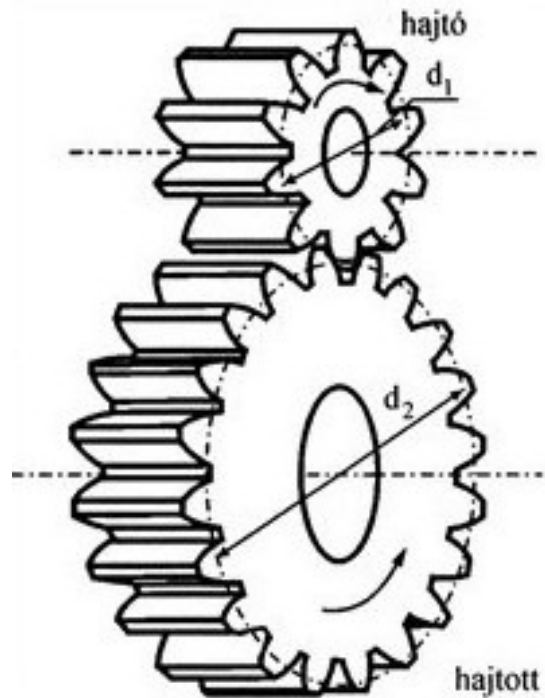


FOGASKERÉKHAJTÁSOK

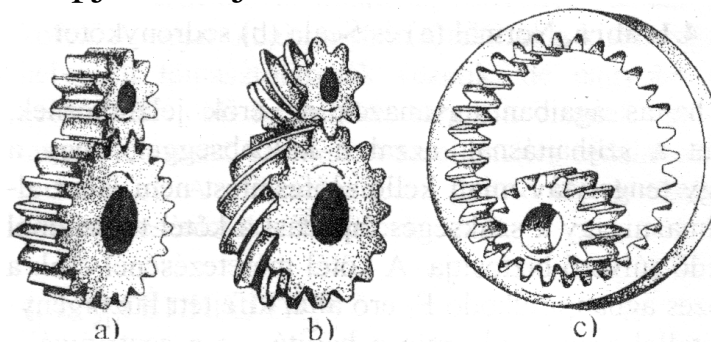
- A hajtás alakzáró
- Az áttétel állandó

Fogaskerékpár → hajtó kerék + hajtott kerék

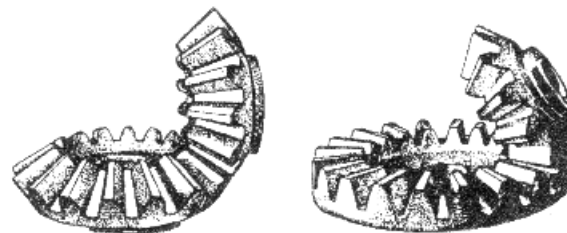


A kerekek tengelyvonalainak viszonylagos helyzete alapján a hajtások lehetnek:

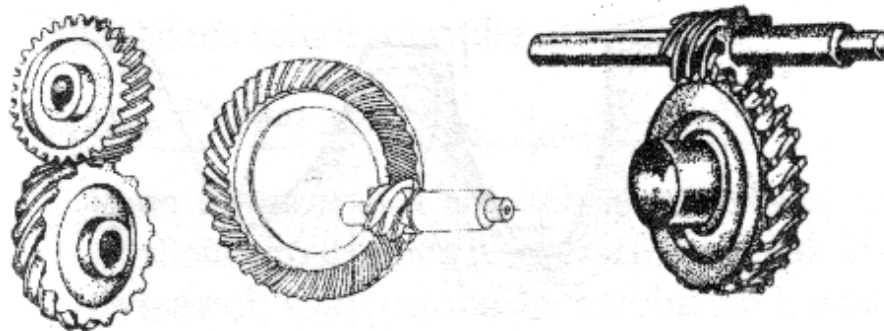
1. párhuzamos tengelyvonalú hajtások, (hengeres kerekekből állnak),



2. metsződő tengelyvonalú hajtások, (kúpkerekekből állnak),



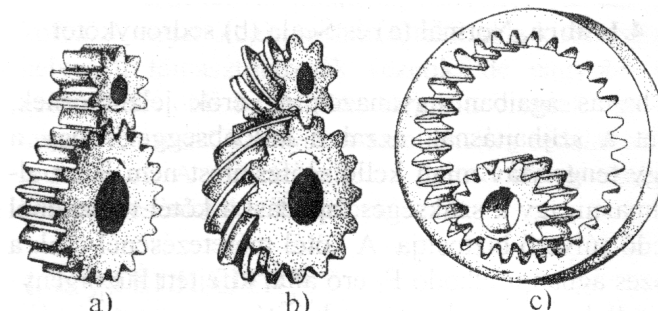
3. kitérő tengelyvonalú hajtások, (csavarhajtásoknak).



csavarkerékpár, hipoidkerékpár

csiga-hajtópár

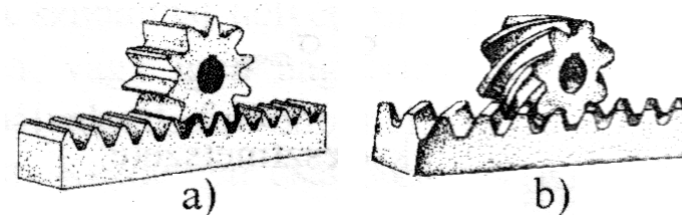
A fogazatok alapján megkülönböztetünk külső fogazatú és belső fogazatú fogaskerekeket.



Hengeres kerekék külső (a,b) és belső (c) kapcsolódása

Az irányukat tekintve a fogak lehetnek:

- egyenesek,
- ferdek (jobb hajlásúak vagy bal hajlásúak) vagy
- íveltek (csak kúpkerékknél).



Egyenes (a) és ferde (b) fogazatú fogasléc

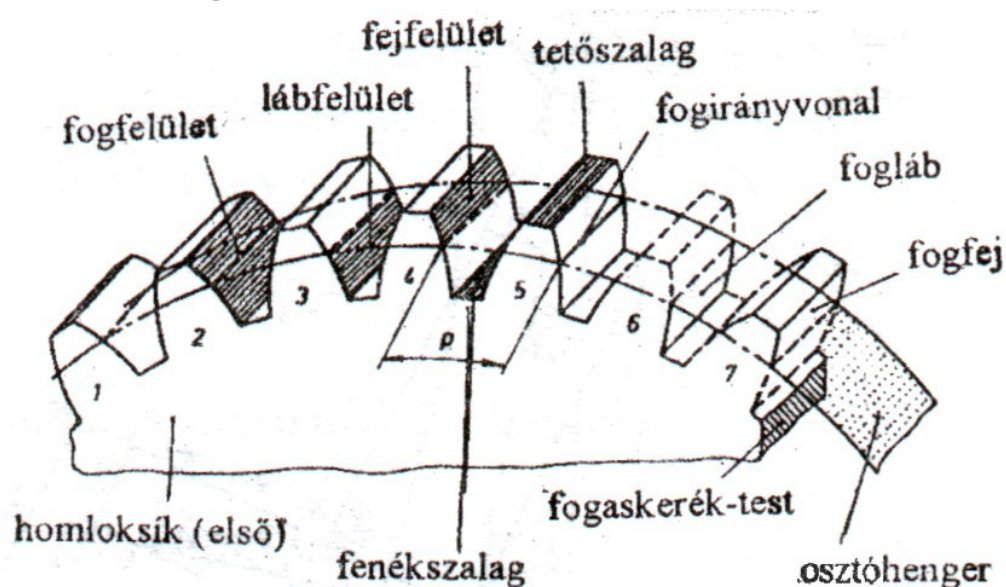
A fogprofil alakja szerint a fogazat lehet:

1. evolvens profilú (legelterjedtebb a gépgyártásban),
2. ciklois profilú (óraiparban),
3. Novikov-fogazat, amelynél a fogprofil körív alakú.

A fogaskerekek és a fogak elemei

A fogaskerekek mozgást átvivő elemei a fogak.

A fogprofil a fogfelület homlokmetSZete, amelyet hengeres kerekeknél a forgástengelyre merőleges síkkal képezzük

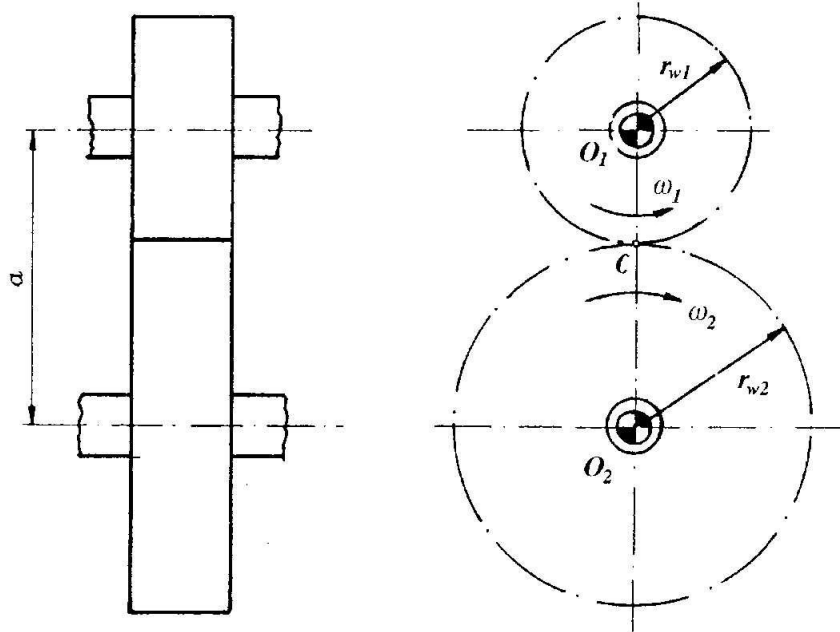


p – osztás (fogak egyoldali fogprofiljainak távolsága az osztókörön ívhosszban értve)

$$d \cdot \pi = p \cdot z. \quad d = \frac{p}{\pi} z = m \cdot z, \quad \text{ahol: } \frac{p}{\pi} = m \quad \text{a modul}$$

A fogaskerékpár kisebb fogsámú kereke a kiskerék (jele 1-es index), a nagyobb fogsámú a nagykerék (jele 2-es index).

A fogaskerék-hajtás **áttétele**:
$$i = \frac{\omega_{\text{hajtó}}}{\omega_{\text{hajtott}}} = \frac{n_{\text{hajtó}}}{n_{\text{hajtott}}}$$



Gördülőhengerek, gördülőkörök → a kerek
forgatásakor csúszás nélkül gördülnek le
(elemi fogazatnál ezek megegyeznek az osztókörrrel)

$$v = r_{w1} \omega_1 = r_{w2} \omega_2$$

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{w2}}{r_{w1}} = \frac{d_{w2}}{d_{w1}} \quad (\text{elemi fogazatnál } d_w = d).$$

