

## TRUYỀN ĐỘNG CÁC ĐĂNG

### I. CÔNG DỤNG, YÊU CẦU, PHÂN LOẠI:

#### 1.1. Công dụng:

Truyền động các đăng dùng để truyền mômen xoắn giữa các trục không thẳng hàng. Các trục này lệch nhau một góc  $\alpha > 0^\circ$  và giá trị của  $\alpha$  thường thay đổi.

#### 1.2. Yêu cầu:

- ✓ Với bất kỳ số vòng quay nào của trục các đăng không được phép có các va đập và dao động, không phát sinh ra tải trọng động quá lớn do mômen quán tính gây nên.
- ✓ Các trục các đăng phải quay đều và không xuất hiện tải trọng động.
- ✓ Ngay cả khi góc lệch  $\alpha$  lớn thì hiệu suất truyền động vẫn phải bảo đảm lớn.

#### 1.3. Phân loại:

##### 1.3.1. Theo công dụng, truyền động các đăng chia ra 4 loại:

- ✓ Loại truyền mômen xoắn từ hộp số hoặc hộp phân phối đến các cầu chủ động (góc  $\alpha$  từ  $15^\circ \div 20^\circ$ ).
- ✓ Loại truyền mômen xoắn đến các bánh xe chủ động ở cầu dẫn hướng ( $\alpha_{\max}$  từ  $30^\circ \div 40^\circ$ ) hoặc ở hệ thống treo độc lập ( $\alpha_{\max} = 20^\circ$ ).
- ✓ Loại truyền mômen xoắn đến các bộ phận đặt trên khung ( $\alpha_{\max}$  từ  $3^\circ \div 5^\circ$ ).
- ✓ Loại truyền mômen xoắn đến các cụm phụ ( $\alpha_{\max}$  từ  $15^\circ \div 20^\circ$ ).

##### 1.3.2. Theo số khớp các đăng chia 3 loại:

- ✓ Loại đơn (có 1 khớp nối các đăng).
- ✓ Loại kép (có 2 khớp nối các đăng).
- ✓ Loại nhiều khớp các đăng.

##### 1.3.3. Theo tính chất động học của các đăng chia ra:

- ✓ Loại các đăng khác tốc
- ✓ Loại các đăng đồng tốc.

##### 1.3.4. Theo kết cấu các đăng chia ra:

- ✓ Loại khác tốc gồm loại cứng và loại mềm.
- ✓ Loại đồng tốc gồm có: đồng tốc kép, đồng tốc cam, đồng tốc bi với các rãnh phân chia, đồng tốc bi với đôn phân chia.

### II. ĐỘNG HỌC CỦA CƠ CẤU CÁC ĐĂNG:

#### 2.1. Cơ cấu các đăng đơn:

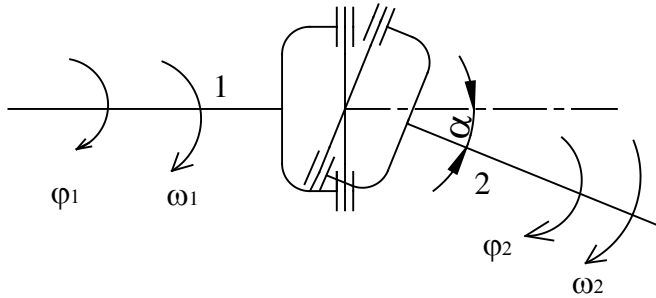
Khi cần truyền chuyển động từ trục 1 (chủ động) sang trục 2 (bị động) với góc lệch giữa hai trục là  $\alpha > 0$ , bắt buộc phải sử dụng cơ cấu các đăng.

Trên hình 6.1 là cơ cấu các đăng đơn khác tốc. Khi các trục quay thì chốt chữ thập sẽ quay lúc lắc trong giới hạn góc  $\alpha$ . Bởi vậy sẽ sinh ra sự quay không đều của trục 2 khi trục 1 quay đều. Ở giáo trình nguyên lý máy đã chứng minh mối quan hệ giữa  $\varphi_1$  và  $\varphi_2$ :

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi_2 \cos \alpha \quad (6.1)$$

Trong đó:  $\varphi_1$  và  $\varphi_2$  là các góc quay của trục chủ động 1 và trục bị động 2.

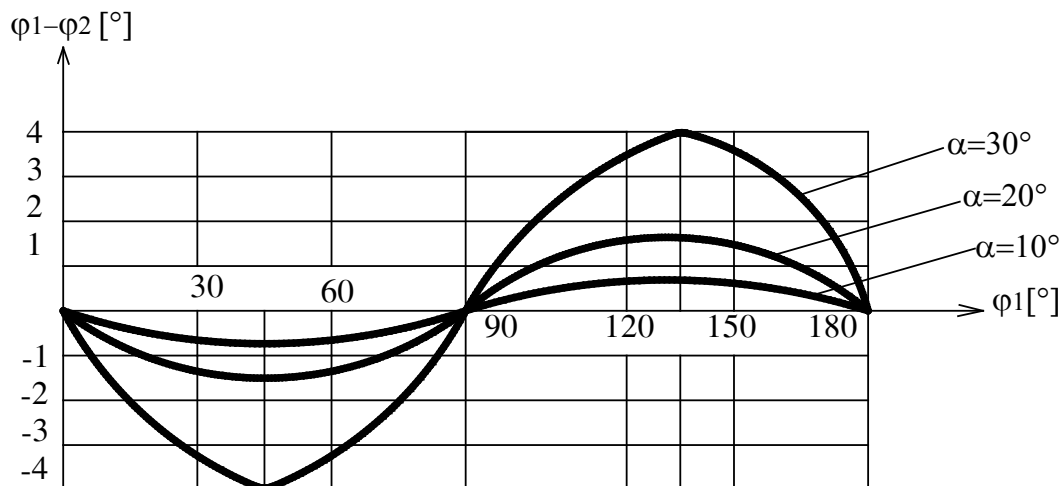
Theo (6.1), nếu biết giá trị góc  $\alpha$  thì ứng với một giá trị  $\varphi_1$  ta có một giá trị  $\varphi_2$  tương ứng.



**Hình 6.1:** Cơ cấu các đẳng đơn.

Ở hình (6.2) cho thấy sự thay đổi hiệu số góc ( $\varphi_1 - \varphi_2$ ) sau nửa vòng quay của trục 1. Ba đường cong ứng với các góc  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $\alpha = 30^\circ$ .

Từ đồ thị biến thiên của hiệu ( $\varphi_1 - \varphi_2$ ) ta thấy sau một vòng quay của trục 1 sẽ có hai lần trục 2 vượt nhanh hơn trục 1 và hai lần chậm hơn trục 1. Nếu trục 1 quay đều thì vận tốc góc  $\omega_1$  là hằng số.



