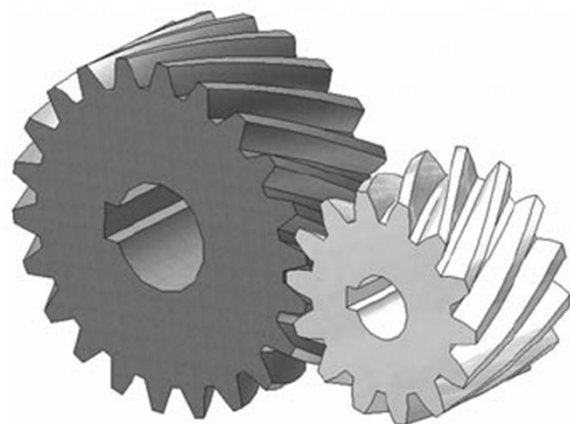
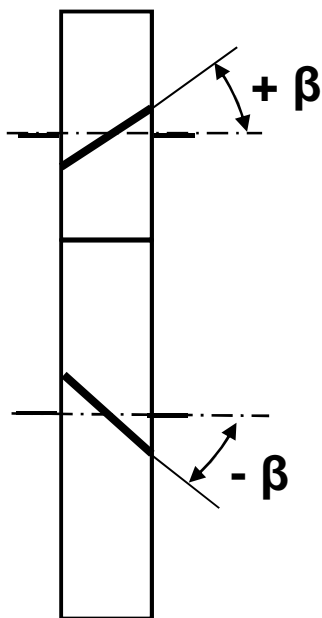


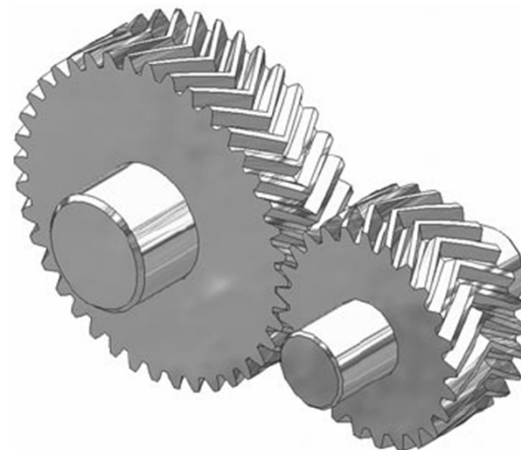
Въпрос № 14

**ЦИЛИНДРИЧНИ ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ С
НАКЛОНЕНИ ЗЪБИ – ГЕОМЕТРИЧНИ
ЗАВИСИМОСТИ, КОЕФИЦИЕНТ НА
ПРЕПОКРИВАНЕ , ЕКВИВАЛЕНТЕН БРОЙ ЗЪБИ.
КОРЕКЦИИ И ВИДОВЕ ЗАЦЕПВАНИЯ**





**предавка с наклонени
зъби ($\beta = 8^\circ - 16^\circ$)**



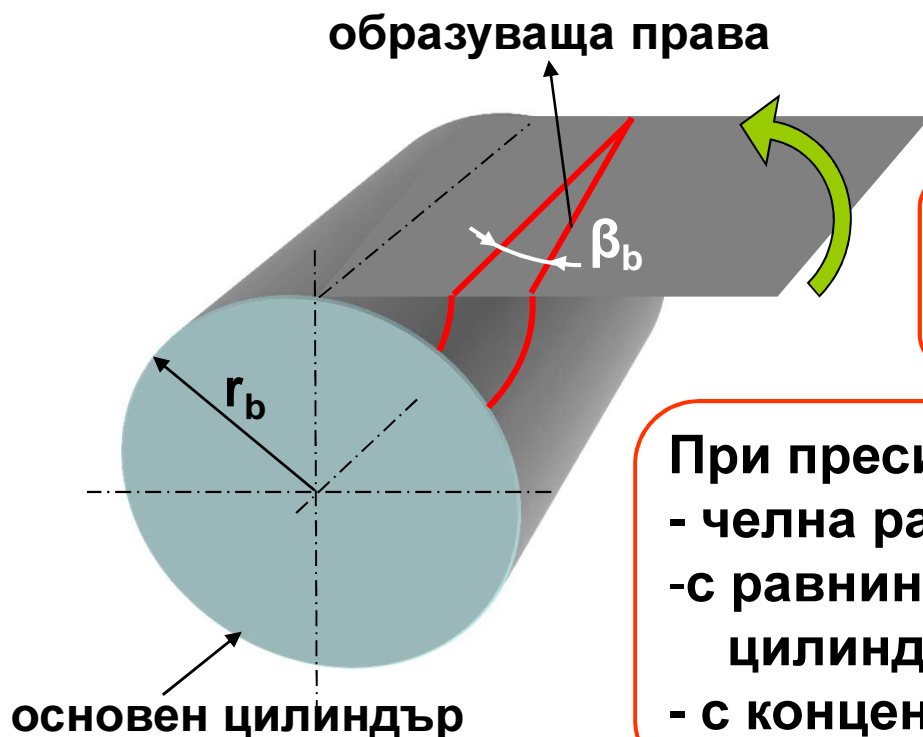
**предавка с шевронни
зъби ($\beta < 35^\circ$)**

Предимства :

- при еднаква ширина на ЗК, наклоненият зъб има по-голяма дължина от правия, т.е. по-голяма товароносимост
- по-голям коефициент на препокриване
- работят по-равномерно и безшумно

Недостатъци:

- наклонените зъби създават осови сили във валове и лагерите



**Странична повърхнина на зъба -
еволвентен хеликоид**

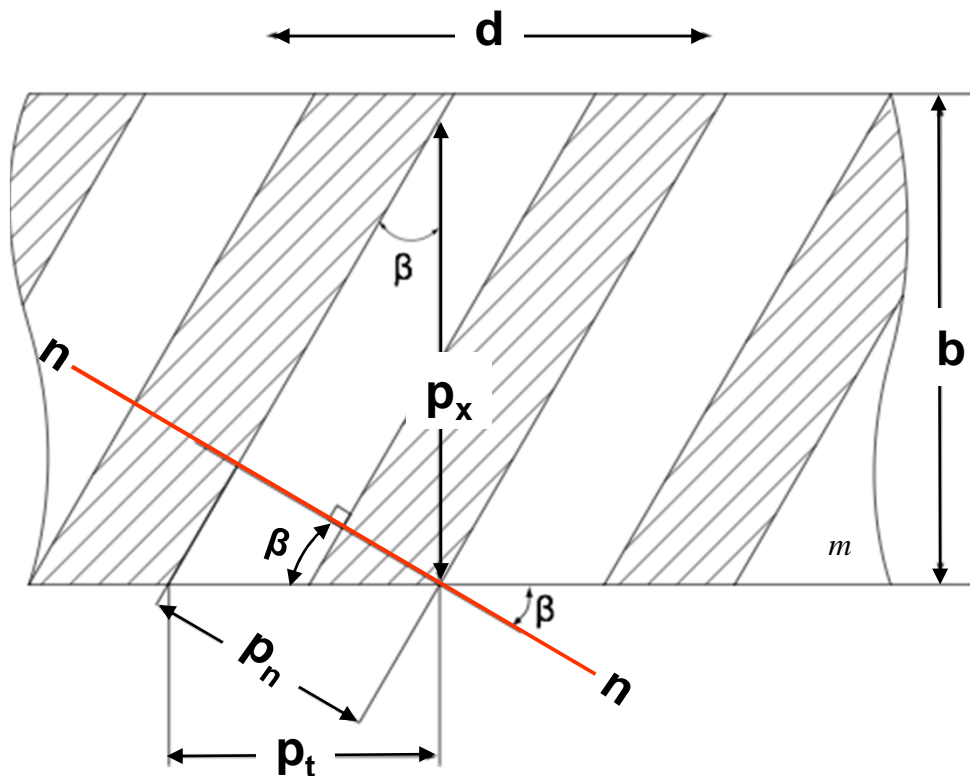
При пресичане на еволвентния хеликоид с :

- челна равнина → еволвента
- с равнина допирателна на основния цилиндър → наклонена под ъгъл β_b права
- с концентрични цилиндри → винтови л-нии

