

Chương IV

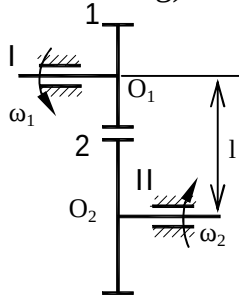
CƠ CẤU BÁNH RĂNG

Bài 9. CÔNG DỤNG VÀ PHÂN LOẠI HỆ THỐNG CƠ CẤU BÁNH RĂNG

Mục tiêu: - Nêu được khái niệm về cơ cấu bánh răng
- Phân biệt được các loại cơ cấu bánh răng và nêu được công dụng của cơ cấu bánh răng

1. Định nghĩa

Cơ cấu bánh răng là cơ cấu dùng khớp cao để truyền chuyển động quay giữa các trục theo một tỷ số truyền nhất định nhờ sự ăn khớp răng giữa hai khâu có răng (khâu có răng gọi là bánh răng)



Hình 9.1

Hình 9.1 Lược đồ cấu tạo cơ cấu bánh răng (còn gọi là bộ truyền bánh răng).

Trong đó: Bánh dẫn thường là bánh răng 1 có vận tốc góc là ω_1 truyền động cho bánh răng bị dẫn 2 có vận tốc góc ω_2 .

O_1O_2 là khoảng cách giữa hai trục, ký hiệu là A, có chiều dài l.

2. Phân loại

Bánh răng hay cơ cấu bánh răng có thể phân làm hai loại chủ yếu:

* Theo vị trí trục:

- Cơ cấu bánh răng phẳng
- Cơ cấu bánh răng không gian

Cơ cấu bánh răng phẳng là cơ cấu bánh răng dùng để truyền chuyển động quay giữa hai trục song song (hình 9.1)

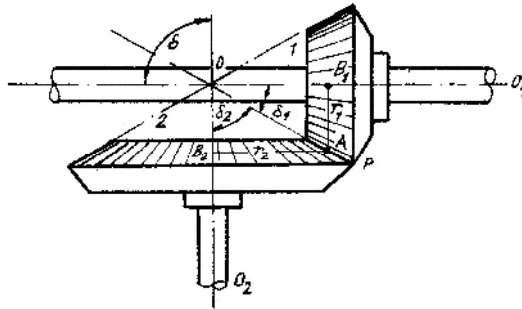
Cơ cấu bánh răng không gian là cơ cấu bánh răng dùng để truyền động giữa hai trục không song song (hai trục cắt hoặc hai trục chéo nhau) h 9.2.

* Theo kiểu ăn khớp:

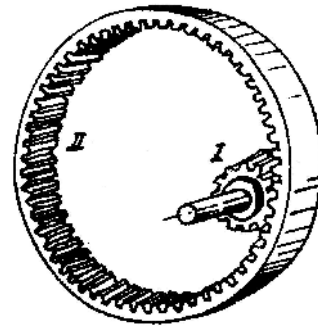
Cơ cấu bánh răng truyền động, nếu vành răng của bánh răng này nằm ngoài vành răng của bánh răng kia, ta gọi là cơ cấu bánh răng ăn khớp ngoài (h 9.1). Cơ cấu bánh răng mà vành răng của bánh răng này nằm trong vành răng của bánh răng kia gọi là cơ cấu bánh răng ăn khớp trong (H9.3).

Cơ cấu bánh răng ăn khớp ngoài làm cho hai trục quay trái chiều nhau.

Khi ăn khớp trong, hai trục quay cùng chiều. Ta qui ước quay trái chiều mang dấu (-) và quay cùng chiều mang dấu (+) (sự so sánh chiều quay theo qui ước chỉ dùng đối với cơ cấu bánh răng phẳng).



Hình 9.2

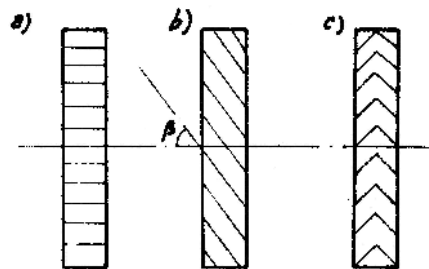


Hình 9.3

* Theo dạng răng:

Đối với bánh răng trụ tròn, hình dạng của bánh răng xét theo chiều quay (hay theo bề dày của răng) thì bánh răng thường có các loại:

- Bánh răng trụ răng thẳng: đường răng là đường thẳng song song với trục
- Bánh răng trụ răng nghiêng: đường răng nghiêng với trục một góc β
- Bánh răng trụ răng chữ V: đường răng là hai đường nghiêng với trục nhưng đối chiều nhau (h 9.4)