**Hình 6.2:** Sự thay đổi hiệu số góc quay giữa  $\varphi_1$  và  $\varphi_2$

Để biết được vận tốc góc  $\omega_2$  của trục 2 thay đổi thế nào, ta đạo hàm biểu thức (6.1):

$$\frac{d\varphi_1}{\cos^2 \varphi_1} = \cos \alpha \cdot \frac{d\varphi_2}{\cos^2 \varphi_2} \quad (6.2)$$

Chia hai vế (6.2) cho dt và lưu ý:

$$\omega_1 = \frac{d\varphi_1}{dt} \quad \text{và} \quad \omega_2 = \frac{d\varphi_2}{dt}$$

Chúng ta có:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos^2 \varphi_2}{\cos \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1} \quad (6.3)$$

Từ (6.1) chúng ta thấy có thể thay thế  $\cos^2 \varphi_2$  bằng biểu thức có  $\varphi_1$  và  $\alpha$ . Bình phương 2 vế biểu thức (6.1) và qua biến đổi lượng giác ta có:

$$\cos^2 \varphi_2 = \frac{\cos^2 \alpha}{\operatorname{tg}^2 \varphi_1 + \cos^2 \alpha} \quad (6.4)$$

Kết hợp biểu thức (6.4) với (6.3) ta sẽ có mối quan hệ giữa  $\omega_1$  và  $\omega_2$ :

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos \alpha}{\sin^2 \varphi_1 + \cos \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1} \quad (6.5)$$

Vì  $\frac{\cos \alpha}{\sin^2 \varphi_1 + \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1} \neq \text{const}$  cho nên  $\frac{\omega_2}{\omega_1} \neq \text{const}$ , trong khi đó  $\omega_1 = \text{const}$ ,

bởi vậy suy ra  $\omega_2 \neq \text{const}$ . Như vậy cơ cấu các đăng đơn này không đảm bảo được sự đồng tốc giữa trục 1 và trục 2, nên được gọi là cơ cấu các đăng đơn khác tốc.

Giá trị lớn nhất của tỷ số  $\frac{\omega_2}{\omega_1}$  đặc trưng cho sự quay không đều của trục 2 sẽ ứng với giá trị nhỏ nhất của mẫu số khi  $\varphi_1 = 0^\circ, 180^\circ, 360^\circ \dots (k\pi)$ . Lúc đó ta có:

$$\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)_{\max} = \frac{1}{\cos \alpha} \quad (6.6)$$

Giá trị nhỏ nhất của  $\frac{\omega_2}{\omega_1}$  ứng với các giá trị:

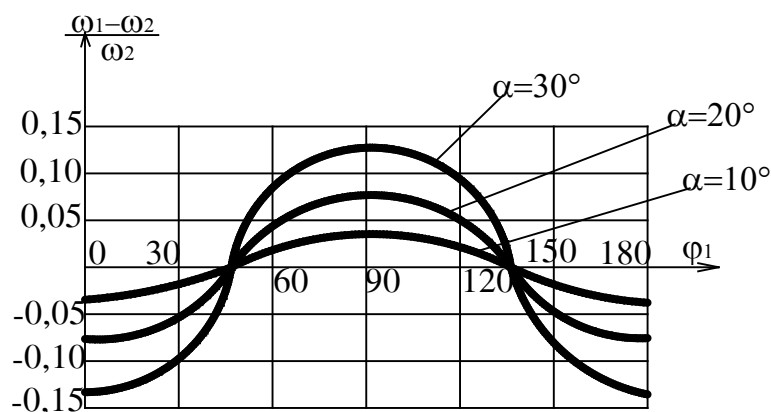
$$\varphi_1 = 90^\circ, 270^\circ, \dots (2k+1) \frac{\pi}{2}, \text{ lúc đó ta có:}$$

$$\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)_{\min} = \cos \alpha \quad (6.7)$$

Từ (6.5) chúng ta lập được biểu thức (6.8) sau đây:

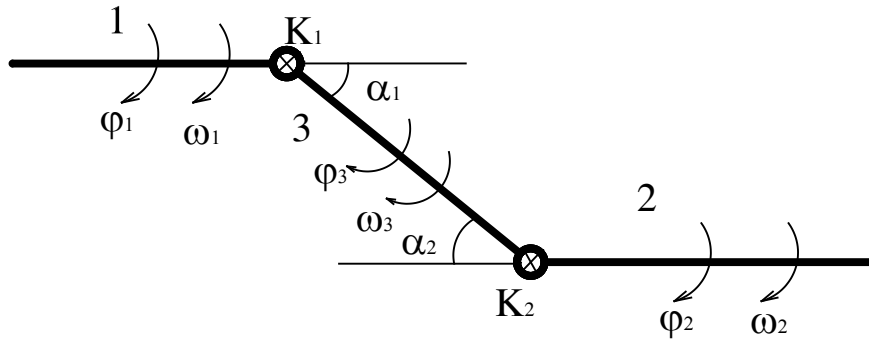
$$\frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = \frac{\sin^2 \varphi_1 + \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1 - \cos \alpha}{\sin^2 \varphi_1 + \cos^2 \alpha \cos^2 \varphi_1}$$

Quan hệ của tỷ số  $\frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1}$  đối với góc quay  $\varphi_1$  ứng với  $\alpha = 10^\circ, \alpha = 20^\circ, \alpha = 30^\circ$  được trình bày ở hình (6.3)



Hình 6.3: Đồ thị biến thiên của  $\omega_2$ .

## 2.2. Cơ cấu các đặng kép:



Hình 6.4: Cơ cấu các đặng kép.

Xét trường hợp chúng ta cần truyền chuyển động từ trục 1 đến trục 2 thông qua trục 3 và góc lệch giữa các trục  $\alpha_1 > 0$  và  $\alpha_2 > 0$ . Các trục được nối với nhau bởi hai khớp các đặng đơn khác tốc  $k_1$  và  $k_2$ . Trục 1 có góc quay  $\varphi_1$  và vận tốc góc  $\omega_1$ . Trục 2 có góc quay  $\varphi_2$  và vận tốc góc  $\omega_2$ . Trục 3 có góc quay  $\varphi_3$  và vận tốc góc  $\omega_3$ .

Giả thiết khi bắt đầu chuyển động, nạng chủ động (nối với trục 1) nằm trong mặt phẳng thẳng đứng, nếu chúng ta áp dụng trực tiếp công thức (6.1) cho góc quay  $\varphi_1$  và  $\varphi_3$ :

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi_3 \cdot \cos \alpha_1 \quad (6.9)$$

Nếu khi bắt đầu chuyển động, cả hai nạng các đặng của trục 3 cùng nằm trong một mặt phẳng nằm ngang thì ta không thể áp dụng công thức (6.1) để tìm mối quan hệ giữa  $\varphi_3$  và  $\varphi_2$ , vì công thức này chứng minh cho nạng chủ động nằm trong mặt phẳng thẳng đứng.