$$i = \frac{d_{w2}}{d_{w1}} = \frac{z_2}{z_1} = u$$

Fogsámviszony $u = \frac{z_2}{z_1} \geq 1;$

Lassításnál $u=i,$
gyorsításnál $u=1/i.$

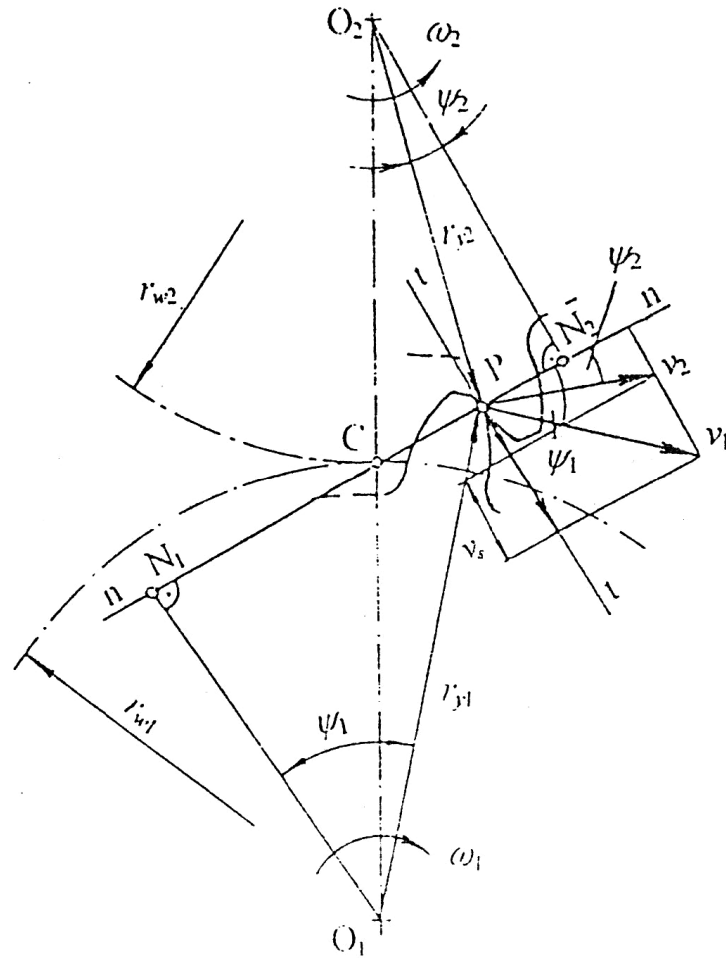
A kapcsolódás alaptörvénye

A fogprofil alakjának biztosítani kell a helyes

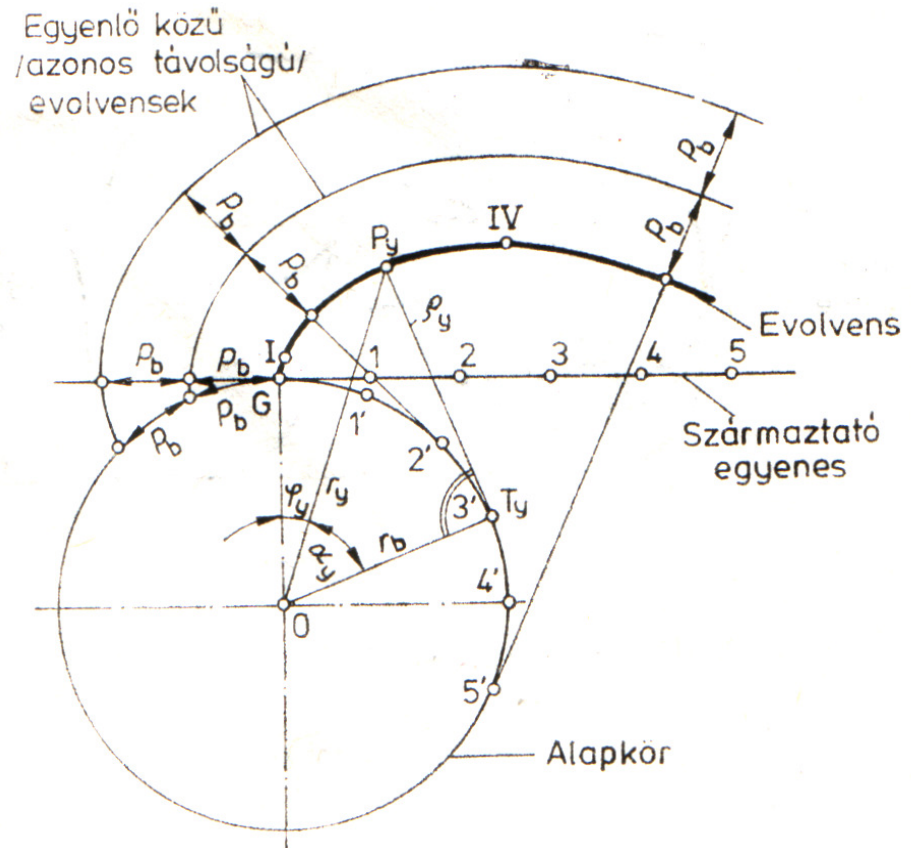
kapcsolódást: $i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = const$

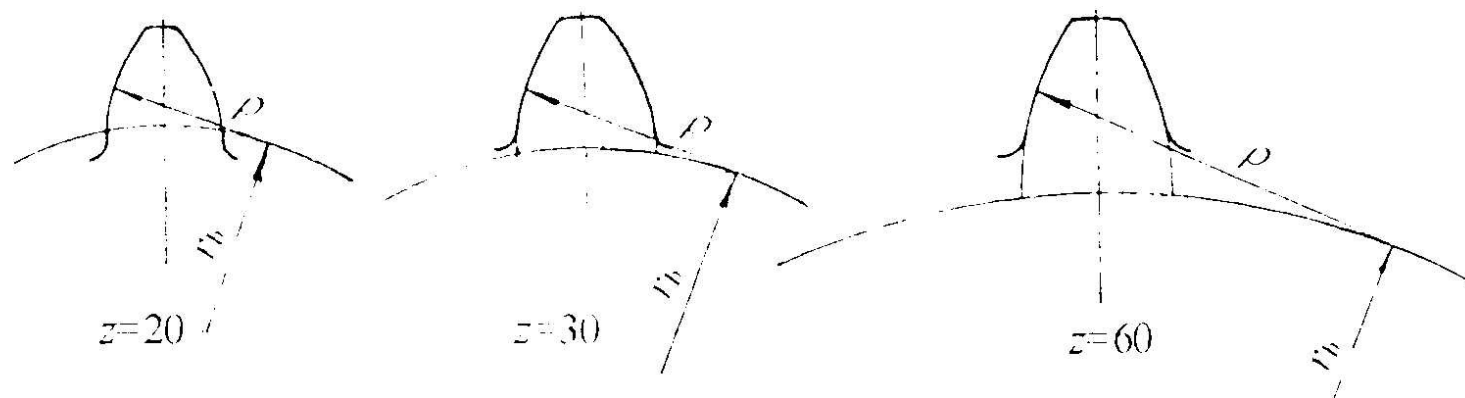
Ennek feltétele, hogy bármely kapcsolódási pontban húzott közös profilmerőleges a C főpontban metszi az $\overline{O_1O_2}$ egyenest (kimetszi az r_{w1} , r_{w2}).

Ebből adódik, hogy az érintkezési pontok mind a C főponton áthaladó közös profilnormálison helyezkednek el.



Az evolvens mint foggörbe

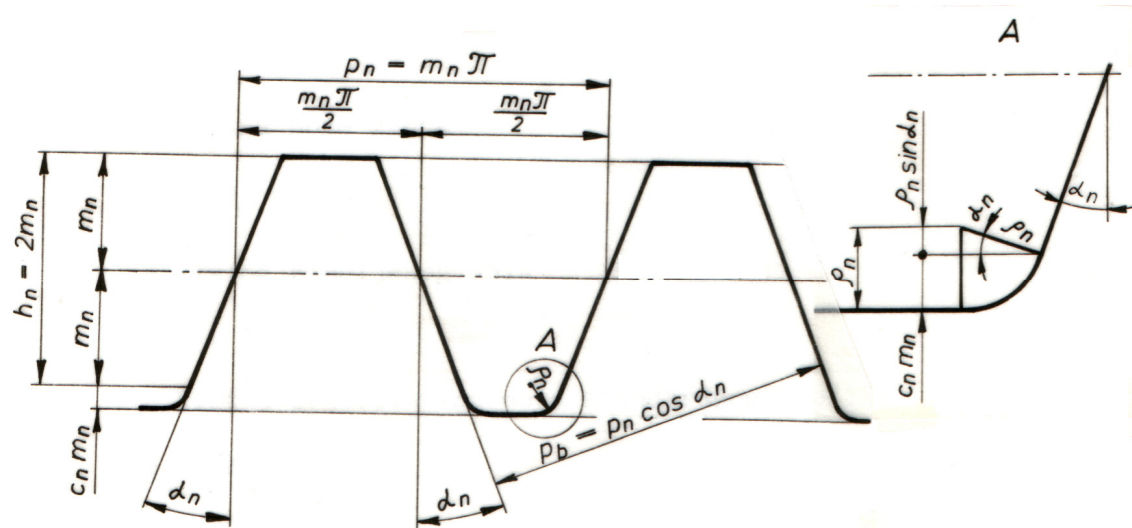




A fogszám hatása a fogprofil alakjára.

$z=\infty \rightarrow$ Fogasléc

Szabványos alaprofil



A szabványos alaprofil jellemző méretei:

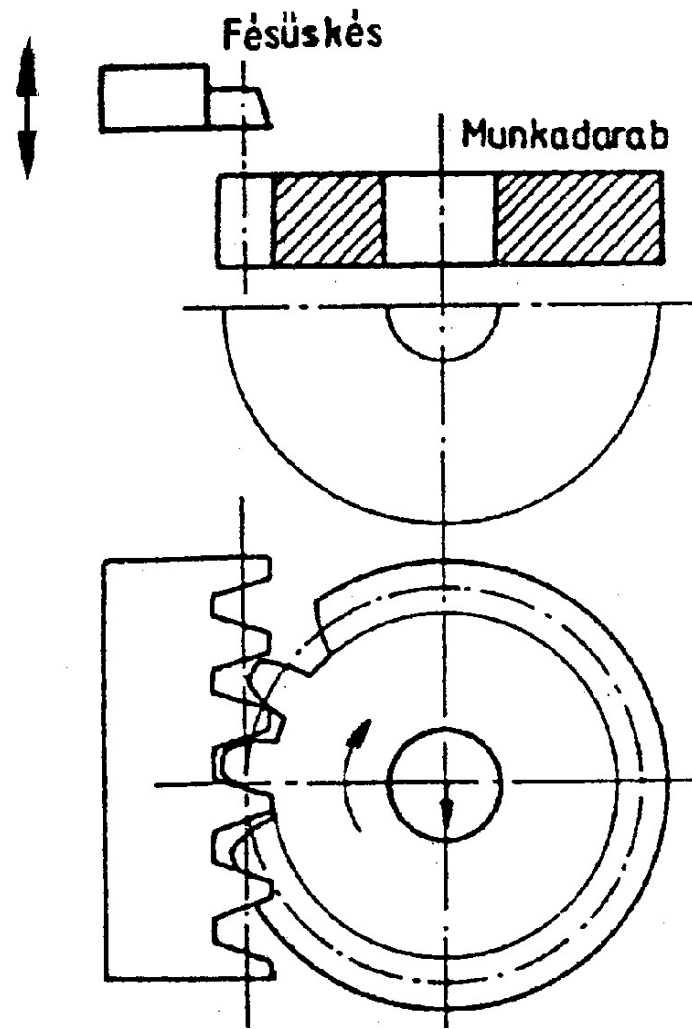
- A középvonalon mért osztás: $p_n = m_n \pi$,
- Alaposztás, amelyet az oldalsó profilszakaszra merőlegesen mérünk: $p_b = p_n \cos \alpha_n$,
- Fejmagasság: $h_a = m_n$,
- Lábmagasság: $h_f = m_n + c_n^* m_n$,
- A fogtőgörbe magassága (lábhézag): $c_n^* m_n$,
- Az egyenesvonalú profilszakasz magassága: $h_n = 2m_n$,
- A teljes fogmagasság: $h = 2m_n + c_n^* m_n$,
- Profilszög: $\alpha_n = 20^\circ$,
- Lábhézagtényező: $c_n^* = 0,25$ (de lehet 0,1...0,4),
- A fogtőgörbületi sugár, $\rho_n = \frac{c_n^* m_n}{1 - \sin \alpha_n}$.

