)
- + Đai hình lược (Hình 3-6d)
- + Đai răng (Hình 3-6e)



Hình 3-5



Hình 3-6

1.2. Các thông số hình học, động học, động lực học chủ yếu của bộ truyền Đai.

1.2.1. Các thông số hình học của bộ truyền động đai

Các thông số hình học chính của bộ chuyển động đai (hình 11.8), gồm có:

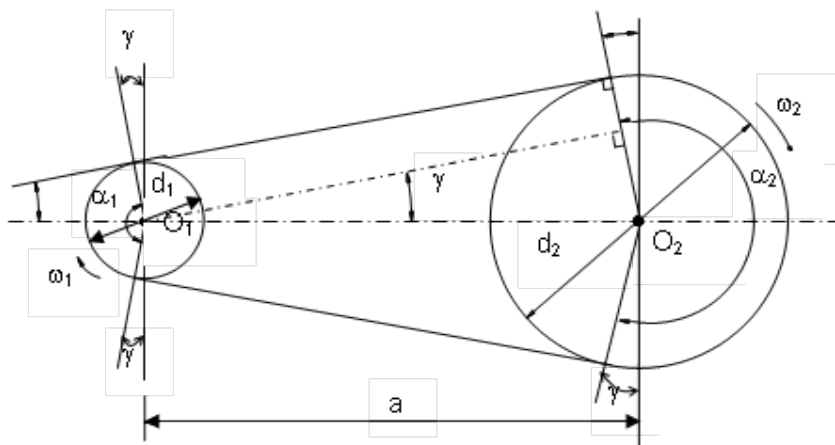
a - Khoảng cách trục, mm;

d_1, d_2 - Đường kính bánh dẫn và bánh bị dẫn, mm;

L - Chiều dài hình học của đai, không tính đến độ võng, mm;

γ - Góc nghiêng của mỗi nhánh đai so với đường tâm bộ truyền;

α_1, α_2 - Góc ôm của đai lên bánh dẫn và bánh bị dẫn;



Hình 11.8. Thông số hình học chính của bộ chuyển động đai

* Đường kính tính toán của các bánh đai d_1, d_2

Đường kính tính toán của các bánh đai d_1, d_2 của bộ truyền dẹt chính là đường kính ngoài c

Đường kính bánh dẫn (bánh nhỏ) d_1 , mm

- Đường kính bánh dẫn d_1 của bộ truyền đai dẹt được tính theo công thức thực nghiệm của Xavêrin

$$d_1 = (1100 \sim 1300) \sqrt[3]{N_1 / n_1}, \text{ mm} \quad \text{hoặc} \quad d_1 = (5,2 \sim 6,4) \sqrt[3]{T_1}, \text{ mm} \quad (11.1)$$

N_1, T_1, n_1 : Công suất, mô men xoắn k số vòng quay trong một phút của trục bánh đai dẫn;

- Đường kính bánh nhỏ $d_1 \approx 1,2 d_{\min}$, mm

d_{\min} : Đường kính tối thiểu, tra bảng theo T_1 và loại tiết diện đai thang.

Đường kính của bánh bị dẫn d_2 , mm

$$d_2 = (1 - \varepsilon) \cdot d_1, \text{ mm} \quad (11.2)$$

i: tỉ số truyền của bộ truyền đai;

ε : hệ số trượt.

d_1 : Đường kính bánh dẫn, mm.

* Góc nghiêng $\sin \gamma = \frac{d_2 - d_1}{2a}$

Thông thường $\gamma < 35^\circ$ nên lấy $\gamma \approx \frac{d_2 - d_1}{2a}$

* Góc ôm trên bánh dẫn và bánh bị dẫn α_1, α_2

$$\alpha_1 = \pi - \frac{d_2 - d_1}{a}; \quad \alpha_2 = \pi + \frac{d_2 - d_1}{a} \quad \text{rad}$$

$$\text{Hoặc } \alpha_1 = 180^\circ - 57^\circ \left(\frac{d_2 - d_1}{a} \right) \quad (11.3)$$

* Chiều dài đai L , mm

$$L \approx 2a + \pi \left(\frac{d_2 + d_1}{2} \right) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a} \quad (11.4)$$

* Khoảng cách trục a , mm

$$a = \frac{1}{4} \left(L - \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2} + \sqrt{\left[\left(L - \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2} \right)^2 - 2(d_2 - d_1)^2 \right]} \right) \quad (\text{mm}) \quad (11.5)$$

1.2.2. Lực tác dụng lên đai.

- Khi chưa làm việc dây đai được kéo căng bằng lực căng ban đầu F_0 .

- Khi chịu tải trọng T_1 trên trục I và T_2 trên trục II, xuất hiện lực vòng F_t , làm một nhánh đai căng thêm, gọi là nhánh dẫn, và một nhánh bớt căng gọi là nhánh bị dẫn (Hình 11.9).

- Lúc này, lực căng trên nhánh dẫn là:

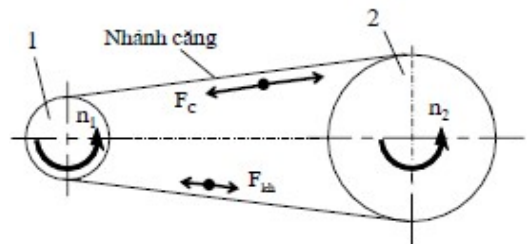
$$F_1 = F_0 + F_t / 2,$$

Lực căng trên nhánh bị dẫn là

$$F_2 = F_0 - F_t / 2.$$

- Khi bánh đai quay, dây đai còn chịu thêm tác dụng của lực ly tâm làm cho chúng giãn thêm. Trên các nhánh đai tăng thêm lực căng là $F_v = q_m \cdot v^2$, và q_m là khối lượng của một mét đai. Lực F_v còn có tác dụng làm giảm lực ma sát giữa dây đai với bánh đai.

Lúc này, trên nhánh đai dẫn có lực căng $F_1 = F_0 + F_t / 2 + F_v$
 Trên nhánh đai bị dẫn có lực căng $F_2 = F_0 - F_t / 2 + F_v$



Hình 11.9. Lực tác dụng lên đai

- Lực tác dụng lên trục và ổ trục của bộ truyền là lực hướng tâm F_r có phương vuông góc với đường trục bánh đai, có chiều kéo hai bánh lại gần nhau. Giá trị của F_r được tính như sau:

$$F_r = 2.F_0.\cos(\gamma/2)$$

1.2.3. Ứng suất sinh ra trong bộ truyền.

Dưới tác dụng của lực căng F_1 trên nhánh đai dẫn có ứng suất $\sigma_1 = \frac{F_1}{B}$

và trên nhánh đai bị dẫn có ứng suất $\sigma_2 = \frac{F_2}{B}$, với B là diện tích mặt cắt ngang của dây đai (mm^2).

Ngoài ra, khi dây đai vòng qua các bánh đai nó bị uốn. Vì vậy trong dây đai có thêm ứng suất uốn:

$$\text{Nhánh đai dẫn: } \sigma_{u1} = \frac{E.h}{D_1}$$

$$\text{Nhánh đai bị dẫn: } \sigma_{u2} = \frac{E.h}{D_2}$$

Trong đó: E là mô đun đàn hồi của vật liệu

Ta thấy $\sigma_{u2} < \sigma_{u1}$

Quan sát sơ đồ ứng suất phân bố dọc theo chiều dài dây đai ở hình 11.9, ta có nhận xét:

- Khi bộ truyền làm việc, ứng suất tại một tiết diện của đai sẽ thay đổi từ giá trị $\sigma_{\min} = \sigma_2$ đến giá trị $\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_{u1}$. Như vậy, dây đai sẽ bị hỏng do mỏi.

- Khi đai chạy được một vòng, ứng suất tại mỗi tiết diện của đai thay đổi 4 lần. Để hạn chế số chu kỳ ứng suất trong dây đai, kéo dài thời gian sử dụng bộ truyền đai, có thể khống chế số vòng quay của dây đai.

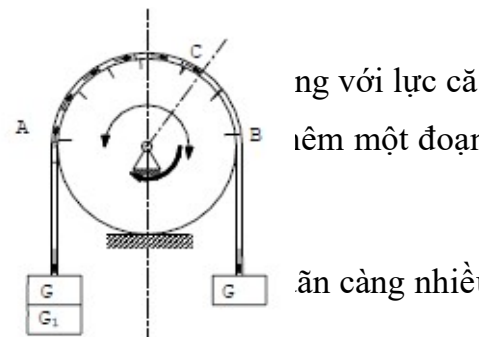
1.2.4. Sự trượt của đai.

Thí nghiệm trượt đai (hình 11.10). Trọng lượng G của h

Treo thêm vật nặng G_1 vào nhánh trái của dây đai, nhát tượng trượt gọi là cung tĩnh. Lực F_{ms} trên cung AC vừa đủ để cân bằng với trọng lượng G_1 của vật nặng.

Sự trượt đàn hồi xảy ra do dây đai biến dạng đàn hồi. D là tải trọng giới hạn.

Tiếp tục tăng G_1 , dây đai sẽ chuyển động về phía trái, trượt khỏi bánh đai.



Hình 11.10. Sự trượt của đai

Trong bộ truyền đai, trên bánh đai dẫn cung trượt nằm về phía nhánh đai bị dẫn, trên bánh trượt hoàn toàn, ta gọi là trượt trơn. Vậy hiện tượng trượt trơn xảy ra khi bộ truyền bị quá tải, khi đó bánh bị dẫn dừng lại và hiệu suất của bộ truyền bằng không.

1.2.5. Đường cong trượt và đường cong hiệu suất.

Để nghiên cứu ảnh hưởng của sự trượt trong bộ truyền đai đến hiệu suất truyền động và môđun Đồ thị của hàm số $\xi(\psi)$ trong hệ tọa độ vuông góc $O\psi\xi$ gọi là đường cong trượt. Đồ thị của

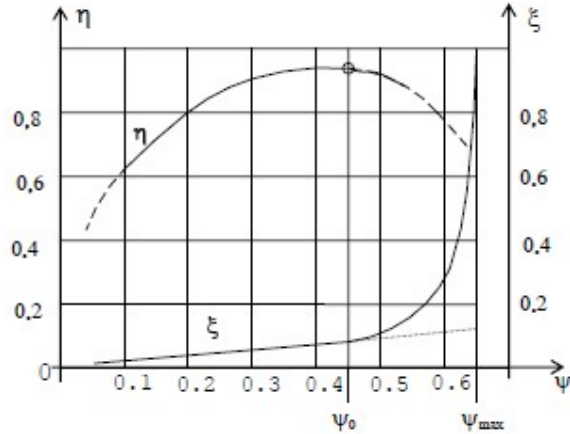
- Khi hệ số kéo thay đổi từ 0 đến ψ_o , bộ truyền chỉ có trượt đàn hồi, hệ số ξ tăng, đồng thời hiệu suất η cũng tăng.