Muốn áp dụng (6.1) vào khớp các đặng  $K_2$ , ta phải giả thiết cả hệ thống đã quay đi một góc  $\frac{\pi}{2}$  và lúc đó chúng ta có:

$$\operatorname{tg} \left( \varphi_3 + \frac{\pi}{2} \right) = \operatorname{tg} \left( \varphi_2 + \frac{\pi}{2} \right) \cdot \cos \alpha_2.$$

Qua biến đổi trở thành:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \operatorname{tg} \varphi_3 \cdot \cos \alpha_2 \quad (6.10)$$

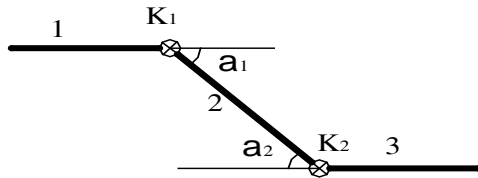
Từ (6.9) và (6.10) chúng ta nhận được:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi_2 \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2} \quad (6.11)$$

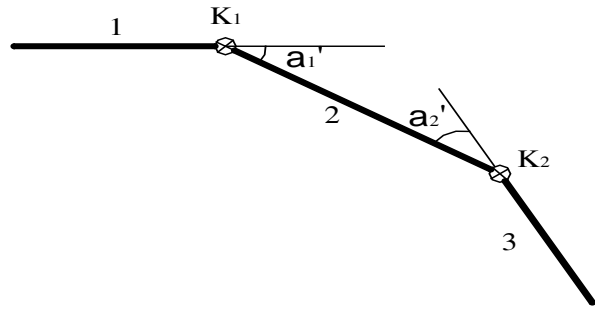
Từ biểu thức (6.1) ta thấy ngay: Nếu  $\alpha_1 = \alpha_2$  thì  $\varphi_1 = \varphi_2$ , tức là  $\omega_1 = \omega_2$ . Trường hợp này được gọi là cơ cấu các đặng kép đồng tốc.

Nếu  $\alpha_1 \neq \alpha_2$  thì  $\varphi_1 \neq \varphi_2$ , tức là  $\omega_1 \neq \omega_2$ . Trường hợp này được gọi là cơ cấu các đặng kép khác tốc. Trường hợp thứ nhất là một trong các biện pháp để giải quyết vấn đề đồng tốc ở truyền động các đặng.

Hiện nay ở trên xe có 2 cách bố trí cơ cấu các đặng kép đảm bảo điều kiện đồng tốc  $\alpha_1 = \alpha_2$  (Hình 6.5a và 6.5b)



Hình 6.5 a:  $\alpha_1 = \alpha_2$



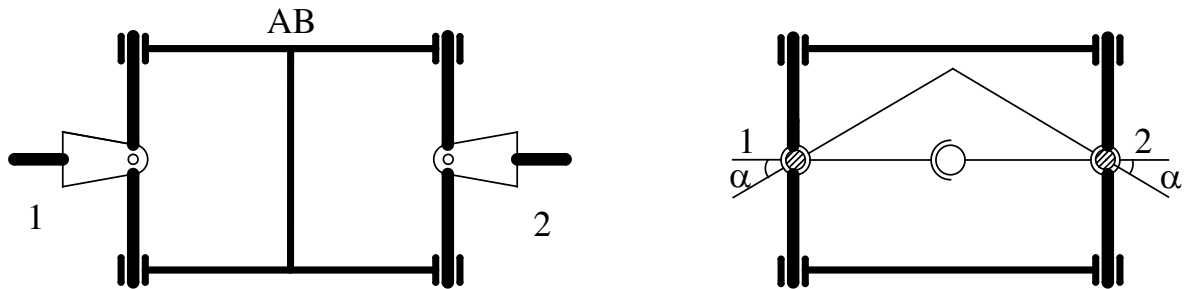
Hình 6.5 b:  $\alpha'_1 = \alpha'_2$

Phương án a: Trục 1 và trục 3 song song với nhau.

Phương án b: Trục 1 và trục 3 giao nhau.

Phương án nào làm cho góc lệch  $\alpha_1$  ( $\alpha_2$ ) giảm là cách bố trí tốt. Vì khi  $\alpha$  nhỏ thì sự quay không đều của trục các đăng trung gian 2 sẽ giảm, do đó tải trọng tác dụng lên trục giảm, điều đó cho phép tăng tuổi thọ của các trục các đăng.

### 2.3. Khớp các đăng kép đồng tốc:



Hình 6.6: Khớp các đăng kép đồng tốc.

Trên hình 6.6 là sơ đồ khớp các đăng kép đồng tốc dựa trên nguyên lý đồng tốc ở (hình 6.5). Để có được khớp các đăng kép đồng tốc người ta đã rút ngắn trục 2 thành đoạn AB và tổng hợp hai nạng các đăng của trục 3 thành một nạng các đăng kép. Ngoài ra phải thêm một cơ cấu chỉnh tâm để bảo đảm điều kiện  $\alpha_1 = \alpha_2$ .

### 2.4. Khớp các đăng đồng tốc loại bi:

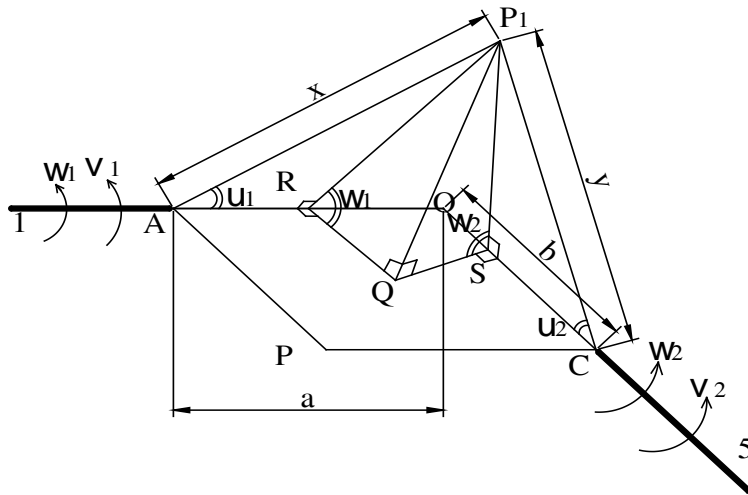
#### 2.4.1. Động học khớp các đăng đồng tốc loại bi:

Khớp các đăng nối giữa hai trục và luôn đảm bảo  $\omega_1 = \omega_2$  được gọi là khớp các đăng đồng tốc. Loại này thường dùng ở các xe có cầu trước vừa là cầu dẫn hướng vừa là cầu chủ động.

Nguyên tắc cơ bản của nó là điểm truyền lực luôn luôn nằm trên mặt phẳng phân giác của góc giao nhau giữa hai trục.

Trên hình 6.7 là sơ đồ động học khớp các đăng loại bi.

Hai trục các đăng thực tế được thể hiện bởi trục 1 và 5, thông qua cơ cấu các nạng và các viên bi chúng tiếp xúc với nhau tại P (tâm viên bi). Khi trục 1 quay một góc  $\varphi_1$  thì trục 5 quay một góc  $\varphi_2$ , lúc đó điểm P sẽ chuyển đến vị trí mới là P<sub>1</sub>. Điểm cuối của trục 1 là A sẽ kết nối với nạng các đăng. Điểm bắt đầu của trục 5 là C sẽ kết nối với nạng các đăng. Khi tính toán ta đặt: AP<sub>1</sub> = x, CP<sub>1</sub> = y.



