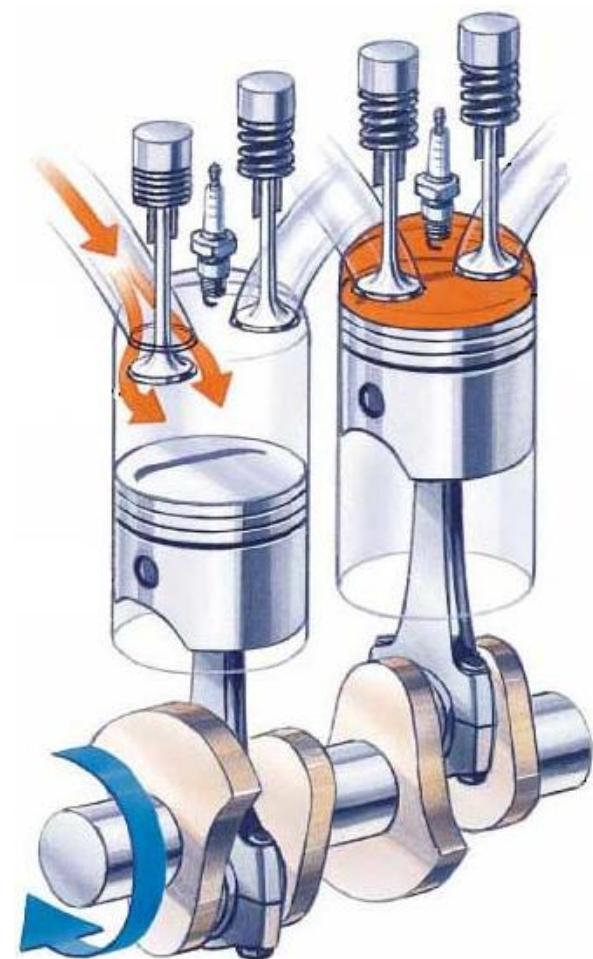


CƠ SỞ TRUYỀN ĐỘNG CƠ KHÍ

Nguyễn Hữu Hào



6.1. Khái niệm chung

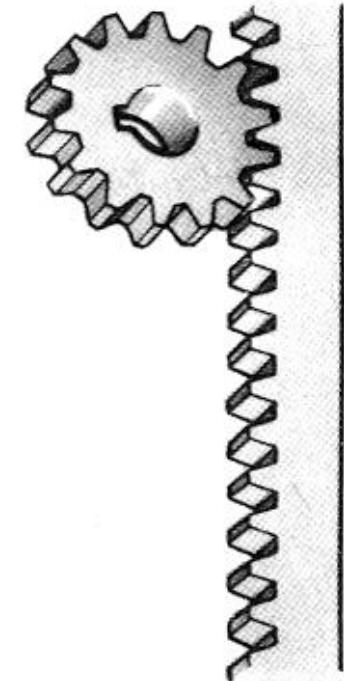
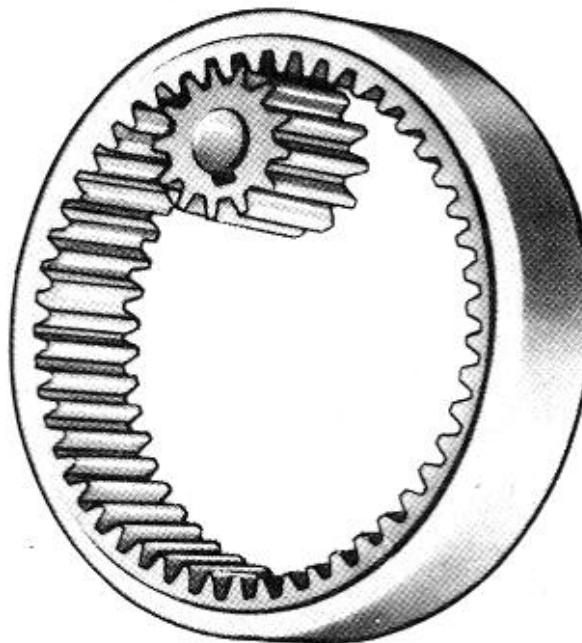
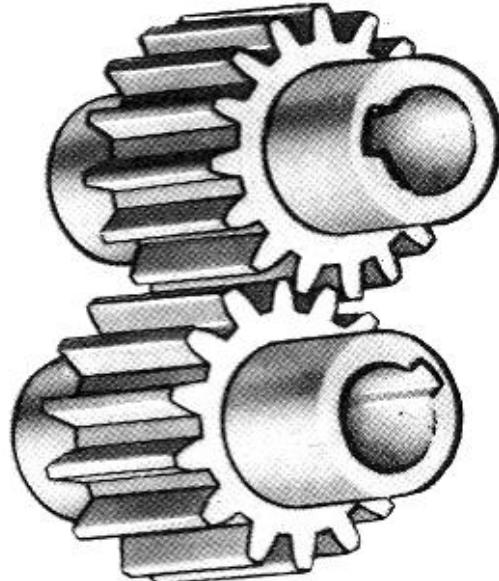
6.1.1. Nguyên lý làm việc

- Bộ truyền BR là cơ cấu có khớp loại cao dung để truyền chuyển động giữa các trục với một tỷ số truyền xác định nhờ sự ăn khớp trực tiếp giữa các khâu có rang được gọi là bánh răng.
- Bộ truyền BR có thể truyền chuyển động quay giữa hai trục song song, giao nhau, chéo nhau hay biến chuyển động quay thành chuyển động tịnh tiến hoặc ngược lại.

6.1. Khái niệm chung

6.1.2. Phân loại

- ❖ Theo vị trí tương đối giữa 2 trục: Bộ truyền BR phẳng và bộ truyền BR không gian.

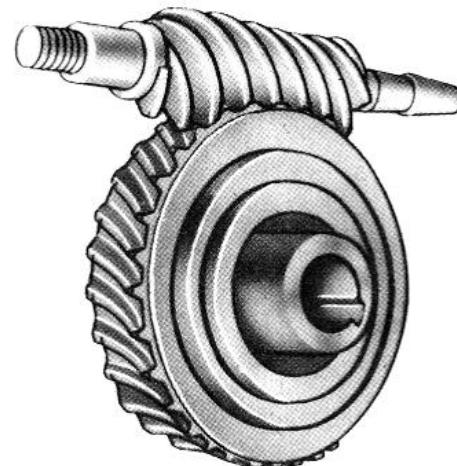
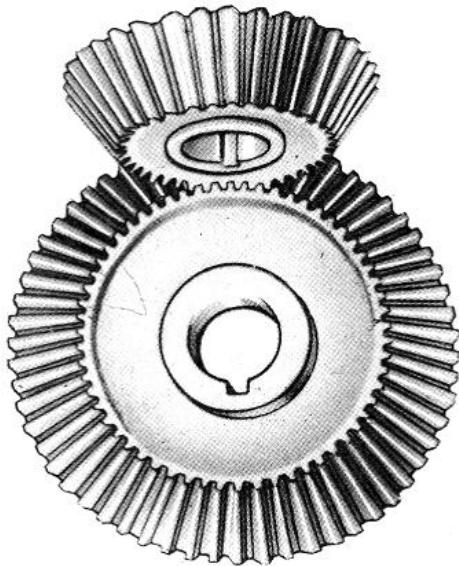


Bộ truyền BR phẳng

6.1. Khái niệm chung

6.1.2. Phân loại

- ❖ **Theo vị trí tương đối giữa 2 trục:** Bộ truyền BR phẳng và bộ truyền BR không gian.

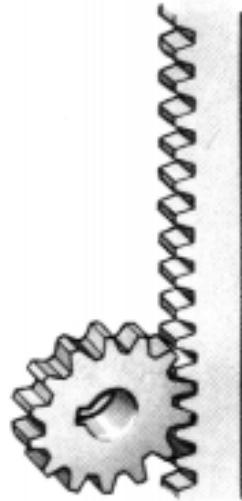
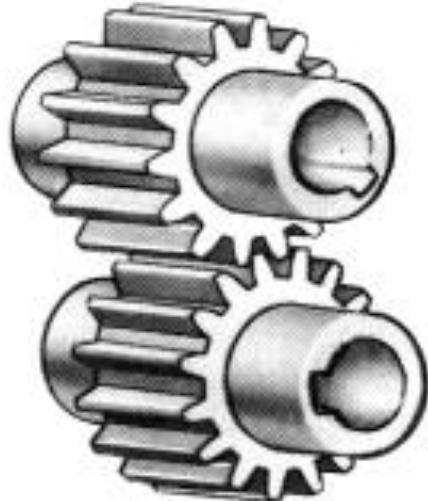


Bộ truyền BR không gian

6.1. Khái niệm chung

6.1.2. Phân loại

❖ **Theo sự ăn khớp:** Bộ truyền BR ăn khớp ngoài, bộ truyền BR ăn khớp trong.



Các bộ truyền BR ăn khớp ngoài

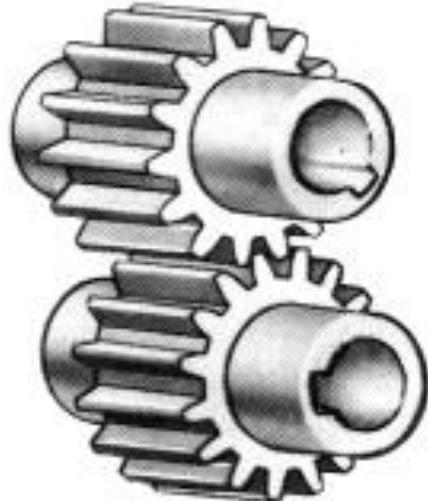


Bộ truyền BR ăn trong

6.1. Khái niệm chung

6.1.2. Phân loại

- ❖ Theo hình dạng của BR: Bộ truyền BR trụ, bộ truyền BR côn (nón).



Bộ truyền BR trụ

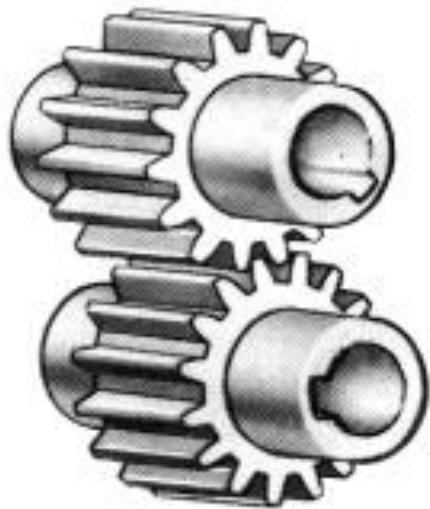


Bộ truyền BR côn

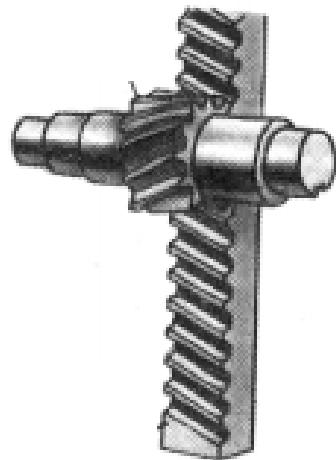
6.1. Khái niệm chung

6.1.2. Phân loại

- ❖ **Theo cách bố trí răng trên BR:** Bộ truyền BR thẳng, bộ truyền BR nghiêng, bộ truyền BR chữ V, bộ truyền BR cong.



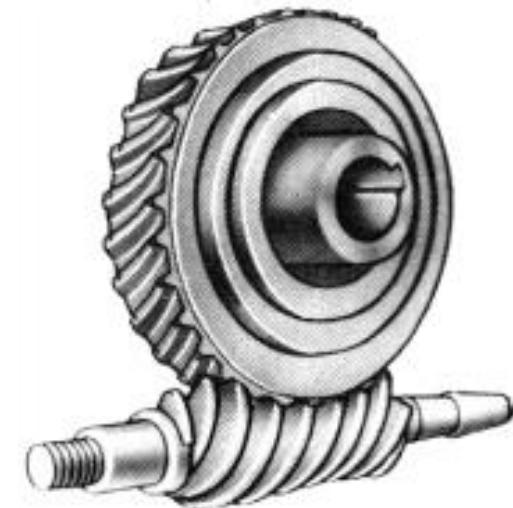
Răng thẳng



Răng nghiêng



Răng chữ V

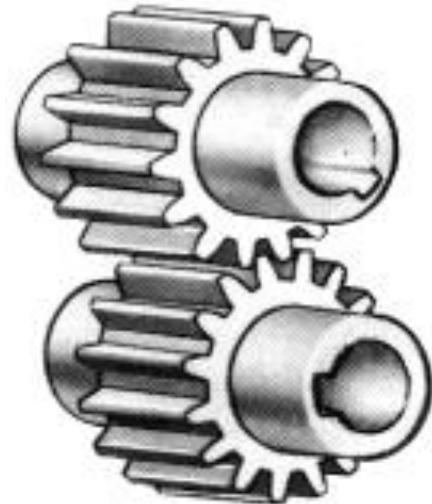


Răng cong

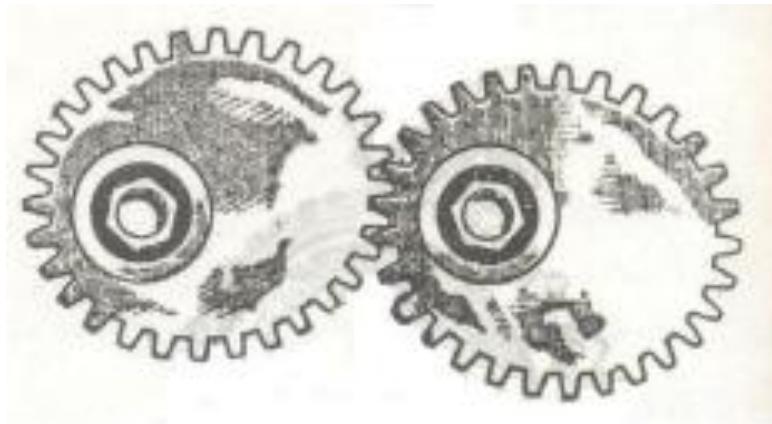
6.1. Khái niệm chung

6.1.2. Phân loại

- ❖ **Theo hình dạng BR:** Bộ truyền BR tròn, bộ truyền BR không tròn



BR tròn



BR không tròn

- ❖ **Theo biên dạng răng:** Bộ truyền **BR thân khai**, bộ truyền BR Xicloit, bộ truyền BR Novicov.