β_b – ъгъл на наклона на зъбите по основния цилиндър

β – ъгъл на наклона на зъбите по делителния цилиндър

**Технология на изработка – зъбофрезование чрез червячна
модулна фреза**



$$P_t = P_x \operatorname{tg} \beta = \frac{P_n}{\cos \beta}$$

челна стъпка

$$P_n = P_x \sin \beta = P_t \cos \beta$$

нормална стъпка

$$P_x = \frac{P_t}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{P_n}{\sin \beta}$$

осова стъпка

$$m_n = m_t \cos \beta$$

**нормален модул
стандартизиран
по БДС**

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

челен модул

$$\operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta}$$

профилни ъгли

Геометрични зависимости

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

диаметър на делителната
окръжност

$$d_b = d \cos \alpha_t = m_n z \frac{\cos \alpha_t}{\cos \beta}$$

диаметър на основната
окръжност

$$h_a = h_a^* m_n = m_n$$

$$h_f = (h_a^* + c^*) m_n = 1,25 m_n$$

$$h = h_a + h_f = 2,25 m_n$$

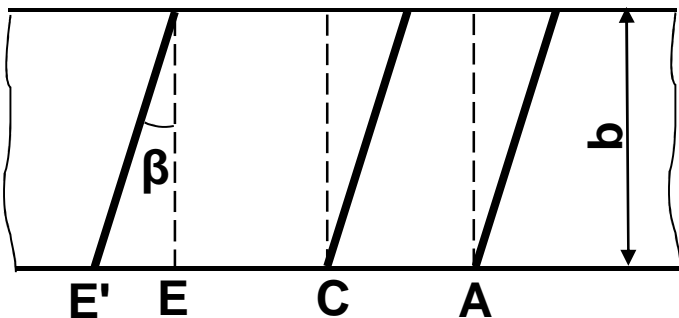
височина на зъбите

$$d_a = d + 2h_a = \frac{m_n z}{\cos \beta} + 2m_n = m_n \left(\frac{z}{\cos \beta} + 2 \right)$$

$$d_f = d - 2h_f = \frac{m_n z}{\cos \beta} - 2,5m_n = m_n \left(\frac{z}{\cos \beta} - 2,5 \right)$$

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = m_t \frac{z_1 + z_2}{2} = \frac{m_n}{\cos \beta} \frac{z_1 + z_2}{2}$$

Коефициент на препокриване



$$\varepsilon_\gamma = \frac{\overline{ACE'}}{P_{bt}} = \frac{\overline{ACE}}{P_{bt}} + \frac{\overline{EE'}}{P_{bt}} = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{btg\beta}{\pi m_t}$$

коэффициент на
осово препокриване

Еквивалентен брой зъби - z_v

Използва се при якостно пресмятане на ЗП с наклонени зъби. z_v е броят на зъбите на ЗК с прави зъби, чиито профил е приблизително еднакъв с профила на наклонените зъби в нормално сечение.

$$z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta}$$

Подрязване и заостряне на зъбите Минимален брой зъби

$$z_{\min \beta} \approx z_{\min} \cos^3 \beta = 17 \cos^3 \beta$$

$$z'_{\min \beta} \approx z'_{\min} \cos^3 \beta = 14 \cos^3 \beta$$

$$\bar{z}_{\min \beta} \approx \bar{z}_{\min} \cos^3 \beta = 7 \cos^3 \beta$$

Корекции чрез изместване

Коефициенти на изместване в челно
и нормално сечение

$$x_t = \frac{x_n}{\cos \beta}$$

Не се променят : d , d_b , h , β , β_b , α_t , α_n , p_t , p_n , m_t , m_n

$$h_a = (h_a^* + x_n)m_n = (1 + x_n)m_n$$

$$h_f = (h_a^* + c^* - x_n)m_n = (1,25 - x_n)m_n$$

$$h = h_a + h_f = 2,25m_n = \text{const}$$

$$d_a = d + 2h_a = \frac{m_n z}{\cos \beta} + 2(1 + x_n)m_n = m_n \left(\frac{z}{\cos \beta} + 2 + 2x_n \right)$$

$$d_f = d - 2h_f = \frac{m_n z}{\cos \beta} - 2(1,25 - x_n)m_n = m_n \left(\frac{z}{\cos \beta} - 2,5 + 2x_n \right)$$

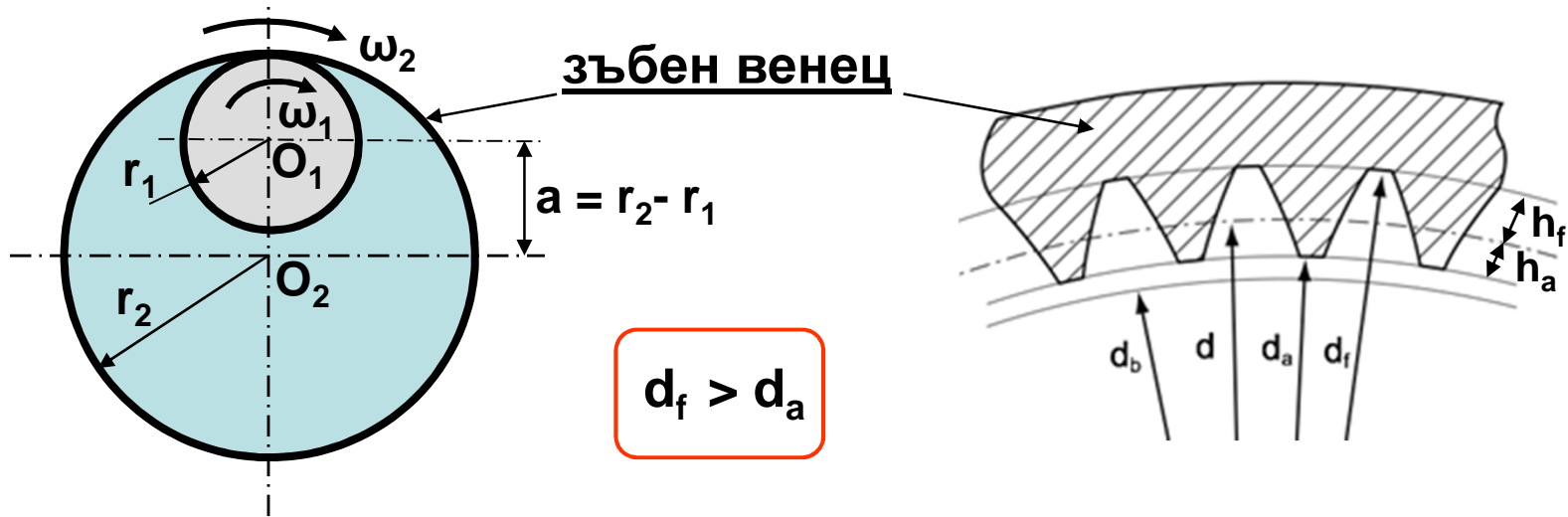
Видове зацепвания : нулево , равноизместено и изместено

Въпрос № 15

**ЦИЛИНДРИЧНИ ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ С
ВЪТРЕШНО ЗАЦЕПВАНЕ– ГЕОМЕТРИЧНИ
ЗАВИСИМОСТИ , ОГРАНИЧЕНИЯ В БРОЯ НА
ЗЪБИТЕ , ИНТЕРФЕРЕНЦИИ , КОЕФИЦИЕНТ НА
ПРЕПОКРИВАНЕ**



Геометрични зависимости



$$\left\{ \begin{array}{l} h = h_f + h_a \\ h_f = (h_a^* + c^*)m \\ h_a = (h_a^* - \Delta h^*)m \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} c^* = 0,25 \quad \text{или} \quad c^* = 0,30 \\ \Delta h^* = 7,6 \frac{(h_a^* - x)^2}{z} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{коэффициент на скъсяване} \\ \text{на главата на зъба} \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} d_f = d + 2h_f = mz + 2(h_a^* + c^*)m = m(z + 2h_a^* + 2c^*) \\ d_a = d - 2h_a = mz - 2(h_a^* - \Delta h^*)m = m(z - 2h_a^* + 2\Delta h^*) \end{array} \right.$$