**Hình 6.7:** Sơ đồ động học khớp các đẳng loại bi.

Từ  $P_1$  hạ đường vuông góc  $P_1Q$  xuống mặt phẳng APC. Từ Q hạ tiếp các đường vuông góc QR và QS xuống các trục 1 và 5.

Từ các tam giác vuông trên hình 6.7:

$$P_1QR \text{ suy ra } P_1Q = P_1R \sin \varphi_1.$$

$$P_1QS \text{ suy ra } P_1Q = P_1S \sin \varphi_2.$$

$$AP_1R \text{ suy ra } P_1R = x \sin \theta_1.$$

$$CP_1S \text{ suy ra } P_1S = y \sin \theta_2.$$

Bởi vậy:

$$P_1Q = x \sin \varphi_1 \sin \theta_1.$$

$$P_1Q = y \sin \varphi_1 \sin \theta_2.$$

Tức là:

$$\sin \varphi_2 = \sin \varphi_1 \cdot \frac{x \cdot \sin \theta_1}{y \cdot \sin \theta_2} \quad (6.12)$$

Đặt  $OP_1 = z$ ,  $OA = a$ ,  $OC = b$  và áp dụng định lý côsin cho các tam giác  $AOP_1$  và  $COP_1$  ta có:

$$z^2 = x^2 + a^2 - 2ax \cos \theta_1.$$

$$z^2 = y^2 + b^2 - 2by \cos \theta_2.$$

Giải hai phương trình bậc hai trên để tìm x và y (ở đây chúng ta chỉ lấy giá trị dương vì  $x > 0$  và  $y > 0$ )

$$x = \pm \sqrt{z^2 - a^2 \sin^2 \theta_1} + a \cdot \cos \theta_1 \quad (6.13)$$

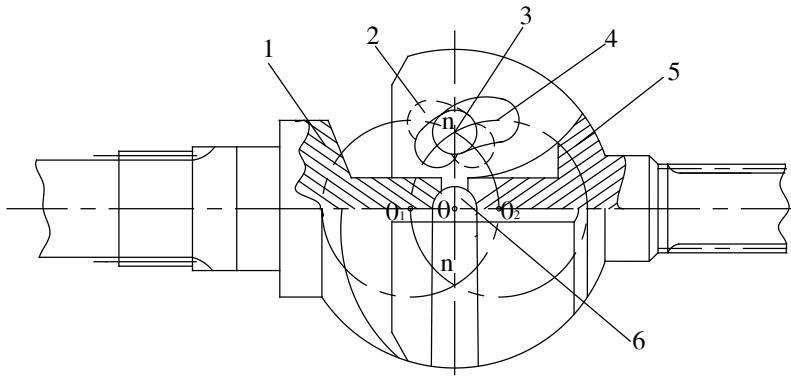
$$y = \pm \sqrt{z^2 - b^2 \sin^2 \theta_2} + b \cdot \cos \theta_2 \quad (6.14)$$

Thay (6.13) và (6.14) vào (6.12) ta có:

$$\sin \varphi_2 = \sin \varphi_1 \frac{(\sqrt{z^2 - a^2 \cdot \sin^2 \theta_1} + a \cdot \cos \theta_1) \cdot \sin \theta_1}{(\sqrt{z^2 - b^2 \cdot \sin^2 \theta_2} + b \cdot \cos \theta_2) \sin \theta_2}$$

Nếu  $\theta_1 = \theta_2$  và  $a = b$  thì  $\sin \varphi_1 = \sin \varphi_2 \Rightarrow \varphi_1 = \varphi_2$  tức là  $\omega_1 = \omega_2$ , như vậy điều kiện đồng tốc giữa trục 1 và trục 5 được thực hiện.

### 2.4.2. Khớp các đặng đồng tốc loại bi Weiss (Vây xơ):



Hình 6.8: Khớp các đặng đồng tốc loại bi Weiss.

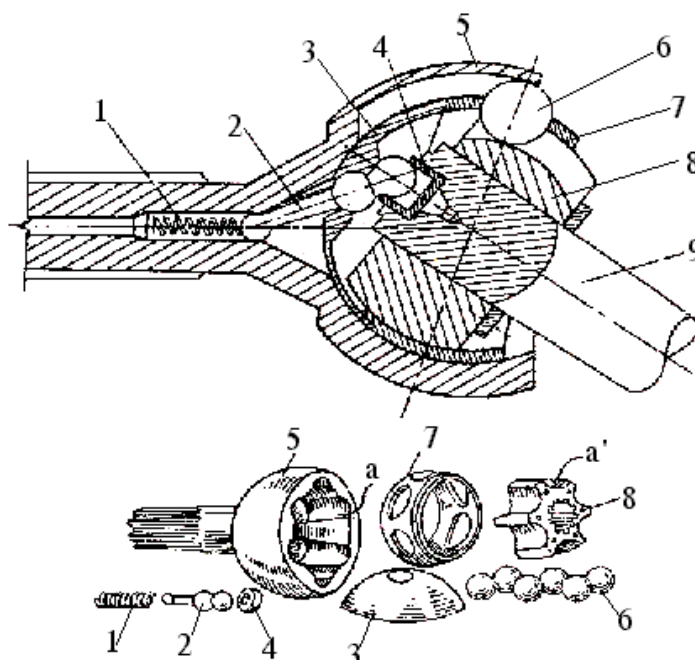
- 1 và 5: Các trục các đặng.
- 2 và 4: Các rãnh.
- 3 và 6: Các viên bi.

Trục 1 nối với trục 5 bằng 4 viên bi 3 và một viên bi 6. Các viên bi 3 chuyển động trong các rãnh cong 2 và 4 nằm đối xứng trong trục 1, trục 5 và trong các mặt phẳng vuông góc với nhau. Đường tâm của các rãnh là vòng tròn có bán kính bằng nhau với tâm  $O_1$  và  $O_2$ . Đồng thời đoạn  $OO_1$  bằng đoạn  $OO_2$ . Khi quay, đường tâm của các rãnh tạo thành hai mặt cầu, có giao tuyến là  $n$  đó là quỹ đạo chuyển động của viên bi 3. Do các rãnh nằm đối xứng trong hai trục, nên khi các trục dịch chuyển đi một góc thì tâm các viên bi luôn nằm trên các mặt phẳng phân giác giữa hai trục (đảm bảo điều kiện  $\theta_1 = \theta_2$ ).

Ngoài ra điều kiện  $a = b$  được đảm bảo bằng viên bi 6 có chốt ngang luôn qua để định vị.

### 2.4.3. Khớp các đặng đồng tốc loại bi Rzepp (Rozippo):

Loại khớp các đặng này được sử dụng nhiều trên xe vì có độ bền lâu và độ tin cậy cao. Cấu tạo của nó được thể hiện ở hình 6.9.