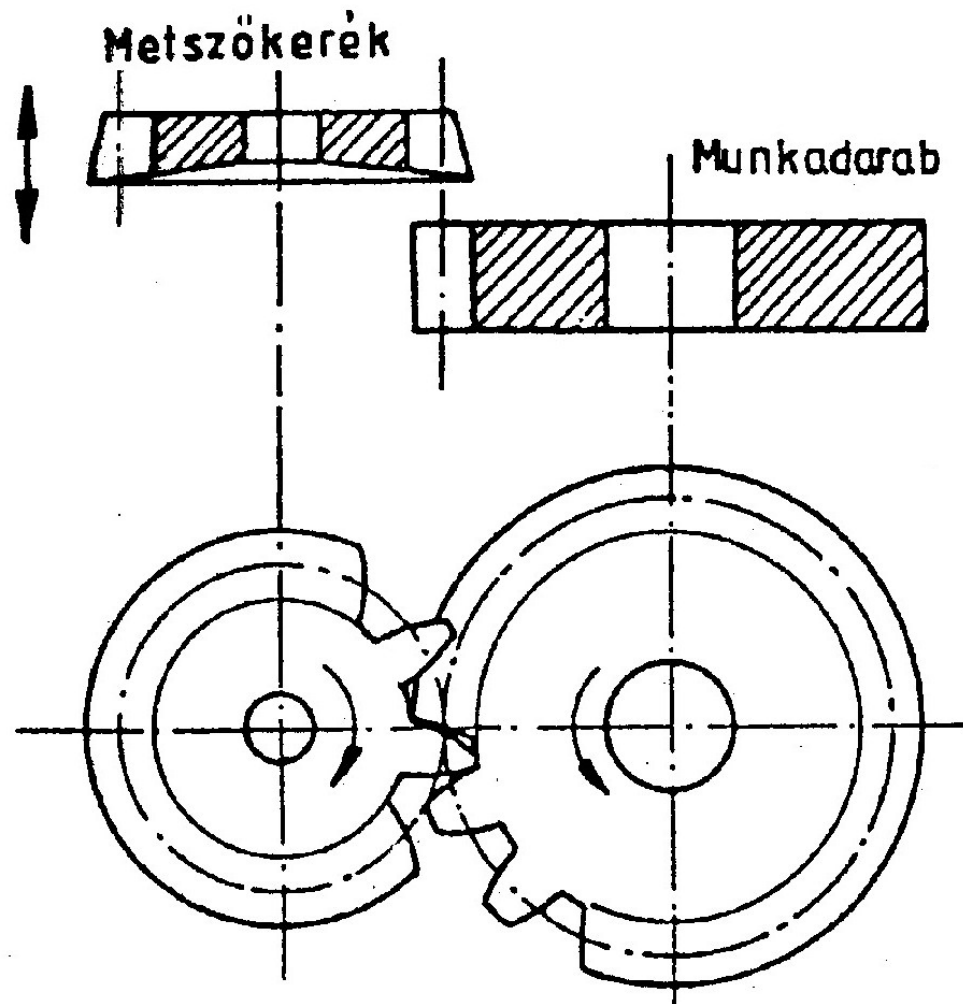
EVOLVENS FOGAZATÚ HENGERES KEREKEK FOGAZÁSA



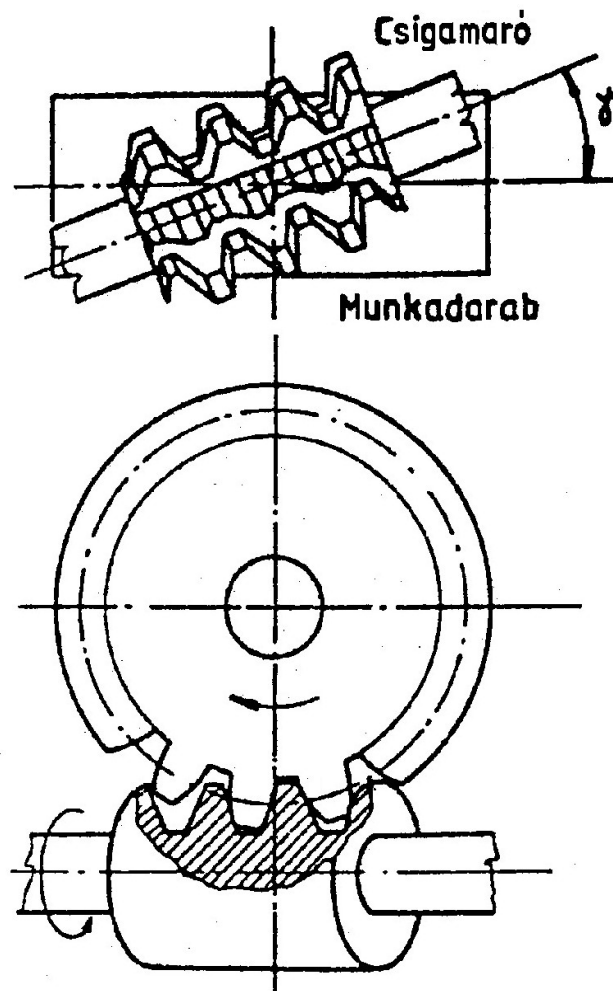
- Profilozó eljárások
- Lefejtő eljárások (a szerszám osztóvonala legördül a kerék osztókörén)

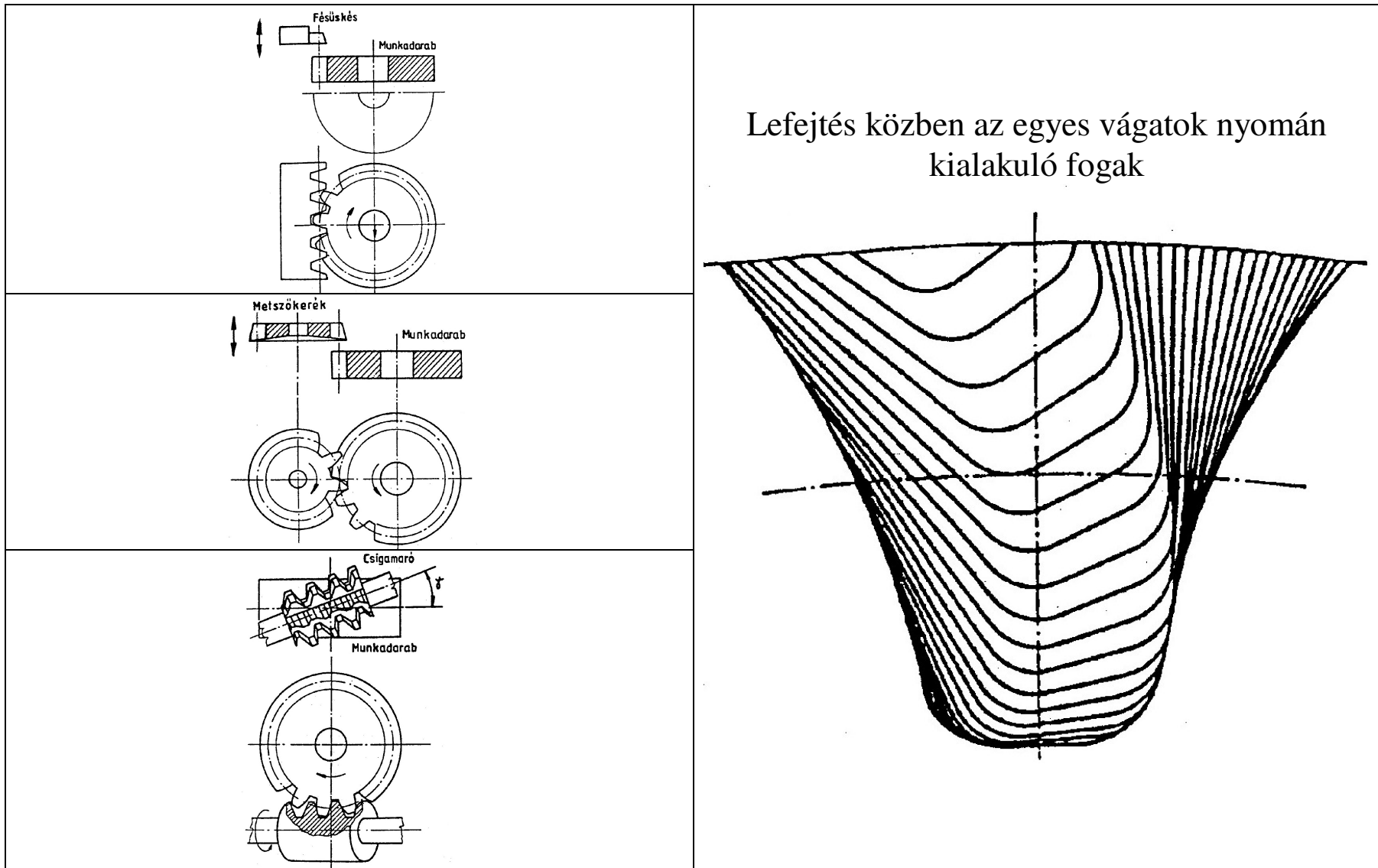
MAAG eljárás



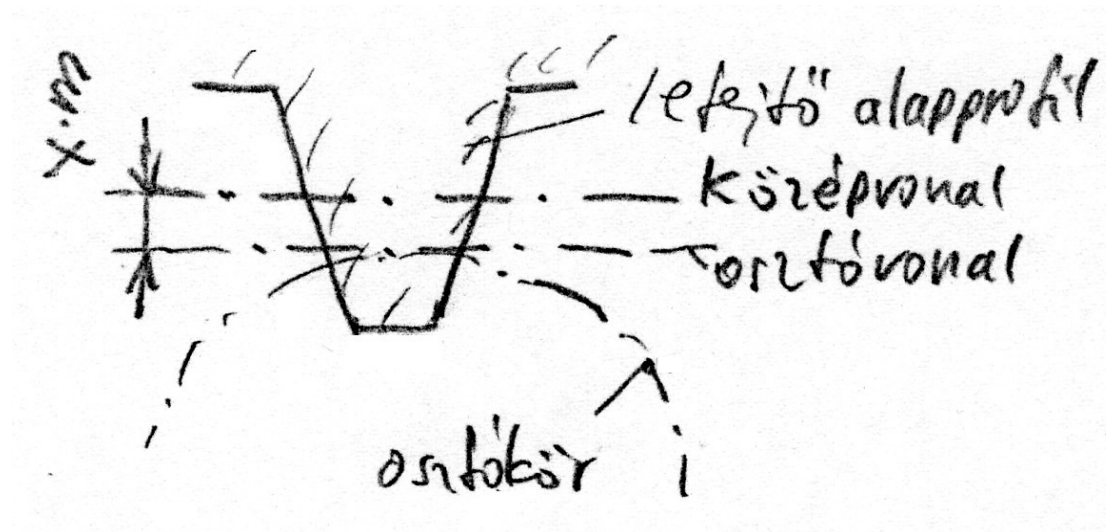
FELLOWS eljárás

PFAUTER eljárás





Profileltolás



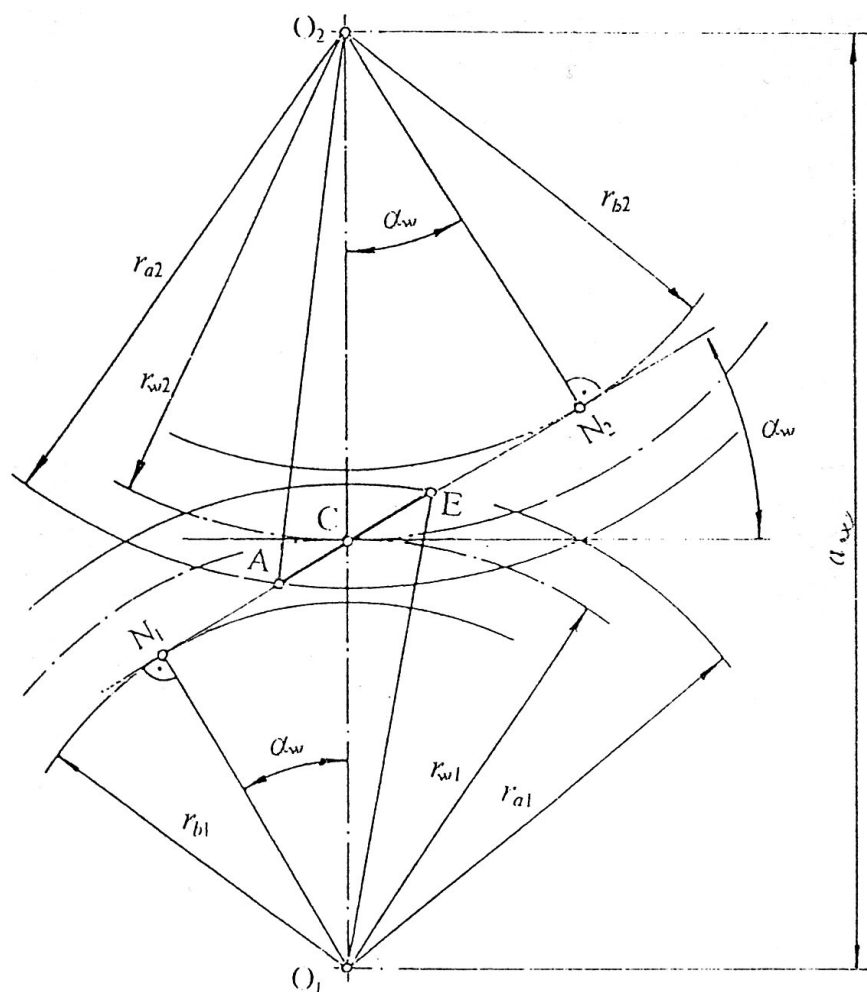
1. A szerszám osztóvonalja azonos a középvonalával → **elemi fogazat**
2. A kerék osztóhengerén a szerszám középvonalával párhuzamos egyenes, az osztóvonal gördül le → **profileltolásos fogazat**

$x \cdot m$	profileltolás
x	profileltolás tényező
pozitív	távolabb a tengelyvonaltól
negatív	közelebb

A profileltolásos fogazat több szempontból is kedvezőbb lehet az elemi fogazatnál:

- növelhető a teherbírás,
- működési zavarok hárríthatók el.