- Khi ψ biến thiên từ ψ_o đến ψ_{max} hệ số trượt tăng nhanh, lúc này trong bộ truyền đai có trượt trơn từng phần, hiệu suất của bộ truyền giảm nhanh.

- Khi $\psi = \psi_{max}$ bộ truyền trượt trơn hoàn toàn, hiệu suất bằng 0, hệ số trượt bằng 1.

- Tại giá trị $\psi = \psi_o$ bộ truyền có hiệu suất cao nhất, mà vẫn chưa có hiện tượng trượt trơn từng phần. Lúc này bộ truyền đã sử dụng hết khả năng kéo. Đây là trạng thái làm việc tốt nhất của bộ truyền. Giá trị ψ_o được gọi là hệ số kéo tới hạn của bộ truyền.

- Khi tính thiết kế bộ truyền đai, cố gắng để bộ truyền làm việc trong vùng bên trái sát với đường $\psi = \psi_o$.



Hình 11.11. Đồ thị của hàm số $\xi(\psi)$

1.3. Tính bộ truyền Đai

1.3.1. Tính toán bộ truyền động đai theo khả năng kéo.

1.3.1.1 Kiểm tra bộ truyền

Bài toán kiểm tra bộ truyền được thực hiện như sau :

- Tính hệ số kéo $\psi = \frac{F_t}{2F_0} = \frac{T_1}{D_1 \cdot F_0}$ (11.1)

- Lựa chọn giá trị hệ số kéo tới hạn ψ_o

Đối với đai dẹt, lấy $\psi_o = 0,4 \div 0,45$

Đối với đai thang, lấy $\psi_o = 0,45 \div 0,5$

- So sánh ψ và ψ_o . Nếu $\psi > \psi_o$ trong bộ truyền có trượt đơn.

- Tính ứng suất ban đầu $\sigma_0 = F_0/B$ (11.2) , so sánh σ_0 với ứng suất ban đầu cho phép $[\sigma_0]$.

Đối với đai dẹt, lấy $[\sigma_0] = 1,8 \text{ Mpa}$

Đối với đai thang, lấy $[\sigma_0] = 2,0 \text{ Mpa}$

Nếu $\sigma_0 > [\sigma_0]$, đai sẽ bị dãn trước thời gian quy định.

1.3.1.2 Bài toán thiết kế bộ truyền

Bài toán kiểm tra bộ truyền được thực hiện như sau.

- Lựa chọn giá trị thích hợp cho hệ số ψ_0 theo công thức (11.1)
- Giả sử chỉ tiêu $\psi \leq [\psi_0]$ thỏa mãn, ta viết được $\frac{T_1}{d_1.F_0} \leq \psi_0$ suy ra $F_0 \geq \frac{T_1}{d_1.\psi_0}$
- Tính ứng suất σ_0 theo (11.2), kiểm tra điều kiện $\sigma_0 \leq [\sigma_0]$

1.3.2. Tính toán bộ truyền động đai theo độ bền lâu.

1.3.2.1 Bài toán kiểm tra bộ truyền

Bài toán kiểm tra bộ truyền được thực hiện như sau :

+ Tính số vòng chạy của đai trong một giây U theo công thức :

$$U = \frac{v_1}{L} = \frac{\pi.D_1.n_1}{6.10^4.L}$$

Với v_1 : Vận tốc tiếp tuyến trên bánh dẫn, m/s ;

n_1 : Tốc độ quay của bánh dẫn ; vòng/phút

L : Chiều dài dây đai, m

+ Chọn số vòng chạy cho phép của đai trong một giây [U] thích hợp với loại bộ truyền, và tuổi bền của bộ truyền.

Đối với bộ truyền đai dẹt, nên lấy [U] = 3÷4

Đối với bộ truyền đai thang, nên lấy [U] = 4÷5

+ So sánh U và [U], đưa ra kết luận : Nếu $U > [U]$, bộ truyền không đủ bền

Nếu $U \leq [U]$, bộ truyền đủ độ bền mỏi.

1.3.2.2 Bài toán thiết kế bộ truyền

Bài toán kiểm tra bộ truyền được thực hiện như sau.

- Chọn giá trị [U] thích hợp với loại bộ truyền, và tuổi bền của bộ truyền.

- Giả sử chỉ tiêu $U \leq [U]$ thỏa mãn, ta viết được $\frac{\pi.D_1.n_1}{6.10^4.[U]} \leq [U]$ suy ra

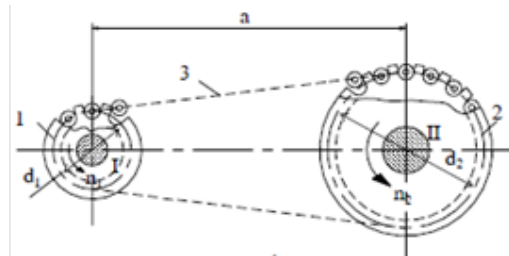
$$L \geq \frac{\pi.D_1.n_1}{6.10^4.[U]}$$

2. Bộ truyền Xích.

2.1. Khái niệm chung.

2.1.1. Cấu tạo

Bộ truyền xích thường dùng truyền chuyển động giữa hai trục song song với nhau và cách xa nhau (Hình 14.1), hoặc truyền



Hình 14.1. Bộ truyền xích

1 Đĩa xích dẫn

2 Đĩa xích bị dẫn

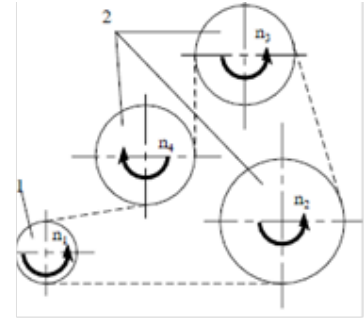
chuyển động từ một trục dẫn đến nhiều trục bị dẫn (Hình 14.2).

Bộ truyền xích có 3 bộ phận chính:

+ Đĩa xích dẫn 1, có đường kính tính toán là d_1 , lắp trên trục I, quay với số vòng quay n_1 , công suất truyền động P_1 , mô men xoắn trên trục T_1 . Đĩa xích có răng tương tự như bánh răng. Trong quá trình truyền động, răng đĩa xích ăn khớp với các mắt xích, tương tự như bánh răng ăn khớp với thanh răng.

+ Đĩa xích bị dẫn 2, có đường kính d_2 , được lắp trên trục bị dẫn II, quay với số vòng quay n_2 , công suất truyền động P_2 , mô men xoắn trên trục T_2 .

+ Dây xích 3 là khâu trung gian, mắc vòng qua hai đĩa xích. Dây xích gồm nhiều mắt xích được nối với nhau. Các mắt xích xoay quanh khớp bản lề, khi vào ăn khớp với răng đĩa xích.



Hình 14.2. Bộ truyền có 3 đĩa bị dẫn

2.1.2. Nguyên lý làm việc.

Nguyên lý làm việc của bộ truyền xích: dây xích ăn khớp với răng đĩa xích gần giống như thanh răng ăn khớp với bánh răng. Đĩa xích dẫn quay, răng của đĩa xích đẩy các mắt xích chuyển động theo. Dây xích chuyển động, các mắt xích đẩy răng của đĩa xích bị dẫn chuyển động, đĩa xích 2 quay.

Như vậy chuyển động đã được truyền từ bánh dẫn sang bánh bị dẫn nhờ sự ăn khớp của răng đĩa xích với các mắt xích. Truyền động bằng ăn khớp, nên trong bộ truyền xích hầu như không có hiện tượng trượt. Vận tốc trung bình của bánh bị dẫn và tỷ số truyền trung bình của bộ truyền xích không thay đổi.

2.2. Các thông số hình học, động học, động lực học chủ yếu của bộ truyền Xích.

2.2.1. Các thông số hình học của bộ truyền xích

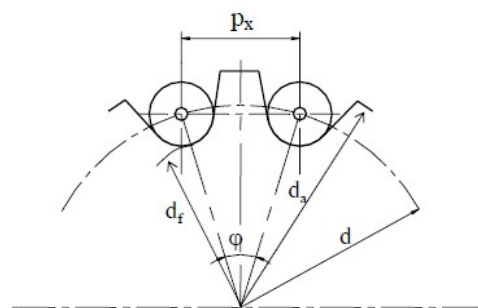
- Đường kính tính toán của đĩa xích dẫn d_1 , của đĩa bị dẫn d_2 ; cũng chính là đường kính vòng chia của đĩa xích, mm; là đường kính của vòng tròn đi qua tâm các chốt (Hình 14.5).

- Đường kính vòng tròn chân răng đĩa xích d_{f1} , d_{f2} , mm.

- Đường kính vòng tròn đỉnh răng d_{a1} , d_{a2} , mm.

- Số răng của đĩa xích dẫn z_1 , của đĩa xích bị dẫn z_2 .

- Bước xích p_x , mm. Giá trị của p_x được



Hình 14.5. Thông số hình học của bộ truyền xích

tiêu chuẩn hóa. Cũng là bước của răng đĩa xích trên vòng tròn đi qua tâm các chốt.

- Số mắt của dây xích N_x . Số mắt xích nên lấy là số chẵn, để dễ dàng nối với nhau. Nếu số mắt xích N_x là số lẻ, phải dùng má xích chuyển tiếp để nối. Má chuyển tiếp rất dễ bị gãy. Số mắt xích: $N_x = L/p_x$.

- Khoảng cách trục a , là khoảng cách giữa tâm đĩa xích dẫn và đĩa bị dẫn; mm.

2.2.2. Vận tốc và tỷ số truyền trung bình.

a) Vận tốc trung bình V của xích

$$V = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60 \cdot 10^3} = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n_2}{60 \cdot 10^3}$$

Trong đó: n_1 : Tốc độ quay của đĩa xích dẫn (vg/ph)

n_2 : Tốc độ quay của đĩa xích bị dẫn (vg/ph)

Vì $\pi \cdot D_1 \approx Z_1 \cdot p_x$ và, $\pi \cdot D_2 \approx Z_2 \cdot p_x$ nên thay vào ta có:

$$V = \frac{n_1 \cdot Z_1 \cdot p_x}{60 \cdot 10^3} = \frac{n_2 \cdot Z_2 \cdot p_x}{60 \cdot 10^3}$$

Z_1, Z_2 : Số răng đĩa xích dẫn và đĩa xích bị dẫn

t : Bước xích

b) Tỷ số truyền trung bình của bộ truyền

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

2.2.3. Tỷ số truyền tức thời.

Tỷ số truyền tức thời $i_u = \frac{d_2 \cdot \cos \alpha}{d_1 \cdot \cos \alpha_1}$

Trong đó: α, α_1 : lần lượt là góc gãy khúc của xích khi vào khớp đối với bánh bị dẫn và bánh dẫn.