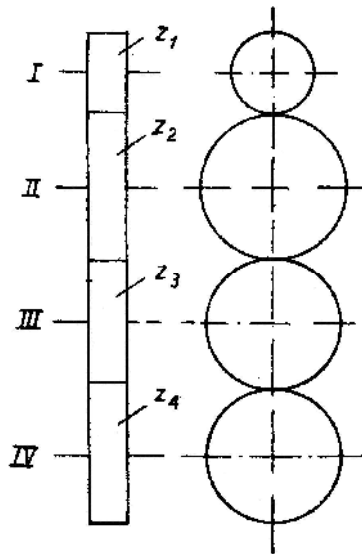
Hình 9.4

3. Công dụng

Cơ cấu bánh răng là loại cơ cấu được sử dụng rộng rãi trong các thiết bị máy móc.

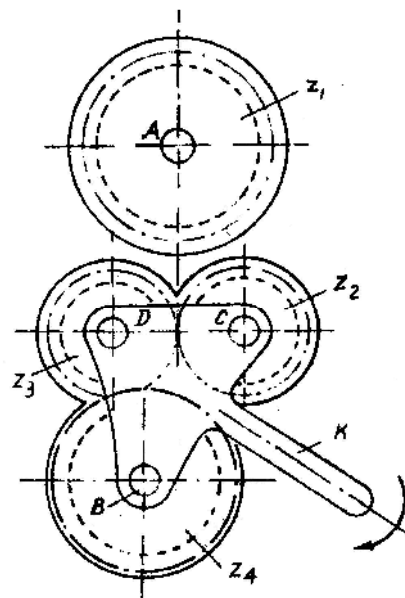
Về mặt truyền động, cơ cấu bánh răng có những công dụng chủ yếu sau:

- + Truyền động êm, đảm bảo tỷ số truyền chính xác, cố định. Cơ cấu bánh răng được bố trí liên tiếp thành hệ thống bánh răng có những công dụng mở rộng trong nhiều phạm vi.
- + Truyền động giữa các trục xa nhau đảm bảo yêu cầu chính xác.
- + Thực hiện được tỷ số truyền lớn và cực lớn, đạt được nhiều tỷ số truyền khác nhau (hình 9.5).



Hình 9.5

+ Có tác dụng là cơ cấu thay đổi chiều quay của trục bị dẫn (h 9.6)



Hình 9.6

+ Tổng hợp từ hai nguồn chuyển động một chuyển động và ngược lại v.v...

Bài 10. TRUYỀN ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG BÁNH RĂNG

- Mục tiêu: - Nêu được định nghĩa tỷ số truyền của cặp bánh răng khớp.
- Phân biệt được hệ thống bánh răng thường và hệ thống bánh răng phức tạp
- Tính được tỷ số truyền của hệ thống bánh răng thường và hệ thống bánh răng phức tạp.

I. Định nghĩa tỷ số truyền động của cặp bánh răng ăn khớp

Tỷ số truyền động của cặp bánh răng ăn khớp (gọi tắt là tỷ số truyền) là tỷ số vận tốc góc giữa trục dẫn và trục bị dẫn của cặp bánh răng và được ký hiệu:

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \pm \frac{Z_2}{Z_1}$$

Qui ước : Dấu (+) nếu cặp bánh răng ăn khớp trong

Dấu (-) nếu cặp bánh răng ăn khớp ngoài

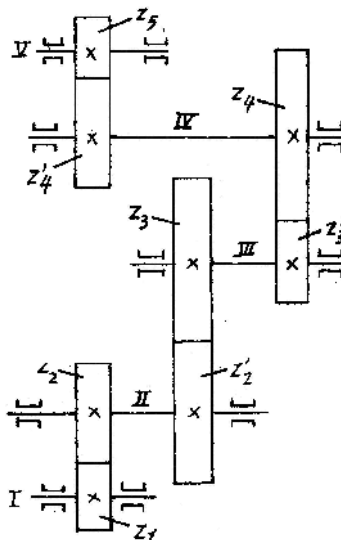
Chú ý : Qui ước này chỉ dùng cho cặp bánh răng phẳng

II. Hệ thống bánh răng thường

1. Định nghĩa

Hệ thống bánh răng thường là hệ thống các bánh răng truyền động, trong đó tất cả các bánh răng đều quay quanh trục cố định.

Hình 10.1 là lược đồ hệ thống bánh răng thường gồm bốn cặp bánh răng truyền động nối tiếp nhau.