Evolvens fogazatok külső kapcsolódása



Az érintkező fogoldalak bármely pontjában húzott profilmerőleges érinti mindkét alapkört (N_1 , N_2 pontok)

Kapcsoló vonal: $\overline{N_1 N_2}$ egyenes

Kapcsolószög α_w

A főpontban a gördülőkörökre húzott közös érintő és a kapcsoló vonal közötti szög

Kapcsolóhossz g_α

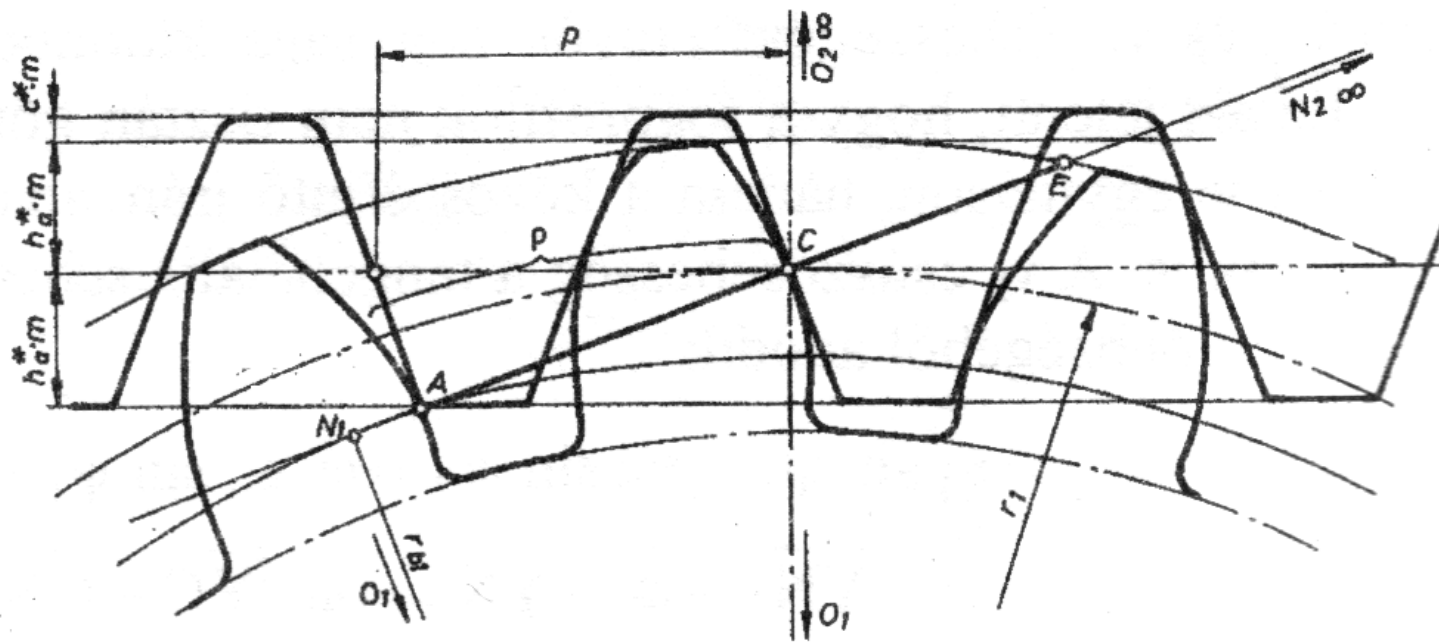
$$g_\alpha = \overline{A E}$$

A, E a kapcsolódás határpontjai (r_{a1} , r_{a2} sugarak bemetszése)

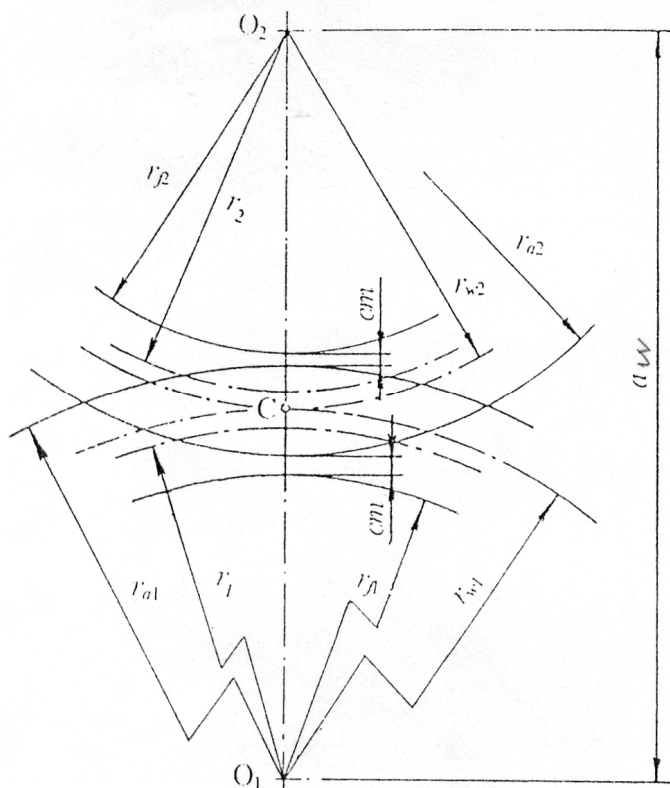
Profilkapcsolószám ε_α

$$\varepsilon_\alpha = \frac{g_\alpha}{p_b} \quad (\varepsilon_{\alpha \min} = 1,15 \dots 1,2)$$

Fogaskerék és fogasléc kapcsolódása



A fogaskerékpár jellemző méretei



Elméleti körök (nem függ a fogazat fajtájától):

Osztókör, $d = mz$.

Alapkör, $d_b = d \cos \alpha = mz \cos \alpha$.

Gördülőkör, melynek átmérője a tengelytáv és a fogszámviszony értékétől függ:

$$d_{w1} = \frac{2a_w}{u+1}, \quad \text{ill.} \quad d_{w2} = u \cdot d_{w1} = \frac{2u \cdot a_w}{u+1}.$$

Az elméleti körökön kívül van két látható kör is. Ezek a ***láb* kör** és a ***fej* kör**, melyeknek az átmérője függ a fogazat fajtájától is.

- elemi fogazat.
- profileltolással készült fogazat
 - kompensált fogazat, ($x_1 = -x_2$),
 - általános fogazat, ($x_1 + x_2 \neq 0$)

A szokásos $h_a^* = 1$ és $c^* = 0,25$ értékekkel számolva, a fontosabb méretek a következők:

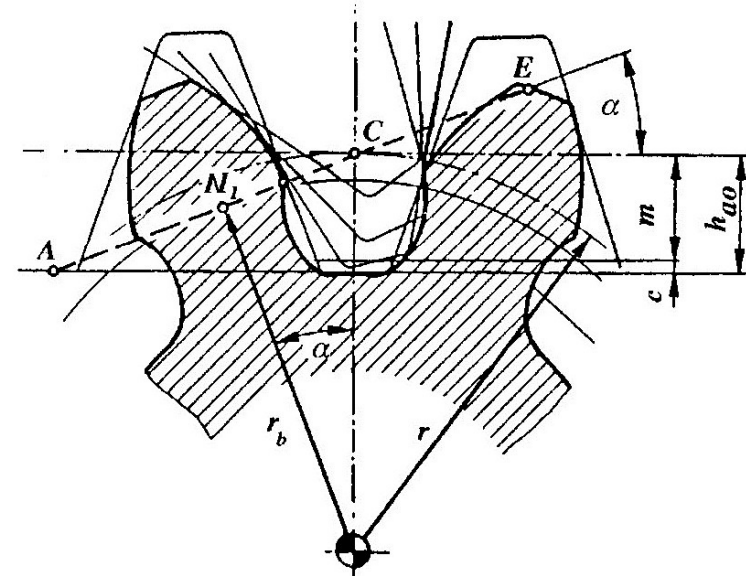
Láb kör átmérők: $d_{f1} = d_1 - 2m(h_a^* + c^* - x_1) = m(z_1 + 2x_1 - 2,5)$, $d_{f2} = d_2 - 2m(h_a^* + c^* - x_2) = m(z_2 + 2x_2 - 2,5)$;

Fej kör átmérők: $d_{a1} = d_1 + 2h_{a1} = d_1 + 2m(h_a^* + x_1)$, $d_{a2} = d_2 + 2h_{a2} = d_2 + 2m(h_a^* + x_2)$,

Alámetszés és a határfogszám

Az alámetszés egy fogazati rendellenesség. Kis fogszám esetén előfordulhat, hogy a fogazószerszám kigördülésénél az elkészült fog egy részét a szerszám eltávolítja a fogtő közelében. Ezt a jelenséget alámetszésnek nevezzük. Ez nem megengedett.

Ez a jelenség egyenes fogazat esetén 17 fog alatti kerekeknél jelentkezik. Ezt a legkisebb fogszámot ahol még nem jelentkezik alámetszés, határfogszámnak nevezzük.



Az alámetszés profileltolással kerülhető el.

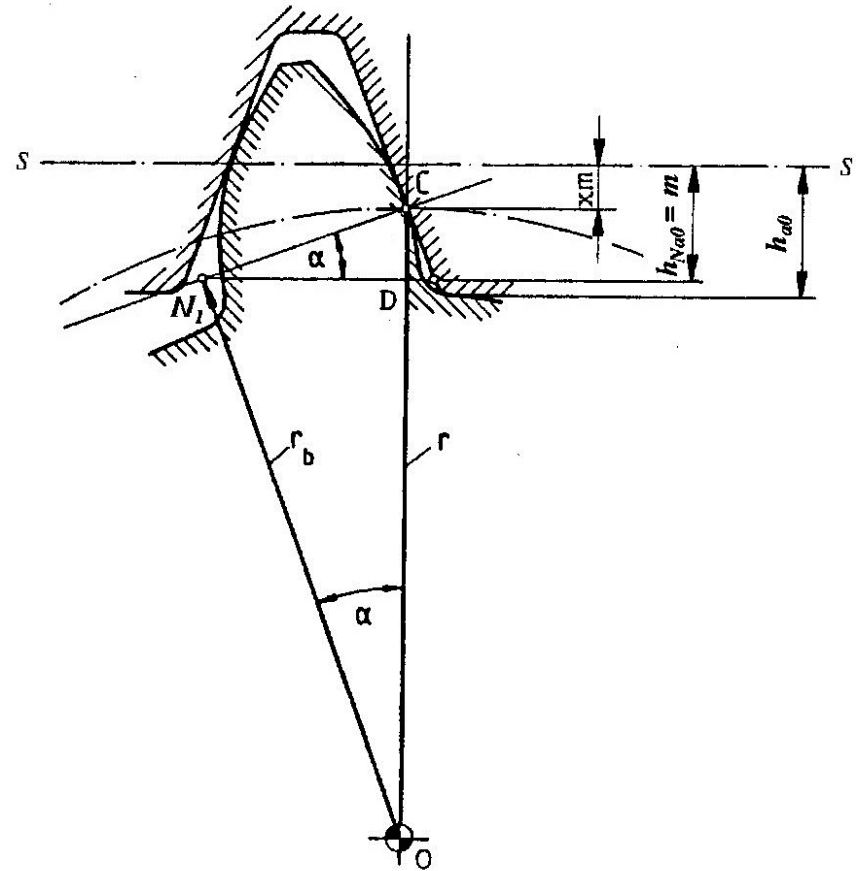
Profileltolás esetén 17-nél kisebb fogszámú kerek is alkalmazhatók.