6.1. Khái niệm chung

6.1.3. Ưu nhược điểm và phạm vi sử dụng

❖ **Ưu điểm:**

- Kích thước nhỏ, khả năng mang tải lớn.
- Tỷ số truyền không đổi do không có hiện tượng trượt trơn
- Hiệu suất cao: $0,97 \div 0,99$.
- Làm việc với vận tốc cao, công suất lớn
- Tuổi thọ cao, làm việc với độ tin cậy cao

❖ **Nhược điểm:**

- Chế tạo tương đối phức tạp
- Đòi hỏi chế tạo với độ chính xác cao
- Có nhiều tiếng ồn khi vận tốc lớn.

6.1. Khái niệm chung

6.1.3. Ưu nhược điểm và phạm vi sử dụng

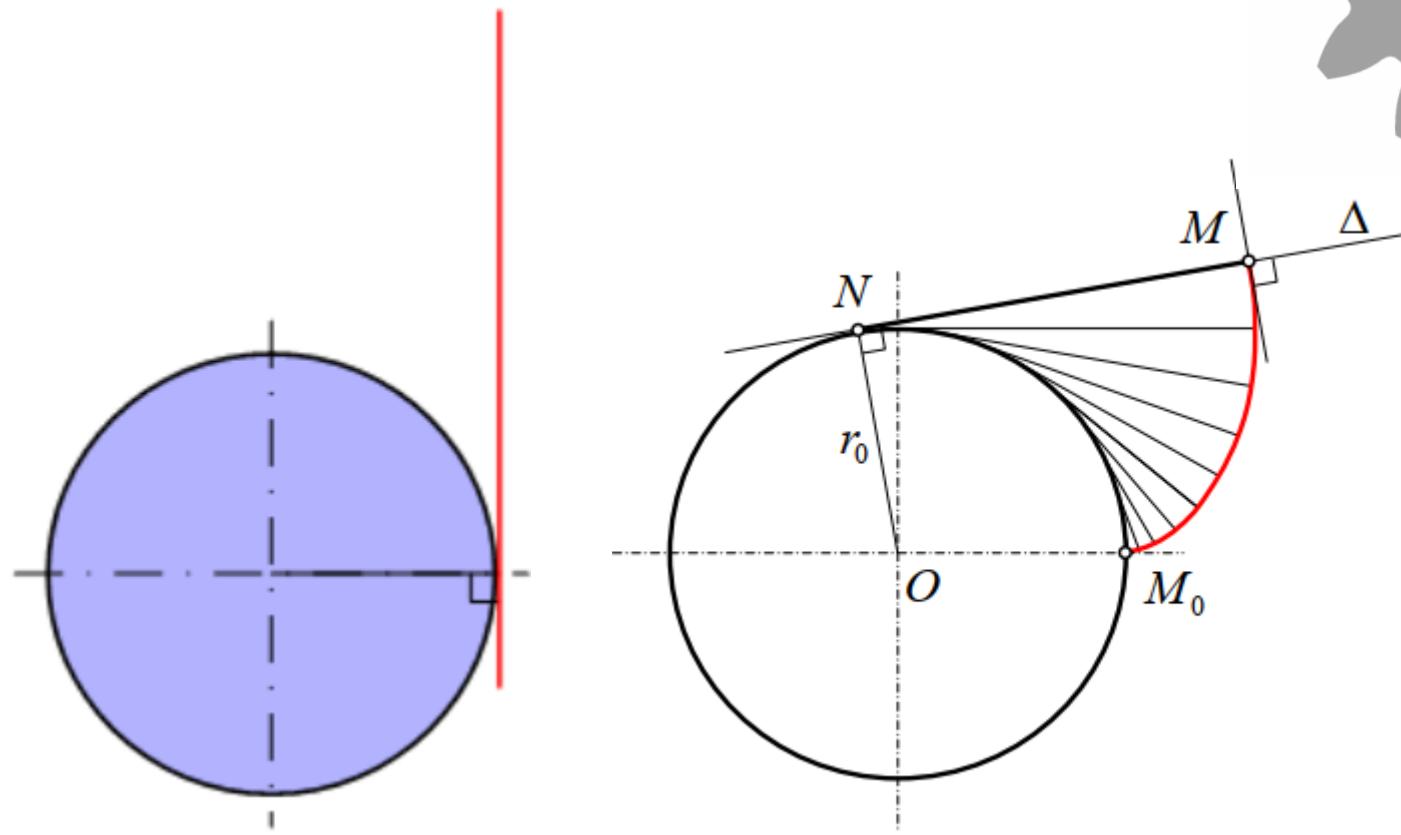
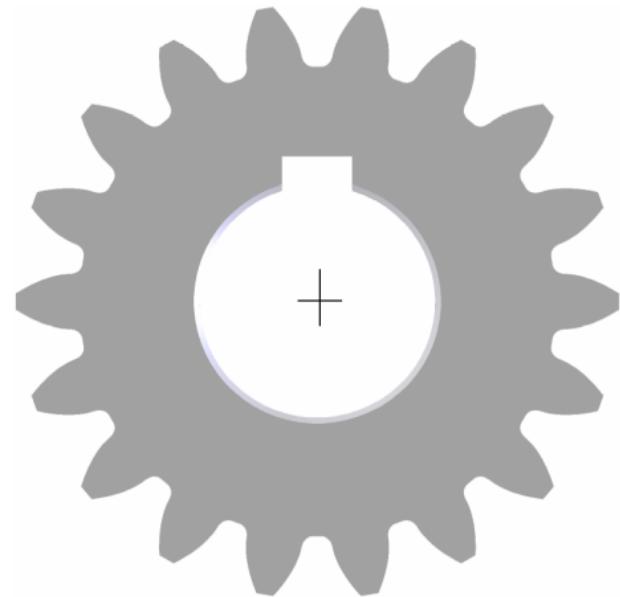
❖ Phạm vi sử dụng

Bộ truyền BR được sử dụng rộng rãi trong ngành chế tạo máy. Trong đó, bộ truyền BR trụ răng thẳng được sử dụng rộng rãi nhất, các bộ truyền còn lại sử dụng tùy vào kết cấu máy.

6.2. Các thông số hình học

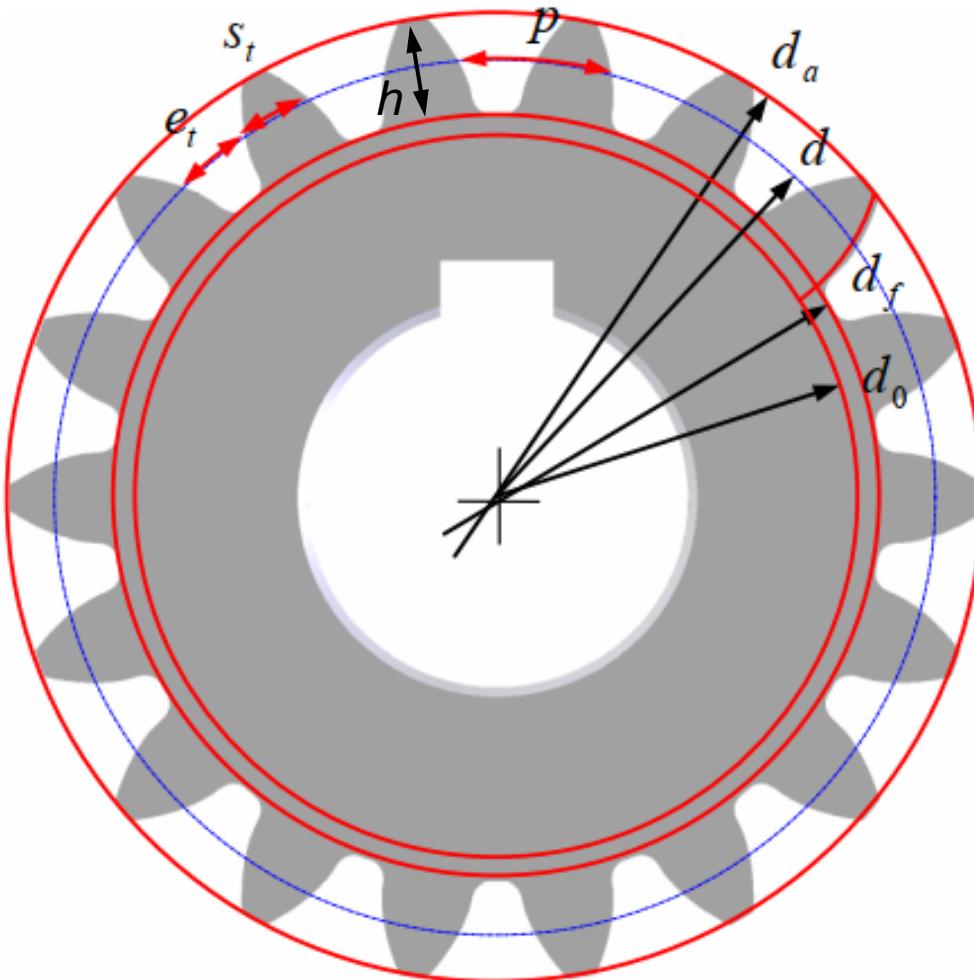
6.2.1. Thông số hình học BR thẳng

- **Biên dạng răng:** Thân khai



6.2. Các thông số hình học

6.2.1. Thông số hình học BR thẳng

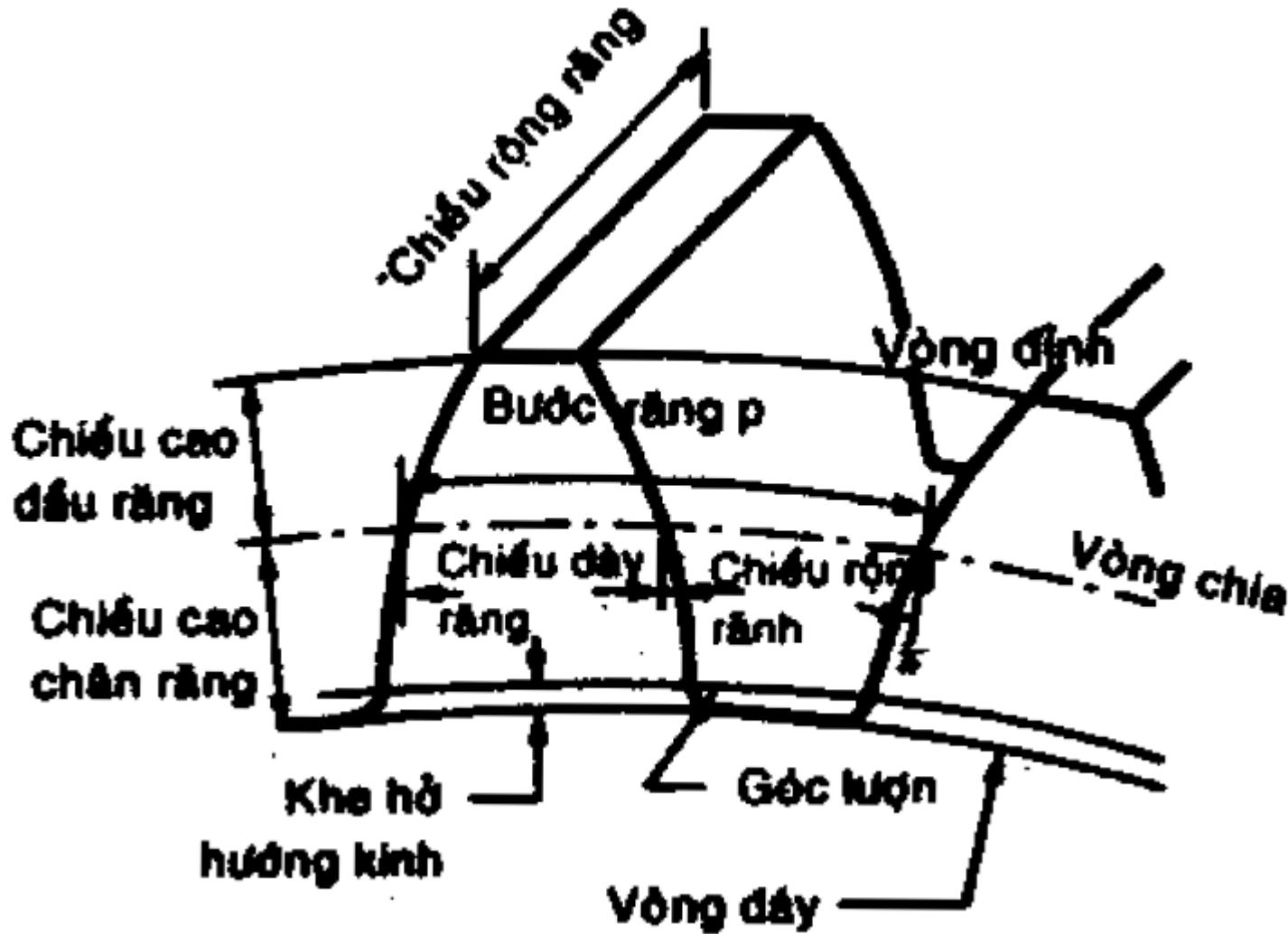


- Bên dạng răng: Thân khai
- Đường kính vòng đỉnh răng d_a
- Đường kính chân răng d_f
- Chiều cao răng $h = d_a - d_f$
- Đường kính vòng cơ sở d_0
- Đường kính vòng chia d
- Bề dày răng s_t
- Bề rộng rãnh răng e_t
- Bước răng p

$$p = s_t + e_t = \frac{2\pi r}{z}$$

6.2. Các thông số hình học

6.2.1. Thông số hình học BR thẳng



6.2. Các thông số hình học

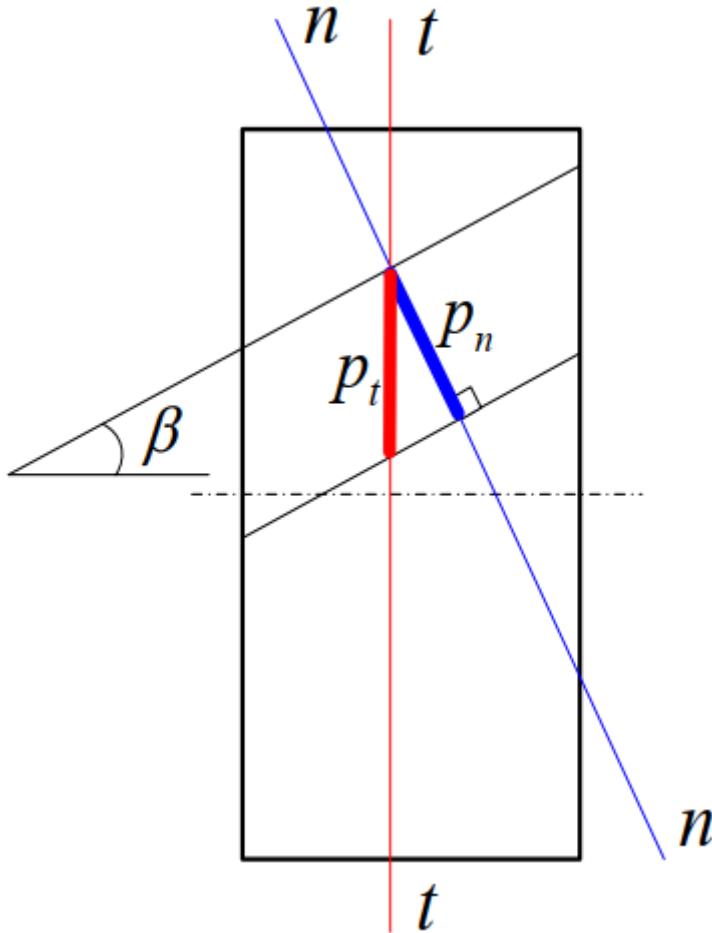
6.2.1. Thông số hình học BR thẳng

- Mô đun m (được tiêu chuẩn hóa): $m = \frac{p}{\pi}$

Dãy 1	1	1.25	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
Dãy 2	1,125	1,375	1,75	2,25	2,75	3,5	4,5	5,5	7	9	11	14	18	22