Ограничение в броя на зъбите на зъбния венец

За да бъде профила еволвентен $\longrightarrow r_a > r_b$

В граничен случай $r_a = r_b \longrightarrow z = z_{\min}$

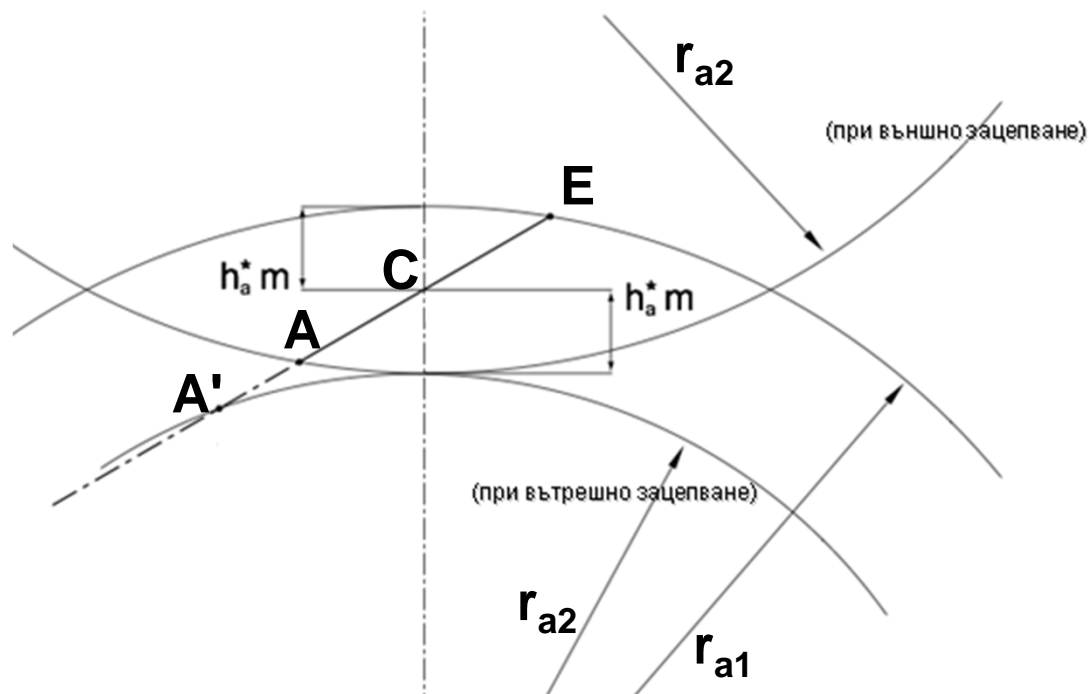
$$\begin{cases} r_a = r - h_a = \frac{mz_{\min}}{2} - h_a^* m & (\text{при } \Delta h^* = 0) \\ r_b = r \cos \alpha = \frac{mz_{\min}}{2} \cos \alpha \end{cases} \longrightarrow z_{\min} = \frac{2h_a^*}{1 - \cos \alpha}$$

$$(\text{при } h_a^* = 1 \quad \alpha = 20^\circ) \longrightarrow z_{\min} \approx 34$$

Технология за изработване на ЗК с вътрешни зъби :

- по метода на обтъркаване – с дълбач
- по метода на копиране – щосване с профилен нож

Коефициент на препокриване



$$\overline{A'CE} \geq \overline{ACE}$$

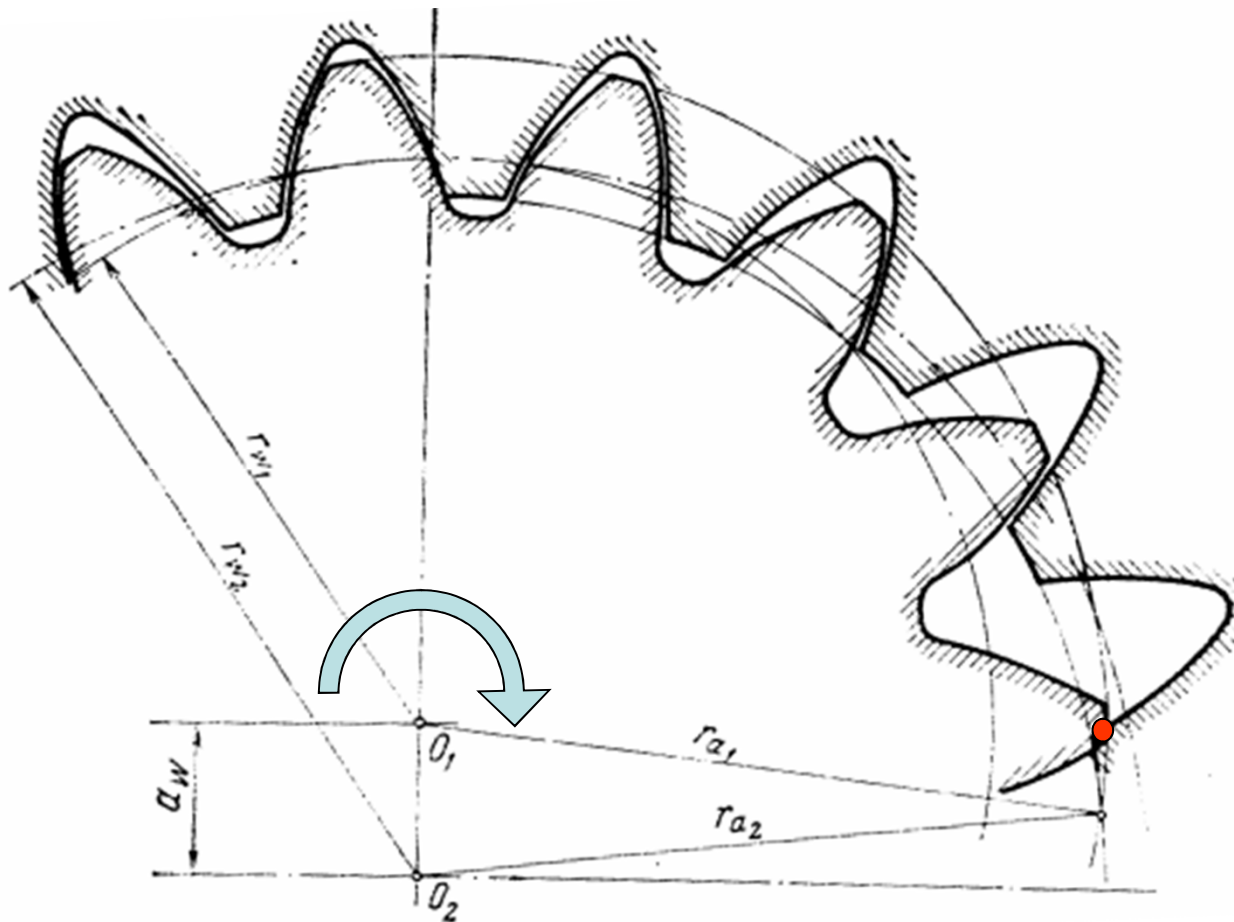
Предимства на вътрешното зацепване пред външното :