Ha $\alpha=20^\circ$

$$z_{\text{lim}} = 17 \cdot (1 - x)$$

A szükséges profileltolás határértéke egy adott

fogsám esetén:
$$x_{\text{lim}} = \frac{17 - z}{17}$$



Ferdefogazatú hengereskerék-hajtások

A homloksík merőleges a forgástengelyre (minden paraméter t indexet kap)

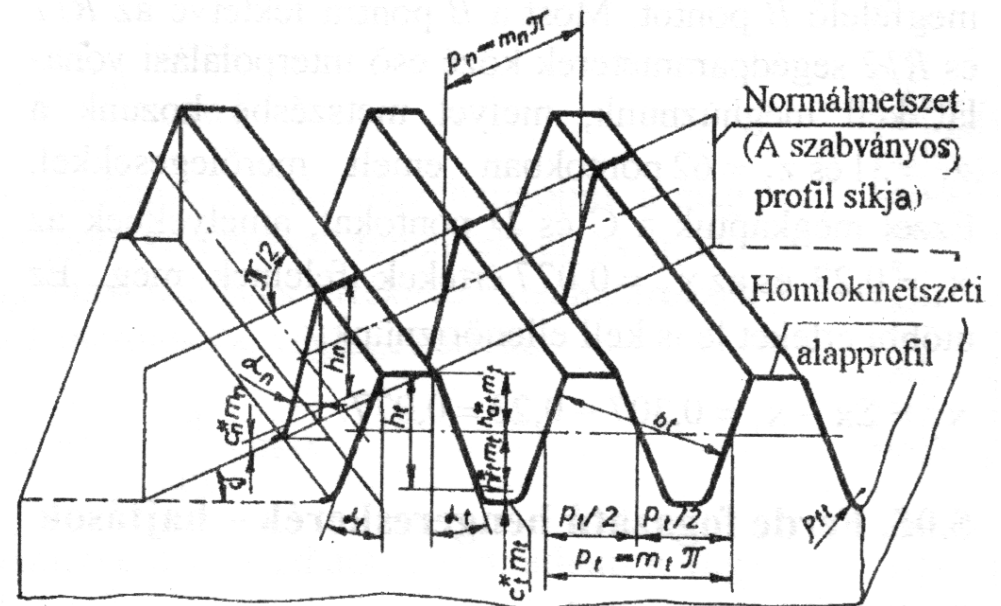
A normálmetszet, amely merőleges a fogirányvonalra, (minden paraméter n indexet kap)

β - foghajlásszög

homlok-alapprofilszög $\operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta}$,

homlokosztás: $p_t = \frac{p_n}{\cos \beta}$,

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



A homlokmetszeti és normálmetszeti alapprofilok magasság irányú méretei megegyeznek.

Az átmérők:

$$d_1 = m_t \cdot z_1 \quad d_2 = m_t \cdot z_2$$

$$d_{f1} = d_1 - 2m_n(1 + c_n^* - x_{n1}) \quad d_{f2} = d_2 - 2m_n(1 + c_n^* - x_{n2})$$

$$d_{a1} = 2a_w - d_{f2} - 2c_n^* \cdot m_n \quad d_{a2} = 2a_w - d_{f1} - 2c_n^* \cdot m_n$$

A kapcsolódó fogakat terhelő erő

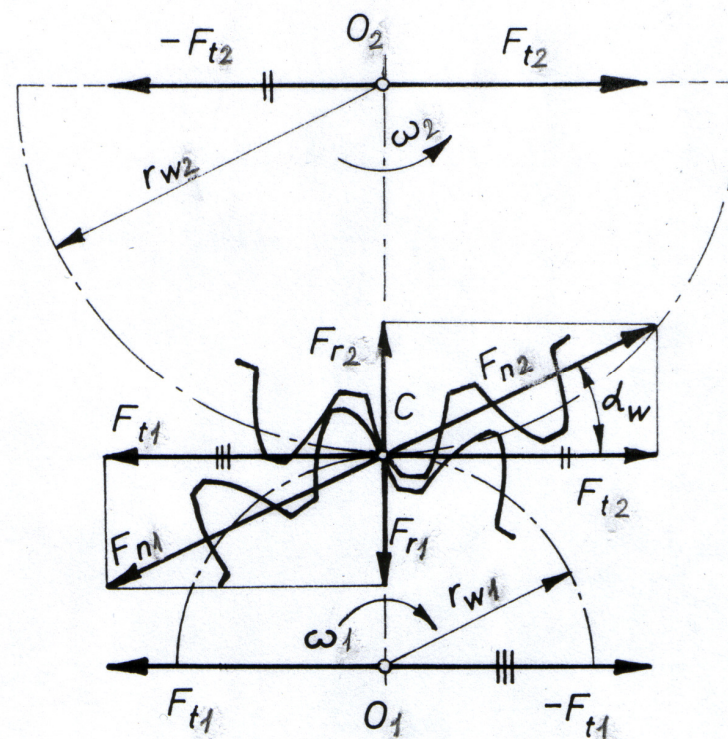
Az egyenes fogazat erőjátéka

Az F_n erő a főpontban egymásra merőleges két összetevőre bontható:

- a kerületi erő, amely a fogaskerékre ható T forgatónyomatékból számítható ki:

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

- és a radiális erő: $F_r = F_t \operatorname{tg} \alpha$.



A normálfogóerő felbontása
1 – hajtó kerék, 2 – hajtott kerék

A ferde fogazat erőjátéka

Ferde fogazatnál a normálmetszet merőleges a fogirányvonalra, ezért a kapcsolóvonal β szöget zár be a homloksíkkal. Ebből kifolyólag a normálfogóerő a C pontban egymásra merőleges három összetevőre bontható, ezek:

- az osztóköri kerületi erő – F_t ,
- a radiális erő – F_r ,
- az axiális erő – F_a .

A kerületi erőt ugyanúgy határozzuk meg, mint az

egyenes fogaknál:

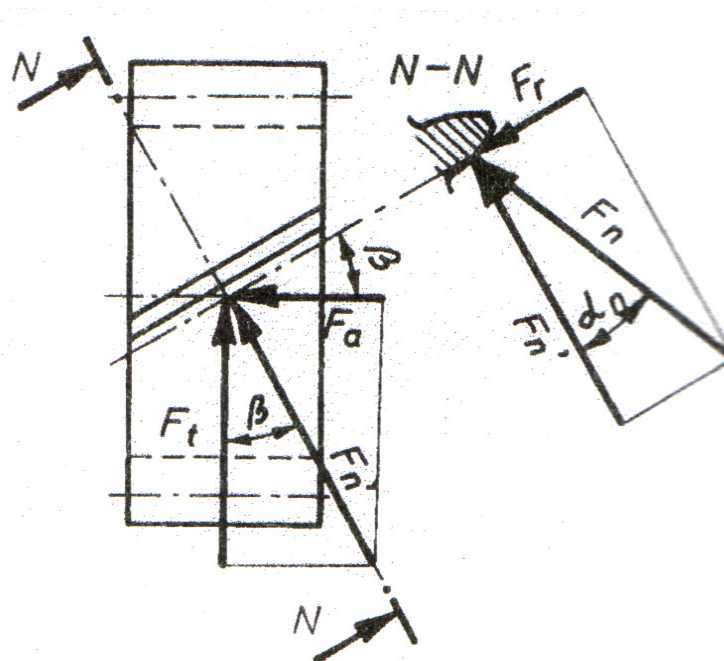
$$F_t = \frac{T}{r} = \frac{2T}{d}$$

$$F'_n = \frac{F_t}{\cos \beta}$$

A radiális erő:

$$F_r = F'_n \cdot \operatorname{tg} \alpha_n = \frac{F_t \operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta},$$

Az axiális erő:

$$F_a = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta.$$


A fogak meghibásodásai

- Fogtörés
- Felületi sérülések
 - kopás
 - gödrösödés
 - berágódás

A fogak igénybevétele

A fogak összetett igénybevételnek vannak kitéve:

- fogtő-igénybevétel (hajlítás, a fogak törését okozza),
- felületi nyomás az érintkezés környezetében (gödrösödéshez vezet),
- berágódásból adódó igénybevétel (csúszásból adódó súrlódás).

A fogaskerekek szilárdsági számításánál két esettel találkozhatunk:

1. **A kerekek geometriája ismert** → teherbírás ellenőrzése: a biztonsági tényezők meghatározása
2. **A kerekek méretei nem ismertek** → előtervezés (méretezés), a , m , b meghatározása

TEHERBÍRÁS ELLENŐRZÉSE

A fogfelületi teherbírás ellenőrzése

$$S_H = \frac{\sigma_{Hkr}}{\sigma_H} \geq 1,2 \dots 1,8$$

σ_{Hkr} – kritikus Herz feszültség

σ_H – tényleges (működő) feszültség

A fogfelület kritikus feszültsége

$$\sigma_{Hkr} = \sigma_{H \lim} \cdot Z_{NT} \cdot Z_L \cdot Z_v \cdot Z_R \cdot Z_W \cdot Z_X, \quad \text{ahol}$$

$\sigma_{H \lim}$ a Hertz-feszültség határértéke (anyagjellemző),

Z_{NT} élettartam tényező,

Z_L kenőanyag-tényező,

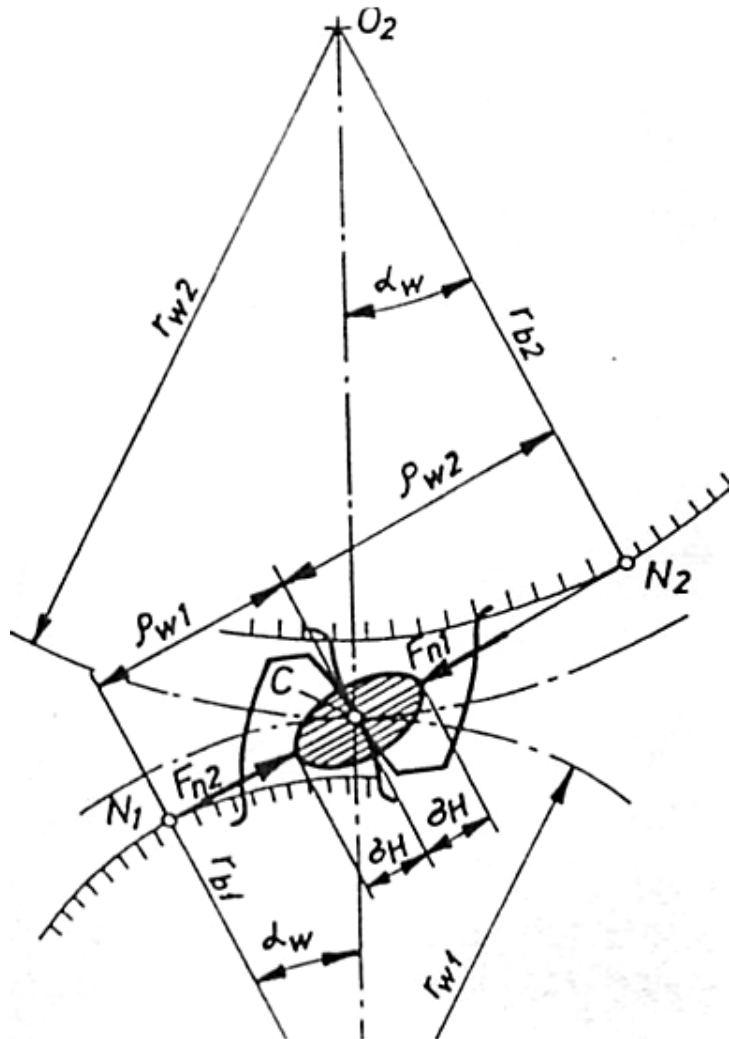
Z_v sebességtényező,

Z_R érdességtényező,

Z_W anyagpárosítási tényező

Z_X mérettényező.

A fogfelület tényleges (működő) feszültsége



Herz feszültség

$$\sigma_H = Z \cdot \sqrt{\frac{F_t}{d_1 \cdot b} \frac{u+1}{u}} K_H, \quad \text{ahol}$$

$Z = Z_E Z_H Z_\epsilon Z_B Z_\beta$ összesített fogfelületi tényező

Z_E rugalmassági tényező,

Z_H gördülőkör-tényező, értéke az alapprofil-szögtől, a foghajlásszögtől és a kapcsolószögtől függ.

Z_ϵ kapcsolószám-tényező.

Z_B egyfogpár-kapcsolódási tényező, ahol

Z_β fogferdeség-tényező.