Hình 10.1

Trong đó chuyển động quay được truyền từ trục dẫn I đến trục bị dẫn V thông qua 4 cặp bánh răng (Z_1Z_2); ($Z_2'Z_3$); ($Z_3'Z_4$) và ($Z_4'Z_5$). Các trục II, III, IV thường gọi là trục trung gian; Z_1, Z_2 v.v... là số răng của các bánh răng 1, 2 v.v...

2. Tỷ số truyền của hệ thống bánh răng thường

Tỷ số truyền của hệ thống bánh răng phụ thuộc vào tỷ số truyền của từng cặp bánh răng, có nghĩa là phụ thuộc vào số cặp bánh răng có trong hệ và số răng của các bánh răng.

Xét hình 10.1, ta thấy tỷ số truyền của hệ bánh răng trong trường hợp này là tỷ số vận tốc của trục dẫn I và trục dẫn V (hay tỷ lệ vận tốc của bánh răng z_1 và z_5)

Theo định nghĩa ta có:

$$i_{15} = \frac{\omega_1}{\omega_5} = \frac{n_1}{n_5}$$

Trong đó tỷ số truyền của từng cặp bánh răng là:

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

$$i_{23} = \frac{\omega_2}{\omega_3} = -\frac{Z_3}{Z_{2'}}$$

$$i_{34} = \frac{\omega_3}{\omega_4} = -\frac{Z_4}{Z_{3'}}$$

$$i_{45} = \frac{\omega_4}{\omega_5} = -\frac{Z_5}{Z_{4'}}$$

Nhân các tỷ số truyền này với nhau

$$i_{12} \cdot i_{23} \cdot i_{34} \cdot i_{45} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_3} \cdot \frac{\omega_3}{\omega_4} \cdot \frac{\omega_4}{\omega_5}$$

$$\text{Hay } i_{15} = \frac{\omega_1}{\omega_5} = (-1)^4 \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_3}{Z_{2'}} \cdot \frac{Z_4}{Z_{3'}} \cdot \frac{Z_5}{Z_{4'}}$$

Đây chính là công thức tính tỷ số truyền của hệ bánh răng

Viết tổng quát cho hệ bánh răng có số bánh răng từ 1 đến k là :

$$\text{hay } \boxed{i_{1k} = i_{12} \cdot i_{23} \cdot i_{(k-1)k} \\ i_{1k} = \frac{\omega_1}{\omega_k} = (-1)^m \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_3}{Z_{2'}} \cdot \dots \cdot \frac{Z_k}{Z_{k'-1}}}$$

Trong đó: m là số cặp bánh răng ăn khớp ngoài

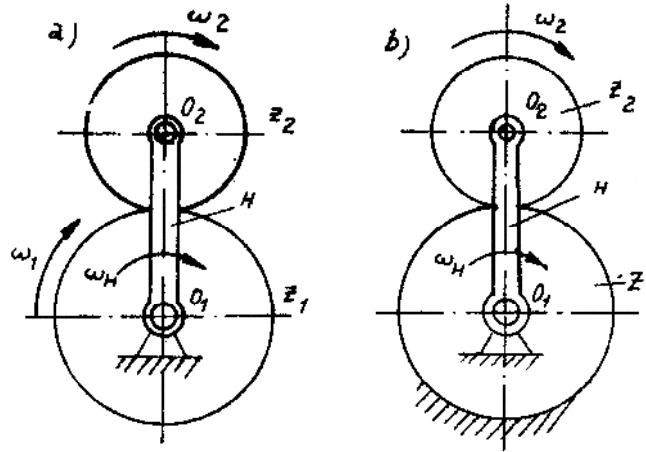
$$\text{và } \frac{\omega_1}{\omega_k} = \frac{n_1}{n_k} \text{ trong trường hợp thông thường là các bánh răng}$$

quay đều.

III. Hệ thống bánh răng phức tạp (Hệ thống bánh răng vi sai)

1. Định nghĩa

Hệ thống bánh răng phức tạp (hay còn gọi là thống bánh răng vi sai) là hệ thống bánh răng truyền động, trong đó ít nhất có một bánh răng có trục di động (hình 10.2a).



Hình 10.2

Ở hình trên: Trục O_2 di động, tay quay O_1O_2 gọi là thanh truyền (ký hiệu bằng chữ H và có vận tốc góc ω_H). Bánh răng quay quanh trục O_1 cố định gọi là bánh răng trung tâm. Nếu bánh răng trung tâm không quay (cố định) thì hệ vi sai trong trường hợp này gọi là hệ bánh răng hành tinh (hình 10.2b).

2. Tỷ số truyền hệ thống bánh răng vi sai

Xét hình 10.2a, ta thấy nếu đứng trên thanh truyền H mà xét thì chuyển động tương đối của bánh răng O_1 và O_2 đối với thanh truyền coi như chuyển động quay quanh hai trục cố định.