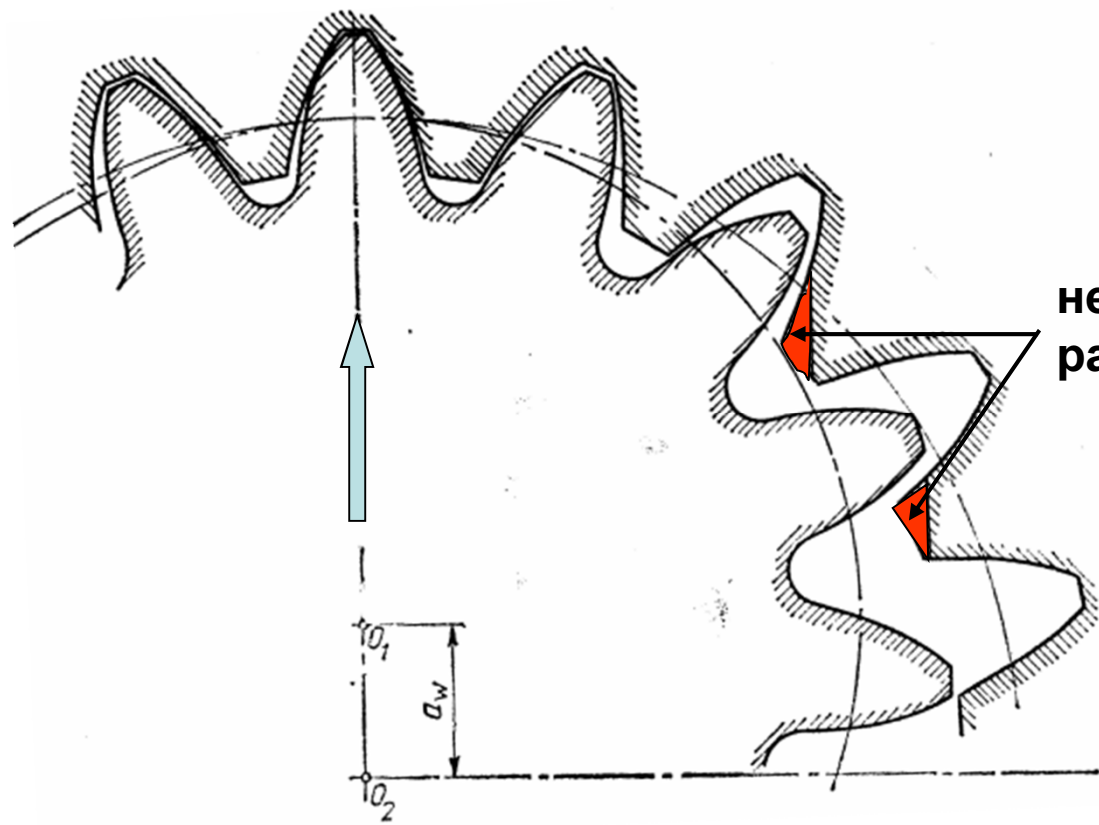
- по-голям коефициент на препокриване → по-голяма товароносимост , по-безшумна работа
- по-благоприятно натоварване на зъбните профили поради това , че единият е изпъкнал , а другият е вдлъбнал

Интерференция – недопустимо пресичане на траекториите на зъби , които не се намират в зацепване

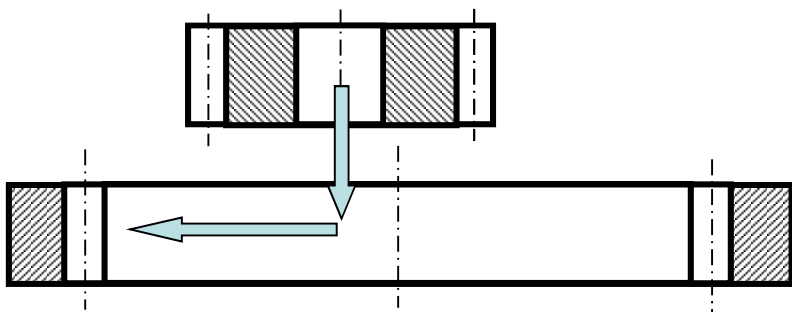
$$z_d = z_2 - z_1 \geq 9$$

условие за липса на интерференция
между главите на зъбите

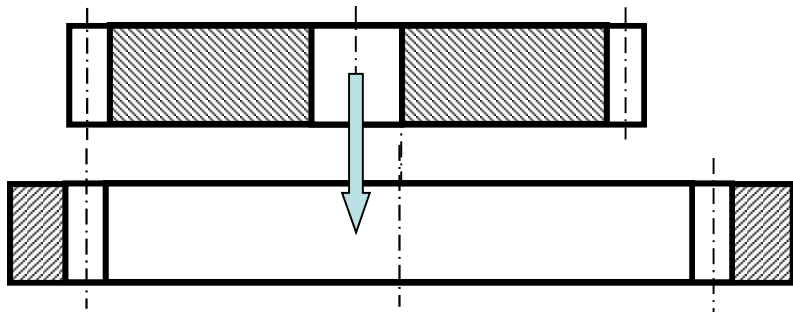




НЕВЪЗМОЖНОСТ за радиален монтаж

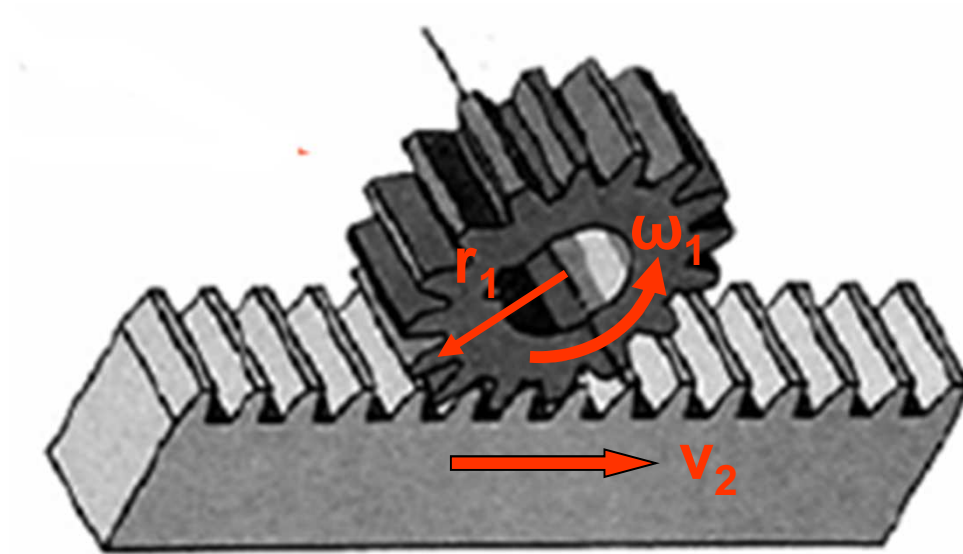


радиален монтаж $z_d \geq 16$



осов монтаж $z_d \leq 16$

Предавка “зъбно колело- зъбна рейка”
($z_2 = \infty$, $r_2 \rightarrow \infty$)



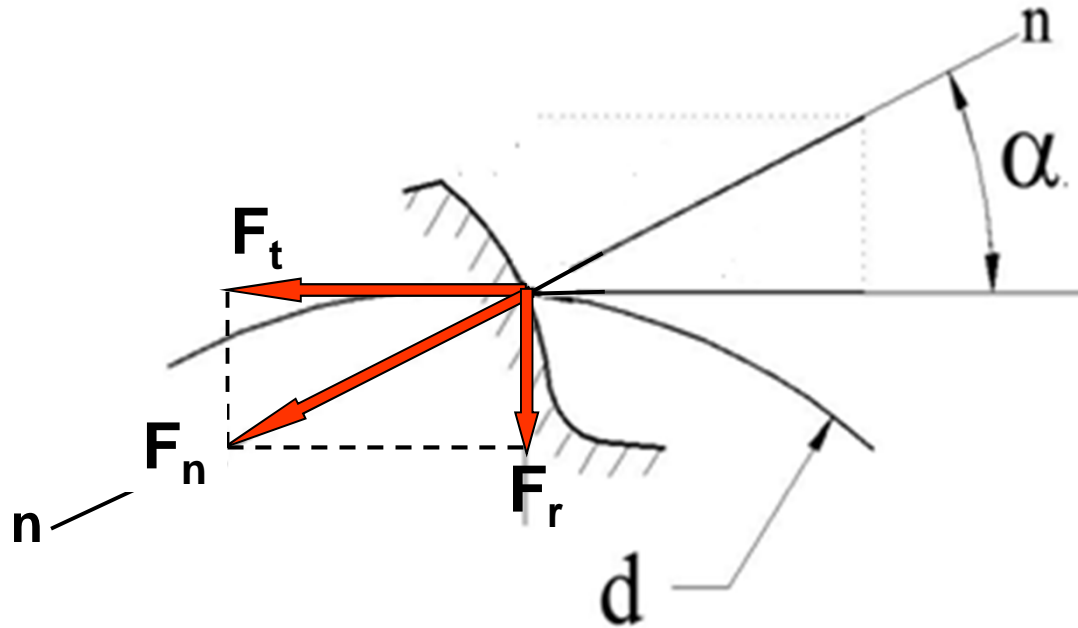
$$i = \frac{\omega_1}{v_2} = \frac{\omega_1}{\omega_1 r_1} = \frac{1}{r_1}$$