$K_H = K_A K_v K_{H\beta} K_{H\alpha}$ összesített terhelés-tényező

K_A üzemtényező,

K_v dinamikus tényező,

$K_{H\beta}$ fogszélesség menti terheléeloszlás-tényező,

$K_{H\alpha}$ homlok terheléeloszlás-tényező felületi teherbírásra.

$$F_t = \frac{2000 \cdot T_1}{d_1} \quad [\text{N}] \quad \text{kerületi erő}$$

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{P_1 \cdot 60 \cdot 1000}{2\pi \cdot n_1} \quad [\text{Nm}] \quad \text{forgatónyomaték}$$

Ahol: P_1 [kW] bemenő teljesítmény
 n_1 [min⁻¹] bemenő fordulatszám

A fogtő-teherbírás ellenőrzése

Az ellenőrzés eredményeként a biztonsági tényezőt kapjuk meg, amely a kritikus fogtő-feszültség és a tényleges (működő) feszültség hányadosa. Értéke 1,6 és 1,7 között kell, hogy legyen, de ha a fogtörés súlyos következményekkel jár akkor 2 vagy annál nagyobb értékek is megkövetelhetők.

$$S_F = \frac{\sigma_{Fkr}}{\sigma_F}$$

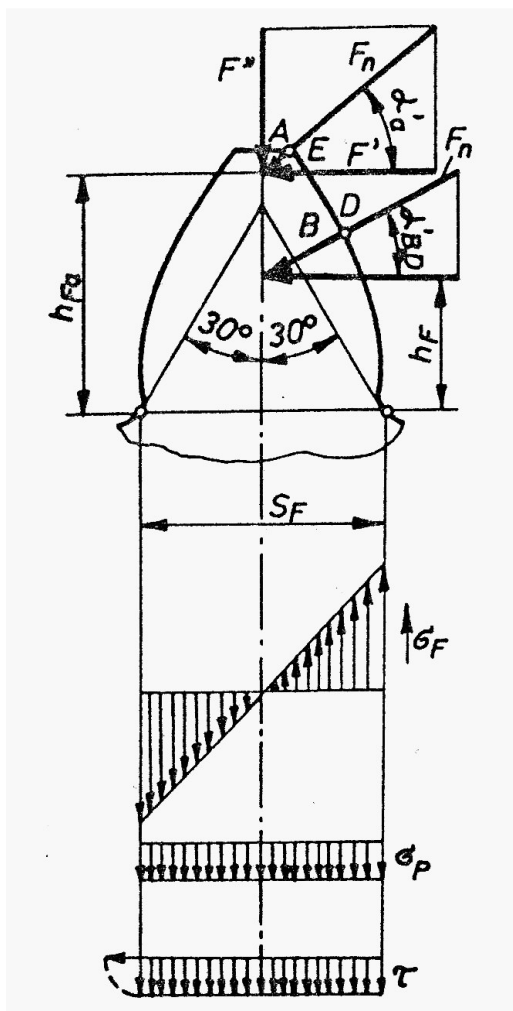
A fogtő kritikus feszültsége

$$\sigma_{Fkrit} = \sigma_{Flim} \cdot Y_{ST} \cdot Y_{NT} \cdot Y_{\delta T} \cdot Y_{RT} \cdot Y_X$$

ahol

σ_{Flim}	a fogtőfeszültség kifáradási határa (anyagjellemző),
$Y_{ST} \approx 2$	a kísérleti fogaskerék feszültségkoncentrációs tényezője,
Y_{NT}	élettartam-tényező,
$Y_{\delta T}$	relatív feszültségcsúcs-tényező,
Y_{RT}	relatív érdesség-tényező,
Y_X	a mérettényező.

A fogtő tényleges feszültsége



$$\sigma_F = Y \cdot \frac{F_t}{b \cdot m_n} \cdot K_F \quad \text{ahol}$$

$K_F = K_A K_v K_{F\beta} K_{F\alpha}$ összesített terhelés-tényező a fogtőre nézve

K_A és a K_v értéke megegyezik a felületellenőrzésnél felvett értékekkel.

$K_{F\beta}$ fogszélesség menti terheléeloszlás-tényező fogtő teherbírásra,

$K_{F\alpha} = K_{H\alpha}$ homlok terheléeloszlás-tényező fogtő teherbírásra.

$$Y = Y_{Fa} Y_{Sa} Y_{\epsilon} Y_{\beta} \quad \text{összesített fogtő-tényező}$$

Y_{Fa} a fogalak-tényező,

Y_{Sa} a feszültségkoncentrációs tényező.

Y_{ϵ} kapcsolószám-tényező, ahol

Y_{β} fogferdeségi tényező.

F_t kerületi erő.

m_n normálmodul

b fogszélesség

A FOGASKEREK ELŐTERVEZÉSE

A fogaskerek anyagválasztéka

A fogaskerek leggyakoribb anyaga betétezett acél. Esetenként, kevésbé igényes alkalmazások esetén lehet nemesített acél, szerkezeti acél vagy öntött vas is.

A fogazat előtervezése

1. A tengelytáv és a fogszélesség meghatározása

Ha a tengelytáv nincs előre megadva, akkor a következő képlet segítségével határozzuk meg:

$$a_w = \sqrt[3]{\frac{125 \cdot P_1 \cdot (u' + 1)^4 \cdot Z^2 \cdot K_H}{\xi \cdot \sigma_{HP}^2 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot u'}} \quad [\text{mm}]$$

ahol:

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{H \text{ lim}} \cdot Z_{NT}}{S_{H \text{ min}}} \quad \text{a megengedett Hertz-feszültség [N/mm}^2\text{]}$$

$\sigma_{H \text{ lim}}$ a Hertz-feszültség határértéke (táblázatból)

Z_{NT} élettartamtényező, értékét a terhelési ciklusok számától függ.

$S_{H \text{ min}}$ biztonsági tényező. Értéke 1,2 és 1,8 (2) között vehető fel.

$\xi = \frac{b}{d_{w1}}$ a fogszélesség-tényező. Kétoldalt csapágyazott kerékre 0,9...1,2 közötti értékre vehetjük föl,

konzolosan ágyazott kerékre pedig legfeljebb 0,7-re.

b a fogaskerek szélessége

d_{w1} a kiskerék gördülőkör átmérője.

A képletben szereplő többi jelölés jelentése megegyezik az ellenőrző számításnál adottakkal.

Az a_w tengelytáv meghatározása után határozható meg a fogszélesség értéke:

$$b = \xi \cdot d_{w1} = \frac{2\xi \cdot a_w}{u' + 1}, \quad d_{w1} = \frac{2a_w}{u' + 1}$$

A számítással kapott tengelytáv értéket esetenként szabványos értékre kell felfelé kerekíteni.

A tengelytáv és a fogaskerék szélessége képezik a fogaskerékpár főméreteit.

2. A modul és a fogsámok meghatározás

A fogaskerékpár főméreteinek meghatározása után az előtervezés második lépése a fogazat moduljának a fogtőigénybevétel alapján történő meghatározása.

A fogtőfeszültség szempontjából szükséges modul:

$$m_n \geq \frac{1000 \cdot P}{b \cdot d_{w1} \cdot \pi \cdot n_1 \cdot \sigma_{FP}} \cdot Y \cdot K_F \quad [\text{mm}]$$

A képletben szereplő mennyiségek:

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{F \text{ lim}} \cdot Y_{NT}}{S_{F \text{ min}}} \quad [\text{N/mm}^2] \quad \text{a megengedett fogtőfeszültség}$$

$\sigma_{F \text{ lim}}$ a fogtőfeszültség határértéke (anyag-táblázatból).

Y_{NT} élettartam tényező, értékét a terhelési ciklusszám függvényében kell meghatározni.

$S_{F \text{ min}}$ biztonsági tényező. Értéke 1,6 és 2 között vehető fel.

A normálmodul számítással kapott értéke alapján szabványos modult kell választani.

A fogszámok meghatározása

A szükséges fogszámösszeg kiszámításánál feltételezzük, hogy $\alpha_{wt} \cong \alpha_t$

$$\Sigma z = \frac{2a_w \cdot \cos \beta}{m_n} \cdot \frac{\cos \alpha_{wt}}{\cos \alpha_t}$$

A két kerék fogszáma $z_1 = \frac{\Sigma z}{u' + 1}$ $z_2 = \Sigma z - z_1$

Mindkét fogszámot a legközelebbi egész számra kell kerekíteni. Ügyelni kell arra, hogy a fogszámviszony (u) minél jobban megközelítse a fogaskerékpár (u') szükséges fogszám-viszonyát.

3. A profiletolás meghatározása

A DIN 3992 szabvány szerint a profiletolás tényező nagysága a fogazat különböző tulajdonságainak létrehozását eredményezheti:

- nagy teherbírású fogazat $x_1+x_2=1$ (0,7 ... 1,2)
- nagy kapcsolószám $x_1+x_2= - 0,2$ (- 0,4 ... 0)
- kiegyensúlyozott fogazat $x_1+x_2= 0,3$ (0,2 ... 0,4)

Kötelezően profiletolást kell alkalmazni, ha a kiskerék fogszáma 18 fog alatt van, de javasolt a profiletolás akkor is, amikor a fogszám 30 alatt van. Profiletolás esetén módosul a tengelytáv is (kivételt képez a kompenzált fogazat, $x_1+x_2=0$).

A profileltolás összegét, felvett tengelytáv és fogszámok esetén, számítással kell meghatározni.

Az előtervezéssel kapott adatokkal a kerekek minden paramétere meghatározható és azok alapján kell elvégezni az ellenőrző számítást.

Hengeres kerekek számítási lapja

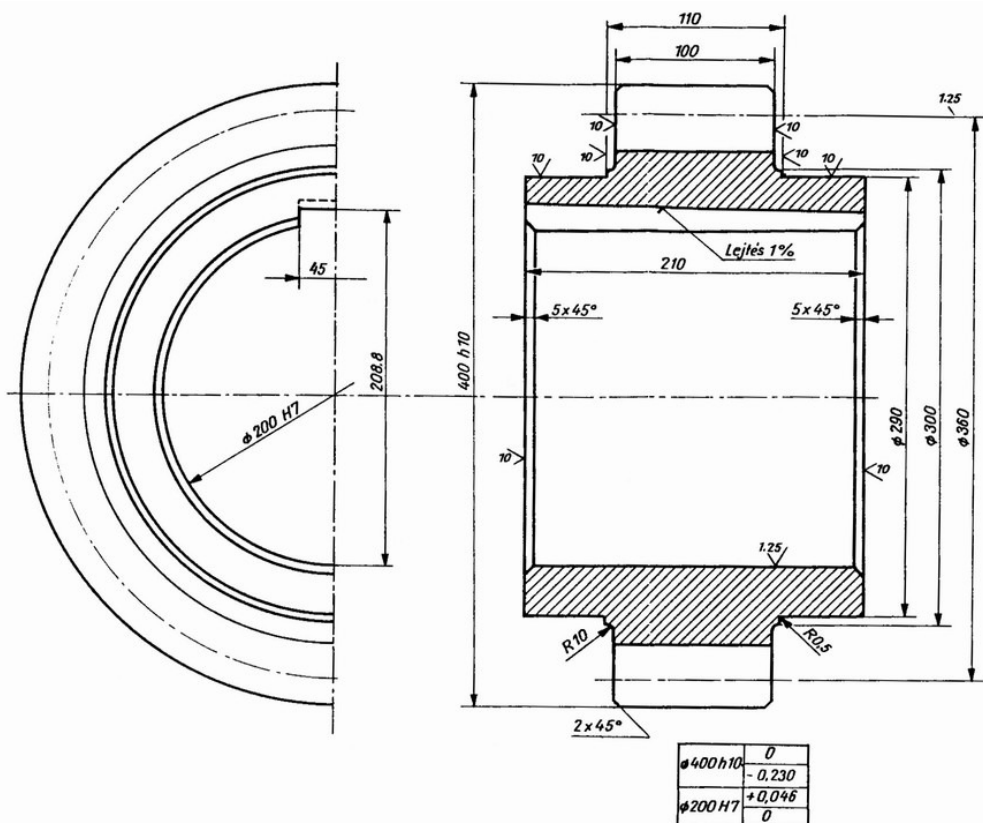
Kiinduló adatok: $z_1, z_2, m_n, a_w, \beta, x_1, x_2, \alpha_n, h_a^*, c^*$ ($\alpha_n=20^\circ, h_a^*=1, c^*=0,25$)		
1.	Fogszámviszony	$u = \frac{z_2}{z_1}$
2.	Homlokmodul	$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$
3.	Elemi tengelytáv	$a = m_t \frac{z_1 + z_2}{2}$
4.	Homlok- alapprofilszög	$tg \alpha_t = \frac{tg \alpha_n}{\cos \beta}$
5.	Kapcsolószög	$\cos \alpha_{wt} = \frac{a \cdot \cos \alpha_t}{a_w}$
6.	Tengelytávtenyező	$y = \frac{a_w - a}{m_n}$
7.	Képzelt fogszámok	$z_{n1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta}, \quad z_{n2} = \frac{z_2}{\cos^3 \beta}$
8.	Működő fogmagasság	$h_w = m_n [2 \cdot h_a^* - (\Sigma x - y)]$

9.	Gördülőkörátmérők	$d_{w1} = \frac{2 \cdot a_w}{u+1}, \quad d_{w2} = u \cdot d_{w1}$
10.	Osztókörátmérők	$d_1 = z_1 \cdot m_t, \quad d_2 = z_2 \cdot m_t = u \cdot d_1$
11.	Alapkörátmérő	$d_{b1} = d_1 \cdot \cos \alpha_t, \quad d_{b2} = d_2 \cdot \cos \alpha_t = u \cdot d_{b1}$
12.	Láb körátmérő	$d_{f1} = d_1 - 2m_n(h_a^* + c^* - x_1), \quad d_{f2} = d_2 - 2m_n(h_a^* + c^* - x_2)$
13.	Fejkörátmérő, $\Sigma x \geq 0,75$ esetén	$d_{a1} = d_1 + 2m_n(h_a^* + x_1 - (\Sigma x - y)) = 2(a_w - (r_{f2} + c))$ $d_{a2} = d_2 + 2m_n(h_a^* + x_2 - (\Sigma x - y)) = 2(a_w - (r_{f1} + c))$
	Fejkörátmérő, $\Sigma x < 0,75$ esetén	$d_{a1} = d_1 + 2m_n(h_a^* + x_1)$ $d_{a2} = d_2 + 2m_n(h_a^* + x_2)$
14.	Normálosztás	$p_n = p = \pi \cdot m_n$
15.	Homlokosztás	$p_t = \frac{p_n}{\cos \beta}$
16.	Alaposztás	$p_{bn} = p_b = p_n \cdot \cos \alpha_n$
17.	Homlok-alaposztás	$p_{bt} = p_t \cdot \cos \alpha_t$
18.	Kapcsolóhossz	$g_\alpha = \frac{\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} - 2a_w \cdot \sin \alpha_{wt}}{2}$
19.	Profilkapcsolószám	$\varepsilon_\alpha = \frac{g_\alpha}{p_{bt}}$

20 .	Átfedés	$\varepsilon_\beta = \frac{b \cdot \sin \beta}{m_n \cdot \pi}$
21 .	Összkapcsolószám	$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$

Fogaskerék műhelyrajza

A fogaskerekeket a géprajz szabályai szerint egyszerűsítve ábrázoljuk. A rajzon csak a kerékre vonatkozó méreteket tüntetjük fel, míg a fogakkal kapcsolatos adatokat a rajz mellett egy táblázatban adjuk meg.