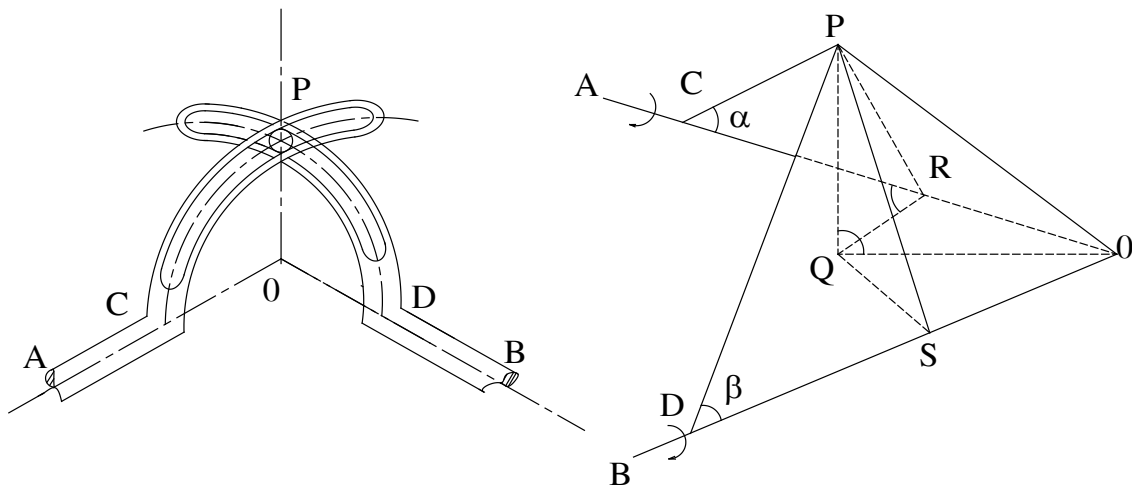


### Hình 6.9: Khớp các đẳng đồng tốc loại bi Rzepp.

- |              |              |
|--------------|--------------|
| 1. Lò xo.    | 6. Bi.       |
| 2. Chốt.     | 7. Ống lồng. |
| 3. Chỏm cầu. | 8. Mũi khóa. |
| 4. Chụp.     | 9. Trục.     |
| 5. Nặng.     |              |

Nặng 5 có rãnh a, mũi khóa 8 có rãnh a', các hòn bi truyền lực 6 được đặt vào giữa hai rãnh a và a' và được giữ bằng ống lồng 7. Lò xo 1, chốt 2, chỏm cầu 3, chụp 4 là cơ cấu chỉnh tâm. Trục 9 lắp với mũi 8 bằng then hoa.

Trên hình 6.10 là sơ đồ khái quát của khớp các đẳng đồng tốc Rzepp, chúng ta sử dụng nó để khảo sát động học của khớp các đẳng này:



Hình 6. 10: Sơ đồ khảo sát động học.

Hai trục A và B cắt nhau tạo O, góc  $AOB > 90^0$ , PC và PD là hai rãnh của hai nặng A và B đối xứng với nhau qua OP.

Do tác dụng của cơ cấu chỉnh tâm nên P luôn luôn nằm trên mặt phẳng phân giác của góc AOB.

Khi chế tạo, người ta đã tính toán sao cho góc  $PCO = PDO$  ( $\alpha = \beta$ ) và  $OC = OD$  nên góc  $CPO = DPO$ .

Ký hiệu Q là hình chiếu của P trên mặt phẳng AOB.

Từ Q vẽ các đường thẳng  $QR \perp OC$ ;  $QS \perp OD$ , sau đó nối PR, PS thì ta cũng chứng minh được  $PR \perp OC$  và  $PS \perp OD$ , bởi vậy góc PRQ và PSQ chính là góc quay của A và B. Như vậy, khớp các đẳng này đã thỏa mãn điều kiện đồng tốc  $a = b$  và  $\theta_1 = \theta_2$  đã nói ở mục a. Bởi thế, với mọi thời điểm hai góc quay của hai trục luôn luôn bằng nhau, tức là khớp các đẳng Rzepp đã đảm bảo được sự đồng tốc cho hai trục A và B.

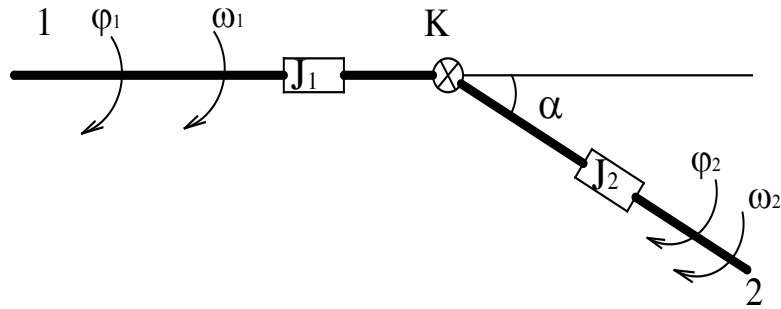
### III. ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CƠ CẤU CÁC ĐẲNG:

Xét trường hợp trục 1 và 2 nối bởi khớp các đẳng đơn khác tốc K.

Vận tốc góc của các trục được nối bởi khớp các đẳng khác tốc thay đổi rất nhanh và làm xuất hiện gia tốc góc rất lớn. Gia tốc góc lớn sẽ làm xuất hiện lực quán tính lớn. Nếu ta coi hệ thống các đẳng cứng tuyệt đối thì theo phương trình



năng lượng có thể xác định mômen quán tính sinh ra do sự quay không đều của trục bị động.



**Hình 6.11:** Sơ đồ truyền động để khảo sát động lực của cơ cấu các đặng.

Các mômen quán tính của các chi tiết gắn liền với trục 1 và trục 2 được vẽ tượng trưng bởi  $J_1$  và  $J_2$ . Chúng ta gọi  $\frac{d\omega_1}{dt}$  và  $\frac{d\omega_2}{dt}$  là gia tốc góc của trục 1 và trục 2.

Trên cơ sở cân bằng các mômen quán tính xuất hiện trên trục 1 và trục 2 chúng ta có:

$$J_1 \cdot \frac{d\omega_1}{dt} = J_2 \cdot \frac{d\omega_2}{dt} \quad (6.15)$$

Để tìm được giá trị mômen quán tính  $M_j$ , ta cần tìm tỉ số gia tốc góc  $\varepsilon_1$  và  $\varepsilon_2$  của trục 1 và 2.