Въпрос № 16

**СИЛИ В ЗЪБНОТО ЗАЦЕПВАНЕ.
ХАРАКТЕР НА НАТОВАРВАНЕТО.
ВИДОВЕ ПОВРЕДИ В ЗЪБИТЕ**



При двойка с прави зъби

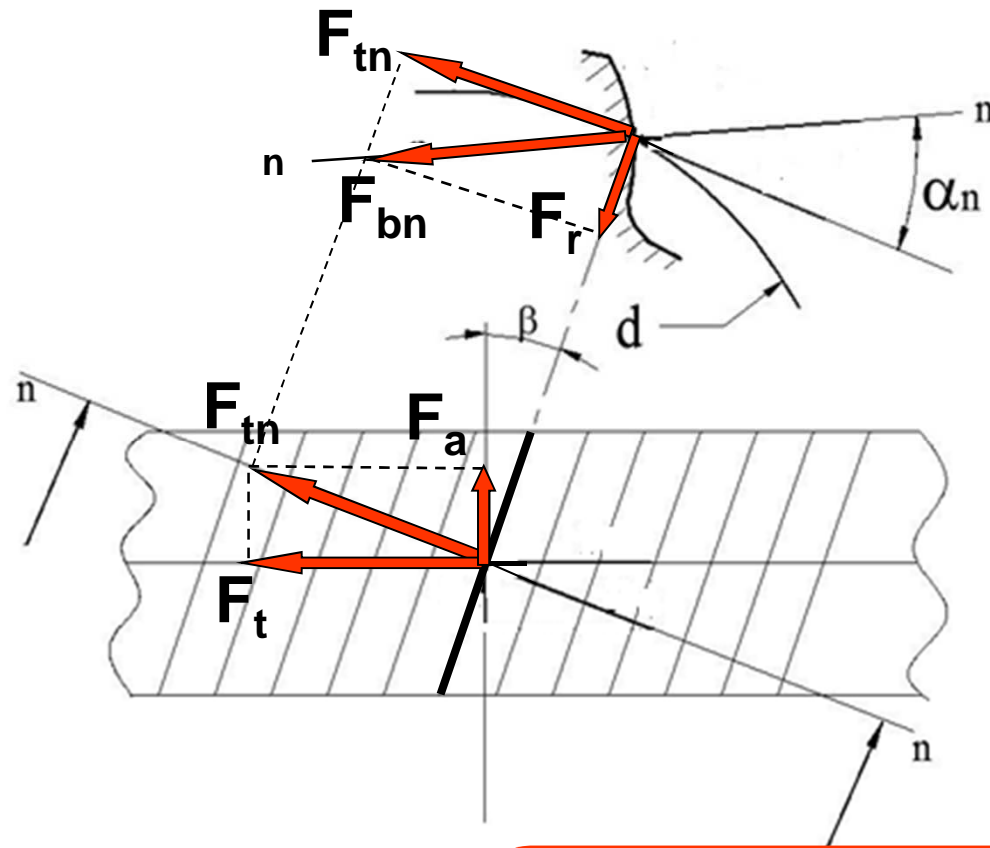


$$F_t = \frac{2T}{d}$$

$$F_r = F_t \operatorname{tg} \alpha = \frac{2T}{d} \operatorname{tg} \alpha$$

$$F_n = \frac{F_t}{\cos \alpha} = \frac{2T}{d \cos \alpha} = \frac{2T}{d_b}$$

При двойка с наклонени зъби



$$F_t = \frac{2T}{d}$$

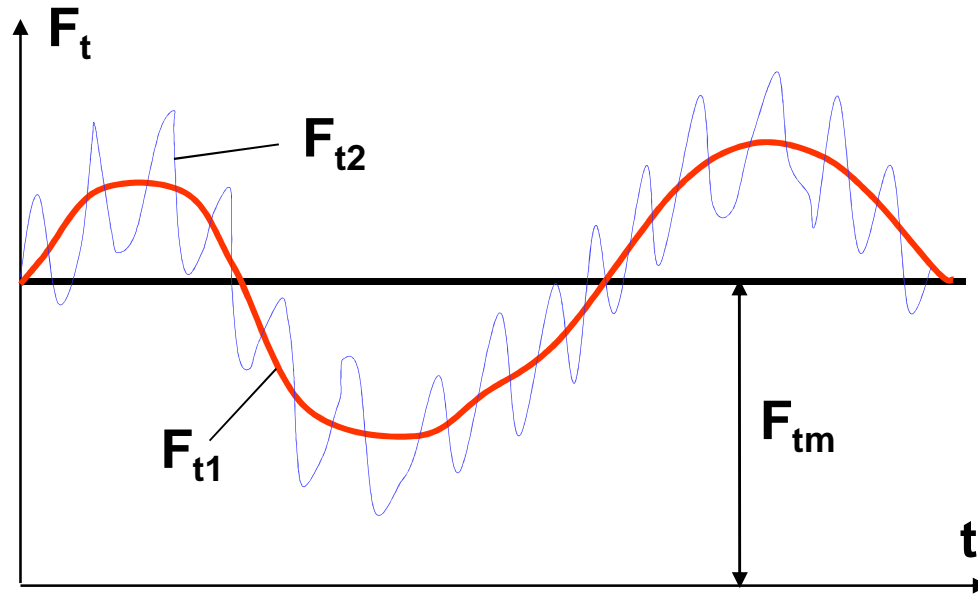
$$F_a = F_t \operatorname{tg} \beta = \frac{2T}{d} \operatorname{tg} \beta$$

$$F_{tn} = \frac{F_t}{\cos \beta} = \frac{2T}{d \cos \beta}$$

$$F_r = F_{tn} \operatorname{tg} \alpha_n = \frac{2T \operatorname{tg} \alpha_n}{d \cos \beta}$$

$$F_{bn} = \frac{F_{tn}}{\cos \alpha_n} = \frac{2T}{d \cos \beta \cos \alpha_n}$$

Видове натоварвания в ЗП



F_t - външни статични сили

$F_{t1}^B = f(n)$ - външни динамични сили

$F_{t2} = f(z)$ - вътрешни динамични сили

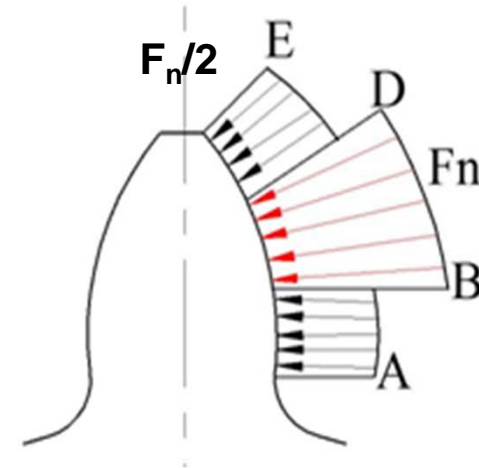
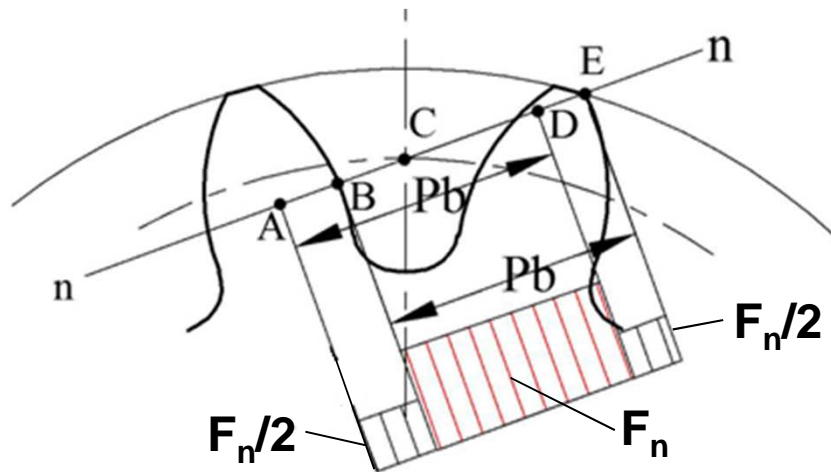
$F_{тр} = \mu F_{bn}$ - сили на триене