Như vậy, trong chuyển động tương đối này, tỷ số truyền của hệ bánh răng được xem như tỷ số truyền của hệ thống bánh răng thường và được tính như những công thức của hệ thống:

$$\text{Ta có : } i_{12}^H = -\frac{z_2}{z_1}$$

Ký hiệu i_{12}^H là chỉ tỷ số truyền của cặp bánh răng 1, 2 so với thanh truyền H .

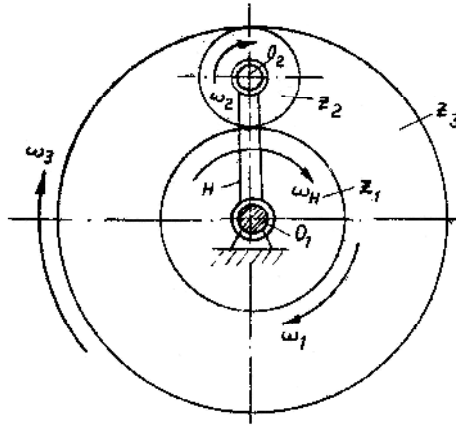
Vấn đề ở đây là lập quan hệ tỷ lệ vận tốc góc của các bánh răng đối với thanh truyền H (chuyển động tương đối).

$$\text{Ta có : } \omega_1^H = \omega_1 - \omega_H$$

$$\omega_2^H = \omega_2 - \omega_H$$

$$\text{và như vậy: } i_{12}^H = \frac{\omega_1^H}{\omega_2^H} = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_2 - \omega_H} = -\frac{z_2}{z_1}$$

Xét rộng cho trường hợp hệ vi sai gồm hai cặp bánh răng ăn khớp (hình 10.3)



Hình 10.3

Xét chuyển động tương đối của các bánh răng đối với thanh truyền H, ta có:

$$\omega_1^H = \omega_1 - \omega_H$$

$$\omega_2^H = \omega_2 - \omega_H$$

$$\omega_3^H = \omega_3 - \omega_H$$

Tỷ số truyền tương đối của mỗi cặp bánh răng là:

$$\omega_{12}^H = \frac{\omega_1^H}{\omega_2^H} = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_2 - \omega_H} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

$$\omega_{23}^H = \frac{\omega_2^H}{\omega_3^H} = \frac{\omega_2 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H} = \frac{Z_3}{Z_2}$$

Tỷ số truyền của cả hệ bánh răng đối với thanh truyền là:

$$i_{13}^H = i_{12}^H \cdot i_{23}^H = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_2 - \omega_H} \cdot \frac{\omega_2 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H} = -\frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_3}{Z_2}$$

$$\text{cuối cùng : } i_{13}^H = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H} = -\frac{Z_3}{Z_1}$$

Viết tổng quát cho hệ bánh răng từ bánh răng Z_1 đến bánh răng Z_k ta có công thức vilít (Willis)

$$i_{1k}^H = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_k - \omega_H} = (-1)^m \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_3}{Z_2'} \cdot \dots \cdot \frac{Z_k}{Z_{k'-1}}$$

Trong đó : * $\omega_1, \omega_H, \omega_k$ là vận tốc góc tuyệt đối của các bánh răng Z_1, Z_k và thanh truyền H (trong chuyển động quay đều có thể thay đổi bằng vận tốc vòng)

* m : số cặp bánh răng ăn khớp ngoài.