Đạo hàm biểu thức (6.5) theo thời gian  $t$  nhận được:

$$\frac{d\omega_2}{dt} = \frac{\cos \alpha}{\sin^2 \varphi_1 + \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1} \cdot \frac{d\omega_1}{dt} - \omega_1 \cdot \frac{\cos \alpha (2 \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1 - 2 \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos^2 \alpha)}{(\sin^2 \varphi_1 + \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1)^2} \cdot \frac{d\varphi_1}{dt}$$

Tức là:

$$\varepsilon_2 = \frac{\cos \alpha}{\sin^2 \varphi_1 + \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1} \cdot \varepsilon_1 - \omega_1^2 \cdot \frac{2 \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \alpha \cdot \sin^2 \alpha}{(\sin^2 \varphi_1 + \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1)^2}$$

Thay vào biểu thức trên hai biểu thức sau:

$$\varepsilon_1 = \frac{J_2}{J_1} \cdot \varepsilon_2 \quad \text{và} \quad \omega_1^2 = \left(\frac{\pi n}{30}\right)^2$$

Chúng ta có:

$$\varepsilon_2 \left(1 - \frac{J_2 \cdot \cos \alpha}{\sin^2 \varphi_1 + \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1}\right) = -\left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 \cdot \frac{2 \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \alpha \cdot \sin^2 \alpha}{(\sin^2 \varphi_1 + \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1)^2}$$

Kết hợp phương trình trên với biểu thức (6.15) ta có biểu thức để xác định mômen quán tính  $M_j$ :

$$M_j = J_2 \cdot \left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 \cdot \frac{2 \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \alpha \cdot \sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi_1 + \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1} \cdot \frac{1}{\frac{J_2}{J_1} \cdot \cos \alpha - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_1}$$

(6.16)

Chúng ta thừa nhận:

$J_1$  là mômen quán tính các chi tiết quay của động cơ.

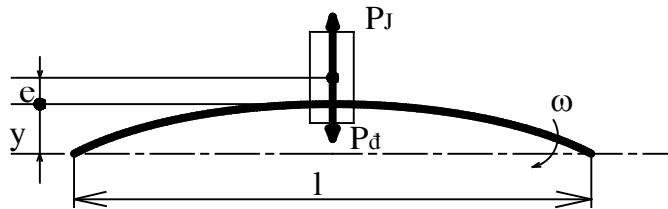
$J_2$  là mômen quán tính tương đương với động năng của xe đang chuyển động tịnh tiến.

Khi tính toán ở trên chúng ta đã bỏ qua sai số hệ thống trục các đặng và coi khớp là tuyệt đối rắn.

Hàm số  $M_j$  đạt cực đại khi  $\varphi_1 = 45^\circ, 135^\circ, \dots$  và trở về trị số 0 khi  $\varphi_1 = 0^\circ, 90^\circ, \dots$

#### IV. SỐ VÒNG QUAY NGUY HIỂM CỦA TRỤC CÁC ĐẶNG:

Khi chế tạo trục các đặng, do sai số và việc cân bằng thiếu chính xác nên khối lượng của trục phân bố không đều và trọng tâm của nó bị lệch đi một đoạn là  $e$  so với đường tâm của trục. Bởi vậy khi trục quay sẽ xuất hiện lực ly tâm tác dụng lên trục làm cho trục có độ võng  $y$  (hình 6.12). Trong khi đó trục đang quay nên làm phát sinh dao động ngang của trục.



Hình 6.12: Sơ đồ trục khi bị võng.

Khi số vòng quay của trục đạt đến một giá trị nào đó thì những dao động này có thể cộng hưởng với tần số riêng của hệ thống. Khi xảy ra cộng hưởng thì độ võng  $y \rightarrow \infty$ , cho nên trục sẽ gãy. Giá trị số vòng quay của trục khi xảy ra cộng hưởng được gọi là số vòng quay nguy hiểm (hoặc là số vòng quay tới hạn).

Nếu ký hiệu  $P_j$  là lực quán tính ly tâm, ta có:

$$P_j = m(y+e) \cdot \omega^2 \quad (6.17)$$

Ở đây:

$m$ -khối lượng của trục các đặng.

$\omega$ -vận tốc góc của trục.

Lực  $P_j$  sẽ được cân bằng với lực đàn hồi  $P_d$  của trục. Lực  $P_d$  tỷ lệ thuận với độ võng  $y$

$$P_d = cy \frac{E \cdot J}{l^3} \quad (6.18)$$

Trong đó:

$E$  - môđun đàn hồi khi kéo.

$l$  - chiều dài trục các đặng.

$J$  - mômen quán tính độc của tiết diện trục.

$C$  - Hệ số phụ thuộc tính chất tải trọng và loại điểm tựa:

Đối với trục có tải trọng phân bố đều trên suốt chiều dài và có thể biến dạng tự do trong các điểm tựa thì  $c = 384/5$ .

Đối với trục không thể biến dạng tự do trong các điểm tựa thì  $c = 384$ .

Từ điều kiện cân bằng hệ lực suy ra:

$$P_j = P_d \Leftrightarrow m(y+e)\omega^2 = cy \frac{EJ}{l^3}$$

Do đó:

$$y = \frac{m\omega^2 c}{c \cdot \frac{EJ}{l^3} - m\omega^2} \quad (6.19)$$

Nếu  $m\omega^2 \approx c \frac{EJ}{l^3}$  thì  $y \rightarrow \infty$ , nghĩa là xảy ra hiện tượng cộng hưởng, khi đó vận tốc góc của trục đạt đến giá trị nguy hiểm  $\omega_t$ :

$$\omega = \omega_t = \sqrt{\frac{CEJ}{ml^3}} \quad (6.20)$$

Hoặc là lúc này số vòng quay  $n$  được gọi là số vòng quay nguy hiểm  $n_t$ :

$$n_t = \frac{30\omega_t}{\pi} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{CEJ}{ml^3}} \quad (6.21)$$

Để tăng giá trị số vòng quay nguy hiểm, nhằm tăng vận tốc cực đại của xe, chúng ta cần giảm chiều dài  $l$  bằng cách phân trục dài thành các đoạn các đăng trung gian và các đăng chính, còn trục các đăng được chế tạo rỗng.

Đối với loại trục các đăng hở nằm tự do ở các gối tựa, chiều dài  $l$  được thừa nhận là khoảng cách giữa các tâm điểm của khớp các đăng.

Khi chọn kích thước của trục các đăng, cần tính đến hệ số dự trữ theo số vòng quay nguy hiểm.

$$\frac{n_t}{n_{\max}} = 1,2 \div 2 \quad (6.22)$$

Ở đây:

$n_{\max}$  – số vòng quay cực đại của trục các đăng ứng với vận tốc lớn nhất của xe.

Ví dụ: Tìm  $n_t$  của trục tròn đặc có đường kính  $D$  đặt tự do trong các gối đỡ:

$$J = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$m = \frac{G}{g} = \frac{\pi \frac{D^2}{4} \cdot l \cdot \gamma}{g}$$

$\gamma = 0,78 \cdot 10^6 \text{ N/m}^3$  (trọng lượng riêng của thép)

$E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$

$C = 384/5$

Thay các giá trị trên vào (6.21) ta có:

$$n_t = 12 \cdot 10^4 \frac{D}{l^2} \quad (6.23)$$

Sau đây chúng ta sẽ lập bảng tính  $n_t$  [v/ph] cho một số trường hợp thường gặp:

	Loại điểm tựa	Trục đặc $\phi D$	Trục rỗng $\phi D$ và $\phi d$
1	Đặt tự do trong các điểm tựa	$12 \cdot 10^4 \frac{D}{l^2}$	$\frac{12 \cdot 10^4}{\frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{l^2}}$
2	Ngàm ở các điểm tựa	$27,5 \cdot 10^4 \frac{D}{l^2}$	$\frac{27,5 \cdot 10^4}{\frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{l^2}}$

**Bảng 6.1:** Công thức tính số vòng quay nguy hiểm  $n_t$ .

**V. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ TRUYỀN ĐỘNG CÁC ĐĂNG:**

**5.1. Xác định kích thước trục theo số vòng quay nguy hiểm  $n_t$ :**

Trước hết phải xác định số vòng quay cực đại  $n_{max}$  của trục các đăng ứng với tốc độ lớn nhất của xe:

$$n_{max} = \frac{n_{e,max}}{i_h \cdot i_p} \quad [v/ph] \quad (6.24)$$

Ở đây:

$n_{e,max}$  – Số vòng quay cực của động cơ [v/ph].