зависят от натоварването
на работната машина

зависят от грешки в
изработването и монтажа на
зъбните колела

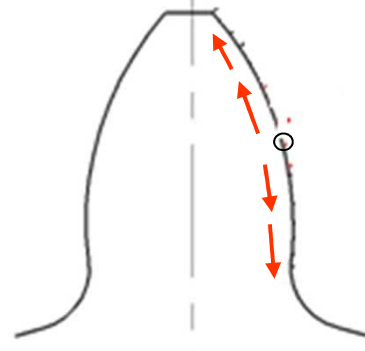
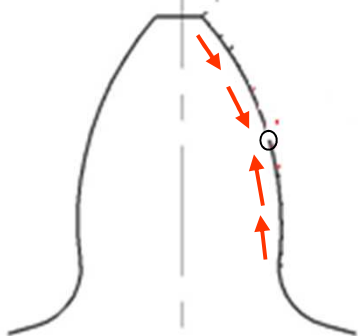
влияят на КПД, загряването,
износването и шума

Характер на натоварването в ЗП



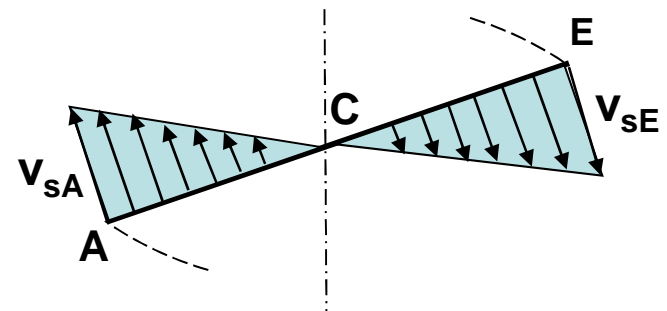
Сили на триене

Скорост на плъзгане



водещо колело

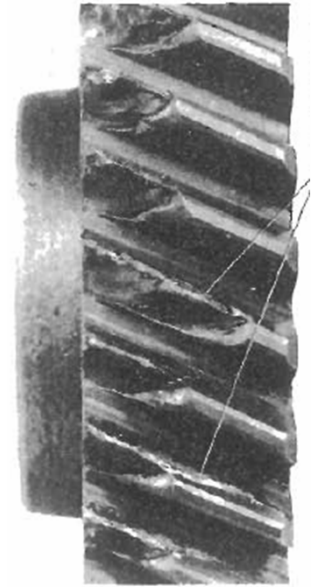
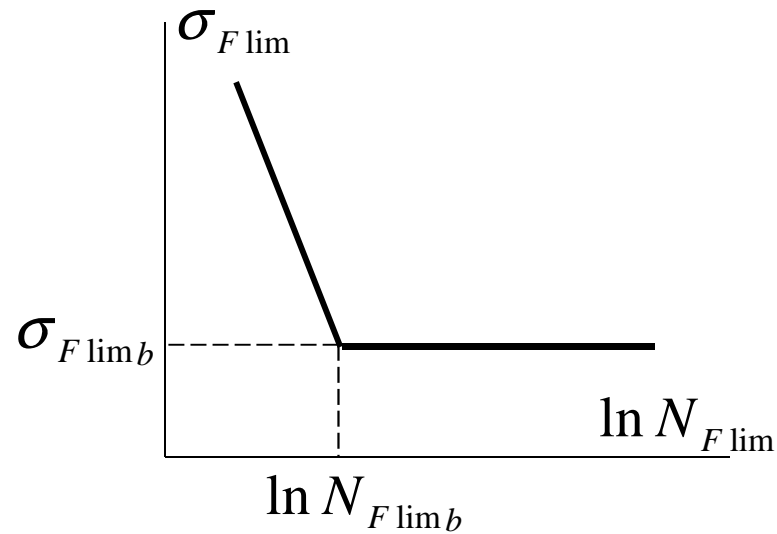
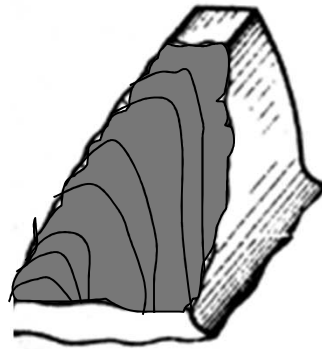
води́мо колело



Видове повреди на зъбите

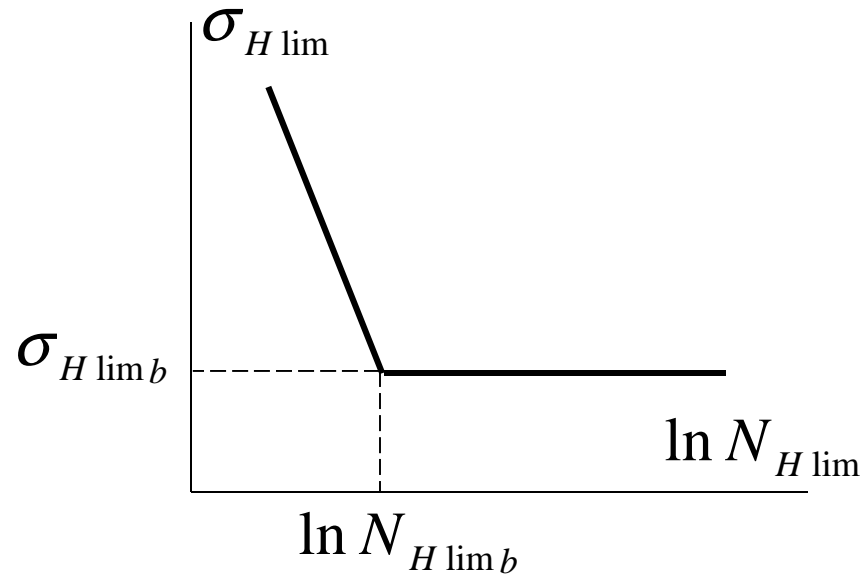
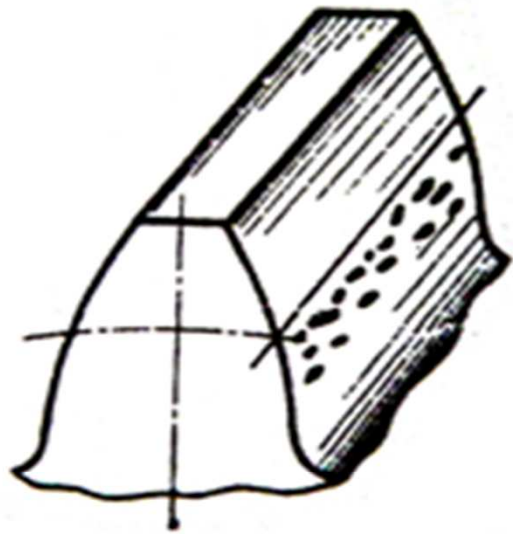
1. Счупване на зъб – причини :

- кратковременно силно претоварване на предавката – светъл едрозърнест лом
- обемна умора на материала при натоварвания по-ниски от статичната якост – тъмен гладък лом с видими линии на движение на пукнатината

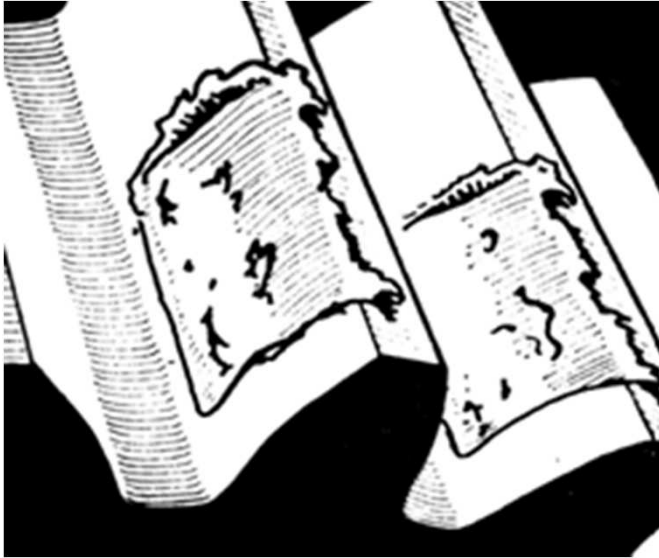


2. Повърхностна умора “pitting”

Появява се при смазани закрити предавки след голям брой цикли на натоварване ($N > 20 \cdot 10^3$)