Có thể giảm bớt sự chuyển động không đều của đĩa xích bị dẫn bằng cách tăng số răng đĩa :

2.2.4. Tải trọng động và đập của bản lề xích và răng đĩa.

Trong truyền động xích, do vận tốc của xích và đĩa xích bị dẫn thay đổi cho nên sinh ra tải trọng động. Khi xích có khối lượng m chuyển động với vận tốc V_x thay đổi theo thời gian, nghĩa là chuyển động với gia tốc a_x , sinh ra tải trọng động (lực quán tính)

$$F_d = m \cdot a_x = \frac{q \cdot A \cdot n_1^2 \cdot p_x}{18 \cdot 10^4} \quad (\text{N})$$

Trong đó m: khối lượng xích (kg)

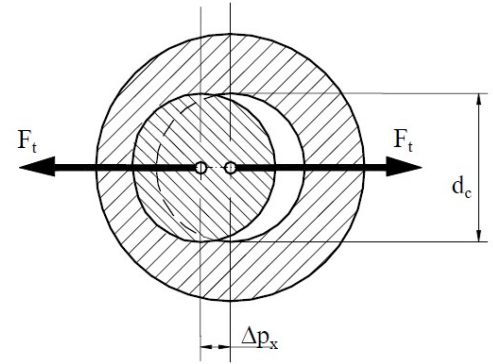
a_x : Gia tốc xích (m/s)

a: khoảng cách trục (mm)

p_x : Bước xích (mm)

n_1 : tốc độ quay của đĩa xích dẫn
(vòng/ph)

q: khối lượng 1 mét xích (kg/m)



Hình 14.6. Xích bị mòn làm tăng bước xích

2.3. Tính bộ truyền Xích.

Để hạn chế các dạng hỏng kể trên, bộ truyền xích cần được tính toán thiết kế hoặc kiểm tra theo chỉ tiêu sau:

$$p \leq [p]$$

Trong đó p là áp suất trên bề mặt tiếp xúc của chốt và ống lót, MPa.

[p] là áp suất cho phép của khớp bản lề, MPa.

Bài toán thiết kế bộ truyền xích thực hiện các nội dung chủ yếu sau đây:

+ Chọn loại xích, dự kiến số vòng quay, xác định áp suất cho phép [p].

$$p = \frac{2KT_1}{d_1 AK_x} \leq [p]$$

Trong đó: A là diện tích tính toán của bản lề, $A = d_c \cdot l_0$.

K là hệ số tải trọng, giá trị của K phụ thuộc vào đặc tính tải trọng, kích thước, vị trí và điều kiện sử dụng bộ truyền. K được tính theo công thức:

$$K = K_d \cdot K_a \cdot K_0 \cdot K_{dc} \cdot K_b$$

+ K_d là hệ số kể đến tải trọng động. Nếu tải trọng va đập mạnh lấy $K_d = 1,8$. Nếu tải trọng va đập trung bình, lấy $K_d = 1,2 \div 1,5$.

+ K_a là hệ số kể đến số vòng chạy của xích trong một giây. Nếu $a = (30 \div 50) \cdot p_x$, lấy $K_a = 1$. Nếu $a = (60 \div 80) \cdot p_x$, lấy $K_a = 0,8$. Nếu $a < 25 \cdot p_x$, lấy $K_a = 1,25$.

+ K_0 là hệ số kể đến cách bố trí bộ truyền. Nếu bộ truyền đặt nghiêng so với phương ngang một góc nhỏ hơn 60° , lấy $K_0 = 1$. Trường hợp khác lấy $K_0 = 1,25$.

+ K_{dc} là hệ số kể đến khả năng điều chỉnh lực căng xích. Nếu không điều chỉnh được, lấy $K_{dc} = 1,25$. Nếu điều chỉnh được thường xuyên, lấy $K_{dc} = 1$.

+ K_b là hệ số kể đến điều kiện bôi trơn. Nếu bôi trơn ngâm dầu, lấy $K_b = 0,8$. Nếu bôi trơn nhỏ giọt, lấy $K_b = 1$. Nếu bôi trơn định kỳ, lấy $K_b = 1,5$.

+ K_x là hệ số kể đến dùng nhiều dây xích. Nếu dùng xích 1 dây, lấy $K_x = 1$. Nếu dùng xích 2 dây, lấy $K_x = 1,7$. Nếu dùng 3 dây xích, lấy $K_x = 2,4$.

- Áp suất cho phép $[p]$ được xác định theo thực nghiệm. Tra bảng trong các sổ tay thiết kế phụ thuộc vào số vòng quay và bước xích.

Có thể tính gần đúng $d_1 = z_1 \cdot p_x / \pi$; và diện tích $A \approx 0,28 \cdot p_x^2$. Lúc đó ta có:

$$p_x \geq 2,82 \sqrt[3]{\frac{KT_1}{z_1 K_x [p]}}$$

+ Chọn p_x theo giá trị tiêu chuẩn, tính các kích thước khác của bộ truyền, vẽ kết cấu của đĩa xích dẫn, đĩa xích bị dẫn.

3. Bộ truyền Bánh răng.

3.1. Khái niệm chung.

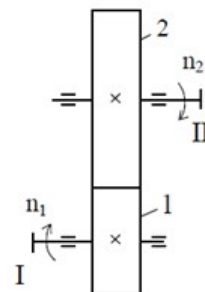
3.1.1. Khái niệm

Truyền động bánh răng là truyền động ăn khớp trực tiếp, trong đó chuyển động và tải trọng được truyền nhờ sự ăn khớp của các răng trên bánh răng hoặc thanh răng.

Bộ truyền bánh răng thường có 2 bộ phận chính:

+ Bánh răng dẫn 1, có đường kính d_1 , được lắp trên trục dẫn I, quay với số vòng quay n_1 , công suất truyền động P_1 , mô men xoắn trên trục T_1

+ Bánh răng bị dẫn 2, có đường kính d_2 , được lắp trên trục bị dẫn II, quay với số vòng quay n_2 , công suất truyền động P_2 , mô men xoắn trên trục T_2 .



Hình 12.1. Sơ đồ bộ truyền bánh răng trụ

+ Trên bánh răng có các răng, khi truyền động các răng ăn khớp với nhau, tiếp xúc và đẩy nhau trên đường ăn khớp

Nguyên lý làm việc của bộ truyền bánh răng (Hình 12-1). có thể tóm tắt như sau: trục I quay với số

quay qua mỗi ghép then làm cho bánh răng 1 quay. Răng của 1 động, làm bánh 2

Truyền chủ như không có tr răng), hiệu suất tr

3.1.2. Ưu nhược

3.1.2.1 Ưu điểm

- Kích thước nhỏ, khả năng tải lớn;
- Tỷ số truyền không đổi;
- Hiệu suất cao, có thể đạt tới 97 ... 99%;
- Tuổi thọ cao, làm việc tin cậy.

3.1.2.2. Nhược điểm

- Chế tạo tương đối phức tạp;
- Đòi hỏi độ chính xác cao;
- Có nhiều tiếng ồn khi vận tốc lớn.

3.1.2.3. Phạm vi sử dụng

Bộ truyền bánh răng được sử dụng nhiều nhất so với các bộ truyền cơ khí khác. Nó được sử

Bộ truyền bánh răng có thể:

- Truyền công suất rất nhỏ (0,1kW): dụng cụ đo
- Truyền công suất khá lớn (300 kW): các máy mỏ, máy xây dựng, máy làm đường
- Truyền công suất rất lớn (100.000 kW): bộ truyền dùng trong các nhà máy phát điện

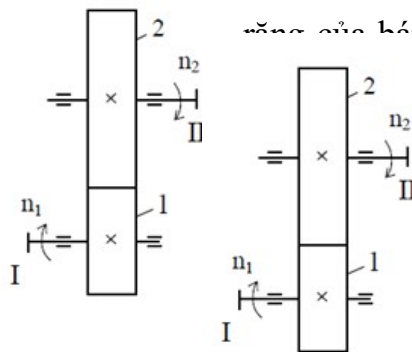
Vận tốc đạt được 140 m/s hoặc có thể cao hơn.

Tỷ số truyền (của một cặp bánh răng) có thể từ 1 đến 10 hoặc có thể cao hơn.

3.1.3. Phân loại

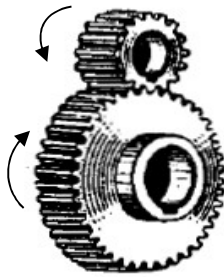
Theo vị trí tương đối giữa các trục

- Truyền động bánh răng trụ, các trục song song với nhau; (hình 12.2)
- Truyền động bánh răng côn, các trục cắt nhau; (hình 12.3)
- Truyền động bánh răng hypecbôlôit, các trục chéo nhau. (hình 12.4)



đẩy răng bánh 2 chuyển y với số vòng quay n_2 .

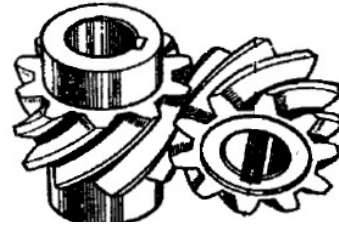
g bộ truyền bánh răng hầu lạng ở phần đỉnh và chân



Hình 12.2. Bánh
răng trụ



Hình 12.3. Bánh
răng côn



Hình 12.4. Bánh
răng hypecbôlôit

Theo tính chất di động của đường tâm các trục

- Truyền động bánh răng thường, đường tâm trục của tất cả các bánh răng đều cố định;
- Truyền động bánh răng hành tinh, đường tâm trục của 1 hoặc nhiều bánh răng di động trong mặt phẳng quay.