$i_h$  – Tỷ số truyền số cao nhất của hộp số chính ( $\leq 1$ )

$i_p$  – Tỷ số truyền số cao nhất của hộp số phụ.

Tiếp theo xác định số vòng quay nguy hiểm  $n_t$  của trục:

$$n_t = (1,2 \div 2) \cdot n_{max} \quad [v/ph].$$

Giả thiết bề dày thành trục rỗng  $\delta = 1,85 \div 2,5$  mm, chúng ta sẽ xác định giá trị đường kính D:

Theo bảng (6.1) ta có, đối với các trục rỗng đặt tự do trong các gối tựa ta có:

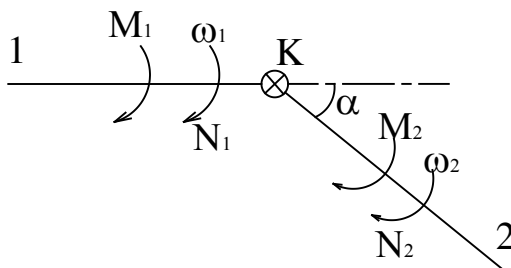
$$n_t = 12 \cdot 10^4 \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{l^2} \quad (6.25)$$

Thay  $d = D - 2\delta$  vào (6.25) ta nhận được phương trình bậc hai đối với D:

$$2D^2 - 4\delta \cdot D + (4\delta^2 - \frac{n_t^2 \cdot l^4}{1,44 \cdot 10^{10}}) = 0 \quad (6.26)$$

Giải phương trình này ta xác định được đường kính D.

**5.2. Tính toán kiểm tra trục các đăng:**



**Hình 6.13**

Trên hình 6.13 là truyền động các đăng từ trục 1 sang trục 2 với góc  $\alpha > 0$  nếu coi công suất mất mát ở khớp các đăng K là không đáng kể thì công suất của trục 1 là  $N_1$  sẽ bằng công suất của trục 2 là  $N_2$ .

$$N_1 = N_2 \Leftrightarrow M_1 \cdot \omega_1 = M_2 \cdot \omega_2 \quad (6.26)$$

Nếu K là khớp các đăng đồng tốc thì  $\omega_1 = \omega_2 \Rightarrow M_1 = M_2$

Nếu K là khớp các đăng khác tốc thì  $\omega_1 \neq \omega_2 \Rightarrow M_1 \neq M_2$

Từ (6.26) ta có:

$$M_2 = M_1 \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{M_1}{\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)} \quad (6.27)$$

$$\Rightarrow M_2 = M_{2\max} \text{ khi } \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right) = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)_{\min}$$

Theo (6.7) thì:  $\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)_{\min} = \cos \alpha$

Bởi vậy:

$$M_{2\max} = \frac{M_1}{\cos \alpha} \quad (6.28)$$

Với  $\alpha > 0$  thì  $\cos \alpha < 1 \Rightarrow M_{2\max} > M_1$

Vậy nếu K là khớp các đăng khác tốc thì trục 2 sẽ chịu mômen xoắn lớn hơn trường hợp K là khớp các đăng đồng tốc. Cho nên chúng ta sẽ tính toán trục bị động 2 ứng với trường hợp K là khớp các đăng khác tốc.

Khi làm việc trục 2 sẽ chịu xoắn, uốn, kéo (hoặc nén). Trong đó ứng suất xoắn là rất lớn so với các ứng suất còn lại, cho nên chúng ta chỉ cần tập trung tính trục theo giá trị  $M_{2\max}$ :

$$M_{2\max} = \frac{M_1}{\cos \alpha} = \frac{M_{e\max} \cdot i_{h1} \cdot i_{p1}}{\cos \alpha} \quad (6.29)$$

Ứng suất xoắn cực đại của trục các đăng là

$$\tau = \frac{M_{2\max}}{W_X} = \frac{M_{e\max} \cdot i_{h1} \cdot i_{p1}}{W_X \cdot \cos \alpha} \quad [\text{MN/m}^2] \quad (6.30)$$

Trong đó:

$W_X$  – Mômen chống xoắn nhỏ nhất của trục các đăng.

$$W_X = \frac{\pi D^2 \delta}{2} = 1.57 D^2 \delta \quad (6.31)$$

Với  $\delta = \frac{D-d}{2}$  : Bề dày của trục các đăng.

D, d – đường kính ngoài và trong của trục các đăng.

Giá trị cho phép:

$$[\tau] = 100 \div 300 \quad \text{MN/m}^2$$

Giá trị góc xoắn  $\theta$  của trục các đăng là:

$$\theta = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{M_{e\max} \cdot i_{h1} \cdot i_{p1} \cdot l}{G \cdot J_X \cdot \cos \alpha} \quad [^\circ] \quad (6.32)$$

Ở đây:

$J_X$  – Mô men quán tính của tiết diện khi xoắn.

G – Mô đun đàn hồi khi xoắn.

$$G = 80 \text{ GN/m}^2 = 8 \cdot 10^5 \text{ kG/cm}^2$$

Góc  $\theta$  cho phép:

$$[\theta] = 3^0 \div 9^0 \text{ trên một mét chiều dài của trục.}$$

Khi tính theo xoắn thì hệ số bền dự trữ theo giới hạn chảy khi dịch chuyển lấy khoảng 3÷3,5.

Khi xe chuyển động, do cầu xe dao động, nên khoảng cách  $l$  giữa hai tâm của hai khớp các đăng sẽ thay đổi do sự trượt trong rãnh then hoa. Lúc này trục các đăng sẽ chịu lực chiều trục  $Q$ ;

$$Q = \frac{4M_{e_{\max}} \cdot i_{h1} \cdot i_{p1}}{D_t + d_t} \cdot \mu \quad (6.33)$$

Trong đó:

$D_t$  và  $d_t$  – đường kính ngoài và trong của then hoa.

$\mu$  - Hệ số ma sát ở các then hoa.

Khi bôi trơn tốt:  $\mu = 0.04 \div 0.06$ .

Khi bôi trơn kém:  $\mu = 0.11 \div 0.12$ .