Bài 11. ĐỊNH LÝ VỀ SỰ ĂN KHỚP CỦA BÁNH RĂNG

Mục tiêu: - Trình bày được định lý ăn khớp

- Nêu được định nghĩa và tính chất của đường thân khai

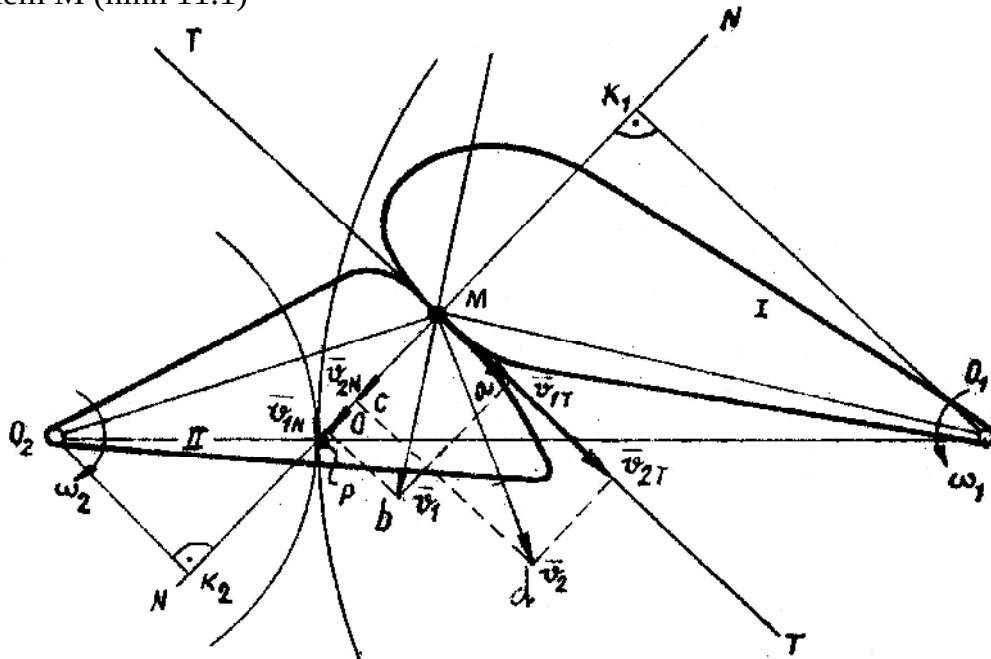
- Chứng minh được bánh răng thân khai phù hợp với định lý ăn khớp

I. Định lý ăn khớp (định lý Willis)

“Để đảm bảo tỷ số truyền không đổi, pháp tuyến chung của hai sườn bánh răng ăn khớp phải luôn luôn cắt đường nối tâm của hai bánh răng ở một điểm cố định”.

Chứng minh :

Giả sử có hai sườn bánh răng I và II có cặp bánh răng O_1 và O_2 ăn khớp tiếp xúc với nhau tại điểm M (hình 11.1)



Hình 11.1

Trong quá trình chuyển động ($\omega \rightarrow \omega_2$), muốn hai sườn răng luôn luôn tiếp xúc nhau thì trên pháp tuyến chung NN, khoảng cách giữa hai sườn răng phải bằng không. Điều đó có nghĩa là vận tốc của điểm M của mỗi sườn răng theo phương pháp tuyến NN phải luôn luôn bằng nhau. Gọi $\bar{v}_1$ là vận tốc của điểm M thuộc sườn răng I và $\bar{v}_2$ là vận tốc của điểm M thuộc sườn răng II thì $v_{1N} = v_{2N}$ (trong đó v_{1N} và v_{2N} là các thành phần vận tốc trên NN).

Xét hai Δ đồng dạng O_1K_1M và Mab (hai Δ vuông có $\widehat{MO_1K_1} = \widehat{Mba}$)

$$\text{Ta có: } \frac{v_{1N}}{v_1} = \frac{O_1K_1}{O_1M} \quad \text{Suy ra} \quad v_{1N} = v_1 \frac{O_1K_1}{O_1M}$$

Cũng tương tự với hai Δ đồng dạng O_2K_2M và Mab có $\widehat{MO_2K_2} = \widehat{bMa}$

$$\text{Ta có: } \frac{v_{2N}}{v_2} = \frac{O_2K_2}{O_2M} \quad \text{Suy ra} \quad v_{2N} = v_2 \frac{O_2K_2}{O_2M}$$

Mà : $V_{1N} = V_{2N}$ nên $V_1 \frac{O_1K_1}{O_1M} = V_2 \frac{O_2K_2}{O_2M}$

Trong đó : $\omega_1 = \frac{V_1}{O_1M}$

$$\omega_2 = \frac{V_2}{O_2M}$$

Nên có thể viết : $\omega_1 \cdot O_1K_1 = \omega_2 \cdot O_2K_2$

Hay $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2K_2}{O_1K_1}$

Xét hai Δ đồng dạng O_1K_1P và O_2K_2P có:

$$\frac{O_2K_2}{O_1K_1} = \frac{O_2P}{O_1P} \quad \text{nhân} \quad i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2P}{O_1P}$$

Trong đó : O_1 và O_2 là hai điểm cố định, nên muốn đảm bảo $i_{12} = \text{const}$ thì P cũng phải là điểm cố định và định lý đã được chứng minh.