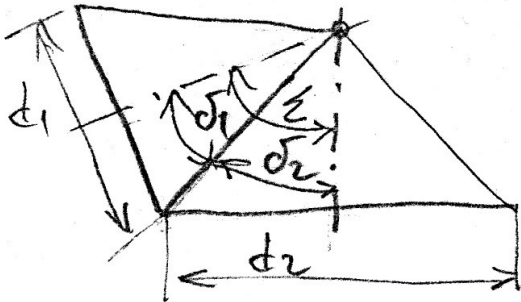
Ékhorony MSZ 2320 szerint

A keréken meg kell jelölni:
a fogszámot,
a modul,
anyagot

Egyenes külső fogazat		
Elnevezés	Jel	Adat
Fogszám	z	18
Modul	m	20
Profilszög	α	20°
Többfogmérés W3		152,0054
Foghézag	s	1,22
Ellenkerék rajzszáma		2320-87-32

KÚPKERÉK-HAJTÁSOK

Metsződő tengelyek közt kúp fogaskerekkel vihető át forgás, ill. nyomaték.



$$\Sigma = \delta_1 + \delta_2 \quad \text{tengelyszög (legtöbbször } \Sigma = 90^\circ \text{)}$$

$$\delta_1, \delta_2 \quad \text{gördülő-kúpszögek.}$$

Fogsám-viszony, ill. áttétel:

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{\sin \delta_2}{\sin \delta_1} = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta_1} = \operatorname{tg} \delta_2$$

A fogprofil a fog koncentrikus gömbökkel való metszésével kapjuk: gömbi evolvens.

Az alapprofil nem egyenes vonal, de csekély eltéréssel egyenesnek vehető, így megegyezik a hengeres kerek alapprofiljával.

Az alapprofil az ún. síkkerékkel ($\delta = 90^\circ$) van meghatározva.

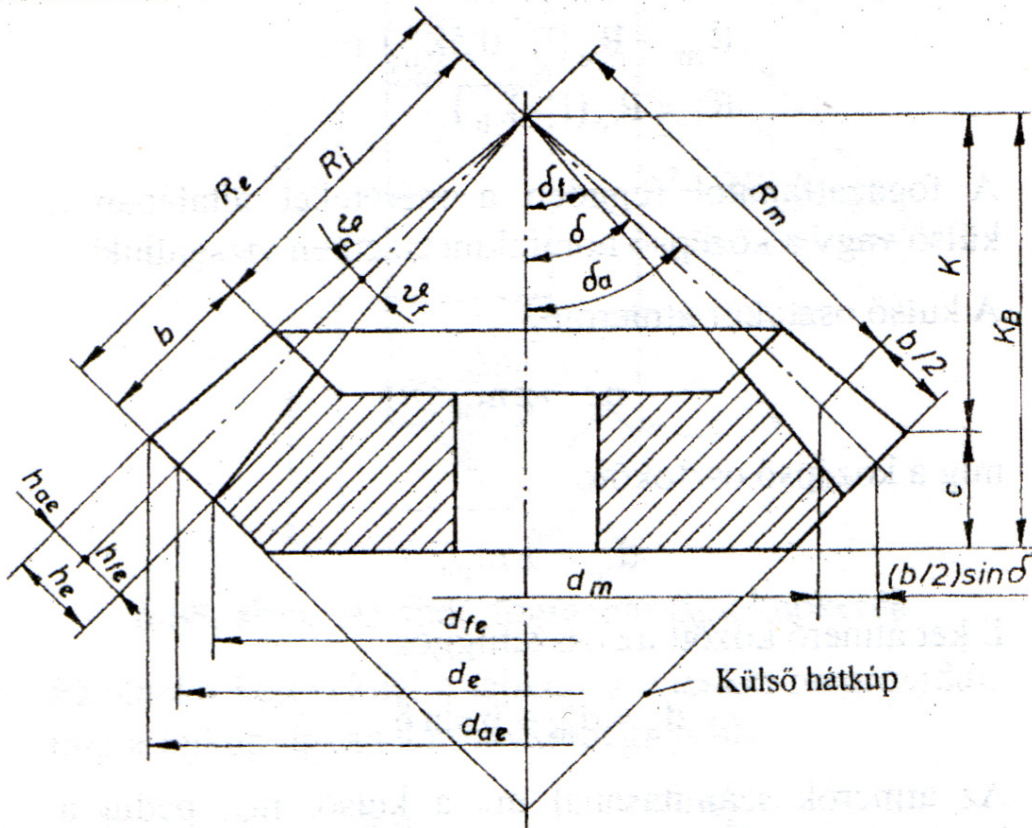
Abban különbözik a fogasléctől, hogy a fogprofil nagysága csökken a külső fogvégtől a belső fogvég felé.

A fogoldal iránya szerint a kúpkerék lehet:

- egyenesfogú,
- ferdefogú,
- íveltfogú.

Kúpkerek méretei

A kúpkerek geometriája összetettebb a hengeres kerekéknél. A jellemző hosszmeretek mellett, jellegzetes szögek is vannak.



$$d_e = z \cdot m_{et} \quad \text{külső osztókör}$$

$$d_{ae} = d_e + 2 \cdot h_{ae} \cdot \cos \delta \quad \text{külső fejkör}$$

$$d_{fe} = d_e - 2 \cdot h_{fe} \cdot \cos \delta \quad \text{külső lábkör}$$

$$h_{ae} = m_{et} \cdot (h_a^* + x) \quad \text{fogfej}$$

$$h_{fe} = m_{et} \cdot (h_a^* + c^* - x) \quad \text{fogláb}$$

A középső és külső osztókörök és modulok kapcsolata:

$$d_e = d_m + 2 \cdot \frac{b}{2} \cdot \sin \delta$$

$$m_{et} = m_{mt} + \frac{b}{z} \cdot \sin \delta$$

Osztókúp-szögek: $\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{1}{u}, \quad \operatorname{tg} \delta_2 = u, \quad u = \frac{z_2}{z_1}, \quad \delta_1 + \delta_2 = 90^\circ$

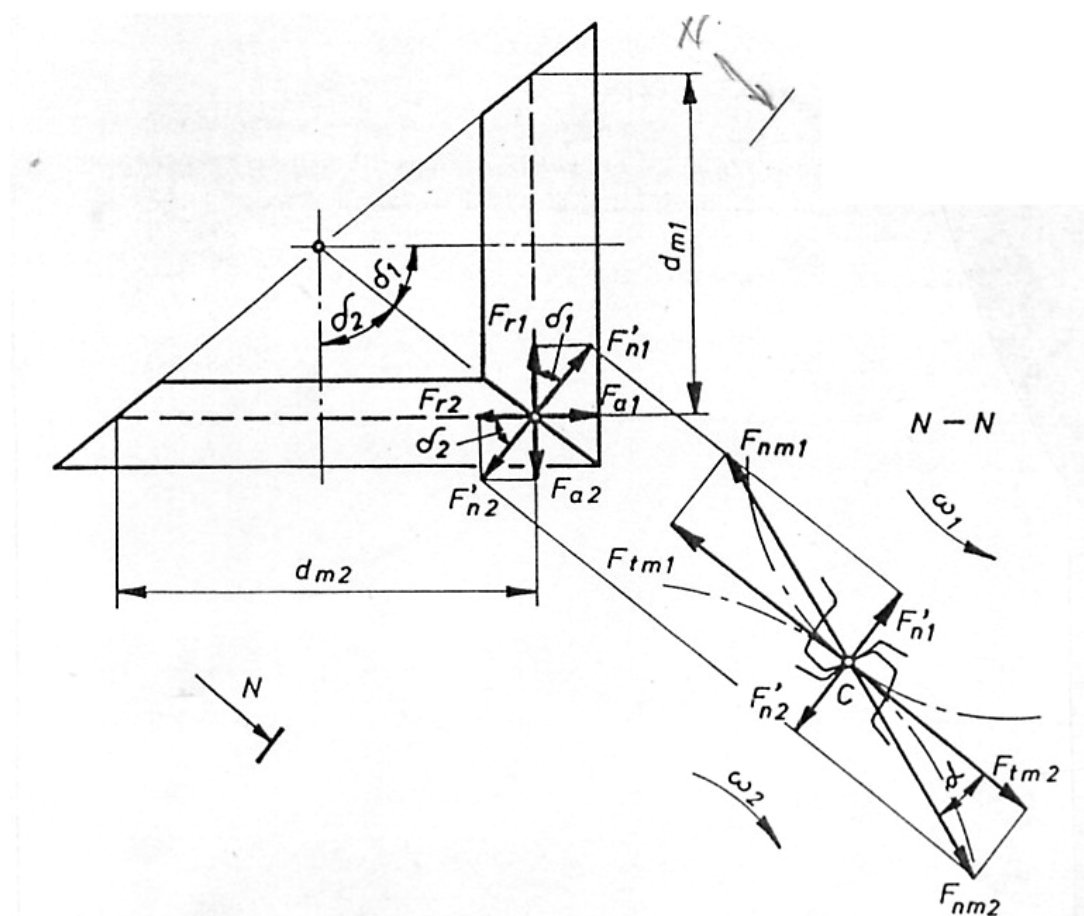
Láb-kúp-szögek: $\delta_{f1} = \delta_1 - \vartheta_{f1}, \quad \delta_{f2} = \delta_2 - \vartheta_{f2}, \quad \operatorname{tg} \vartheta_{f1} = \frac{h_{fe1}}{R_e}, \quad \operatorname{tg} \vartheta_{f2} = \frac{h_{fe2}}{R_e}$

Külső osztókúp-hossz: $R_e = \frac{d_{e1}}{2 \sin \delta_1} = \frac{d_{e2}}{2 \sin \delta_2}$

Fejkúp-szögek: $\delta_{a1} = \delta_1 + \vartheta_{a1}, \quad \delta_{a2} = \delta_2 + \vartheta_{a2}, \quad \operatorname{tg} \vartheta_a = \frac{h_{ae}}{R_e}$

Kúpkerék-hajtások erőhatásai

Feltételezzük, hogy koncentrált erő hat a fogközépen a kapcsolóvonal mentén (F_{nm}).



A normál-fogező három összetevőre bontható:

$$\begin{aligned}
 F_{nm} &\rightarrow F_{tm} \\
 &\rightarrow F'_{nm} \quad \rightarrow F_r \\
 &\quad \quad \quad \rightarrow F_a
 \end{aligned}$$

Kerületi erő

$$F_{tm1} = \frac{2T_1}{d_{m1}}, \quad F_{tm2} = \frac{2T_2}{d_{m2}}$$

$$F_{nm} = \frac{F_{tm}}{\cos \alpha} \quad F'_n = F_{tm} \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Axiális erők

$$F_{a1} = F'_{n1} \cdot \sin \delta_1 = F_{tm1} \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \delta_1$$

$$F_{a2} = F_{tm2} \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \delta_2$$

Radiális erők:

$$F_{r1} = F_{tm1} \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \delta_1$$

$$F_{r2} = F_{tm2} \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \delta_2$$

CSIGAHAJTÓ-PÁROK

A kitérő tengelyű hajtásokhoz tartoznak.