Rãnh then hoa ở trục các đăng được kiểm tra theo cắt và chèn dập. Vì then hoa lắp ghép lỏng nên ứng suất cắt được thừa nhận bằng:

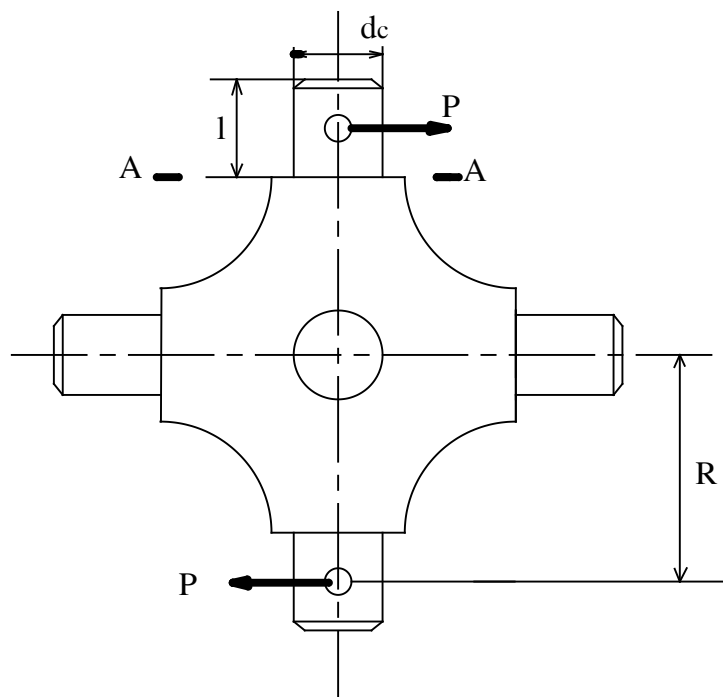
$$\tau \leq [\tau] = 30 \text{ MN/m}^2.$$

Ứng suất chèn dập được thừa nhận bằng:

$$\sigma_{cd} \leq [\sigma_{cd}] = 65 \text{ MN/m}^2.$$

### 5.3. Tính toán chốt chữ thập:

Trên hình 6.14 là sơ đồ lực tác dụng lên chốt chữ thập.



Hình 6.14: Sơ đồ lực tác dụng lên chốt chữ thập.

Vì  $M_{2_{\max}} > M_1$  nên lực  $P$  được tính theo  $M_{2_{\max}}$

$$P = \frac{M_{2_{\max}}}{2R} = \frac{M_{e_{\max}} \cdot i_{h1} \cdot i_{p1}}{2R \cos \alpha} \quad (6.34)$$

Dưới tác dụng của lực  $P$ , tại mặt cắt nguy hiểm A-A sẽ xuất hiện ứng suất uốn và cắt. Ngoài ra trên bề mặt của cổ chốt chữ thập còn chịu ứng suất chèn dập.

#### 5.3.1. Ứng suất uốn:

$$\sigma_u = \frac{P.l}{2W_u} \leq [\sigma_u] = 350\text{MN/m}^2$$

Ở đây:

$W_u$ - mô men chống uốn của mặt cắt A-A.

### 5.3.2. Ứng suất cắt

$$\tau = \frac{P}{S} \leq [\tau] = 170\text{MN/m}^2 .$$

Ở đây:

S – Diện tích của tiết diện mặt cắt A\_A.

### 5.3.3. Ứng suất chèn dập:

$$\sigma_{cd} = \frac{P}{F} \leq [\sigma_{cd}] = 80\text{MN/m}^2$$

Ở đây:

F – là diện tích tiết diện của cổ chốt ( $F= l.d_c$ ).

Trường hợp có ổ bi kim bọc ngoài phần làm việc của cổ chốt thì lực  $P_b$  cho phép lớn nhất được tính:

$$P \leq P_b = 7800 \frac{l_t . d_t . i_t}{\sqrt[3]{\frac{n_n}{i_{hl}} . \text{tg}\alpha}} \quad [\text{MN}] \quad (6.35)$$

Trong đó:

$i_t$  - số thanh lăn hay số kim trong ổ bi.

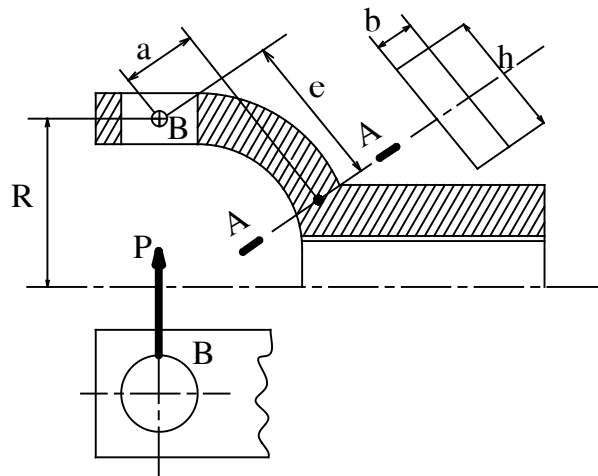
$l_t, d_t$  - chiều dài làm việc và đường kính của thanh lăn hay của kim [cm].

$n_n$  - số vòng quay của động cơ ứng với giá trị  $M_{e\text{max}}$ .

Hệ số bền dự trữ  $k = \frac{P_b}{P}$  phải lớn hơn 1.

### 5.4. Tính toán nạng các đăng:

Lực tác dụng lên nạng cũng được xác định theo biểu thức (6.34). Tiết diện nguy hiểm là tại mặt cắt A-A.



Hình 6.15: Sơ đồ lực tác dụng lên nạng các đăng.

Dưới tác dụng của lực P, tại tiết diện A-A sẽ xuất hiện ứng suất uốn và xoắn:

### 5.4.1. Ứng suất uốn:

$$\sigma_u = \frac{P.e}{W_u} \leq [\sigma_u] = 50 \div 80 \text{ MN/m}^2.$$

Ở đây:

$W_u$ - mômen chống uốn của tiết diện tại A-A.

Nếu tiết diện là hình chữ nhật thì: (xem hình 6.15)

$$W_u = bh^2/6.$$

Nếu tiết diện là hình êlip:

$$W_u \approx bh^2/10.$$

(h: đường kính dài; b: đường kính ngắn của elip).

### 5.4.2. Ứng suất xoắn:

$$\tau = \frac{P.a}{W_x} \leq [\tau] = 80 \div 160 \text{ MN/m}^2.$$

Ở đây:

$W_x$  – mômen chống xoắn của tiết diện tại A-A.

Nếu tiết diện là hình chữ nhật thì:

$$W_x = K .b^2.h$$

K được chọn theo tỷ lệ h/b theo bảng sau:

$\frac{h}{b}$	1	1,5	1,75	2	2,5	3	4
K	0,20	0,23	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28

Nếu tiết diện A-A là hình êlip thì:

$$W_x \approx \pi.b^2.h /16.$$

### 5.5. Vật liệu chế tạo các chi tiết truyền động các đăng:

Trục các đăng được chế tạo bằng thép ống:

Thép 15A hoặc 20, phần then hoa bằng thép 30, 40X hoặc 45 Γ2.

Chốt chữ thập làm bằng thép: 20X, 13XT, 20XHTP. Hai loại thép đều phải thấm cacbon, loại sau thấm nitơ.

Nặng các đăng chế tạo bằng thép 30X, 40, 45 hoặc thép 35 tôi cao tần.