6.2. Các thông số hình học

6.2.2. Thông số hình học BR nghiêng



- Góc nghiêng của răng β
- Bước pháp p_n
- Bước ngang p_t
- Mô đun pháp m_n : $m_n = \frac{p_n}{\pi}$
- Mô đun ngang m_t : $m_t = \frac{p_t}{\pi}$
- Mô đun pháp m_n được tiêu chuẩn hóa giống như BR trụ.

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$$

6.2. Các thông số hình học

6.2.2. Thông số hình học BR nghiêng

- Đường kính vòng chia:

$$d = m_t z = \frac{m_n z}{\cos \beta}$$

- Đường kính vòng đỉnh:

$$d_a = d + 2m_n$$

- Đường kính vòng chân:

$$d_f = d - 2,5m_n$$

- Khoảng cách trực:

$$a = \frac{m_t}{2} (z_1 + z_2) = \frac{m_n (z_1 + z_2)}{2 \cos \beta}$$

6.3. Tải trọng tính toán

6.3.1. Quy tắc xác định chiều lực ăn khớp

- Lực hướng tâm \vec{F}_r : Luôn hướng vào tâm trực
- Lực vòng \vec{F}_t :
- ✓ Trên bánh chủ động: Ngược chiều chuyển động (chống lại sự quay)
- ✓ Trên bánh bị động: Cùng chiều chuyển động
- Lực dọc trực \vec{F}_a :
- ✓ Trên bánh chủ động: Hướng vào mặt răng làm việc
- ✓ Trên bánh bị động: Ngược với chiều của lực \vec{F}_a trên bánh chủ động.
- Muốn xác định được chiều của các lực tác dụng phải chỉ ra được bánh chủ động, bánh bị động và chiều quay của các BR ăn khớp.

6.3. Tải trọng tính toán

6.3.2. Lực tác dụng trong bộ truyền BR trụ răng thẳng

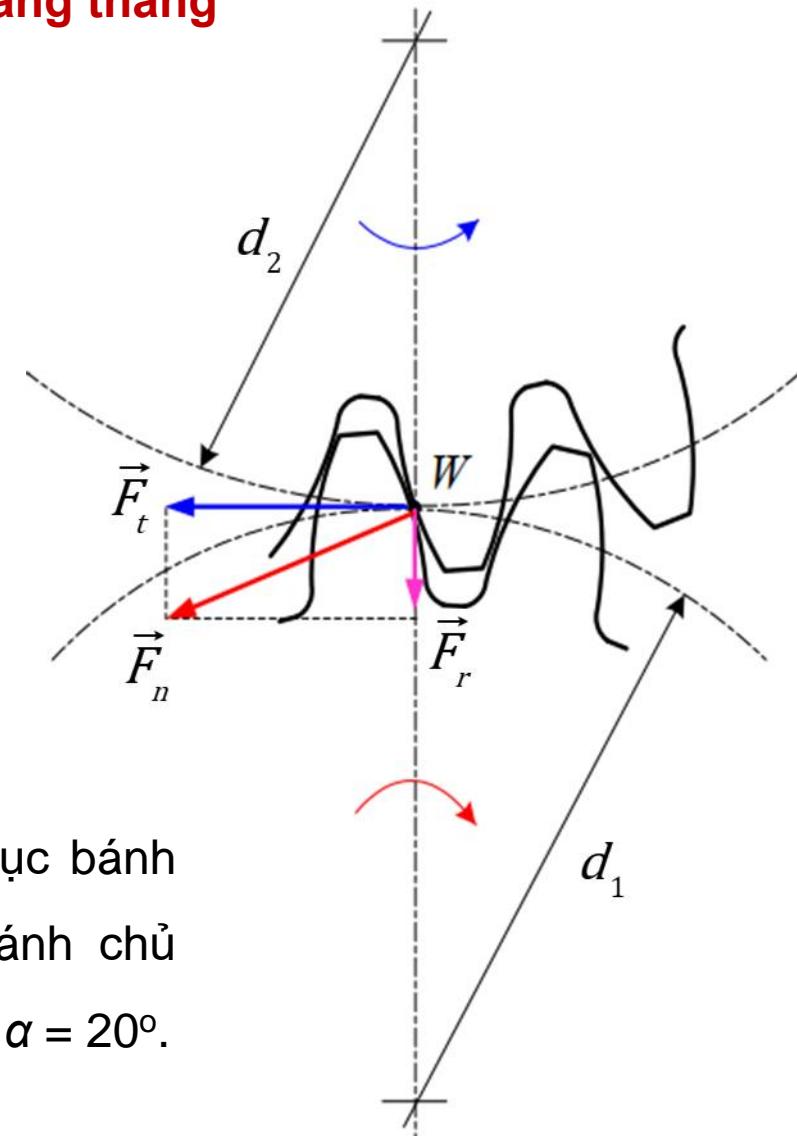
❖ Độ lớn của các lực:

- Lực vòng: $F_{t1} = F_{t2} = \frac{2T_1}{d_1}, \text{ (N)}$

- Lực hướng tâm: $F_{r1} = F_{r2} = F_{t1} \tan \alpha, \text{ (N)}$

- Lực ăn khớp: $F_{n1} = F_{n2} = \frac{F_{t1}}{\cos \alpha}, \text{ (N)}$

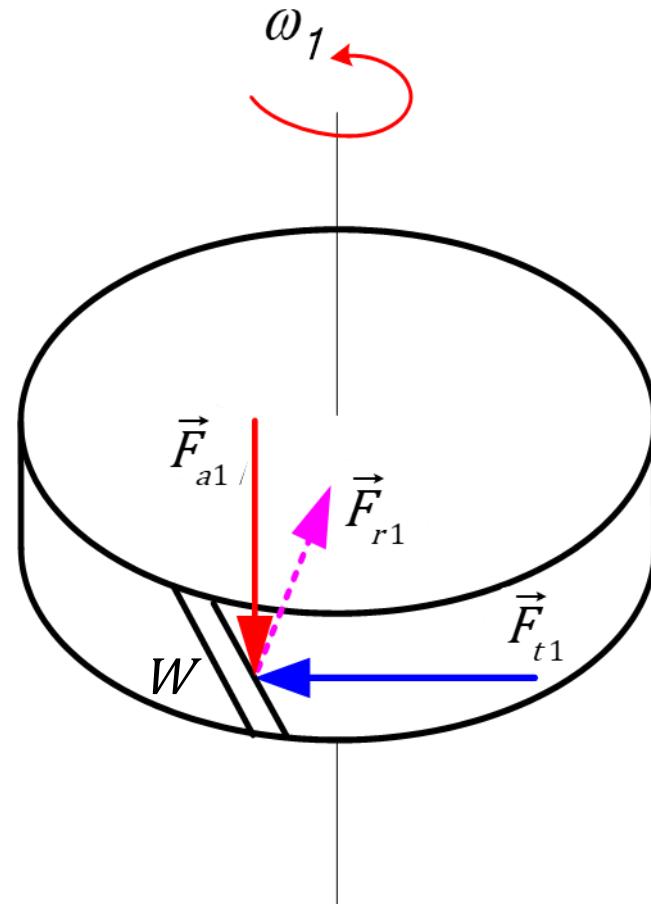
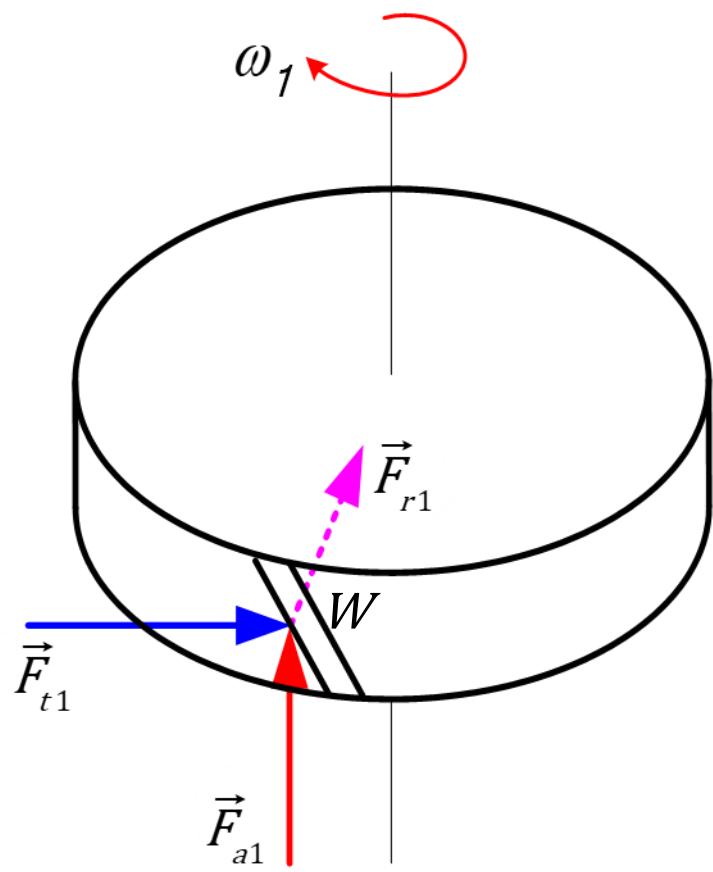
Trong đó: T_1 (Nmm) là mô men xoắn trên trực bánh chủ động, d_1 (mm) đường kính ăn khớp bánh chủ động, α là góc ăn khớp, đối với BR tiêu chuẩn $\alpha = 20^\circ$.



6.3. Tải trọng tính toán

6.3.3. Lực tác dụng trong bộ truyền BR trụ răng nghiêng

❖ Phương, chiều, điểm đặt các lực:

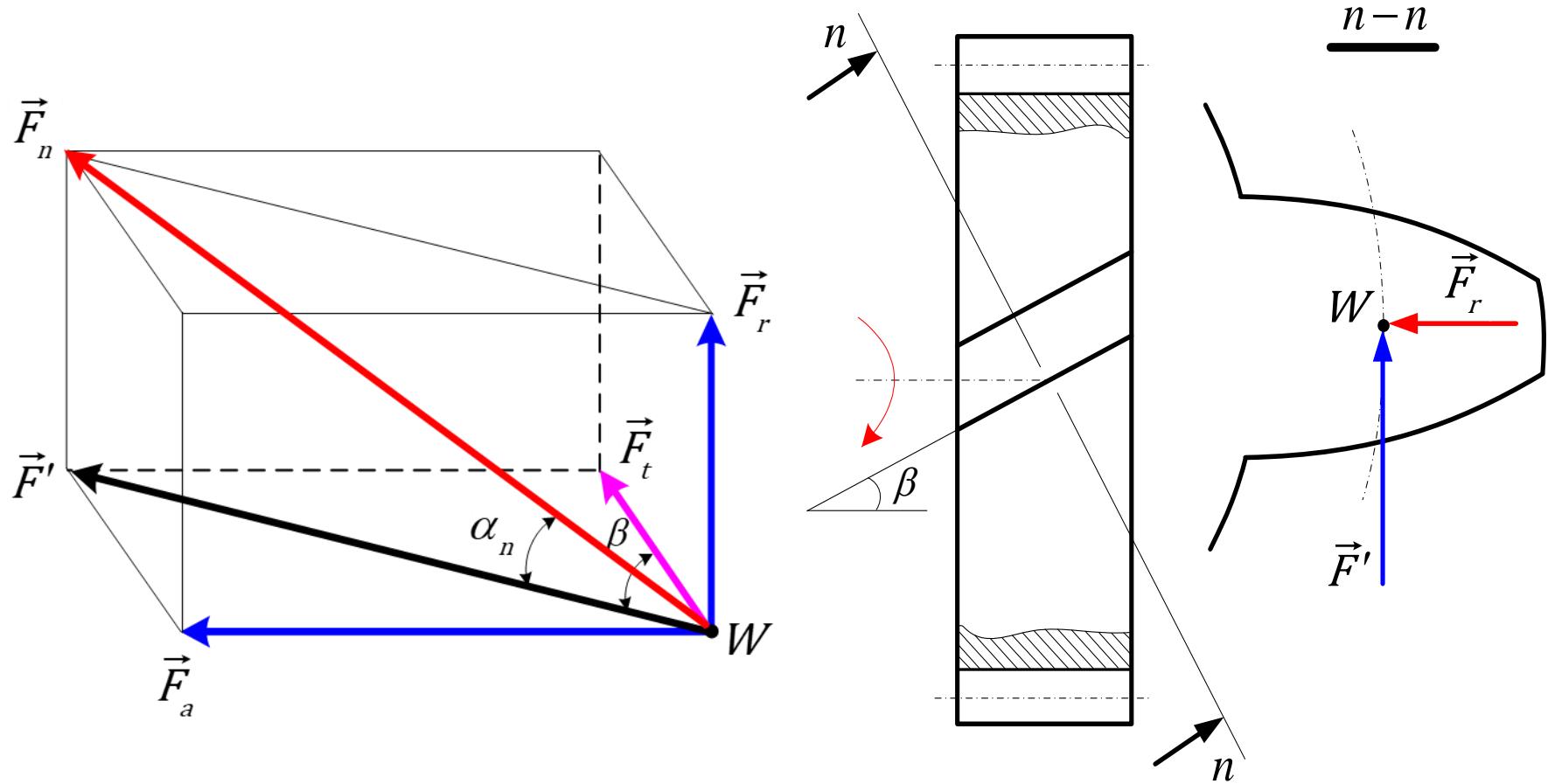


Các lực tác dụng lên bánh chủ động của BR trụ răng nghiêng

6.3. Tải trọng tính toán

6.3.3. Lực tác dụng trong bộ truyền BR trụ răng nghiêng

❖ Phương, chiều, điểm đặt các lực:

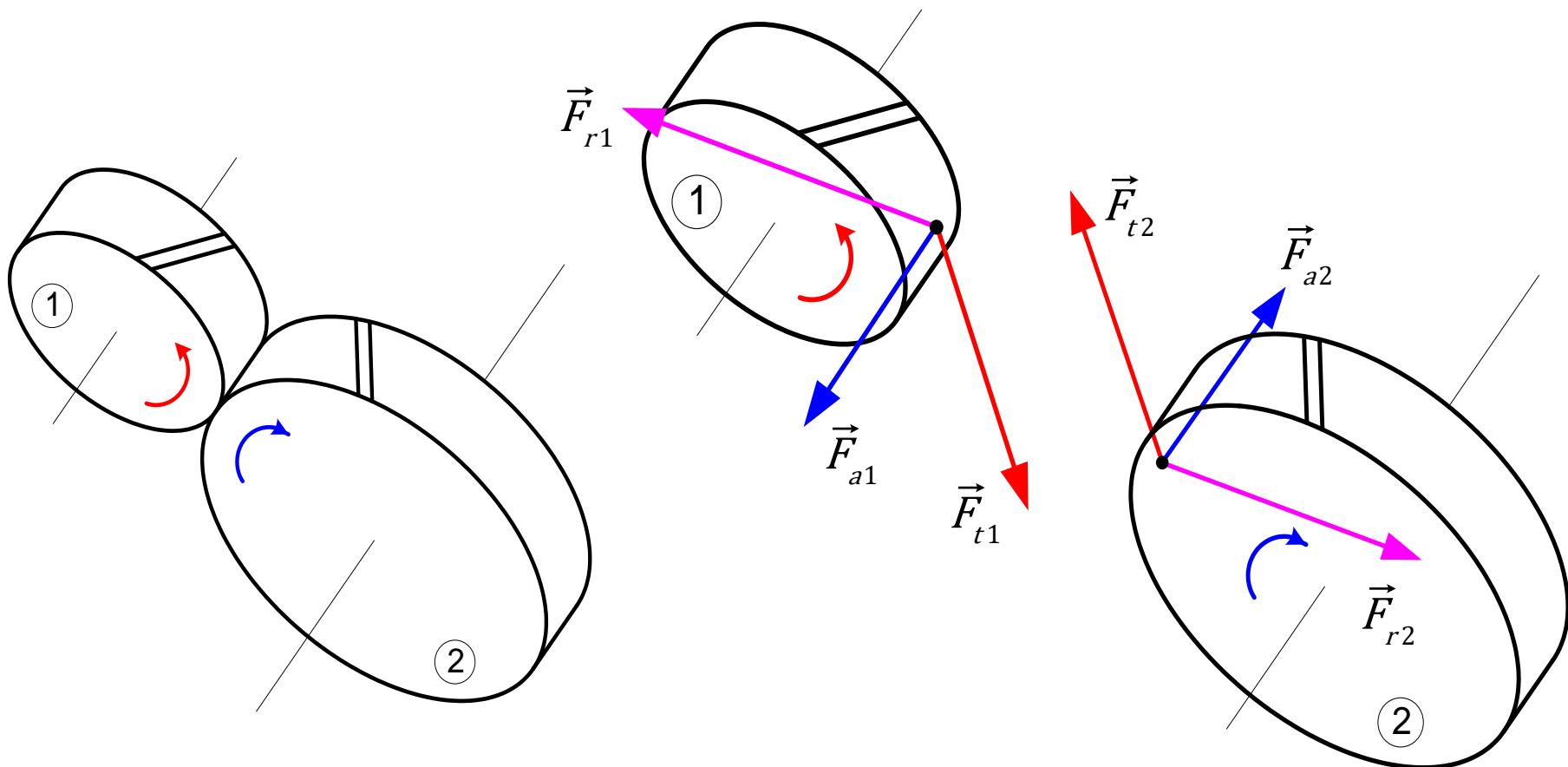


Bánh răng tiêu chuẩn: $\alpha_n = 20^\circ$

6.3. Tải trọng tính toán

6.3.3. Lực tác dụng trong bộ truyền BR trụ răng nghiêng

❖ Phương, chiều, điểm đặt các lực:

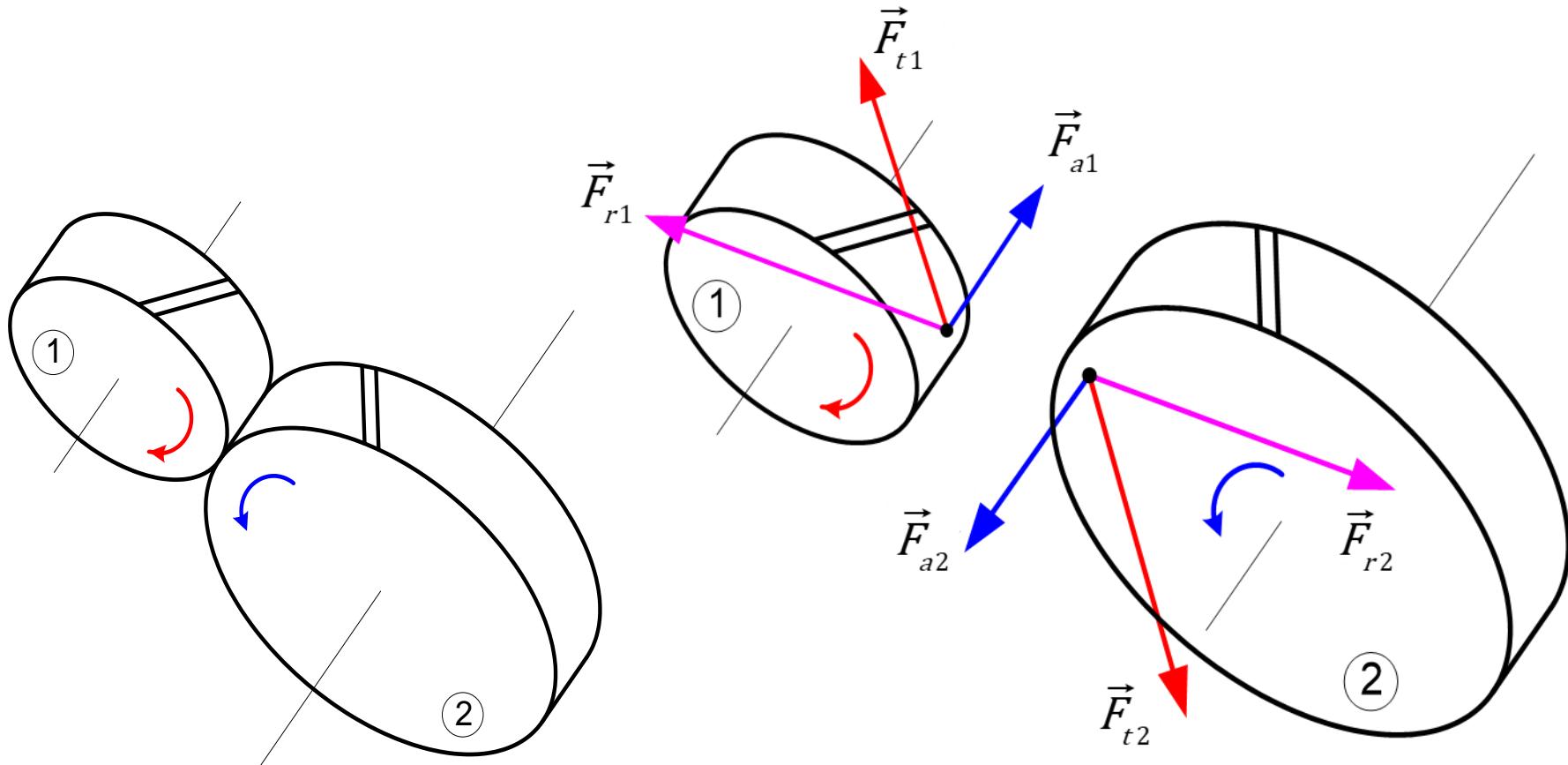


Các lực tác dụng lên bánh cặp BR trụ răng nghiêng ăn khớp

6.3. Tải trọng tính toán

6.3.3. Lực tác dụng trong bộ truyền BR trụ răng nghiêng

❖ Phương, chiều, điểm đặt các lực:



Các lực tác dụng lên bánh cặp BR trụ răng nghiêng ăn khớp

6.3. Tải trọng tính toán

6.3.3. Lực tác dụng trong bộ truyền BR trụ răng nghiêng

❖ Độ lớn của các lực:

- Lực vòng: $F_{t1} = F_{t2} = \frac{2T_1}{d_1}$, (N)

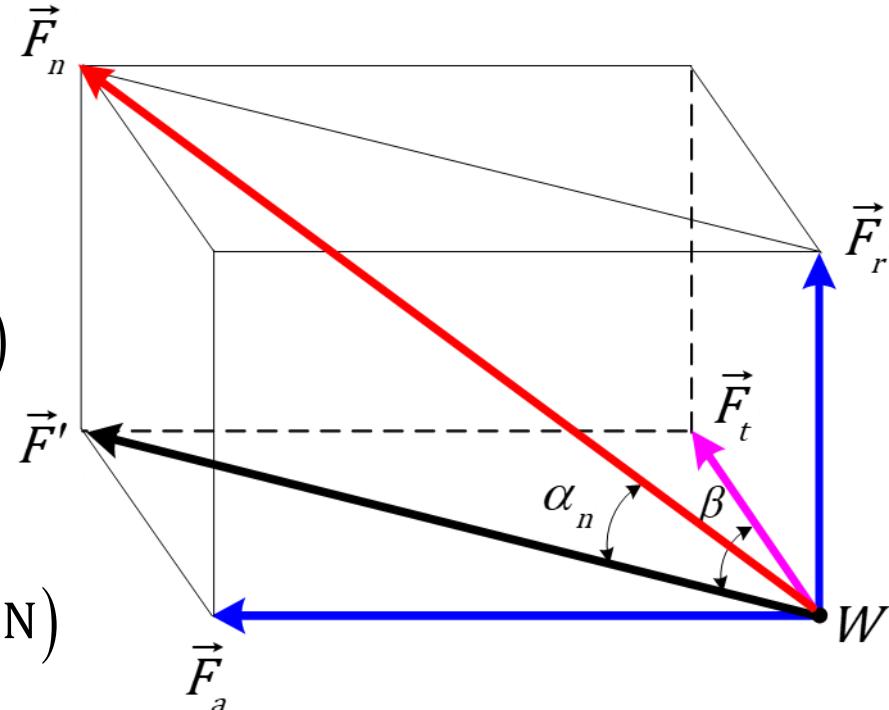
- Lực dọc trực: $F_{a1} = F_{a2} = F_{t1} \tan \beta$, (N)

- Lực hướng tâm:

$$F' = \frac{F_{t1} \tan \alpha_n}{\cos \beta}, \text{ (N)}$$

$$F' = \frac{F_{t1}}{\cos \beta}, \text{ (N)}$$

- Lực ăn khớp: $F_{n1} = F_{n2} = \frac{F'}{\cos \alpha_n} = \frac{F_{t1}}{\cos \beta \cos \alpha_n}$, (N)



6.3. Tải trọng tính toán

6.3.4. Tải trọng tính toán

- Tải trọng tính: $F_{tt} = K \cdot F_{dn}$

Trong đó: F_{dn} là tải trọng danh nghĩa (cho trước) và K là hệ số tải trọng tính,

- Hệ số tải trọng tính: $K = K_\beta K_v K_\alpha$

K_β là hệ số tập trung tải trọng theo chiều rộng vành răng (tra bảng 6.4)

K_v là hệ số tải trọng động tra (bảng 6.5 và bảng 6.6)

K_α là hệ số xét đến sự phân bố tải trọng không đều trên các đôi răng (tra bảng 6.11)