Theo phương của răng so với đường sinh

- Truyền động bánh răng thẳng (bánh trụ răng thẳng và bánh côn răng thẳng); (hình 12.2; 12.3)
- Truyền động bánh răng nghiêng (bánh trụ răng nghiêng, bánh côn răng xoắn, răng cong). (hình 12.7)
- Truyền động bánh răng chữ V (hình 12.8)

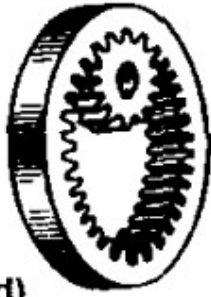
Theo dạng ăn khớp

- Bộ truyền ăn khớp ngoài; (hình 12.2; 12.3; 12.4)
- Bộ truyền ăn khớp trong. (hình 12.5)

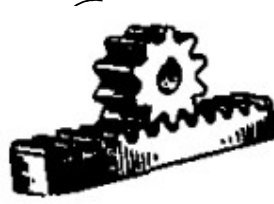
Theo dạng profin răng

- Truyền động bánh răng thân khai;
- Truyền động bánh răng xyclôit: Biên dạng răng là đường cong xyclôit, sử dụng chủ yếu trong đồng hồ và dụng cụ đo.
- Truyền động bánh răng Nôvikôv: Biên dạng răng là cung tròn, Nôvikôv tìm ra năm 1954 làm tăng khả năng tải của bộ truyền (hình 12.9 a,b)

Truyền động bánh răng thân khai được dùng rộng rãi hơn cả, do răng được chế tạo bằng dụng cụ có cạnh thẳng, đảm bảo độ chính xác cao và không bị ảnh hưởng của sai số khoảng cách trục do đó không làm thay đổi qui luật chuyển động và tỷ số truyền.



d)
Hình 12.5. Bộ truyền ăn khớp trong



Hình 12.6. Bánh răng - thanh răng



Hình 12.7. Truyền động bánh răng nghiêng



Hình 12.8. bánh răng chữ V

Theo dạng thay đổi chuyển động

- Truyền động bánh răng - bánh răng, biến chuyển động quay thành chuyển động quay;
- Truyền động bánh răng - thanh răng, biến chuyển động quay thành chuyển động tịnh tiến và ngược lại. (hình 12.6)

Theo kết cấu

- Bộ truyền hở không được bôi trơn hoặc bôi trơn định kỳ, làm việc với vận tốc thấp;
- Bộ truyền kín được bôi trơn đầy đủ, làm việc với vận tốc trung bình hoặc cao.

3.2. Các thông số hình học, động học, động lực học chủ yếu của bộ truyền Bánh răng trụ răng thẳng, nghiêng.

3.2.1. Các thông số hình học của bánh răng trụ răng thẳng.

- Mô đun của răng bánh răng, ký hiệu là m , đơn vị đo là mm. Các bánh răng có cùng mô đun sẽ ăn khớp được với nhau. Giá trị của mô đun m được lấy theo dãy số tiêu chuẩn, để hạn chế số lượng dao gia công bánh răng sử dụng trong thực tế.

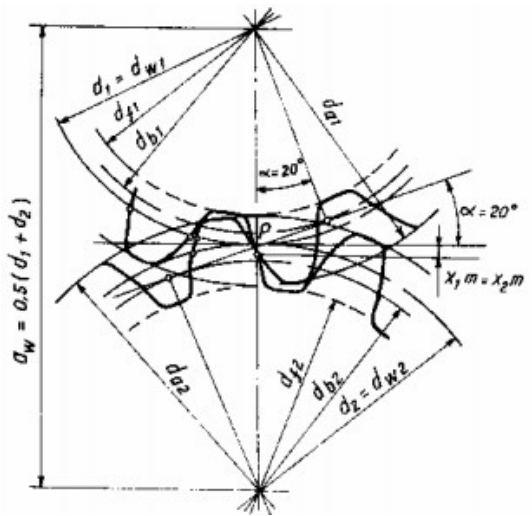
Ví dụ: 1; 1,25; (1,375); 1,5; (1,75); 2; (2,25); 2,5; 3; (3,5); 4; (4,5); 5; (5,5); 6; (7); 8; (9); 10; (11); ..

- Hệ số chiều cao đỉnh răng h_a , hệ số này quyết định răng cao hay thấp. Chiều cao của răng thường lấy $h = 2,25.h_a$. Các bánh răng tiêu chuẩn có $h_a = 1$.

- Hệ số khe hở chân răng C , hệ số này quyết định khe hở giữa vòng đỉnh răng và vòng tròn chân răng của bánh răng ăn khớp với nó. Cần có khe hở này để hai bánh răng không bị chèn nhau. Thông thường lấy $C = 0,25$.

- Hệ số bán kính cung lượn đỉnh dao gia công bánh răng ρ , hệ số này liên quan đến đoạn cong chuyển tiếp giữa chân răng và biên dạng răng. Giá trị thường dùng $\rho = 0,38$.

- Hệ số dịch dao x_1 của bánh răng dẫn, và x_2 của bánh răng bị dẫn. Giá trị hệ số dịch dao thường dùng $-1 \leq x \leq 1$.
- Chiều rộng vành răng bánh răng dẫn B_1 và vành răng bánh bị dẫn B_2 , mm. Thường dùng $B_1 > B_2$. Mục đích: khi có sai lệch do lắp ghép, thì bộ truyền vẫn tiếp xúc đủ chiều dài tính toán B.
- Số răng của bánh dẫn z_1 , của bánh bị dẫn z_2 .
- Góc prôfin thanh răng sinh α , độ, còn được gọi là góc áp lực trên vòng tròn chia.
- Góc ăn khớp α_w , độ. Là góc làm bởi đường tiếp tuyến chung của hai vòng lăn với đường ăn khớp. Nếu $x_t = x_1 + x_2 = 0$, thì $\alpha_w = \alpha$.
- Đường kính vòng tròn chia d_1 và d_2 , mm. Có quan hệ $d_1 = m.z_1$, $d_2 = m.z_2$.
- Đường kính vòng tròn lăn d_{w1} và d_{w2} , mm. Có quan hệ $d_{w1} = d_1 \cdot \cos\alpha / \cos\alpha_w$.
- Đường kính vòng tròn cơ sở d_{b1} và d_{b2} , mm. Là đường kính vòng tròn có đường thân khai được dùng làm biên dạng răng. $d_b = d \cdot \cos\alpha$.
- Đường kính vòng tròn chân răng d_{f1} và d_{f2} , mm.
- Đường kính vòng tròn đỉnh răng d_{a1} và d_{a2} , mm.
- Chiều cao răng h, mm. Có quan hệ $h = (2.h_a^* + C^*) \cdot m = (d_a - d_f) / 2$.
- Khoảng cách trục a_w , là khoảng cách giữa tâm bánh răng dẫn và bánh răng bị dẫn; mm. Có $a_w = (d_{w1} + d_{w2}) / 2$.
- Chiều dày đỉnh răng S_{a1} , S_{a2} , mm. Thường dùng $S_a \geq 0,2 \cdot m$.
- Chiều dày chân răng S_{f1} , S_{f2} mm. Kích thước S_f liên quan trực tiếp đến hiện tượng gãy răng.
- Bước răng trên vòng tròn chia p, mm. Là khoảng cách đo trên vòng tròn chia của hai biên dạng răng cùng phía gần nhau nhất.
- Bước răng trên vòng tròn cơ sở p_b , được đo trên vòng tròn cơ sở.
- Bước răng trên đường ăn khớp p_k , được đo trên đường ăn khớp, $p_k = p_b$.
- Hệ số trùng khớp ε_α . Giá trị của ε_α cho biết khả năng có nhiều nhất bao nhiêu đôi răng cùng ăn khớp và ít nhất có mấy đôi răng cùng ăn khớp. Hệ số trùng khớp được tính: $\varepsilon_\alpha = \overline{AE} / p_b$ trong đó AE là chiều



Hình 12.14. Các thông số hình học của bánh răng trụ răng thẳng

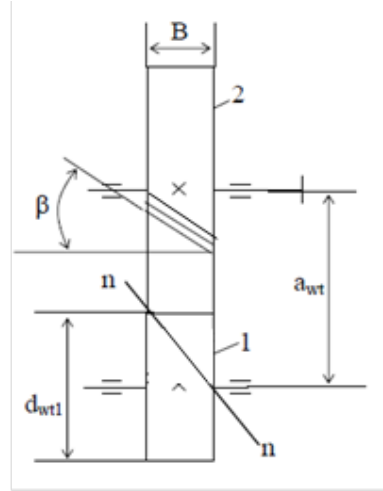
dài của đoạn ăn khớp thực. Các cặp bánh răng thường dùng có $\varepsilon_\alpha \geq 1,1$.

- Hệ số giảm khoảng cách trục y . Trong bộ truyền bánh răng dịch chỉnh góc, tổng hệ số dịch dao $x_t \neq 0$ có:

Khoảng cách trục $\alpha_w = (z_1 + z_2) \cdot m \cdot \cos\alpha / (2 \cdot \cos\alpha_w) - y \cdot m$.

3.2.2. Các thông số hình học của bánh răng trụ răng nghiêng

- Bộ truyền bánh răng trụ răng nghiêng có một bộ thông số tương tự như bộ truyền bánh răng trụ răng thẳng, được đo trên mặt đầu của bánh răng. Một số kích thước thuộc bộ thông số này có thêm chỉ số t . Ví dụ, mô đun m_t , khoảng cách trục a_{wt} , đường kính vòng chia d_{wt1} , d_{wt2} , góc ăn khớp α_{wt} , góc profil sinh α_t vv.. (Hình 12.17). Bộ thông số này dùng để đo, kiểm tra kích thước của bộ truyền bánh răng. m_t và α_t trên mặt phẳng mút không phải lấy theo dãy số tiêu chuẩn.



Hình 12.17. Các thông số hình học của bánh răng trụ răng nghiêng

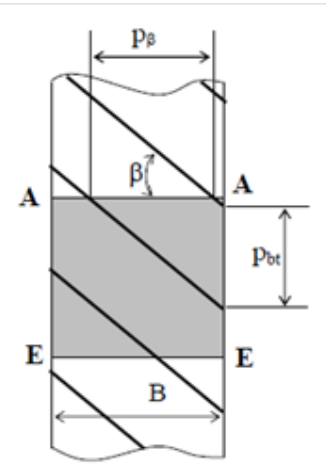
- Một số thông số được xác định trên mặt phẳng pháp tuyến n-n, vuông góc với phương của răng. Các kích thước trong mặt phẳng này có thêm chỉ số n . Ví dụ, mô đun m_n , góc profil α_n , góc ăn khớp α_{wn} , vv.. Các thông số trong mặt phẳng pháp tuyến được lấy theo dãy số tiêu chuẩn. Các thông số này dùng để tính toán bộ truyền bánh răng.

- Góc nghiêng β , góc làm bởi phương răng và đường sinh của mặt trụ. Phương răng có thể nghiêng trái hoặc nghiêng phải, giá trị của β :

$$0 < \beta \leq 45^\circ$$

- Hệ số trùng khớp dọc ε_β . Hệ số ε_β được xác định như sau (Hình 12.18):

+ Giả sử triển khai mặt trụ cơ sở bánh răng dẫn và bị dẫn, đặt song song với mặt phẳng ăn khớp AA-EE. Đường thẳng của đoạn AA là đường vào khớp và EE là đường ra khớp của các cặp bánh răng.



Hình 12.18. Hệ số ε_β

+ Cũng như bộ truyền bánh răng trụ răng thẳng, hệ số trùng khớp $\varepsilon_\alpha = \frac{AE}{P_{bt}}$

+ Hệ số trùng khớp dọc được tính theo công thức

$$\varepsilon_\beta = \frac{\overline{AA'}}{P_\beta} = \frac{B.tg\beta}{P_{bt}}$$

Trong bộ truyền bánh răng nghiêng, nếu $\varepsilon_\beta > 1$, thì ngay cả khi $\varepsilon_\alpha < 1$ bộ truyền vẫn làm việc bình thường, vì luôn có ít nhất 1 đôi răng tiếp xúc trong vùng ăn khớp.