Điểm P gọi là tâm ăn khớp

Điểm M gọi là điểm ăn khớp

Pháp tuyến chung NN gọi là đường ăn khớp (quĩ đạo của điểm ăn khớp của hai sườn răng)

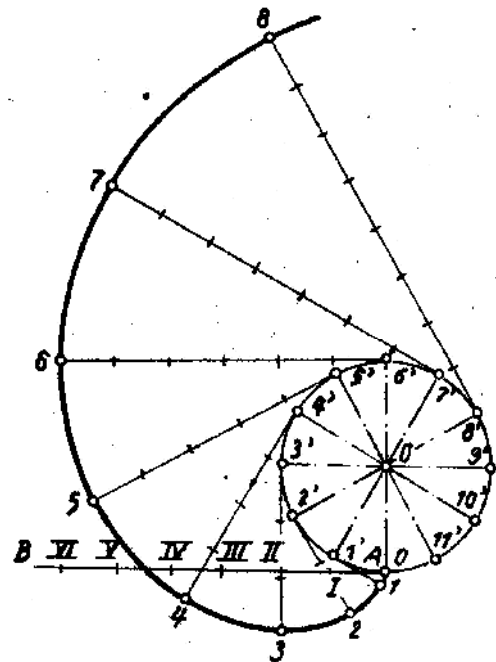
Vòng tròn tâm O_1 và O_2 có bán kính O_1P và O_2P gọi là vòng lăn.

II. Bánh răng thân khai

1. Đường thân khai

Quĩ đạo của một điểm bất kỳ của một đường thẳng lăn không trượt trên một vòng tròn gọi là đường thân khai của vòng tròn đó (hình 11.2)

Đường cong tạo bởi điểm kể trên gọi là đường thân khai. Vòng tròn tương ứng gọi là vòng cơ sở.



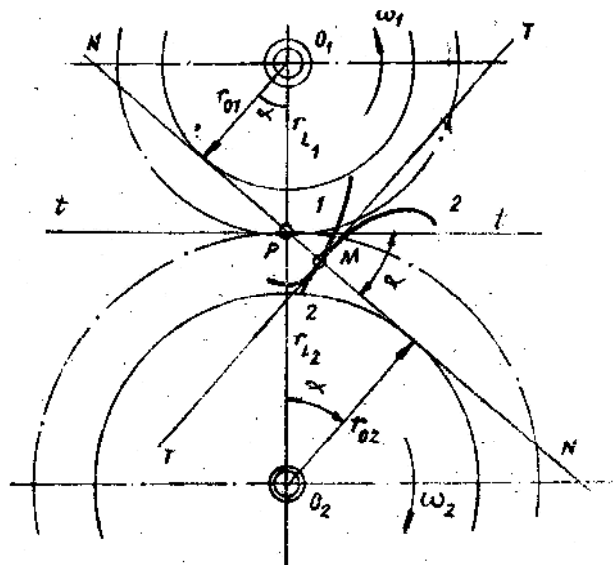
Hình 11.2

2. Tính chất của đường thân khai

- Đường thân khai không đi vào trong vòng cơ sở.
- Pháp tuyến của đường thân khai là tiếp tuyến của vòng cơ sở và ngược lại.
- Tâm cong tại một điểm nào đó của đường thân khai nằm trên vòng cơ sở. Bán kính cong tại điểm đó bằng cung lẩn tương ứng $2 - 2' = 0 - 2'$ (H11.2)
- Những đường thân khai có cung vòng cơ sở là những đường cách đều và có thể chồng khít lên nhau.

3. Bánh răng thân khai phù hợp với định lý ăn khớp

Giả sử hai sườn răng dạng thân khai 1 và 2 ăn khớp với nhau tại điểm M bất kỳ (hình 11.3).



Hình 11.3

Ứng với hai sườn răng có hai vòng cơ sở r_{01} và r_{02} có tâm quay O_1 và O_2 .

Qua M kẻ pháp tuyến chung NN của hai sườn răng này.

Theo tính chất của đường thân khai, pháp tuyến chung NN chính là tiếp tuyến chung của hai vòng cơ sở (r_{01} và r_{02})

Nhưng hai vòng cơ sở đó có tâm O_1 và O_2 và bán kính cố định nên tiếp tuyến chung NN cũng cố định và cắt đường nối tâm O_1O_2 ở điểm P cố định.

Như vậy với bất cứ điểm tiếp xúc chung M ở vị trí nào đó cũng đều có pháp tuyến chung ở vị trí ấy chạy qua điểm nối tâm P cố định. Điều đó chứng tỏ rằng thân khai thỏa mãn định lý ăn khớp.