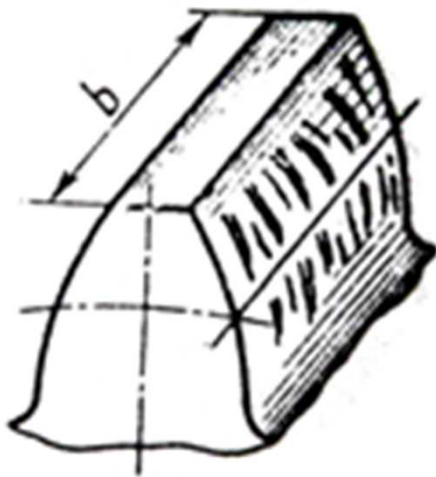


3. Пластична деформация



Появява се най-често при тежконатоварени бавноходни предавки и при недостатъчна твърдост на зъбите

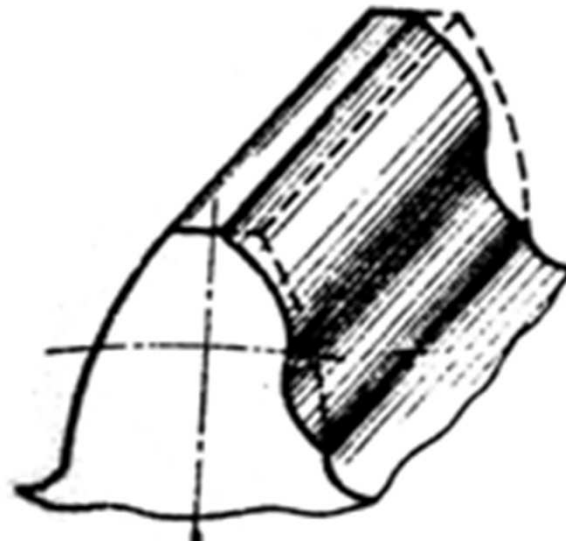
4. Задиране на зъбите



Появява се най-често по главата и петата на зъбите при високоскоростни предавки с недобро мазане или неподходящо подбрана смазка. За намаляването му се препоръчва да се прави начално сработване на предавката при занижено натоварване.

5. Абразивно износване

Наблюдава се в близост до върховата и петовата окръжност , където скоростите на относително плъзгане са най-високи. Характерно е за открити предавки , където в зоната на зацепване проникват абразивни частици от околната среда. Износване с висока интензивност.



Въпрос № 17

**ТОВАРОНОСИМОСТ НА ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ –
ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ОГЪВАНЕ И НА КОНТАКТНА
ЯКОСТ. ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧИТЕ И
ОПРОСТЯВАЩИ ДОПУСКАНИЯ**

ТОВАРОНОСИМОСТ НА ЗП (БДС 17108-89)

Изчисляване на огъване

проектно

$$m_n = ?$$

проверочно

$$\sigma_F \leq \sigma_{FP}$$

Изчисляване на контактна якост

проектно

$$a_w = ?$$

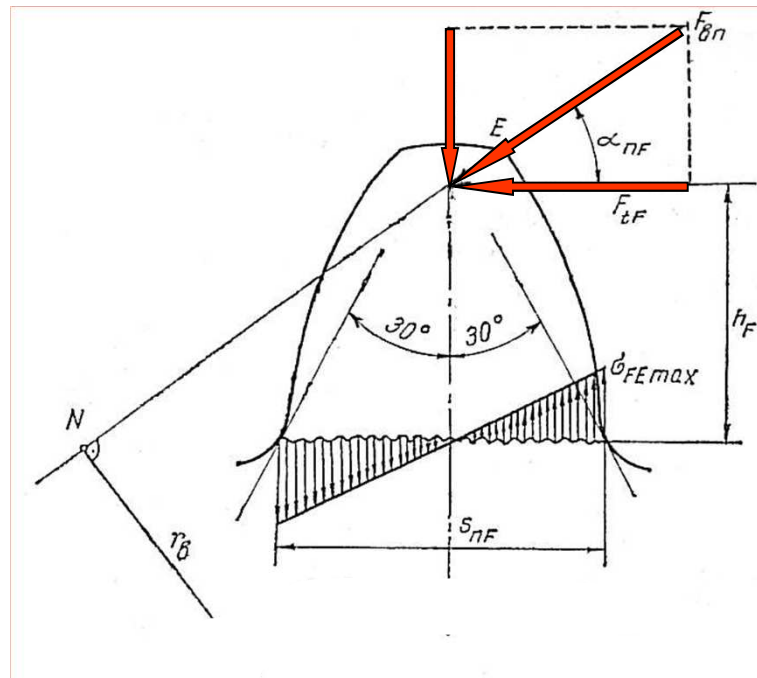
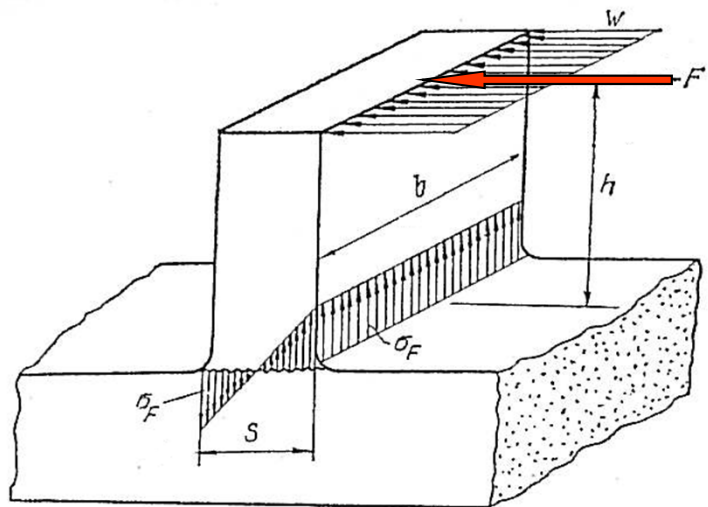
проверочно

$$\sigma_H \leq \sigma_{HP}$$

Изчисляване на огъване

Опростяващи допускания :

1. Зъбът се разглежда като конзолна греда натоварена със съсредоточена сила в свободния край.
2. Натоварването е статично.
2. Зъбите са прави ($\beta = 0^\circ$).
3. Работи една зъбна двойка ($\epsilon = 1$).
4. Натоварването на натиск и силите на триене се пренебрегват.



Проверочно изчисление на огъване

$$\sigma_F = Y_{ES} Y_{\beta} Y_{\varepsilon} \frac{F_t}{b m_n} K_F \leq \sigma_{FP}$$

$Y_{ES} = f(z, x)$ - коефициент на формата на зъба $z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta}$

Y_{β} - отчита ъгъла на наклона на зъбите, $Y_{\beta} = 0,75-1,0$ ($\beta = 1$)

$Y_{\varepsilon} = f(\varepsilon_{\alpha}, \varepsilon_{\beta})$ - отчита препокриването на зъбите

$K_F = K_A K_V K_{\alpha} K_{\beta}$ - обобщен коефициент на натоварването

$K_A = f(F_{t1})$ - отчита външните динамични сили

$K_V = f(F_{t2})$ - отчита вътрешните динамични сили

K_α - отчита неравномерното разпределение на натоварването между зацепените двойки зъби

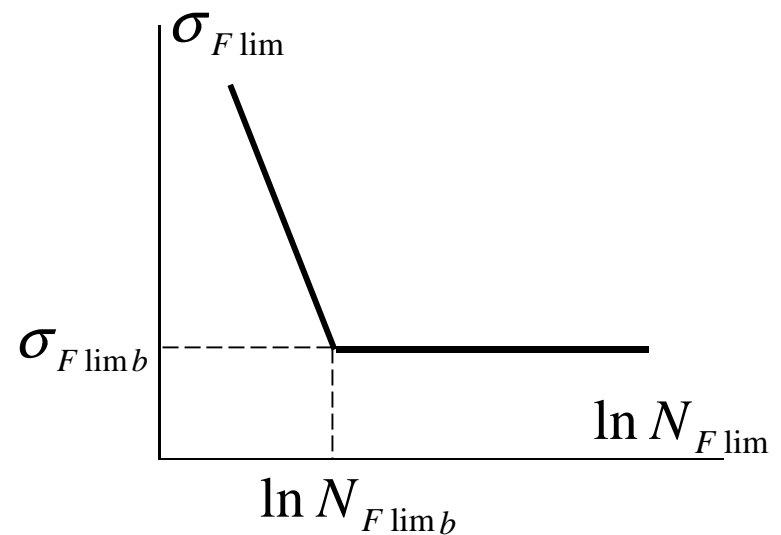
K_β - отчита неравномерното разпределение на натоварването по ширината на зъбите, зависи от твърдостта на зъбите, схемата на лагериране и от относителната широчина на малкото колело $\psi_{bd_1} = b/d_1$