Các thông số xác định trên mặt mút và trên mặt pháp tuyến có mối liên quan như sau:

$$\begin{aligned} m_n &= m_t \cdot \cos\beta \\ \operatorname{tg}\alpha_n &= \operatorname{tg}\alpha_t \cdot \cos\beta \\ \operatorname{tg}\alpha_{wn} &= \operatorname{tg}\alpha_{wt} \cdot \cos\beta \end{aligned}$$

3.3. Tính toán bộ truyền bánh răng trụ răng thẳng.

3.3.1. Theo độ bền tiếp xúc

Ứng suất tiếp xúc sinh ra trên mặt răng được xác định theo công thức Héc

$$\sigma_H = Z_M \sqrt{\frac{q_n}{2\rho}} \quad (13-3)$$

Trong đó Z_M là hệ số kể đến cơ tính của vật liệu chế tạo các bánh răng, MPa

$$Z_M = \sqrt{\frac{2E_1E_2}{\pi \cdot [E_2 \cdot (1-\mu_1^2) + E_1 \cdot (1-\mu_2^2)]}}$$

E_1, E_2 là mô đun đàn hồi của vật liệu bánh răng 1 và 2,

μ_1, μ_2 là hệ số Poát xông của vật liệu bánh răng 1 và 2,

q_n là cường độ tải trọng trên đường tiếp xúc của răng, N/mm

K_{Hv} là hệ số kể đến tải trọng động dùng để tính ứng suất tiếp xúc,

$K_{H\beta}$ là hệ số kể đến phân bố tải không đều trên chiều dài răng, khi tính ứng suất tiếp xúc, l_H là chiều dài tiếp xúc của các đôi răng. Lấy gần đúng $l_H = B$,

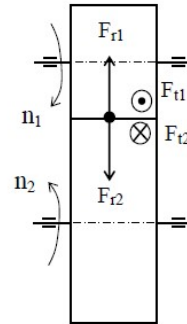
Coi như có một đôi răng ăn khớp. Thực tế số đôi răng ăn khớp có lúc lớn hơn 1. Để kể đến sự khác biệt này người ta đưa vào hệ số điều chỉnh Z_ε . Hệ số Z_ε được

$$\text{tính theo công thức kinh nghiệm } Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4-\varepsilon_\alpha}{3}}$$

ρ là bán kính cong tương đương của hai bề mặt tại điểm tiếp xúc,

$$\rho = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$$

ρ_1 là bán kính cong của điểm giữa răng bánh dẫn, gần đúng $\rho_1 = d_{w1} \cdot \sin\alpha_w / 2$,



Hình 12.15. Lực trong bộ truyền răng trụ răng thẳng

ρ_2 là bán kính cong của điểm giữa răng bánh bị dẫn, có $\rho_2 = d_{w2} \cdot \sin \alpha_w / 2$.

Kể đến sự khác biệt giữa mặt thân khai và mặt trụ, người ta đưa vào hệ số điều chỉnh Z_H . Hệ số Z_H được tính theo công thức kinh nghiệm $Z_H = \sqrt{\frac{2}{\sin 2\alpha_w}}$

Thay $F_n = F_t / \cos \alpha_w$, cùng các thông số khác vào công thức Héc, ta có công thức tính ứng suất tiếp xúc:

$$\sigma_H = \frac{Z_M Z_\epsilon Z_H}{d_{w1}} \sqrt{\frac{2T_1 \cdot K_{HV} \cdot K_{H\beta} \cdot (i+1)}{B \cdot i}}$$

Ứng suất tiếp xúc cho phép $[\sigma_H]$ được xác định bằng thực nghiệm, phụ thuộc vào vật liệu chế tạo bánh răng, phương pháp nhiệt luyện mặt răng, tầm quan trọng của bộ truyền và số chu kỳ ứng suất trong suốt thời gian sử dụng bộ truyền. Có thể tra trực tiếp từ các bảng, hoặc tính theo công thức kinh nghiệm.

Ta có công thức tính đường kính bánh răng dẫn và khoảng cách trục như sau:

$$d_{w1} = 77,3 \sqrt[3]{\frac{T_1 \cdot K_{HV} \cdot K_{H\beta} \cdot (i+1)}{\psi_d \cdot i \cdot [\sigma_H]^2}}$$

$$a_{wt} = 50 \cdot (i+1) \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot K_{HV} \cdot K_{H\beta}}{\psi_a \cdot i^2 \cdot [\sigma_H]^2}}$$

Đối với các bộ truyền thông dụng, có thể lấy mô đun $m = (0,01 \div 0,02) \cdot a_w$, chọn giá trị của m trong dãy số tiêu chuẩn. Tính các thông số khác của bộ truyền. Ví dụ, $B = \psi_a \cdot a_w$; $d_{w2} = i \cdot d_{w1}$; $Z_1 \approx d_{w1} / m$, v.v..

3.3.2. Theo độ bền uốn

Trường hợp nguy hiểm nhất đối với dạng hỏng gãy răng là toàn bộ lực F_n tác dụng lên một đôi răng, đặt tại đỉnh răng. Lực F_n được phân thành hai phần, lực nén răng F_{nn} và lực uốn răng F_{nu}

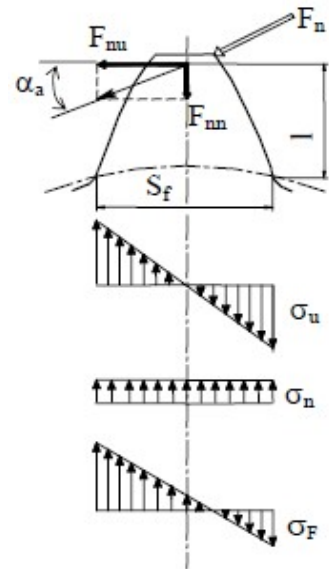
$$F_{nn} = F_n \cdot \sin \alpha_a$$

$$F_{nu} = F_n \cdot \cos \alpha_a$$

α_a là góc áp lực trên vòng tròn đỉnh răng.

Lực F_{nn} gây ứng suất nén σ_n trên tiết diện chân răng, còn F_{nu} tạo nên mô men uốn $M_u = F_{nu} \cdot l$ gây ứng suất uốn σ_u trên tiết diện chân răng.

$$\sigma_n = F_{nn} / B \cdot S_f$$



Hình 12.16. Ứng suất trên tiết diện chân răng

$$\sigma_u = 6.F_{nu} \cdot l / (B.S_f^2).$$

Vết nứt chân răng thường xuất hiện ở phía chịu kéo của chân răng, nên giá trị của ứng suất tổng σ_F được tính theo công thức: $\sigma_F = \sigma_u - \sigma_n$

Đặt $l = e.m$, và $S_f = g.m$. Trong đó e và g là hằng số tính toán, m là mô đun răng.

Và tính lực pháp tuyến $F_n = \frac{2.T_1.K_{Fv}.K_{F\beta}}{d_{w1} \cdot \cos \alpha_w}$

K_{Fv} là hệ số kể đến tải trọng động, tính cho sức bền uốn,

$K_{F\beta}$ là hệ số kể đến sự phân bố tải không đều dọc theo chiều dài răng.

Thay các giá trị các thông số vào công thức tính ứng suất σ_F , ta có:

$$\delta_F = \frac{2.T_1.K_{Fv}.K_{F\beta}}{d_{w1}B.m} \left(\frac{6.e \cdot \cos \alpha_a}{g^2 \cdot \cos \alpha_w} - \frac{\sin \alpha_a}{g \cdot \cos \alpha_w} \right) = \frac{2.T_1.K_{Fv}.K_{F\beta}}{d_{w1}B.m} \cdot Y_F$$

Với $Y_F = \frac{6.e \cdot \cos \alpha_a}{g^2 \cdot \cos \alpha_w} - \frac{\sin \alpha_a}{g \cdot \cos \alpha_w}$ gọi là hệ số dạng răng

Giá trị của Y_F không phụ thuộc mô đun m , mà chỉ phụ thuộc vào các thông số xác định hình dạng của răng. Y_F được gọi là hệ số dạng răng. Khi tính bánh răng, xác định giá trị của Y_F từ các bảng tra trong sách Bài tập Chi tiết máy, phụ thuộc vào số răng z và hệ số dịch dao x của bánh răng.

$$\delta_{F1} = \frac{2.T_1.K_{Fv}.K_{F\beta}}{d_{w1} \cdot B.m} \cdot Y_{F1}; \delta_{F2} = \delta_{F1} \cdot \frac{Y_{F2}}{Y_{F1}}$$

Giá trị của $[\sigma_F]$ được chọn phụ thuộc vào vật liệu chế tạo bánh răng, phương pháp nhiệt luyện thể tích răng, số chu kỳ ứng suất uốn, tầm quan trọng của bánh răng, kích thước của răng. Có thể tra trong sổ tay thiết kế, sách Bài tập Chi tiết máy.

Giả sử chỉ tiêu $\sigma_{F1} \leq [\sigma_{F1}]$ thỏa mãn, ta có:

$$m \geq 1,4 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 K_{Fv} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha}}{Z_1^2 \cdot \psi_d \cdot [\sigma_{F1}]}}$$

ψ_d là hệ số chiều rộng bánh răng theo đường kính d , lấy theo kinh nghiệm như trong phần tính bánh răng theo sức bền tiếp xúc. Lấy giá trị của m theo dãy số tiêu chuẩn.

- Kiểm tra sức bền uốn của bánh răng 2, nếu không đủ bền thì phải chọn tăng giá trị mô đun m lên.

- Tính các thông số khác của bộ truyền, vẽ kết cấu của các bánh răng.

3.4. Tính toán bộ truyền bánh răng trụ răng nghiêng.

Phương pháp tính bộ truyền bánh răng nghiêng tương tự như tính bộ truyền bánh răng trụ răng thẳng. Công thức tính bộ truyền bánh răng trụ răng nghiêng được thiết lập bằng cách phân tích những đặc điểm về sức bền của bánh răng nghiêng so với bánh răng thẳng, đưa vào công thức tính toán bánh răng trụ

răng thẳng các hệ số điều chỉnh, kể đến sự khác biệt về sức bền giữa bánh răng nghiêng và bánh răng thẳng.

3.4.1. Theo độ bền tiếp xúc

Xuất phát từ công thức Héc, có kể đến những đặc điểm về sức bền của bánh răng nghiêng, ta có công thức tính ứng suất tiếp xúc của bánh răng trụ răng nghiêng

$$\sigma_H = \frac{Z_M Z_\varepsilon Z_H}{d_{wt1}} \sqrt{\frac{2T_1 \cdot K_{HV} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot (u+1)}{B \cdot i}}$$

Trong đó: Hệ số kể đến vật liệu Z_M lấy tương tự như ở bánh răng trụ răng thẳng.