6.3. Tải trọng tính toán

6.3.4. Tải trọng tính toán

Bảng 6.4 Hệ số $K_{H\beta}$, $K_{F\beta}$

Hệ số $\frac{V_{bd}}{V_{bd}}$	Đối xứng ổ trục		Không đối xứng ổ trục				Công xôn		
			L/d ≤ 3 + 6		L/d > 6				
	HB > 350	HB < 350	HB > 350	HB < 350	HB > 350	HB < 350	HB > 350	HB > 350	
Hệ số $K_{H\beta}$									
0,2	1,00	1,00	1,01	1,00	1,06	1,02	1,15	1,07	
0,4	1,01	1,00	1,05	1,02	1,12	1,05	1,35	1,15	
0,6	1,03	1,01	1,09	1,04	1,20	1,08	1,60	1,24	
0,8	1,06	1,03	1,14	1,06	1,27	1,12	1,85	1,35	
1,0	1,10	1,04	1,18	1,08	1,37	1,15	–	–	
1,2	1,13	1,05	1,25	1,10	1,50	1,18	–	–	
1,4	1,15	1,07	1,32	1,13	1,60	1,23	–	–	
1,6	1,20	1,08	1,40	1,16	–	1,28	–	–	
Hệ số $K_{F\beta}$									
0,2	1,00	1,00	1,02	1,01	1,10	1,05	1,25	1,13	
0,4	1,03	1,01	1,07	1,04	1,20	1,12	1,55	1,28	
0,6	1,05	1,02	1,13	1,07	1,30	1,17	1,90	1,50	
0,8	1,08	1,05	1,20	1,11	1,44	1,23	2,30	1,70	
1,0	1,15	1,08	1,27	1,15	1,57	1,32	–	–	
1,2	1,18	1,10	1,37	1,20	1,72	1,40	–	–	
1,	1,25	1,13	1,50	1,25	1,85	1,50	–	–	
1,6	1,30	1,16	1,60	1,32	–	1,60	–	–	

6.3. Tải trọng tính toán

6.3.4. Tải trọng tính toán

Bảng 6.5 Đối với bánh răng trụ thẳng

Cấp chính xác	Độ rắn	K_{Hv}					K_{Fv}				
		Vận tốc vòng v, (m/s)									
		1	5	10	15	20	1	5	10	15	20
6	H_1 và $H_2 > 350HB$	1,02	1,10	1,20	1,30	1,40	1,02	1,10	1,20	1,30	1,40
	H_1 hoặc $H_2 \leq 350HB$	1,03	1,16	1,32	1,48	1,64	1,06	1,32	1,64	1,96	-
7	H_1 và $H_2 > 350HB$	1,02	1,12	1,25	1,37	1,50	1,02	1,12	1,25	1,37	1,50
	H_1 hoặc $H_2 \leq 350HB$	1,04	1,20	1,40	1,60	1,80	1,08	1,40	1,80	-	-
8	H_1 và $H_2 > 350HB$	1,03	1,15	1,30	1,45	1,60	1,03	1,15	1,30	1,45	1,60
	H_1 hoặc $H_2 \leq 350HB$	1,05	1,24	2,48	1,72	1,96	1,10	1,48	1,96	-	-
9	H_1 và $H_2 > 350HB$	1,03	1,17	1,35	1,52	1,70	1,03	1,17	1,35	1,52	1,70
	H_1 hoặc $H_2 \leq 350HB$	1,06	1,28	1,56	1,84	-	1,11	1,56	-	-	-

6.3. Tải trọng tính toán

6.3.4. Tải trọng tính toán

Bảng 6.6 Đối với bánh răng trụ nghiêng

Cấp nhánh xác	Độ rắn	K_{Hv}					K_{Pv}				
		Vận tốc vòng v, (m/s)									
		1	5	10	15	20	1	5	10	15	20
6	H_1 và $H_2 > 350HB$	1,01	1,06	1,08	1,12	1,16	1,01	1,06	1,08	1,12	1,16
	H_1 hoặc $H_2 > 350HB$	1,01	1,06	1,13	1,19	1,26	1,03	1,13	1,26	1,38	1,51
7	H_1 và $H_2 > 350HB$	1,01	1,05	1,10	1,15	1,20	1,01	1,05	1,10	1,15	1,20
	H_1 hoặc $H_2 > 350HB$	1,02	1,08	1,16	1,24	1,32	1,03	1,16	1,32	1,48	1,64
8	H_1 và $H_2 > 350HB$	1,01	1,06	1,12	1,18	1,24	1,01	1,06	1,12	1,18	1,60
	H_1 hoặc $H_2 > 350HB$	1,02	1,10	1,19	1,29	1,38	1,04	1,19	1,38	1,58	1,77
9	H_1 và $H_2 > 350HB$	1,01	1,07	1,14	1,21	1,28	1,01	1,07	1,14	1,21	1,28
	H_1 hoặc $H_2 > 350HB$	1,02	1,11	1,22	1,34	1,45	1,04	1,22	1,45	1,67	-

6.3. Tải trọng tính toán

6.3.4. Tải trọng tính toán

Bảng 6.11 Hệ số K_{Hα}

Vận tốc vòng, (m/s)	Cấp chính xác bộ truyền				
	5	6	7	8	9
2,5	1	1,01	1,03	1,05	1,13
5	1	1,02	1,05	1,09	1,16
10	1,01	1,03	1,07	1,13	–
15	1,01	1,04	1,09	–	–
20	1,02	1,05	1,12	–	–
25	1,02	1,06	–	–	–

6.4. Các dạng phá hỏng và các chỉ tiêu tính toán

6.4.1. Các dạng hỏng

- Gãy răng: Do ứng suất uốn
- Tróc vì mồi bề mặt răng: Do ứng suất tiếp xúc và ma sát trên bề mặt răng
- Mòn răng: Xảy ra ở các bộ truyền hở, bôi trơn kém
- Dính răng: Xảy ra ở các bộ truyền chịu tải trọng lớn, làm việc với vận tốc cao.
- Biến dạng dẻo bề mặt răng: Xảy ra ở bộ truyền chế tạo từ thép mềm, chịu tải trọng lớn và vận tốc thấp.
- Bong bề mặt răng: Xảy ra ở bộ truyền được tăng bền bờ mặt.

6.4. Các dạng phá hỏng và các chỉ tiêu tính toán**6.4.2. Các chỉ tiêu tính****❖ Bộ truyền kín, bôi trơn tốt:**

- Tính theo độ bền tiếp xúc
- Kiểm tra theo độ bền uốn

❖ Bộ truyền hở, bôi trơn kém

- Tính theo độ bền uốn
- Kiểm tra theo độ bền tiếp xúc

6.5. Tính toán truyền động BR trụ răng thẳng

6.5.1. Tính theo độ bền tiếp xúc

- Điều kiện bền: $\sigma_H \leq [\sigma_H]$
- Ứng suất tiếp xúc tính theo công thức Hetz:

$$\sigma_H = Z_M \sqrt{\frac{q_n}{2\rho}}$$

Trong đó: q_n là cường độ tải trọng pháp tuyến

ρ là bán kính cong tương đương của bề mặt tiếp xúc

Z_M là hệ số xét đến cơ tính của vật liệu

- Hệ số xét đến cơ tính của vật liệu:

$$Z_M = \sqrt{\frac{2E_1 E_2}{\pi [E_2(1 - \mu_1^2) + E_1(1 - \mu_2^2)]}}$$

E_1, E_2 là mô đun đàn hồi vật liệu chế tạo bánh chủ động và bánh bị động

μ_1, μ_2 là các hệ số Poisson của vật liệu chế tạo cặp bánh răng

Nếu cặp BR làm bằng thép: $E_1 = E_2 = 210000$ MPa; $\mu_1 = \mu_2 = 0,3$ thì $Z_M = 275$ MPa^{1/2}

6.5. Tính toán truyền động BR trụ răng thẳng

6.5.1. Tính theo độ bền tiếp xúc

- Bán kính cong tương đương: $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2}$

ρ_1, ρ_2 là các bán kính cong tại điểm ăn khớp của các bề mặt thân khai.

Lấy dấu “+” khi ăn khớp ngoài, lấy dấu “–” khi ăn khớp trong.

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= \frac{d_1 \sin \alpha}{2} \\ \rho_2 &= \frac{d_2 \sin \alpha}{2} \end{aligned} \right\} \rightarrow \boxed{\frac{1}{\rho} = \frac{2(u \pm 1)}{ud_1 \sin \alpha}}$$

6.5. Tính toán truyền động BR trụ răng thẳng

6.5.1. Tính theo độ bền tiếp xúc

- Cường độ tải trọng: $q_n = \frac{F_n K_H}{\ell_H}$
 $F_n = \frac{F_{t1}}{\cos \alpha}$ là lực ăn khớp

K_H là hệ số tải trọng tính

ℓ_H là tổng chiều dài tiếp xúc của các đôi răng, xác định theo công thức thực nghiệm:

$$\ell_H = \frac{b}{Z_\varepsilon^2} \quad \text{với} \quad Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_a}{3}}$$

b là chiều rộng vành răng, $b = \psi_{bd} d_1$

ε_a là hệ số trùng khớp ngang, có giá trị $\varepsilon_a = 1,2 \div 1,9$



$$q_n = \frac{2T_1 K_H Z_\varepsilon^2}{bd_1 \cos \alpha}$$

6.5. Tính toán truyền động BR trụ răng thẳng

6.5.1. Tính theo độ bền tiếp xúc

Vậy ứng suất tiếp xúc:

$$\sigma_H = \frac{Z_M Z_H Z_\varepsilon}{d_1} \sqrt{\frac{2T_1 K_H (u \pm 1)}{bu}} \leq [\sigma_H]$$

Với $Z_H = \sqrt{\frac{2}{\sin 2\alpha}}$

$\rightarrow d_1 = K_d \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 K_H (u \pm 1)}{\psi_{bd} [\sigma_H]^2 u}}$

Với $\psi_{bd} = \frac{\psi_{ba} (u \pm 1)}{2}$ và $\psi_{ba} = \frac{b}{a}$

K_d là hệ số phụ thuộc vào: góc ăn khớp, hệ số trùng khớp, vật liệu chế tạo BR.

$K_d = 75,6$ nếu các điều kiện sau thỏa:

- + Cặp BR không dịch chỉnh hay dịch chỉnh đều ($\alpha = 20^\circ$). Khi đó $Z_H = 1,76$
- + Nếu $\varepsilon_\alpha = 1,2$ thì $Z_\varepsilon = 0,96$
- + Vật liệu chế tạo BR bằng thép $Z_M = 275 \text{ MPa}^{1/2}$

6.5. Tính toán truyền động BR trụ răng thẳng

6.5.1. Tính theo độ bền tiếp xúc

- Khoảng cách trực:

$$a = 50(u \pm 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 K_H}{\psi_{ba} [\sigma_H]^2 u}}$$

T_2 là mô men xoắn trên trực BR bị động: $T_2 = uT_1$

ψ_{ba} chọn theo dãy tiêu chuẩn: 0,1; 0,125; 0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4; 0,5; 0,63 hoặc chọn theo bảng 6.15.

Bảng 6.15 *Hệ số ψ_{ba} phụ thuộc vào vị trí bánh răng và độ rắn bề mặt*

Vị trí bánh răng	Độ rắn bề mặt	
	$H_1, H_2 < 350HB$	$H_1, H_2 \geq 350HB$
Đối xứng	0,30 + 0,50	0,25 + 0,30
Không đối xứng	0,25 + 0,40	0,20 + 0,25
Công xôn	0,20 + 0,25	0,15 + 0,20

6.5. Tính toán truyền động BR trụ răng thẳng

6.5.1. Tính theo độ bền tiếp xúc

- Khoảng cách trực:

$$a = 50(u \pm 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 K_H}{\psi_{ba} [\sigma_H]^2 u}}$$

Đối với hộp giảm tốc tiêu chuẩn, khoảng cách trực a được quy theo dãy tiêu chuẩn (Dãy 1 được ưu tiên):

Dãy 1	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	...
Dãy 2	140	180	225	280	355	450					

Nếu hộp giảm tốc không tiêu chuẩn a được quy theo dãy:

80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 120; 125; 130 và cách khoảng 10
nếu $d \leq 260$ và cách khoảng 20 khi $d \leq 420$

6.5. Tính toán truyền động BR trụ răng thẳng

6.5.1. Tính theo độ bền tiếp xúc

- Mô đun: $m = (0,01 \div 0,02)a$

Sau khi tính mô đun m phải làm tròn theo dãy tiêu chuẩn.

- Số răng trên hai BR: $z_1 = \frac{2a}{m(u+1)}$; $z_2 = uz_1$

Số răng z_1, z_2 tối thiểu phải bằng 17 để tránh hiện tượng cắt lém chân răng. Sau khi tính được z_1, z_2 thì phải tính lại khoảng cách trực a và đường kính vòng chia các BR d_1, d_2 .

6.5. Tính toán truyền động BR trụ răng thẳng

6.5.2. Tính theo độ bền uốn

- Góc áp lực $\alpha' = \alpha + \Delta\alpha$

Thường có giá trị: $\alpha' = 28^\circ \div 30^\circ$

- Ứng suất uốn tính toán:

$$\sigma_F = \sigma K_\sigma$$

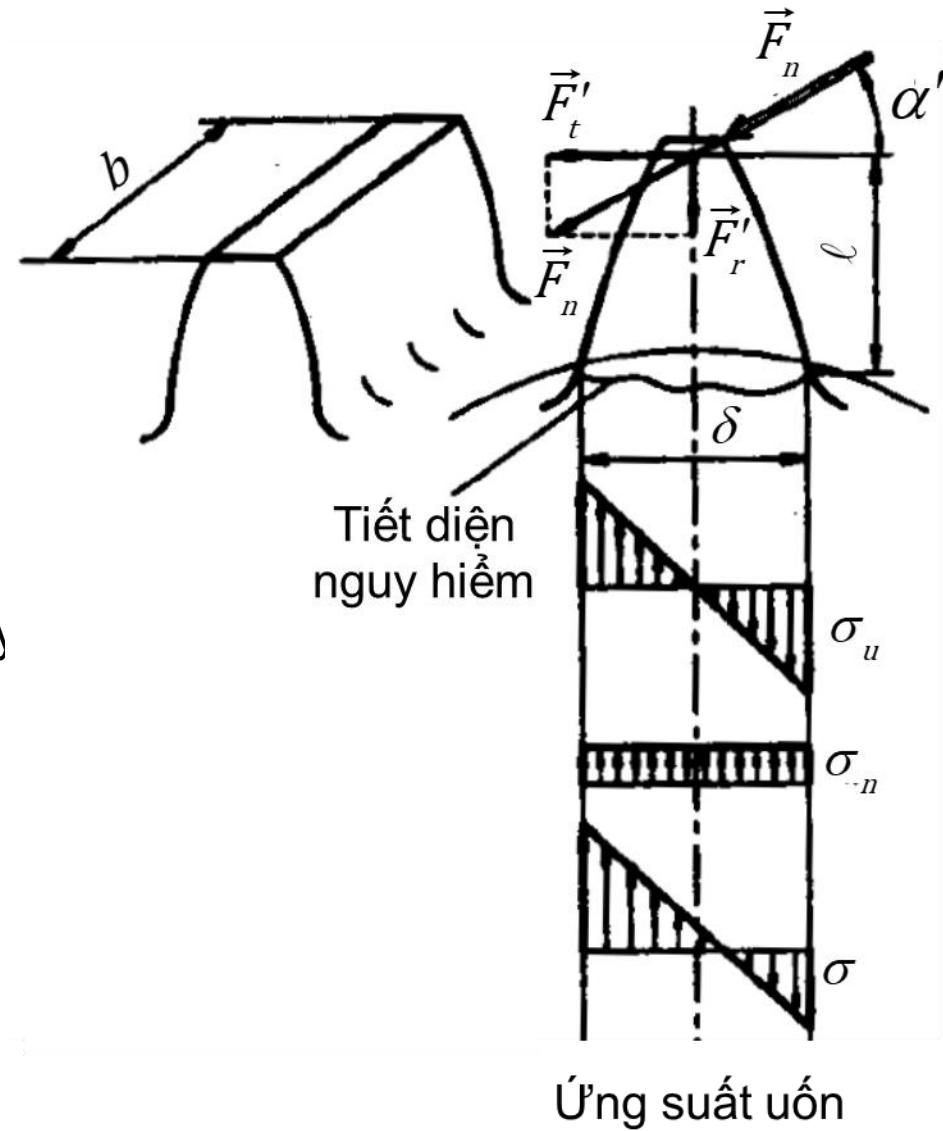
σ là ứng suất danh nghĩa

K_σ là hệ số tập trung ứng suất lý thuyết

- Lực pháp tuyến F_n đặt tại đỉnh răng:

$$F'_t = F_n \cos \alpha' = \frac{F_t \cos \alpha'}{\cos \alpha}$$

$$F'_r = F_n \sin \alpha' = \frac{F_t \sin \alpha'}{\cos \alpha}$$



6.5. Tính toán truyền động BR trụ răng thẳng

6.5.2. Tính theo độ bền uốn

- Ứng suất danh nghĩa tại chân răng: $\sigma = \sigma_u - \sigma_n = \frac{F'_t \cdot \ell}{W} + \frac{F'_r}{A}$

σ_u , và σ_n lần lượt là ứng suất uốn và ứng suất nén sinh ra trong chân răng.

W là mô men cản uốn tiết diện nguy hiểm, $W = \frac{b\delta^2}{6}$

$A = b\delta$ là diện tích tiết diện nguy hiểm

b, δ lần lượt là chiều rộng và chiều dày tại tiết diện nguy hiểm

ℓ là cánh tay đòn lực uốn

Vì ℓ và δ tỷ lệ bậc nhất với mô đun m nên: $\ell = \ell' m; \delta = \delta' m$

Vậy:
$$\sigma_F = \frac{F_t K_F}{bm} \left[\frac{6\ell'}{(\delta')^2} \frac{\cos \alpha'}{\cos \alpha} - \frac{\sin \alpha'}{\delta' \cos \alpha} \right] K_\sigma$$

6.5. Tính toán truyền động BR trụ răng thẳng

6.5.2. Tính theo độ bền uốn

- Hệ số dạng răng:
$$Y_F = \left[\frac{6\ell'}{\left(\delta'\right)^2} \frac{\cos\alpha'}{\cos\alpha} - \frac{\sin\alpha'}{\delta' \cos\alpha} \right] K_\sigma$$

Đối với bộ truyền ăn khớp ngoài: $Y_F = 3 \div 4,6$

Đối với bộ truyền ăn khớp trong: $Y_F = 3,5 \div 4$

Bộ truyền ăn khớp ngoài có thể tính Y_F bằng công thức thực nghiệm như sau:

$$Y_F = 3,47 + \frac{13,2}{z} + \frac{27,9x}{z} + 0,092x^2$$

z là số răng
 x là hệ số dịch chỉnh

Đối với bộ truyền ăn khớp trong Y_F được xác định:

z	40	50	60	≥ 70
Y_F	4,02	3,88	3,80	3,75

6.5. Tính toán truyền động BR trụ răng thẳng

6.5.2. Tính theo độ bền uốn

- Công thức kiểm nghiệm độ bền uốn:

$$\sigma_F = \frac{Y_F F_t K_F}{bm} \leq [\sigma_F]$$

K_F là hệ số tải trọng tính toán, $K_F = K_{F\beta} K_{Fv}$, đối với bộ truyền BR trụ răng thẳng có thể chọn sơ bộ $\sqrt[3]{2K_{Fv}} = 1,4$, $K_{F\beta}$ tra bảng 6.11.

$$\psi_{bm} = \frac{b}{m}$$

$$F_{t1} = \frac{2T_1}{d_1} = \frac{2T_1}{mz_1}$$

- Công thức thiết kế BR theo độ bền uốn:

$$m = \sqrt[3]{\frac{2T_1 K_F Y_F}{z_1 \psi_{bm} [\sigma_F]}} = \sqrt[3]{\frac{2T_1 K_F Y_F}{z_1^2 \psi_{bd} [\sigma_F]}}$$

Hệ số ψ_{bd} tra bảng 6.16

6.5. Tính toán truyền động BR trụ răng thẳng

6.5.2. Tính theo độ bền uốn

Bảng 6.16 Hệ số ψ_{bd} phụ thuộc vào vị trí bánh răng và độ rắn bể mặt

Vị trí bánh răng	Độ rắn bể mặt	
	$H_1, H_2 < 350HB$	$H_1, H_2 \geq 350HB$
Đối xứng	0,80 ÷ 1,40	0,40 ÷ 0,90
Không đối xứng	0,60 ÷ 1,20	0,30 ÷ 0,60
Công xôn	0,30 ÷ 0,40	0,20 ÷ 0,25

6.5. Tính toán truyền động BR trụ răng thẳng

❖ Tóm lại:

- **Bộ truyền kín, bôi trơn tốt:**

✓ Thiết kế theo σ_H : $a = 50(u \pm 1) \sqrt[3]{\frac{T_1 K_H}{\psi_{ba} [\sigma_H]^2 u}}$

✓ Kiểm nghiệm theo σ_F : $\sigma_F = \frac{Y_F F_t K_F}{bm} \leq [\sigma_F]$

- **Bộ truyền dễ hỏng, bôi trơn kém:**

✓ Thiết kế theo σ_F : $m = \sqrt[3]{\frac{2T_1 K_F Y_F}{z_1 \psi_{bm} [\sigma_F]}} = \sqrt[3]{\frac{2T_1 K_F Y_F}{z_1^2 \psi_{bd} [\sigma_F]}}$

✓ Kiểm nghiệm theo σ_H : $\sigma_H = \frac{Z_M Z_H Z_\varepsilon}{d_1} \sqrt{\frac{2T_1 K_H (u \pm 1)}{bu}} \leq [\sigma_H]$

6.6. Tính bền BR trụ răng nghiêng và chữ V**6.6.1. Các đặc điểm của bộ truyền BR trụ răng nghiêng, chữ V**

- Ăn khớp êm và tải trọng động giảm
- Cường độ tải trọng trên BR trụ răng nghiêng nhỏ hơn trên BR thẳng
- Thay thế BR trụ răng nghiêng bằng bánh răng trụ răng thẳng tương đương
- Đường tiếp xúc nằm chêch trên mặt răng
- Công thức tính số răng tương đương z_1, z_2 của BR trụ răng nghiêng:

$$F_{t1} = \frac{2T_1}{d_1} = \frac{2T_1 \cos \beta}{m_n z_1} = \frac{2T_2 \cos \beta}{m_n z_2} = F_{t2}$$

6.6. Tính bền BR trụ răng nghiêng và chữ V

6.6.2. Tính độ bền tiếp xúc

- Thay thế BR nghiêng bằng BR trụ răng thẳng tương đương: Sử dụng công thức tính toán BR thẳng nhưng thay các thông số của BR trụ tương đương vào.
- Công thức kiểm tra bền:

$$\sigma_H = \frac{Z_M Z_H Z_\varepsilon}{d_1} \sqrt{\frac{2T_1 K_H (u \pm 1)}{bu}} \leq [\sigma_H]$$

$$Z_H = \sqrt{\frac{2\cos\beta}{\sin 2\alpha}} \leq [\sigma_H]$$

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha}}$$

- Công thức thiết kế:

$$a = 43(u \pm 1) \sqrt[3]{\frac{T_1 K_H}{\psi_{ba} [\sigma_H]^2 u}}$$

Tương tự bộ truyền BR trụ răng thẳng, ta phải chọn môn đun m_n theo tiêu chuẩn. Sau đó tính các kích thước chủ yếu của bộ truyền thỏa mãn các điều kiện.

$8^\circ \leq \beta \leq 20^\circ$ đối với răng nghiêng

$30^\circ \leq \beta \leq 40^\circ$ đối với răng chữ V

6.6. Tính bền BR trụ răng nghiêng và chữ V

6.6.3. Tính độ bền uốn

- Thay thế BR nghiêng bằng BR trụ răng thẳng tương đương: Sử dụng công thức tính toán BR thẳng nhưng thay các thông số của BR trụ tương đương vào.
- Công thức kiểm tra bền:

$$\sigma_F = \frac{Y_F F_t K_F Y_e Y_\beta}{bm_n} \leq [\sigma_F]$$

$$Y_e = \frac{1}{\varepsilon_\alpha}$$

hệ số xét đến ảnh hưởng của trùng khớp ngang

$$Y_\beta = 1 - \frac{\beta^\circ}{140^\circ}$$

hệ số xét đến ảnh hưởng của góc nghiêng răng

$$Y_F = 3,47 + \frac{13,2}{Z_{td}} - \frac{27,9x}{Z_{td}} + 0,092x^2$$

hệ số dạng răng theo số răng tương đương

6.6. Tính bền BR trụ răng nghiêng và chữ V**6.6.3. Tính độ bền uốn**

- Thay thế BR nghiêng bằng BR trụ răng thẳng tương đương: Sử dụng công thức tính toán BR thẳng nhưng thay các thông số của BR trụ tương đương vào.
- Công thức thiết kế:

$$m_n = \sqrt[3]{\frac{2T_1 K_F Y_F Y_\varepsilon Y_\beta}{Z_1 \psi_{bm} [\sigma_F]}} = \sqrt[3]{\frac{2T_1 K_F Y_F Y_\varepsilon Y_\beta}{Z_1^2 \psi_{bd} [\sigma_F]}}$$

$\psi_{bm} = 15^\circ \div 40^\circ$ đối với BR nghiêng

$\psi_{bm} = 30^\circ \div 60^\circ$ đối với BR chữ V

6.7. Tính toán bộ truyền BR côn (nón) răng thẳng

6.7.1. Đặc điểm của bộ truyền

- Công dụng: Dùng để truyền chuyển động giữa hai trục giao nhau
- Chế tạo và lắp ráp phức tạp. Bố trí ổ khó khăn do trục giao nhau, lực dọc trục lớn nên kết cấu ổ phức tạp.
- Cùng tải trọng: BR côn có kích thước và khối lượng lớn hơn BR trụ.
- Bao gồm: **Răng thẳng**, răng nghiêng, **răng cung tròn**, răng cong.
- ✓ Răng thẳng: Lắp ráp đơn giản, truyền chuyển động ở vận tốc thấp: $v \leq 2 \div 3 \text{ m/s}$, tỷ số u truyền nhỏ.
- ✓ Răng cung tròn: Ăn khớp êm, ít ồn, khả năng tải cao, tính công nghệ cao, truyền chuyển động ở vận tốc cao.

6.7. Tính toán bộ truyền BR côn (nón) răng thẳng

6.7.2. Các thông số hình học

- Đường kính vòng chia ngoài:

$$d_{e1} = m_e z_1; d_{e2} = m_e z_2$$

m_e là mô đun vòng ngoài chọn theo dây tiêu chuẩn.

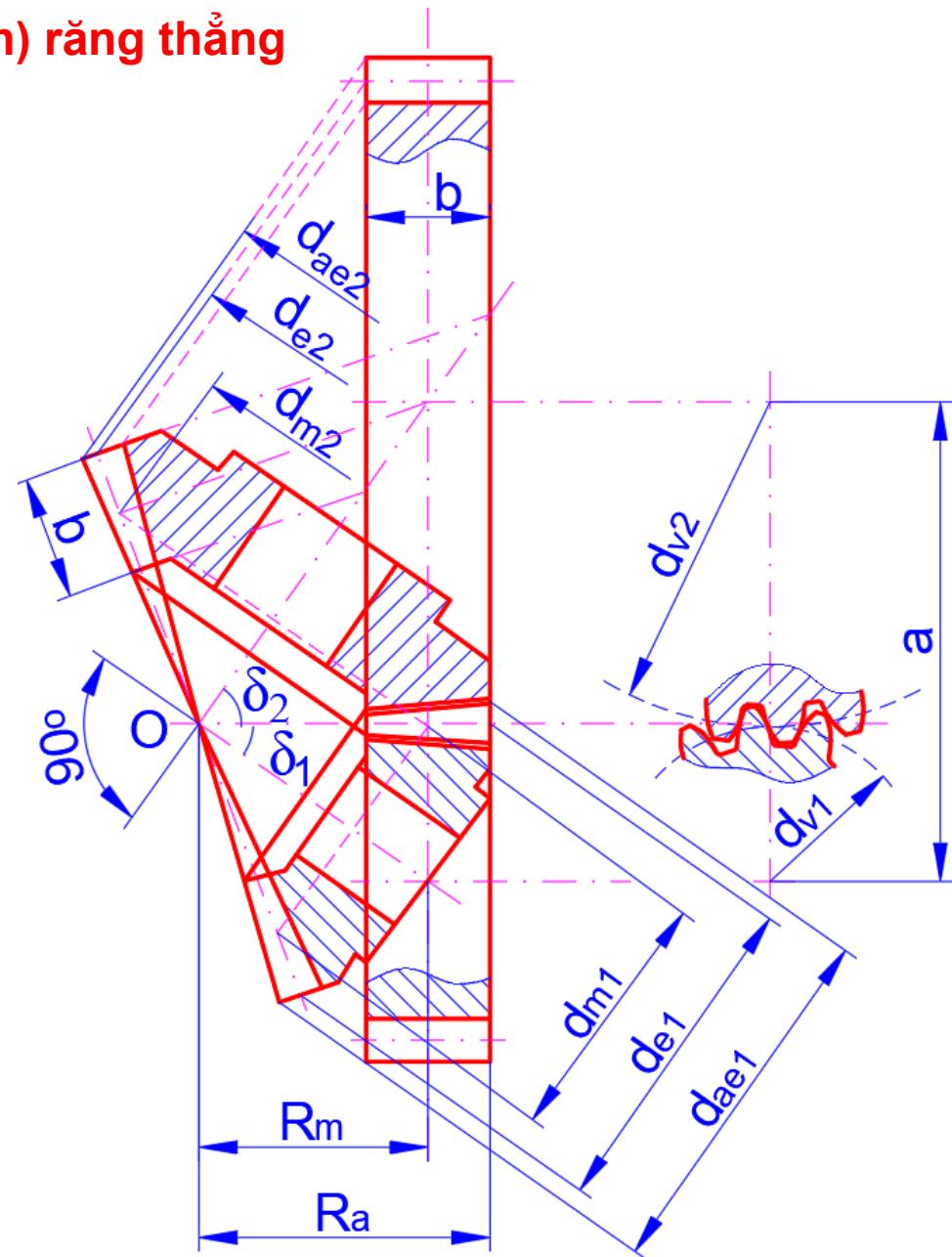
- Đường kính vòng chia trung bình:

$$d_{m1} = m_n z_1; d_{m2} = m_n z_2$$

m_n là mô đun vòng trung bình

- Tỷ số truyền:

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_{e2}}{d_{e1}} = \frac{d_{m2}}{d_{m1}} = \frac{z_2}{z_1}$$



6.7. Tính toán bộ truyền BR côn (nón) răng thẳng

6.7.2. Các thông số hình học

- Góc côn: δ_1, δ_2

$$\delta_1 + \delta_2 = 90^\circ \text{ nếu 2 trục vuông góc}$$

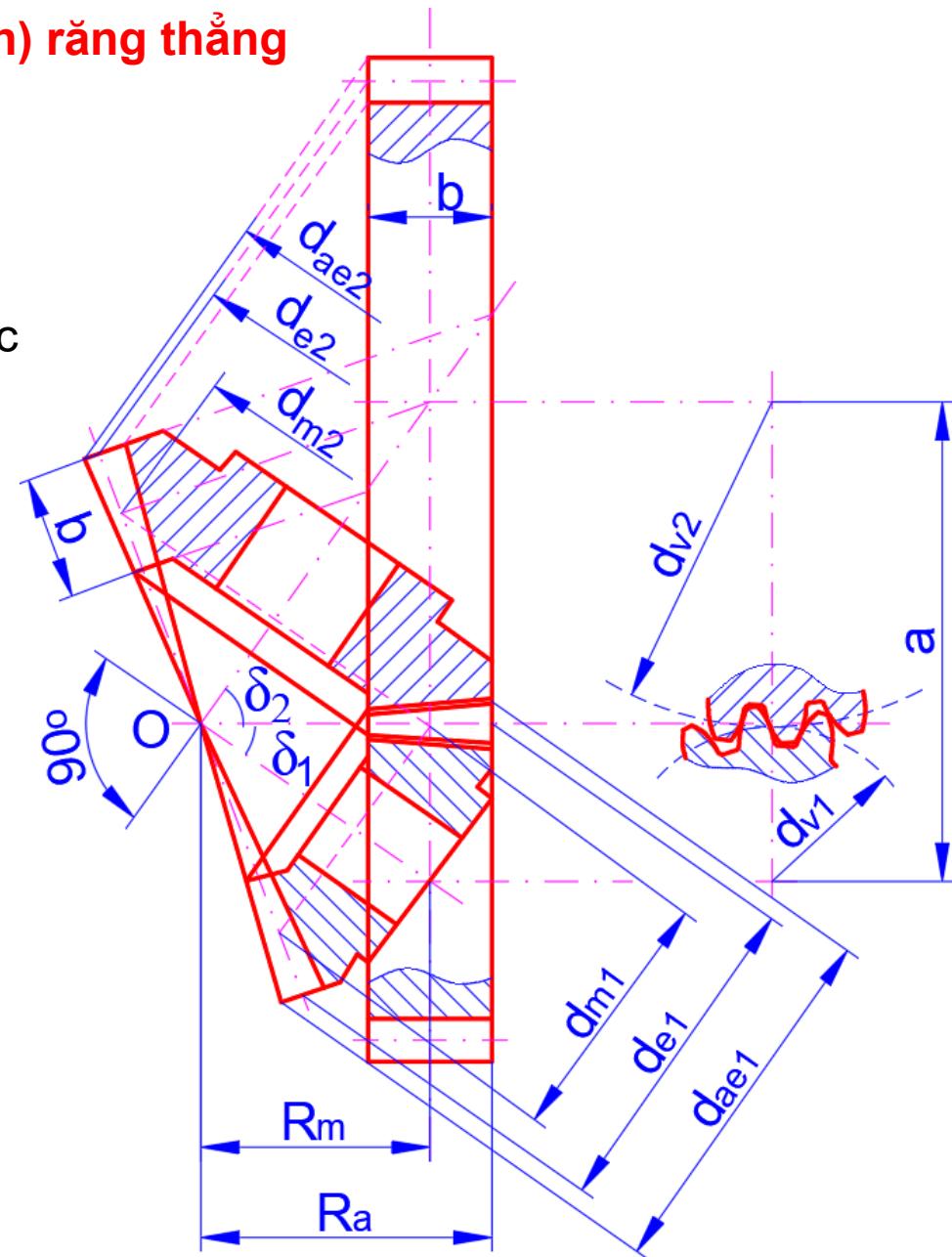
$$\tan \delta_1 = \frac{d_{m1}}{d_{m2}} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{u}$$

- Chiều dài côn ngoài

$$R_e = \frac{d_{e1}}{2\sin \delta_1} = 0,5m_e \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$$

- Chiều dài côn trung bình

$$R_m = \frac{d_{m1}}{2\sin \delta_1} = 0,5m_m \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$$



6.7. Tính toán bộ truyền BR côn (nón) răng thẳng

6.7.3. Các lực tác dụng

❖ Bánh chủ động:

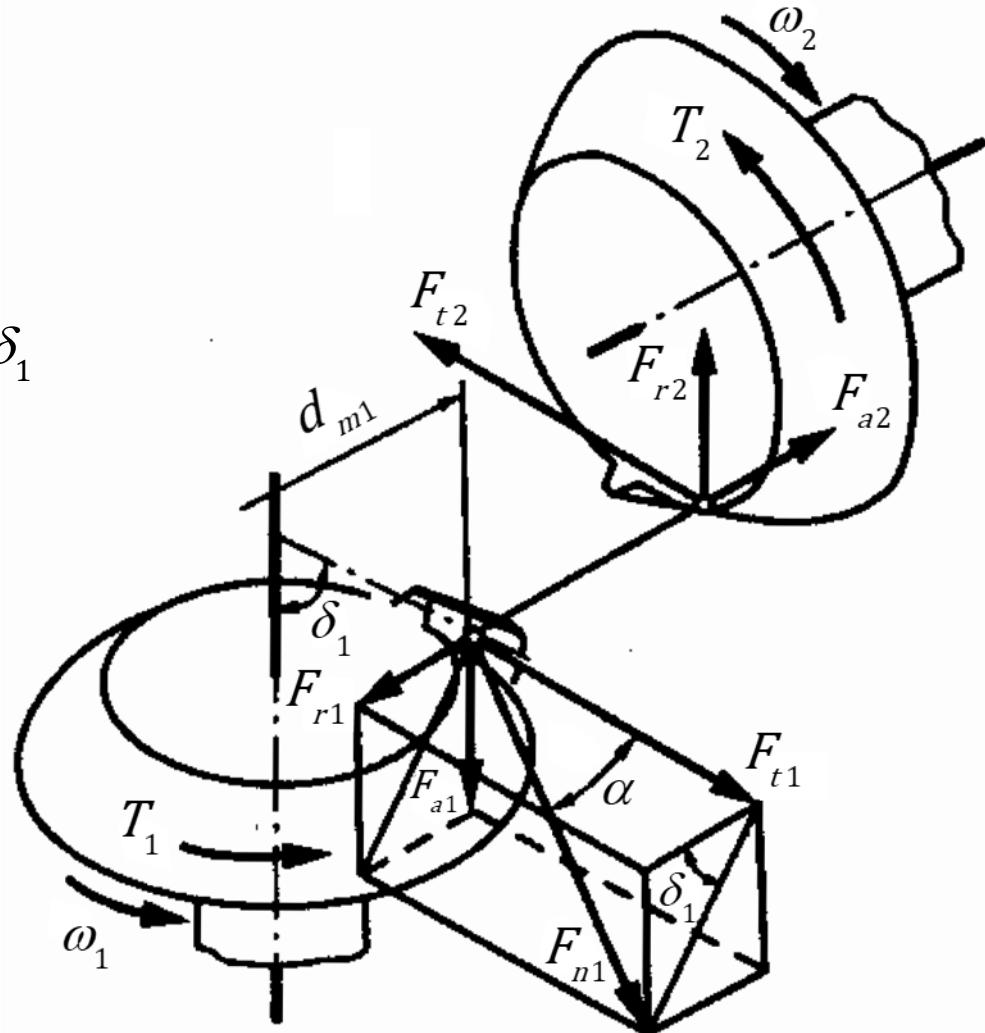
- Lực vòng: $F_{t1} = \frac{2T_1}{d_{m1}}$
- Lực hướng tâm: $F_{r1} = F_1 \tan \alpha \cos \delta_1$
- Lực dọc trực: $F_{a1} = F_{t1} \tan \alpha \sin \delta_1$

❖ Bánh bị động:

$$F_{t2} = F_{t1}$$

$$F_{r2} = F_{a1}$$

$$F_{a2} = F_{r1}$$



6.7. Tính toán bộ truyền BR côn (nón) răng thẳng

6.7.4. Tính toán bộ truyền

❖ Hệ số tải trọng tính:

- Nếu tính theo độ bền tiếp xúc: $K_H = K_{H\beta} K_{Hv} K_{H\alpha}$
- Nếu tính theo độ bền uốn: $K_F = K_{F\beta} K_{Fv} K_{F\alpha}$

$$K_{H\alpha} = K_{F\alpha} = 1$$

Bảng 6.17 Hệ số $K_{Hv} = K_{Fv}$ bộ truyền bánh răng côn răng thẳng

Cấp chính xác	Vận tốc, (m/s)									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
7	1,04	1,045	1,05	1,06	1,065	1,07	1,075	1,08	1,085	1,09
8	1,08	1,100	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	-	-

6.7. Tính toán bộ truyền BR côn (nón) răng thẳng

6.7.4. Tính toán bộ truyền

❖ Hệ số tải trọng tính:

Bảng 6.18 Hệ số $K_{H\beta}$ bộ truyền bánh răng côn răng thẳng

Tỷ số ψ_{be} $\frac{\psi_{be} \cdot U}{2 - \psi_{be}}$	Lắp trên ổ bi đỡ chặn		Lắp trên ổ đùa côn	
	HB > 350	HB ≤ 350	HB > 350	HB ≤ 350
0,2	1,16	1,07	1,25	1,15
0,4	1,37	1,14	1,55	1,30
0,6	1,58	1,23	1,92	1,48
0,8	1,80	1,34	–	1,67
1,0	–	–	–	1,90

Tính gần đúng: $K_{F\beta} = 1 \div 1,5(K_{H\beta} - 1)$

6.7. Tính toán bộ truyền BR côn (nón) răng thẳng

6.7.5. Các đặc điểm khi tính toán

- Đường kính vòng chia trung bình:

$$d_{m1} = d_{e1} \left(1 - 0,5\psi_{be} \right)$$

$$d_{m2} = d_{e2} \left(1 - 0,5\psi_{be} \right)$$

$\psi_{be} = \frac{b}{R_e}$ là hệ số chiều rộng vành răng côn

- Mối quan hệ giữa mô đun vòng ngoài và mô đun vòng trung bình:

$$m_m = m_e \left(1 - 0,5\psi_{be} \right)$$

- Đường kính BR trụ răng thẳng tương đương:

$$d_{v1} = \frac{d_{m1}}{\cos \delta_1}; \quad d_{v2} = \frac{d_{m1}}{\cos \delta_2} = \frac{d_{m1}}{\sin \delta_1}$$

6.7. Tính toán bộ truyền BR côn (nón) răng thẳng

6.7.5. Các đặc điểm khi tính toán

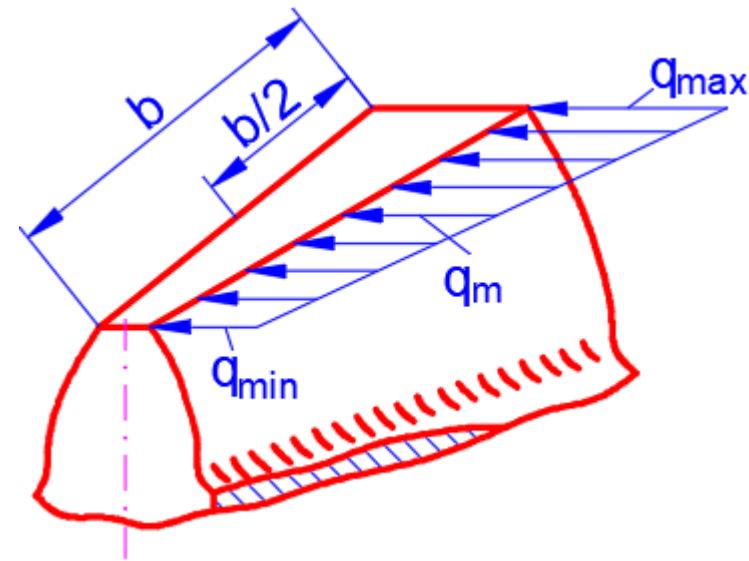
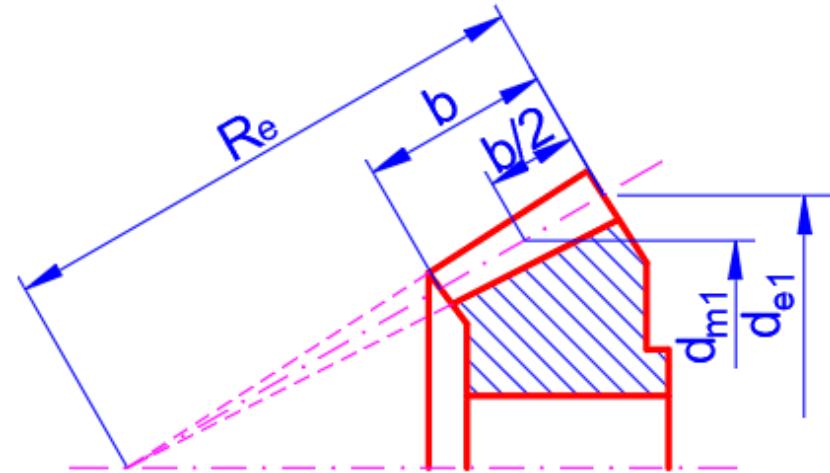
- Tỷ số truyền tương đương:

$$u_v = \frac{z_{v2}}{z_{v1}} = \frac{z_2 \cos \delta_1}{z_1 \cos \delta_2} = \left(\frac{\cos \delta_1}{\cos \delta_2} \right)^2 = u^2$$