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{F \lim b} Y_N}{S_{F \min}}$$

$\sigma_{F \lim b}$ - гранично базово напрежение на обемна умора

Y_N - коефициент на продължителността на работа на предавката; за дълъг срок на експлоатация $Y_N = 1$

$S_{F \min} = 1,7$ - минимален коефициент на сигурност при огъване



за стомана $N_{F \lim b} \geq 4 \cdot 10^4$ цикъла

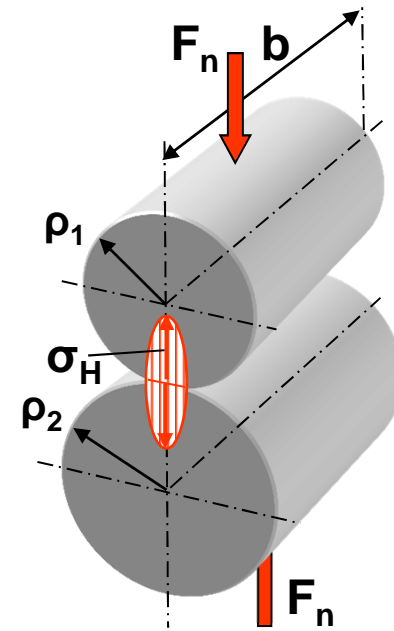
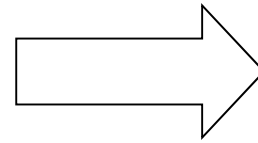
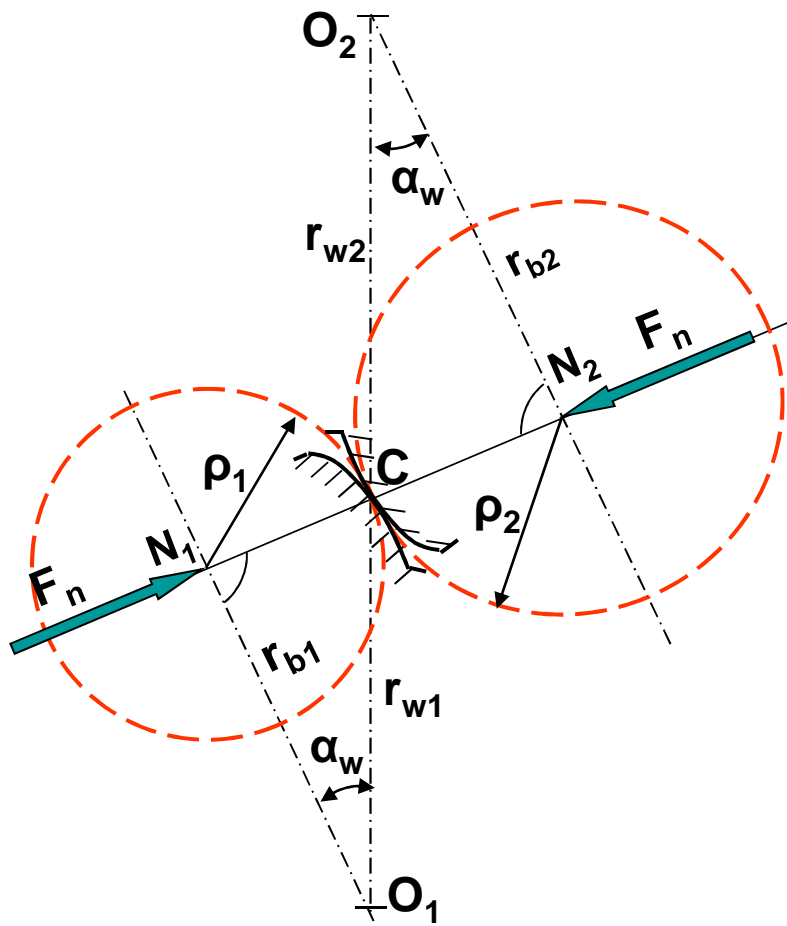
Проектно изчисляване на огъване

$$m_n = 1,15 \div 1,25 \sqrt[3]{\frac{Y_{FS_1} T_1 K_F}{\psi_{bd_1} z_1^2 \sigma_{FP_1}}}, [m]$$

Изчисляване на контактна якост

Опростяващи допускания :

1. Зъбното зацепване се заменя с допиране на два кръгови цилиндра.
2. Натоварването е статично.
2. Зъбите са прави ($\beta = 0^\circ$).
3. Разглежда се контактното напрежение σ_H в полюса на зацепване С.
4. Натоварването е нормално на зъбните профили и силите на триене се пренебрегват.



$$\rho_1 = \overline{N_1 C} = r_{b1} \operatorname{tg} \alpha_w = r_{w1} \sin \alpha_w$$

$$\rho_2 = \overline{N_2 C} = r_{b2} \operatorname{tg} \alpha_w = r_{w2} \sin \alpha_w$$

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{F_n E_{red}}{b \rho_{red}}}$$

$$E_{red} = \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2}$$

$$\rho_{red} = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$$

Проверочно изчисление на контактна якост

$$\sigma_H = Z_E Z_H Z_\varepsilon Z_\beta \sqrt{\frac{F_t}{bd_1} \frac{u+1}{u}} K_H \leq \sigma_{HP}$$

$$Z_E = f(E_1, E_2) \text{ - за стоманени колела } Z_E = 190 \cdot 10^3 \sqrt{MPa}$$

$$Z_H = f\left(\frac{x_1 + x_2}{z_1 + z_2}\right) \text{ - за прави зъби при нулево зацепване } Z_H \approx 1,77$$

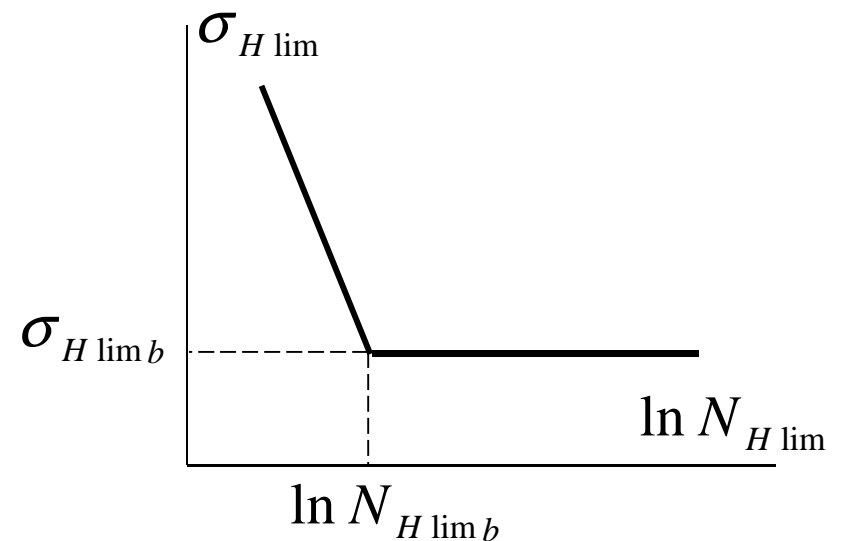
$$Z_\varepsilon = f(\varepsilon_\alpha, \varepsilon_\beta)$$

$$Z_\beta = f(\beta) \text{ - при } \beta < 20^\circ \quad Z_\beta = 1$$

$$K_H \approx K_F = 1,5 \div 2,0$$

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{H \lim b} Z_N}{S_{H \min}} \quad S_{H \min} = 1,3$$

Z_N - коефициент на продължителността на работа на предавката; за дълъг срок на експлоатация $Z_N = 1$



Проектно изчисление на контактна якост

$$a_w = 0,5 f_H (u + 1) \sqrt[3]{\frac{T_1}{\psi_{bd_1} \sigma_{HP_1}} \frac{u + 1}{u} K_H}, [mm]$$

f_H – обобщен коефициент на проектно изчисление

$f_H = 770$ при предавки с прави зъби

$f_H = 690$ при предавки с наклонени зъби