Hệ số kể đến có nhiều đôi răng ăn khớp $Z_\varepsilon = \sqrt{1/\varepsilon_\alpha}$

Hệ số kể đến hình dạng mặt răng $Z_H = \sqrt{\frac{2 \cdot \cos\beta}{\sin 2\alpha_{wt}}}$

Giá trị của các hệ số K_{HV} , $K_{H\beta}$, $K_{H\alpha}$ được lấy từ bảng tra trong sổ tay thiết kế cơ khí, hoặc sách Bài tập Chi tiết máy.

Chú ý:

+ Hai bánh răng thường bằng thép, nên lấy gần đúng $Z_M = 275 \text{ MPa}^{1/2}$,

+ Bánh răng tiêu chuẩn dùng góc profil $\alpha = 20^\circ$, và hệ số dịch dao không lớn, do đó có thể lấy gần đúng $Z_H = 1,76$,

+ Các bộ truyền bánh răng thường dùng có hệ số trùng khớp $\varepsilon_\alpha \approx 1,6$,

+ Đặt phương trình phụ $\psi_a = B/a_{wt}$, ψ_a được gọi là hệ số chiều rộng bánh răng theo khoảng cách trục. Hoặc $\psi_d = B/d_{wt1}$, là hệ số chiều rộng bánh răng theo đường kính bánh dẫn. Giá trị của ψ_a được chọn theo kinh nghiệm, tương tự như ở bánh răng trụ răng thẳng.

- Ứng suất cho phép $[\sigma_H]$ được lấy tương tự như tính bánh răng trụ răng thẳng.

- Giả sử chỉ tiêu $\sigma_H \leq [\sigma_H]$ thỏa mãn, Ta có công thức tính đường kính bánh răng dẫn, hoặc khoảng cách trục như sau:

$$d_{wt1} = 68,3 \sqrt[3]{\frac{T_1 \cdot K_{HV} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot (u+1)}{\psi_a \cdot i \cdot [\sigma_H]^2}}$$

$$a_{wt} = 48 \cdot (i+1) \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot K_{HV} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha}}{\psi_a \cdot i^2 \cdot [\sigma_H]^2}}$$

Đối với các bộ truyền thông dụng, có thể lấy mô đun $m_n = (0,01 \div 0,02) \cdot a_{wt}$, chọn giá trị của m_n trong dãy số tiêu chuẩn. Tính mô đun m_t và các thông số khác của bộ truyền. Ví dụ, $B = \psi_a \cdot a_{wt}$; $d_{wt2} = i \cdot d_{wt1}$; $Z_1 \approx d_{wt1}/m_t$, vv..

3.4.2. Theo độ bền uốn

Thực hiện tính toán tương tự như với bánh răng trụ răng thẳng, có kể đến những đặc điểm về sức bền, ta có công thức tính ứng suất uốn tại tiết diện chân răng của các bánh răng như sau:

$$\sigma_{F1} = \frac{2 \cdot T_1 \cdot K_{FV} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha}}{d_{wt1} \cdot B \cdot m_n} \cdot Y_{F1} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta$$

$$\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \cdot \frac{Y_{F2}}{Y_{F1}}$$

Trong đó: Giá trị của hệ số dạng răng Y_{F1} tra bảng theo số răng z_{td1} và x_1 ; hệ số dạng răng Y_{F2} tra bảng theo số răng z_{td2} và x_2 .

Y_d là hệ số kể đường tiếp xúc nằm chệch trên mặt răng, $Y_\beta = 1 - \frac{\beta^\circ}{140}$,

Y_ε là hệ số kể đến có nhiều đôi răng cùng ăn khớp, $Y_\varepsilon = 1/\varepsilon_\alpha$.

Giá trị của các hệ số K_{FV} , $K_{F\beta}$, $K_{F\alpha}$ được lấy từ bảng tra trong Sổ tay thiết kế, hoặc sách Bài tập Chi tiết máy.

- Giả sử chỉ tiêu $\sigma_{F1} \leq [\sigma_{F1}]$ thỏa mãn, ta tính được:

$$m_n \geq 1,12 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 \cdot K_{FV} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha}}{Z_{td1}^2 \cdot \psi_d \cdot [\sigma_{F1}]}}$$

ψ_d là hệ số chiều rộng bánh răng theo đường kính d , lấy theo kinh nghiệm như trong phần tính bánh răng theo sức bền tiếp xúc.

Lấy giá trị của m_n theo dãy số tiêu chuẩn.

- Kiểm tra sức bền uốn của bánh răng 2, nếu không đủ bền thì phải chọn tăng giá trị mô đun m_n lên.

- Tính mô đun m_t và các thông số khác của bộ truyền, vẽ kết cấu của các bánh răng.

4. Bộ truyền Trục vít- Bánh vít

4.1. Khái niệm chung.

4.1.1. Cấu tạo

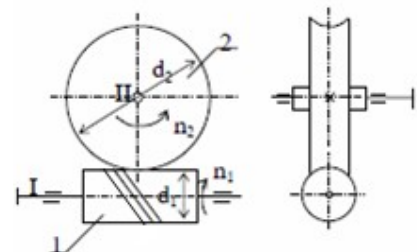
Bộ truyền trục vít - bánh vít thường dùng truyền chuyển động giữa hai trục vuông góc với nhau trong không gian (Hình 13.1), hoặc chéo nhau.

Bộ truyền trục vít có 2 bộ phận chính:

+ Trục vít dẫn 1, có đường kính d_1 , trục vít thường làm liền với trục dẫn I, quay với số vòng quay n_1 , công suất truyền động P_1 ,

mô men xoắn trên trục T_1 .

+ Bánh vít bị dẫn 2, có đường kính d_2 , được lắp trên trục bị dẫn II, quay với số vòng quay n_2 ,



Hình 13.1. Bộ truyền trục vít - bánh vít

1. Trục vít; 2. Bánh vít

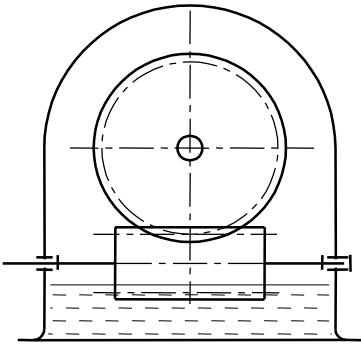
công suất truyền động P_2 , mô men xoắn trên trục T_2 .

+ Trên trục vít có các đường ren (cũng có thể gọi là răng của trục vít), trên bánh vít có răng tương tự như bánh răng. Khi truyền động ren trục vít ăn khớp với răng bánh vít, tương tự như bộ truyền bánh răng.

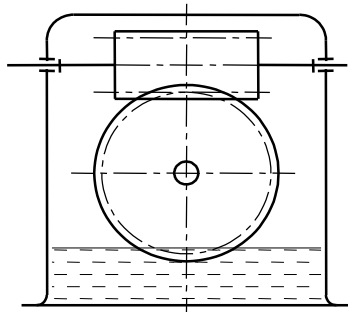
1.1.2. Phân loại.

a. Theo vị trí tương đối của trục vít so với bánh vít

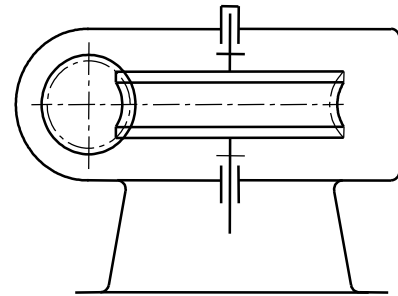
- Bộ truyền trục vít nằm dưới (Hình 13.2)
- Bộ truyền trục vít nằm trên (Hình 13.3)
- Bộ truyền trục vít nằm bên cạnh: (Hình 13.4)



Hình 13.2. Bộ truyền trục vít nằm dưới



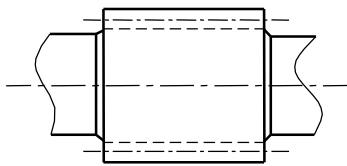
Hình 13.3. Bộ truyền trục vít nằm trên



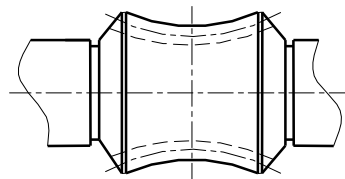
Hình 13.4. Bộ truyền trục vít nằm bên cạnh

b. Theo hình dáng trục vít

- Bộ truyền trục vít trụ (Hình 13.5)
- Bộ truyền trục vít lõm (bộ truyền glôbôit) (Hình 13.6)



Hình 13.5 Trục vít trụ



Hình 13.6. Trục vít lõm

c. Theo biên dạng (profil)ren

- Bộ truyền trục vít acsimet
- Bộ truyền trục vít Convôlut
- Bộ truyền trục vít thân khai

4.2. Các thông số hình học, động học, động lực học chủ yếu của bộ truyền Trục vít- Bánh vít

4.2.1. Vận tốc và tỷ số truyền.

- n_1, n_2 : Lần lượt là số vòng quay của trục vít, và bánh vít, (v/ph)

- Z_1 : Số mối ren của trục vít;

- Z_2 : Số răng bánh vít

- Tỷ số truyền, ký hiệu là u ,

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{d_2}{d_1} \operatorname{tg} \gamma$$

- Công suất trên trục dẫn P_1 (kW) công suất trên trục bị dẫn P_2 (kW)

- Vận tốc vòng của bánh dẫn v_1 , bánh bị dẫn v_2 ; m/s.

$$v_1 = \frac{\pi d_{\omega 1} n_1}{60 \cdot 10^2} ; v_2 = \frac{\pi d_2 n_2}{60 \cdot 10^2}$$

- d_1 : Đường kính mặt trụ chia của trục vít, $d_1 = q \cdot m$

- $d_{\omega 1}$: Đường kính mặt trụ lăn của trục vít

- m : Môđun (lấy theo tiêu chuẩn)

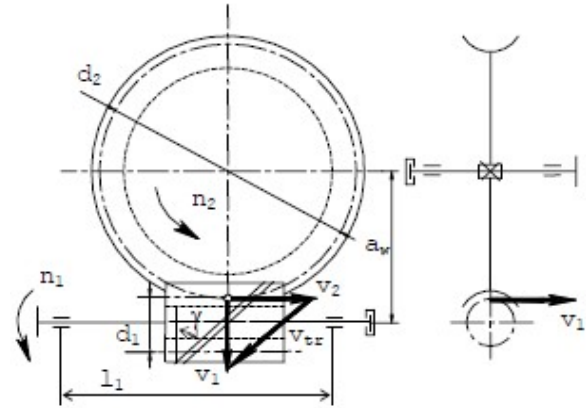
- q : hệ số đường kính (lấy theo tiêu chuẩn) (khi tính sơ bộ $q \approx 0,26Z_2$)

- γ : Góc nâng ren trục vít, $\operatorname{tg} \gamma = Z_1/q$

- Vận tốc trượt v_{tr}

$$v_{tr} = v_1 / \cos \gamma$$

Đối với bộ truyền không dịch chỉnh: $v_r = \frac{m n_1}{19100} \sqrt{Z_1^2 + q^2}$



Hình 13.7. Vận tốc trượt trong bộ truyền trục vít

4.2.2. Lực tác dụng lên bộ truyền.

Khi bộ truyền làm việc, trục và ổ mang trục vít và bánh vít chịu tác dụng của những lực sau (Hình 13.8):

- Lực tiếp tuyến F_{t1} tác dụng lên trục dẫn I, lực F_{t2} tác dụng lên trục II. Phương của F_{t1} tiếp tuyến với vòng lăn trục vít, phương của F_{t2} tiếp tuyến với vòng lăn

của bánh vít. Chiều của F_{t1} ngược với chiều quay n_1 , chiều của F_{t2} cùng với chiều quay n_2 . Giá trị của F_{t1} và F_{t2} :

$$F_{t1} = \frac{2T_1}{d_1}, F_{t2} = \frac{2T_2}{d_2}$$

Quan hệ giữa F_{t1} và F_{t2} được xác định:

$$F_{t1} = F_{t2} \cdot \text{tg}(\gamma + \varphi)$$

Trong đó φ là góc ma sát trên bề mặt tiếp xúc của ren trục vít và răng bánh vít.