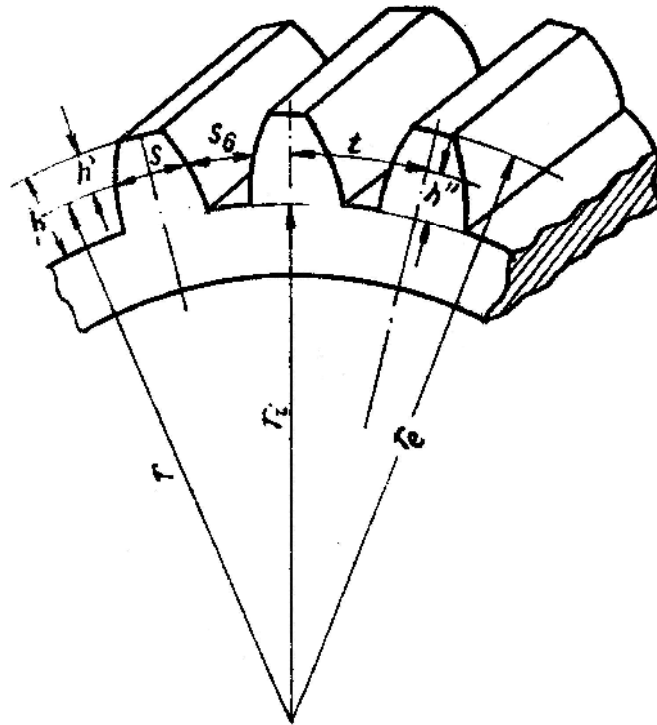
Góc giữa pháp tuyến chung NN và tiếp tuyến của hai vòng lăn qua tâm ăn khớp P gọi là góc ăn khớp (ký hiệu α).

Bài 12. CÁC YẾU TỐ HÌNH HỌC VÀ CHỈ TIÊU ĂN KHỚP CỦA BÁNH RĂNG THÂN KHAI

Mục tiêu: - Nêu được yếu tố hình học của một bánh răng tiêu chuẩn
- Nêu được chỉ tiêu ăn khớp của bánh răng thân khai

1. Các yếu tố hình học

Các yếu tố hình học của bánh răng là các kích thước cơ bản, chủ yếu để chế tạo và truyền động. Ở đây chỉ nêu đối với bánh răng tiêu chuẩn (vòng lăn và vòng chia trùng nhau) h 12.1



Hình 12.1

Hình 12.1 Một số kích thước cơ bản của bánh răng thân khai

- Bán kính vòng chia r và đường kính $d = mZ$ (m là môđun và Z là số răng)
- Bước răng trên vòng chia : $t = \pi m$
- Bề dày răng s
- Bề rộng rãnh $s_b = s = \frac{t}{2}$
- Chiều cao đỉnh răng $h' = m$
- Chiều cao chân răng $h'' = (1,2 \div 1,25) m$
- Chiều cao răng $h = h' + h'' = (2,2 \div 2,25) m$
- Vòng đỉnh răng có bán kính r_e và đường kính $d_e = d + 2h' = m (Z + 2)$
- Vòng chân răng có bán kính r_i và đường kính $d_i = m (Z - 2,4)$
- Khoảng cách tâm $A = r_1 + r_2 = m \frac{Z_1 + Z_2}{2}$

2. Chỉ tiêu ăn khớp của bánh răng thân khai

Cho một cặp bánh răng ăn khớp như (hình 12.2)

❖ Góc ăn khớp α được tính bằng công thức: $\cos\alpha = \frac{r_{o1}}{r_1} = \frac{r_{o2}}{r_2}$

❖ Đoạn ăn khớp của hai sườn răng:

Ta biết đoạn ăn khớp là quỹ đạo của điểm tiếp xúc chung của cặp sườn răng trong quá trình ăn khớp, đoạn đó được giới hạn bởi giao điểm giữa đường ăn khớp NN với hai đỉnh vòng răng

Trên hình 12.2 :

- ab là đoạn ăn khớp
- a là điểm vào khớp ứng với sườn răng m_1n_1
- b là điểm ra khớp ứng với sườn răng m_2n_2