- Tải trọng phân bố:

- Tải trọng phân bố theo chiều rộng vành răng không đều.
- Ứng suất uốt tại chân răng không đổi tại các mặt cắt dọc theo chiều rộng vành răng và có độ lớn:

$$\sigma_u = \frac{q_n}{\rho} = \frac{q_{\max} + q_{\min}}{2\rho}$$



6.7. Tính toán bộ truyền BR côn (nón) răng thẳng

6.7.6. Tính toán theo độ bền tiếp xúc

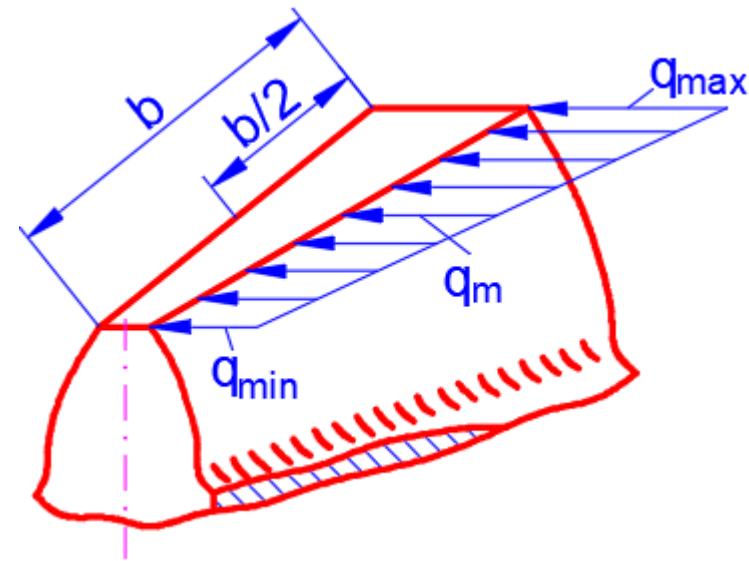
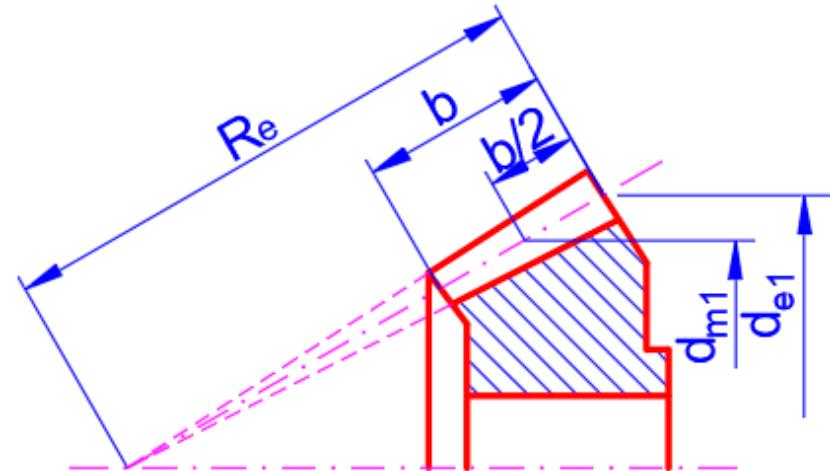
- Bán kính cong tương đương:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{2}{d_{m1} \sin \alpha} \frac{\sqrt{u^2 + 1}}{u}$$

- Cường độ tải trọng phân bố:

$$q_n = \frac{q_{\max} + q_{\min}}{2} = \frac{F_t K_H}{b \cos \alpha}$$

- Công thức Hertz: $\sigma_H = Z_M \sqrt{\frac{q_n}{2\rho}}$



6.7. Tính toán bộ truyền BR côn (nón) răng thẳng

6.7.6. Tính toán theo độ bền tiếp xúc

- Công thức kiểm nghiệm:

$$\sigma_H = Z_H Z_M Z_\varepsilon \sqrt{\frac{2T_1 K_H \sqrt{u^2 + 1}}{0,85 d_{m1}^2 b u}} \leq [\sigma_H]$$

- Công thức thiết kế:

$$d_{e1} = 95 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 K_{H\beta}}{0,85(1 - 0,5\psi_{be})^2 \psi_{be} u [\sigma_H]^2}}$$

- Lưu ý: Các hệ số Z_M , Z_H , Z_ε được tính như bánh răng trụ răng thẳng.
- Dựa vào công thức thiết kế trên ta chọn được **số răng** của các bánh răng, tiếp theo đó ta tính mô đun trên mặt mút lớn m_e và chọn theo tiêu chuẩn.

6.7. Tính toán bộ truyền BR côn (nón) răng thẳng**6.7.7. Tính toán theo độ bền uốn**

- Công thức kiểm nghiệm:

$$\sigma_F = \frac{Y_F F_t K_F}{0,85 b m_m} \leq [\sigma_F]$$

- Công thức thiết kế:

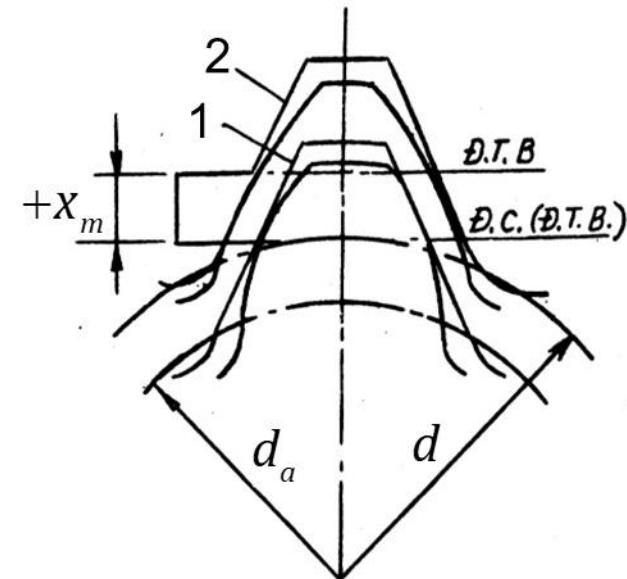
$$m_e = \sqrt[3]{\frac{2T_1 K_F Y_{F1}}{0,85 \psi_{bd} Z_1 [\sigma_F] (1 - 0,5 \psi_{be})^2}}$$

6.8. Vật liệu và ứng suất cho phép

Sinh viên đọc tài liệu!

6.9. Sự dịch chỉnh của BR

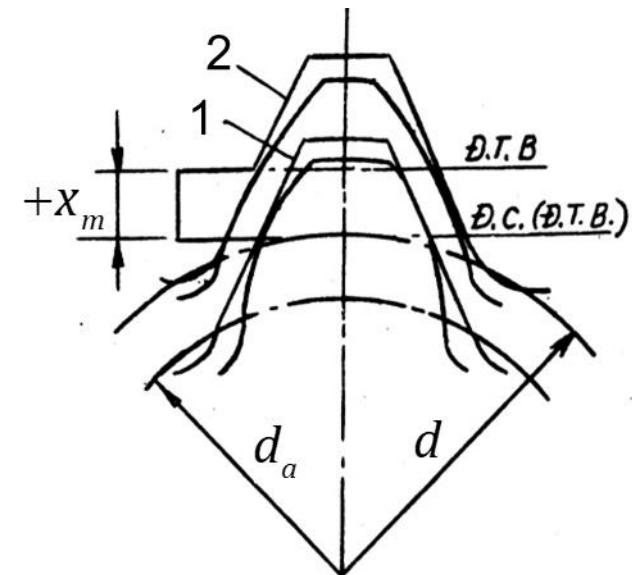
- **Dịch chỉnh BR:** là dùng đoạn thân khai của vòng cơ sở cũ để làm cạnh rang, nhờ đó cải thiện được chất lượng ăn khớp.
- **Công dụng của dịch chỉnh BR:**
 - ✓ Khắc phục hiện tượng cắt chân răng khi $Z < Z_{\min}$
 - ✓ Tăng độ bền uốn của răng do tăng chiều dày đáy răng
 - ✓ Tăng độ bền tiếp xúc do tăng bán kính cong tại tâm ăn khớp
 - ✓ Đảm bảo được khoảng cách trực cho trước.
- **Khi cắt răng dịch chỉnh:**
 - ✓ Vị trí 1: Cắt BR không dịch chỉnh thì đường trung bình của dao trùng với đường chia.
 - ✓ Vị trí 2: Cắt BR dịch chỉnh thì dao dịch một khoảng x_m gọi là khoảng dịch chỉnh.



6.9. Sự dịch chỉnh của BR

- Dịch chỉnh dao dương và dịch chỉnh dao âm:**

- ✓ Khi dịch dao dương ($+x_m$) thì chiều dày răng tăng, đỉnh răng nhọn lại, tăng sức bền uốn của răng.
- ✓ Khi dịch dao âm ($-x_m$) thì dạng răng thay đổi ngược lại.



- Dịch chỉnh đều và dịch chỉnh góc:**

- ✓ **Dịch chỉnh đều:** Thực hiện khi tỷ số truyền u lớn, thu được dạng răng của bánh dẫn và bánh bị dẫn có độ bền uốn đều.

Bánh nhỏ dịch dao dương ($x_1 > 0$), bánh lớn dịch dao âm ($x_2 < 0$) nên:

- + Tổng dịch chỉnh: $x_1 + x_2 = 0$
- + Khoảng cách trực không đổi, góc ăn khớp α không đổi.
- + Chiều dày răng bánh nhỏ tăng, bánh lớn giảm nhưng tổng chiều dày không đổi.

6.9. Sự dịch chỉnh của BR

- **Dịch chỉnh đều và dịch chỉnh góc:**

✓ **Dịch chỉnh góc:**

Cả 2 bánh đều dịch dao dương nên:

+ Tổng dịch chỉnh: $x_1 + x_2 > 0$

+ Chiều dày răng bánh nhỏ và bánh lớn đều lớn hơn $\pi/2$, các vòng chia không tiếp xúc nhau.

+ Vòng lăn lớn hơn vòng chia.

+ Khoảng cách trực và góc ăn khớp đều tăng lên

+ Hệ số trùng khớp giảm

6.9. Sự dịch chỉnh của BR

- **Một số chú ý:**
 - ✓ Dịch dao dương làm tăng sức bền uốn (vì chân răng lớn lên), tránh được hiện tượng cắt chân răng ($Z_{\min} = 7$ hoặc 8)
 - ✓ Dịch chỉnh góc tăng sức bền tiếp xúc vì ứng suất tiếp xúc tỷ lệ với $\sin 2\alpha$

$$Z_H = \sqrt{\frac{2\cos\beta}{\sin 2\alpha}}$$

Nếu α tăng từ $20^\circ \div 25^\circ 30'$, khả năng tải tăng thêm 20%.

- ✓ Khi bánh nhỏ và bánh lớn có số răng lớn, việc dịch chỉnh ít hiệu quả hoặc không có hiệu quả vì dạng răng ít thay đổi. Khi đó để tăng khả năng tải, người ta cắt răng với dao không tiêu chuẩn có góc profin lớn ($\alpha = 26^\circ \div 28^\circ$).
- ✓ Khi dịch chỉnh góc thì hệ số trùng khớp ε giảm nên giảm khả năng tải của bộ truyền BR nghiêng, vì chiều dài tiếp xúc tỷ lệ với ε .
- ✓ Dịch chỉnh làm thay đổi vận tốc trượt nên chống mòn răng, khắc phục dính, xước răng.

6.9. Sự dịch chỉnh của BR

- **Một số chú ý (tiếp):**

- ✓ Chọn hệ số dịch chỉnh:

- Khi $Z_1 \geq 30$ thì không dịch chỉnh

- Khi $Z_1 < 30$:

- + $Z_1 + Z_2 > 60$ dịch chỉnh đều với hệ số dịch dao: $x_1 = 0,03(30 - Z_1)$; $x_2 = -x_1$.

- + $Z_1 + Z_2 < 60$ dịch chỉnh góc với hệ số dịch dao:

$$x_1 = 0,03(30 - Z_1); x_2 = 0,03(30 - Z_2)$$

Tổng hệ số dịch dao được hạn chế bởi trị số:

$$x_t = x_1 + x_2 \leq 1,8 - 0,03(Z_1 + Z_2) \text{ khi } 30 < (Z_1 + Z_2) < 60$$

$$x_t = x_1 + x_2 \leq 0,9 \quad \text{khi} \quad (Z_1 + Z_2) < 30$$

6.10. Ví dụ và Bài tập

Ví dụ 3.1. Bộ truyền BR trụ răng thẳng có góc ăn khớp $\alpha = 20^\circ$; $Z_1 = 16$, $Z_2 = 18$, $Z_3 = 72$; $m = 3$. Bánh 1 quay với $n_1 = 1725$ v/p; công suất $P_1 = 3,4$ kW. Xác định số vòng quay của các trục và lực ăn khớp.