γ : Góc nâng ren trục vít

T_1, T_2 : Mômen xoắn trên trục dẫn và trục bị dẫn; (Nmm)

d_1, d_2 : Đường kính vòng chia của trục vít và bánh vít; (mm)

- Lực hướng tâm F_{r1} tác dụng lên trục I, vuông góc với trục I và hướng về phía trục I. Lực hướng tâm F_{r2} vuông góc với trục II và hướng về phía trục II.

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t2} \cdot \text{tg}\alpha / \cos\gamma$$

- Lực dọc trục F_{a1} tác dụng lên trục I, song song với trục I. Lực dọc trục F_{a2} song song với trục II. Chiều của lực F_{a1} , F_{a2} phụ thuộc vào chiều quay và chiều nghiêng của đường ren. Giá trị của lực dọc trục:

$$F_{a1} = F_{t2} = 2 \cdot T_2 / d_2$$

$$F_{a2} = F_{t1} = 2 \cdot T_1 / d_1$$

Lực F_{a1} tác dụng lên trục vít có giá trị rất lớn, dễ làm trục vít mất ổn định.

4.3. Tính bộ truyền Trục vít- Bánh vít.

4.3.1. Các chỉ tiêu tính toán bộ truyền

Để tránh các dạng hỏng nêu trên, người ta tính toán bộ truyền trục vít theo các chỉ tiêu:

$$\sigma_H \leq [\sigma_{H2}] \quad (13-1)$$

$$\sigma_{F2} \leq [\sigma_{F2}] \quad (13-2)$$

$$\theta_{lv} \leq [\theta] \quad (13-3)$$

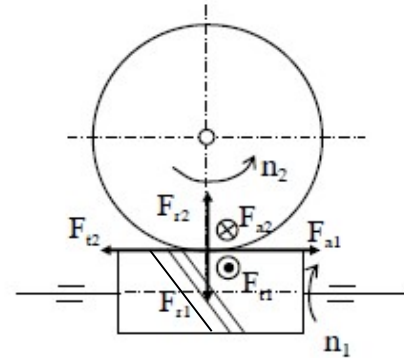
$$F_{a1} \leq [F_a] \quad (13-4)$$

Trong đó:

σ_H là ứng suất tiếp xúc tại điểm nguy hiểm trên mặt răng,

$[\sigma_{H2}]$ là ứng suất tiếp xúc cho phép của mặt răng bánh vít.

σ_{F2} là ứng suất uốn tại điểm nguy hiểm trên tiết diện chân răng bánh vít,



Hình 13.8. Lực tác dụng lên trục và ổ bộ truyền trục vít

$[\sigma_{F2}]$ là ứng suất uốn cho phép của răng bánh vít, tính theo sức bền mỏi.

θ_{lv} là nhiệt độ làm việc của bộ truyền trục vít.

$[\theta]$ là nhiệt độ làm việc cho phép của bộ truyền.

$[F_a]$ là lực dọc trục cho phép của trục vít.

Tính toán bộ truyền trục vít theo chỉ tiêu 14-1, là tính theo sức bền tiếp xúc.

Tính theo chỉ tiêu 13-2, gọi là tính theo sức bền uốn.

Tính theo chỉ tiêu 13-3, gọi là tính theo điều kiện chịu nhiệt.

Tính theo chỉ tiêu 13-4, gọi là tính theo độ ổn định thân trục vít.

4.3.2. Ứng suất cho phép.

Ứng suất tiếp xúc cho phép có thể chọn như sau:

- Đối với các bánh vít bằng đồng thanh thiếc, có $\sigma_b < 300$ MPa,

$$\text{lấy } [\sigma_H] = (0,75 \div 0,9) \cdot \sigma_b \cdot K_{NH}$$

Trong đó K_{NH} là hệ số kể đến số chu kỳ ứng suất. $K_{NH} = \sqrt[4]{\frac{N}{N_o}}$

- Đối với các bánh vít bằng đồng thanh không thiếc, có $\sigma_b > 300$ MPa,

lấy $[\sigma_H] = 250$ MPa, khi vận tốc $v_{tr} = 0,5$ m/s,

$[\sigma_H] = 210$ MPa, khi vận tốc $v_{tr} = 2$ m/s,

$[\sigma_H] = 160$ MPa, khi vận tốc $v_{tr} = 4$ m/s,

$[\sigma_H] = 120$ MPa, khi vận tốc $v_{tr} = 6$ m/s,

- Đối với bánh vít bằng gang,

lấy $[\sigma_H] = 120$ MPa, khi vận tốc $v_{tr} = 0,5$ m/s,

$[\sigma_H] = 110$ MPa, khi vận tốc $v_{tr} = 1$ m/s,

Ứng suất uốn cho phép có thể lấy như sau:

- Đối với bánh vít bằng đồng thanh,

quay một chiều, lấy $[\sigma_F] = (0,25 \cdot \sigma_{ch} + 0,08 \cdot \sigma_b) \cdot K_{NF}$

quay hai chiều, lấy $[\sigma_F] = 0,16 \cdot \sigma_b \cdot K_{NF}$

K_{NF} là hệ số kể đến số chu kỳ ứng suất $K_{FH} = \sqrt[9]{\frac{N}{N_o}}$

- Đối với bánh vít bằng gang,

quay một chiều, lấy $[\sigma_F] = 0,12 \cdot \sigma_{bu}$

quay hai chiều, lấy lấy $[\sigma_F] = 0,075 \cdot \sigma_{bu}$

Ứng suất tiếp xúc và ứng suất uốn cho phép quá tải có thể chọn như sau:

Bánh vít bằng đồng thanh thiếc, lấy $[\sigma_{Hqt}] = 4 \cdot \sigma_{ch}$, $[\sigma_{Fqt}] = 0,8 \cdot \sigma_{ch}$,

Bánh vít bằng đồng thanh không thiếc, lấy $[\sigma_{Hqt}] = 4 \cdot \sigma_{ch}$, $[\sigma_{Fqt}] = 0,8 \cdot \sigma_{ch}$,

Bánh vít bằng gang, lấy $[\sigma_{Hqt}] = 1,5 \cdot [\sigma_{H2}]$, $[\sigma_{Fqt}] = 0,6 \cdot \sigma_b$.

Chương 7. Cơ cấu biến đổi chuyển động.

Mã chương: MHCG12-07

Mục tiêu:

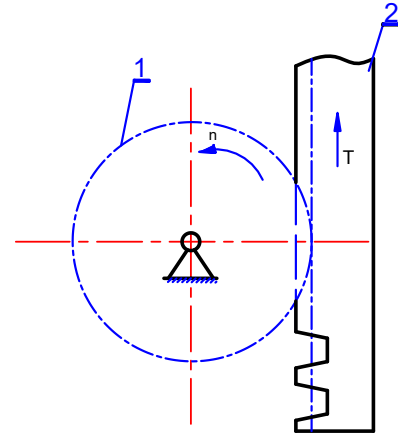
- Trình bày được khái niệm, cấu tạo, nguyên lý làm việc, đặc điểm, phạm vi ứng dụng của các cơ cấu biến đổi chuyển động: Bánh răng - Thanh răng, Trục vít – Đai ốc, Cam, Cu lit.

- Rèn luyện tính cẩn thận, tác phong làm việc khoa học của người làm kỹ thuật.

1. Cơ cấu Bánh răng - Thanh răng

1.1. Khái niệm chung

Cơ cấu Bánh răng - thanh răng là cơ cấu biến thể của bánh răng gồm bánh răng ăn khớp với thanh răng (Thanh răng là những bánh răng có $R \rightarrow \infty$ có răng bố trí trên một mặt phẳng) dùng để biến đổi chuyển động quay \leftrightarrow CĐ tịnh tiến và ngược lại



1.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động.

a) Cấu tạo

Gồm có 3 khâu:

- 1- Bánh răng (Răng thẳng, răng nghiêng, răng chữ V)
- 2 - Thanh răng (Răng thẳng, răng nghiêng, răng chữ V)
- 3 - Giá.

b) Nguyên lý truyền động

Khi bánh răng (1) là chủ động thì khi bánh răng quay ngược chiều kim đồng hồ \rightarrow Thanh răng (2) chuyển động tịnh tiến (đi lên). Khi bánh răng có chiều quay ngược lại thanh răng chuyển động tịnh tiến (đi xuống).

1.3. Đặc điểm và phạm vi ứng dụng.

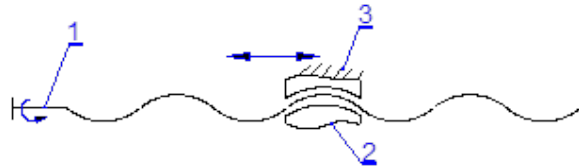
Dùng nhiều trong máy cắt kim loại để biến chuyển động quay của bánh răng thành chuyển động tịnh tiến của thanh răng và ngược lại. VD: Trong cơ cấu chạy dao dọc của máy tiện,...

Dùng trong kích nâng: Biến chuyển động của tay quay thành chuyển động của con đội.