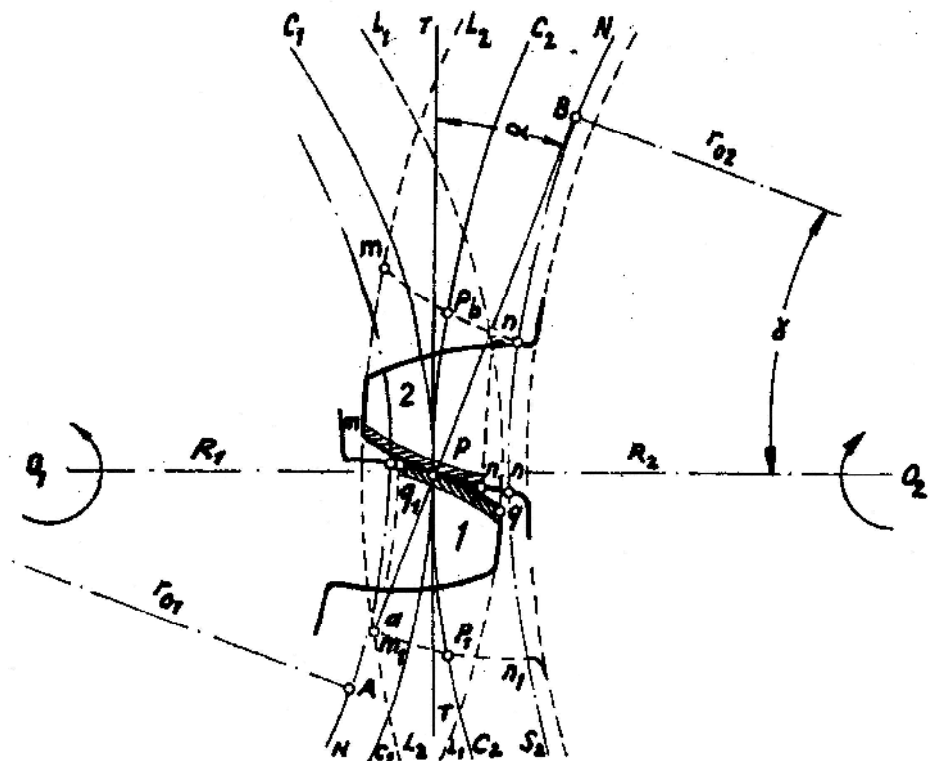
Ứng với đoạn ăn khớp, một điểm trên vòng lăn vạch một cung gọi là cung ăn khớp (cung $\widehat{PP_1}$ trên hình vẽ)

Đồng thời ứng với đoạn ăn khớp ab thì một điểm trên vòng cơ sở cũng vạch một cung L nào đó, biết $L = ab$ và $L = v_A \cdot \Delta t = \omega_1 r_{o1} \cdot \Delta t = \omega_2 r_{o2} \cdot \Delta t$ (Δt = khoảng thời gian ăn khớp).

Ta tính được độ dài cung ăn khớp $\widehat{PP_1}$

$$\widehat{PP_1} = s = V_p \cdot \Delta t = \omega_1 r_1 \Delta t = \omega_2 r_2 \Delta t$$

$$\frac{s}{L} = \frac{\omega_1 r_1 \Delta t}{\omega_1 r_{o1} \Delta t} = \frac{r_1}{r_{o1}} = \frac{1}{\cos\alpha}$$



Hình 12.2

- ❖ Để đảm bảo ăn khớp đúng và chính xác, hai bánh răng chế tạo ăn khớp phải có bước răng bằng nhau: $t_1 = t_2$

Mặt khác, muốn ăn khớp êm, liên tục thì khi một cặp bánh răng ăn khớp chưa ra khỏi đoạn ăn khớp thì cặp bánh răng kế tiếp đã phải chuẩn bị vào khớp.

Muốn vậy: $\frac{s}{t} > 1$

Tỷ số trên gọi là hệ số trùng khớp, ký hiệu ε : $\varepsilon = \frac{s}{t} = \frac{L}{t \cos \alpha}$

Trong đó s , L là chiều dài cung ăn khớp và đoạn ăn khớp, t là bước răng.

- Nếu $s = t$ thì $\varepsilon = 1$; tức là cặp bánh răng này ra khớp thì cặp bánh răng tiếp mới vào khớp.
- Nếu $s < t$ thì $\varepsilon < 1$; tức là cặp bánh răng này ra khớp, cặp bánh răng tiếp chưa vào khớp, gây ra “khoảng hở” với bánh răng bị dẫn, không đảm bảo yêu cầu động học, gây ra va đập v.v
- Nếu $s > t$ thì $\varepsilon > 1$; tức là cặp bánh răng này sắp ra khớp thì cặp bánh răng kế tiếp đã vào khớp. Vì vậy ta gọi là sự trùng khớp, như thế truyền động đảm bảo hơn. Thông thường $\varepsilon = 1,1 \div 1,4$

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Có mấy loại cơ cấu bánh răng? Định nghĩa hệ thống bánh răng thường và hệ thống bánh răng vi sai?
2. Thiết lập công thức tính tỷ số truyền của hệ thống bánh răng thường?
3. Thiết lập công thức tính tỷ số truyền của hệ thống bánh răng vi sai, hệ bánh răng hành tinh?
4. Cần chú ý những gì khi sử dụng công thức tính tỷ số truyền của hệ thống bánh răng?
5. Nêu công dụng của cơ cấu bánh răng?
6. Chứng minh định lý ăn khớp bánh răng
7. Hệ số trùng khớp là gì? Nêu ý nghĩa của hệ số trùng khớp