2. Cơ cấu Trục vít – Đai ốc.

2.1. Khái niệm chung

Cơ cấu trục vít đai ốc là cơ cấu 3 khâu dùng để biến chuyển động quay của vít thành chuyển động tịnh tiến đi lại của đai ốc



2.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động.

a) Cấu tạo

Gồm 3 khâu:

- 1 - Trục vít có ren (ren hình thang, hình vuông)
- 2- Đai ốc có ren (liền, 2 nửa)
- 3 - Giá

b) Nguyên lý truyền động

Nếu vít (1) là khâu dẫn khi đó sẽ biến chuyển động quay của vít thành chuyển động tịnh tiến đi lại của đai ốc (2).

Nếu vít quay liên tục, đai ốc chuyển động gián đoạn \Rightarrow Dùng đai ốc hai nửa.

2.3. Đặc điểm và phạm vi ứng dụng.

Cơ cấu Vít - đai ốc dùng trong chuyển động gián đoạn như: Vít me máy tiện, vít kích để nâng hạ vật, trong hệ thống mở cống nước.

3. Cơ cấu Cam

3.1. Khái niệm chung

Cơ cấu culít là cơ cấu gồm bốn khâu dùng để biến chuyển động quay (đều) của khâu dẫn thành chuyển động lắc qua lắc lại cả khâu bị dẫn (culít)

3.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động.

a) Cấu tạo

Gồm 4 khâu:

1 - Tay quay (khâu dẫn)

2 - Con trượt

3 - Culít (khâu bị dẫn)

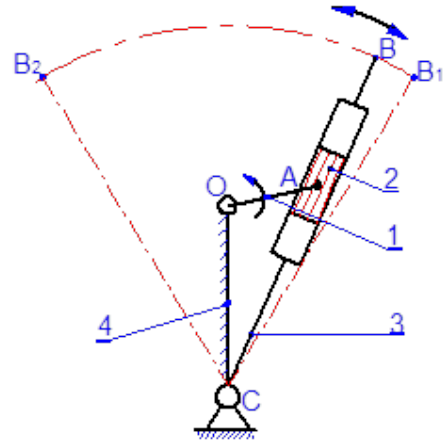
4 - Giá đỡ

b) Nguyên lý hoạt động.

Tay quay (1) quay đều quanh tâm (O) đầu (A) lắp con trượt (2). Thông qua con trượt (2) truyền chuyển động trong rãnh của culít (3) làm cho culít (3) lắc qua lắc lại 1 góc (α) quanh tâm C.

3.3. Đặc điểm và phạm vi ứng dụng.

Cơ cấu culít thường được dùng trong máy bào.



4. Cơ cấu Cu lít

4.1. Khái niệm chung.

Cơ cấu bánh cóc gồm 4 khâu dùng để biến chuyển động quay của cần lắc thành chuyển động quay gián đoạn của bánh răng cóc

4.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động.

a) Cấu tạo

Cơ cấu bánh cóc gồm 4 khâu trong đó:

1 - Cần lắc

2 - Con cóc

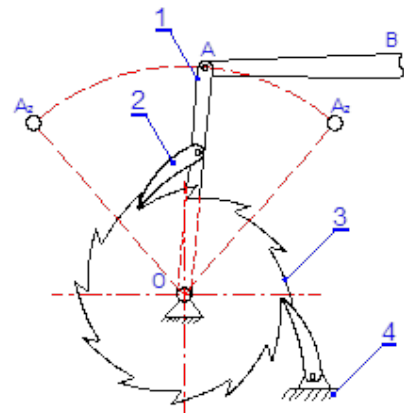
3 - Bánh răng cóc

4 - Giá

b) Nguyên lý truyền động

Khi cần lắc (1) là khâu dẫn chuyển động lắc (do cơ các khác tạo lên) từ A1 đến A2 , con cóc (2) lọt vào rãnh răng của bánh răng, con cóc sẽ đẩy bánh răng cóc quay cùng chiều một góc tương ứng. Khi cần lắc quay ngược lại (hành trình về) thì con cóc trượt trên lưng các răng của bánh răng cóc, bánh răng cóc đứng yên, con cóc D có tác dụng hãm không cho bánh răng cóc quay ngược lại.

4.3. Đặc điểm và phạm vi ứng dụng.



Cơ cấu bánh răng cóc thường được dùng trong các máy đóng đồ hộp, máy chiếu phim và máy cắt kim loại.

Chương 8. Trục

Mã chương: MHCG12-08

Mục tiêu:

- Trình bày được khái niệm, cấu tạo, phương pháp tính trục.
- Tính toán được trục chịu lực đơn giản.
- Rèn luyện tính cẩn thận, tác phong làm việc khoa học của người làm kỹ thuật.

1. Khái niệm chung

Trục là tiết máy dùng để đỡ các tiết máy quay như bánh đai, bánh răng, đĩa xích, ... để truyền mômen xoắn hoặc làm cả hai nhiệm vụ trên.

2. Cấu tạo và phân loại.

- Dựa vào tải trọng tác dụng lên trục gồm có:
 - + Trục tâm: chỉ đỡ chi tiết máy quay nghĩa là chỉ chịu mô men uốn mà không chịu mô men xoắn (ví dụ trục của tang cáp trong máy nâng chuyển. Tang cáp được quay nhờ sự ăn khớp của các răng của vành răng trên tang. Trục có thể quay hoặc không quay cùng với tang).
 - + Trục truyền chung: là trục luôn quay, chỉ dùng để truyền mô men xoắn đến các bộ phận máy công tác nghĩa là chỉ chịu mô men xoắn.
 - + Trục truyền: là trục luôn quay, vừa đỡ các chi tiết máy quay vừa truyền mô men xoắn đến các tiết máy quay và ngược lại nghĩa là có thể tiếp nhận đồng thời cả mô men uốn lẫn mô men xoắn, (ví dụ trục trong hộp giảm tốc).
- Dựa theo dạng đường tâm trục
 - + Trục thẳng: đường tâm trục là đường thẳng;
 - + Trục khuỷu: đường tâm trục là đường gấp khúc (ví dụ trục khuỷu trong động cơ đốt trong);
 - + Trục mềm: dùng để truyền chuyển động quay và mô men xoắn giữa các bộ phận máy có vị trí thay đổi khi làm việc (ví dụ trục trong máy chữa răng).
- Theo cấu tạo chia ra: trục trơn, trục bậc, trục đặc và trục rỗng. Với loại trục tiết diện tròn thì:
 - + Trục trơn: có đường kính không đổi trên suốt chiều dài trục. Trục trơn ngắn còn gọi là chốt;
 - + Trục bậc: đường kính giảm dần về 2 đầu trục;
 - + Trục đặc: tiết diện là hình tròn đặc;
 - + Trục rỗng: tiết diện là hình vành khăn.

3. Phương pháp tính trục.

3.1. Tính sơ bộ.

Để tính sơ bộ đường kính trục có thể dùng công thức kiểm nghiệm. Khi không có công thức kiểm nghiệm thích hợp thì đường kính trục được định sơ bộ theo mômen xoắn vì lúc này chiều dài trục chưa xác định nên chưa tìm được mômen uốn.

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{M_x}{0,2[\tau]}} \quad (\text{mm})$$

Trong đó: M_x : Mô men xoắn trên trục, Nmm;

$[\tau] = 20 \div 35 \text{ N/mm}^2$: Ứng suất tiếp cho phép

3.2. Tính gần đúng.

Sau khi tìm được sơ bộ đường kính trục, tiến hành định kết cấu và các kích thước của trục, có xét đến vấn đề lắp, tháo, cố định và định vị các tiết máy trên trục v.v....

Định vị ổ trục và các điểm đặt lực. Trên thực tế lực phân bố trên chiều dài máy, ổ, nhưng để đơn giản ta coi như lực tập trung.

Phân tích lực tác dụng lên trục, tính phản lực và vẽ biểu đồ mômen uốn. Nếu lực nằm trong các mặt phẳng khác nhau thì phân tích chúng ra các thành phần nằm trong mặt phẳng ngang, và tính cả phản lực trong các mặt phẳng này. Vẽ các biểu đồ mômen uốn trong mặt phẳng đứng, mặt phẳng ngang và biểu đồ mômen xoắn

Thực tế cho thấy rằng hầu hết trục phá hỏng là do mỏi. Vì vậy phép tính chính xác trục về cơ bản là cách tính độ bền mỏi và phép tính độ bền mỏi ở đây rút cuộc lại là xác định hệ số an toàn bền tính toán n đối với tiết diện được coi là nguy hiểm của trục. Điều kiện như sau:

$$n = \frac{n_\sigma n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} \geq [n]$$

Trong đó:

$[n]$: hệ số an toàn để đảm bảo độ bền, độ cứng vững;

n_σ : Hệ số an toàn theo ứng suất pháp;

n_τ : Hệ số an toàn theo ứng suất tiếp;

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma} \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} \quad \text{và} \quad n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau} \tau_a + \psi_\tau \tau_m}$$

σ_{-1} : Giới hạn mỏi của vật liệu khi chịu uốn,

Đối với thép cacbon $\sigma_{-1} = 0,43\sigma_B$

Đối với thép hợp kim $\sigma_{-1} = 0,43\sigma_B + (70-120) N/mm^2$

τ_{-1} : Giới hạn mỏi của vật liệu khi chịu xoắn, $\tau_{-1} = (0,5 \div 0,58)\sigma_{-1}$

σ_a, τ_a : lần lượt là biên độ ứng suất và ứng suất trung bình của ứng suất pháp;

σ_m, τ_m : lần lượt là biên độ ứng suất và ứng suất trung bình của ứng suất tiếp;

$$\sigma_a = \frac{M_u}{W_u}, \sigma_m = 0 \text{ (khi tải trọng chiều dọc trục lớn)}$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{max}}{2} = \frac{M_x}{2W_x}$$

M_u, M_x : Mômen uốn, mômem xoắn;

W_u, W_x : Mômen chống uốn, mômen chống xoắn

k_σ, k_τ : lần lượt là hệ số tập trung ứng suất khi uốn, xoắn

$\varepsilon_\sigma, \varepsilon_\tau$: lần lượt là hệ số tỷ lệ đường kính trục đối với ứng suất uốn, xoắn

ψ_σ, ψ_τ lần lượt là hệ số xét đến ảnh hưởng của ứng suất trung bình tới độ bền mỏi uốn và xoắn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phùng Văn Hồng. Giáo trình Cơ kỹ thuật. Nhà xuất bản Lao động xã hội 2005
2. Nguyễn Trọng. Cơ học cơ sở Tập 1, 2. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật 2001
3. Đỗ Xanh. Cơ học ứng dụng. Nhà xuất bản giáo dục 2004
4. GS-TS.Đỗ Xanh. Giáo trình Cơ kỹ thuật. Nhà xuất bản giáo dục 2005
5. GS-TS.Đỗ Xanh. Giáo trình Cơ học Tập 1, 2. Nhà xuất bản giáo dục 2003
6. GS-TS.Đỗ Xanh. Bài tập cơ học Tập 1, 2. Nhà xuất bản giáo dục 2008