A tengelykitérés szöge tetszőleges, de leginkább $\Sigma = 90^\circ$.

Csigahajtás

- csiga \rightarrow menetes orsónak tekinthető
- csigakerék \rightarrow félanya, amely egyenes mozgás helyett forgómozgást végez a forgástengelye körül, részben körül fogja az orsómagot.

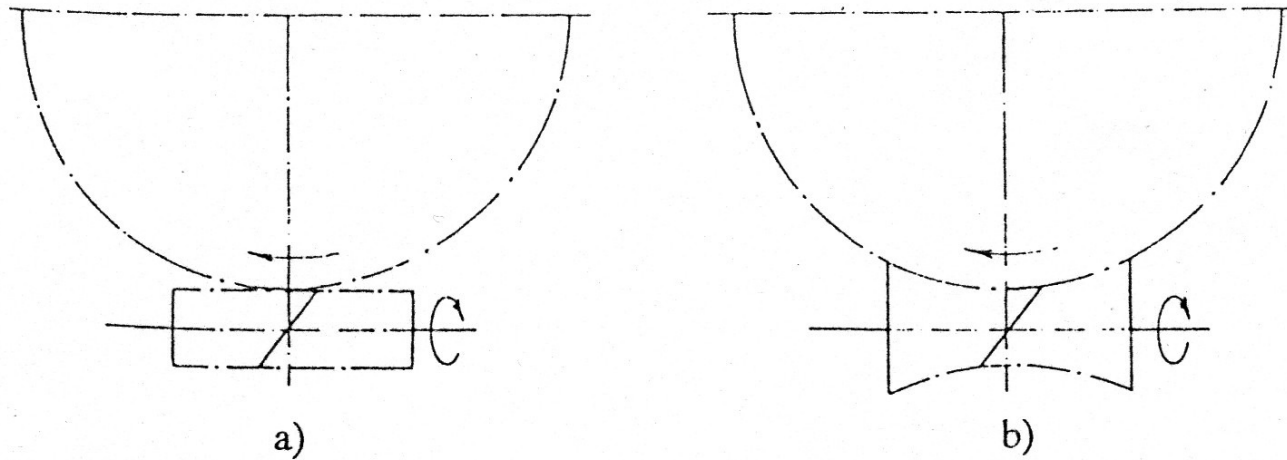
Kifejezetten csúszó kapcsolat.

Kedvező tulajdonságaik:

- nagy áttétel megvalósítása ($u=5\dots 60$),
- alacsony zajszint,
- önzáró is lehet.

Hátrányos tulajdonságaik:

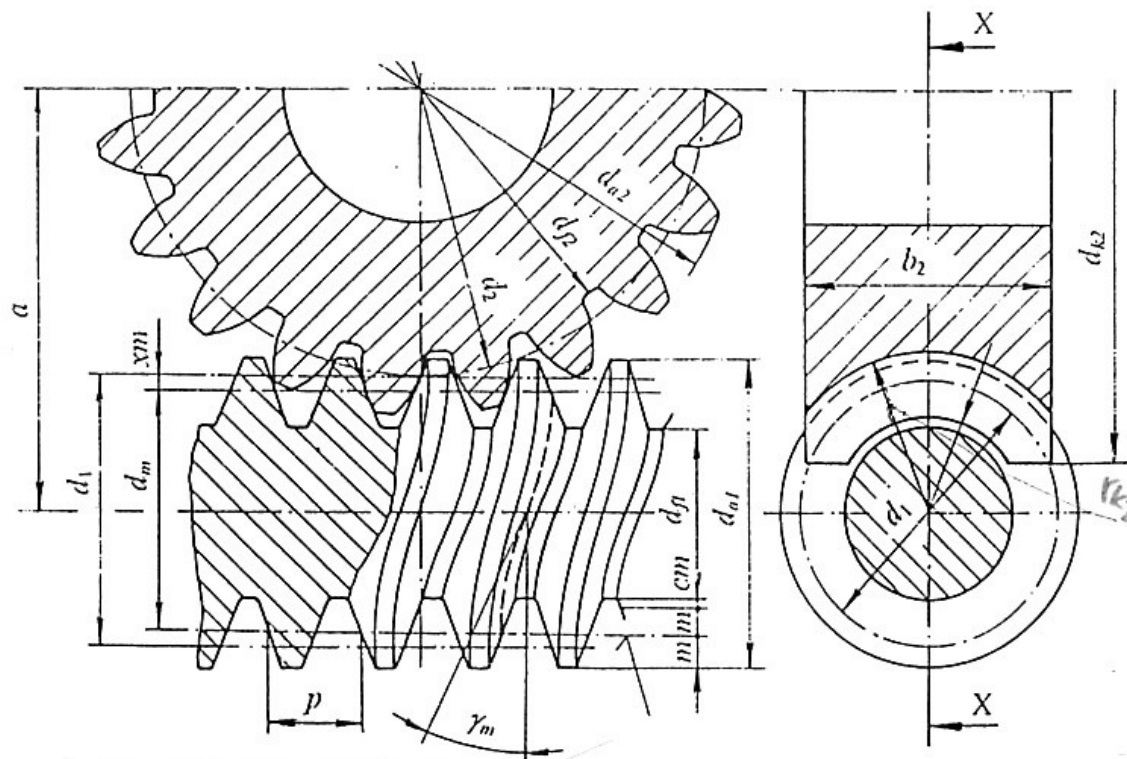
- nagyok a csúszásból adódó veszteségek.



A csiga alakja szerint a hajtás lehet:

- hengeres csigahajtó-pár (1-2 fog kapcsolódik)
- globoid csigahajtó-pár (több fog kapcsolódik)

Hengeres csigahajtó-pár kapcsolódása és méretei



A homlokmetsetben (X-X) fogaskerék-alapprofil kapcsolódás állapítható meg, melynek osztása:

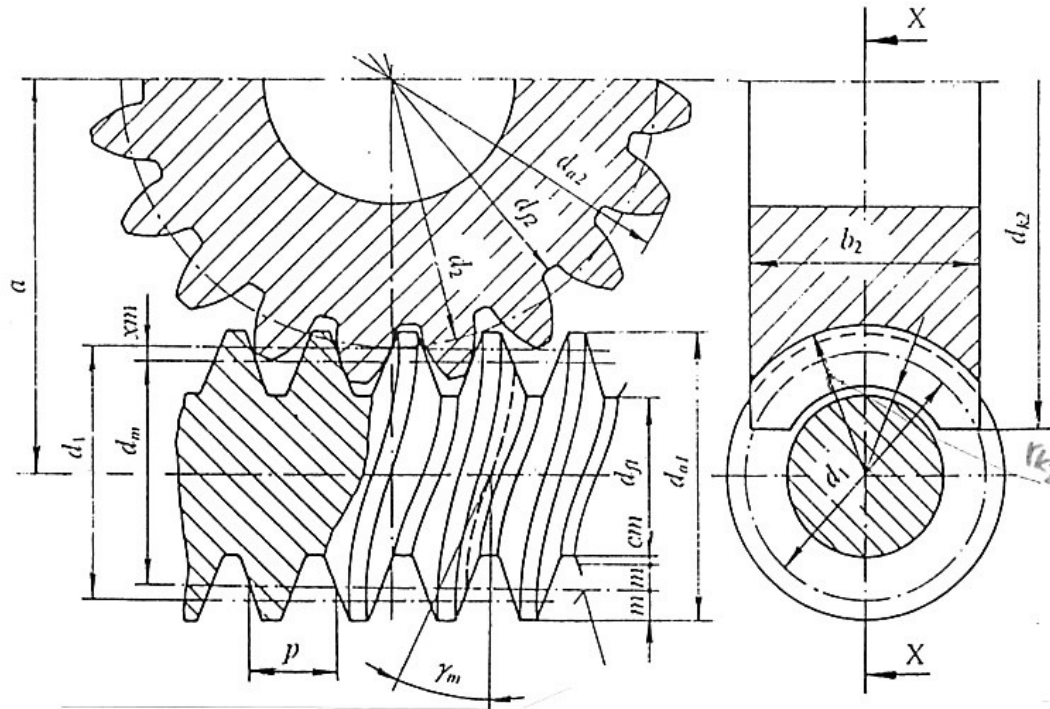
$$p = m \cdot \pi, \quad \text{ahol } m \text{ a homlokmetzeti modul (szabványos)}$$

A menetemelkedés:

$$L = z_1 \cdot p = z_1 \cdot m \cdot \pi$$

$$z_1 = 1 \quad \text{egybekezdésű menetnél}$$

$$z_1 = 2 \quad \text{kétbekezdésű menetnél, stb.} \quad z_1 = 1 \cdots 6$$



Emelkedési szög a csiga középátmérőjén:

$$\operatorname{tg} \gamma_m = \frac{L}{d_m \cdot \pi} = \frac{z_1 \cdot m \cdot \pi}{d_m \cdot \pi}$$

$$d_m = \frac{z_1}{\operatorname{tg} \gamma_m} \cdot m = q \cdot m$$

$$q = \frac{z_1}{\operatorname{tg} \gamma_m} \quad \text{átmérőhányados,}$$

szabványos értékei: 8, 10, 12, 16, 20
(7, 9, 11, 14, 18)

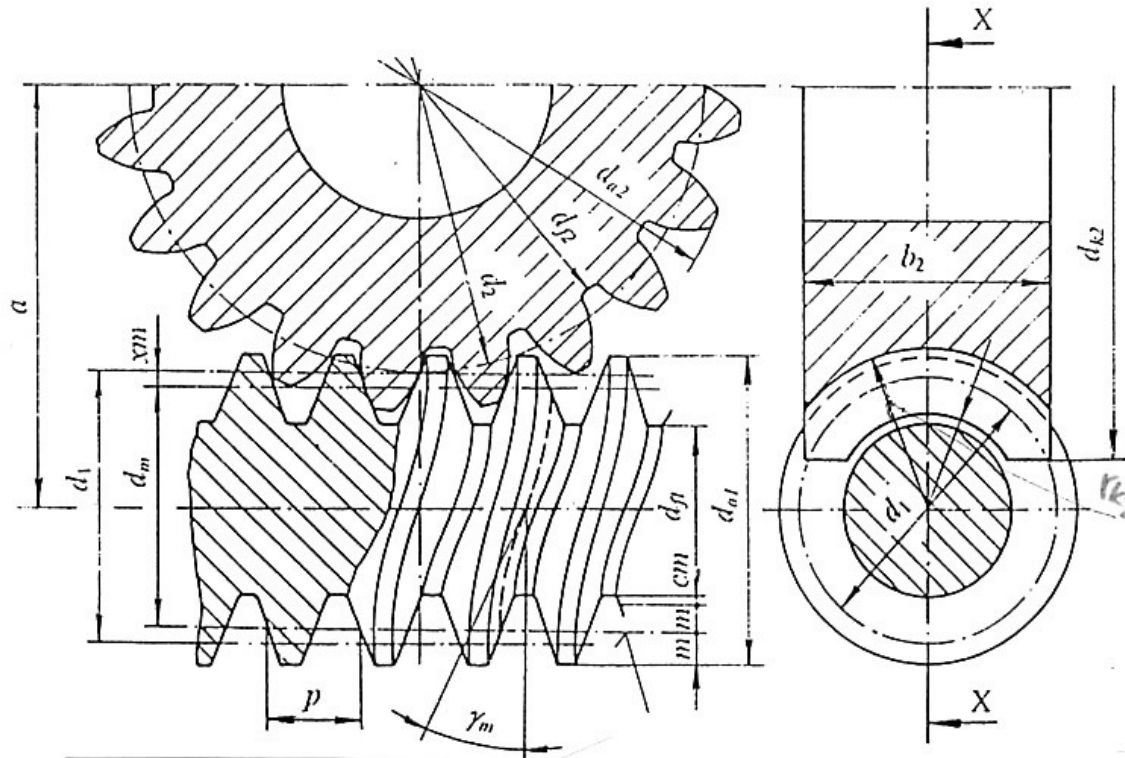
$$\operatorname{tg} \gamma_m = \frac{z_1}{q}$$

Fogsám viszony és az áttétel meghatározható abból a tényből, hogy a csiga axiális sebessége meg kell egyezzen a csigakerék kerület sebességével.

A csiga axiális sebessége: $v_{a1} = L \cdot n_1 = z_1 \cdot p \cdot n_1$.

A csigakerék kerületi sebessége: $v_{t2} = d_2 \cdot \pi \cdot n_2 = z_2 \cdot p \cdot n_2$

$$z_1 \cdot p \cdot n_1 = z_2 \cdot p \cdot n_2 \quad \text{innen:} \quad i = u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$



A csiga méretei:

$$d_1 = d_m + 2x \cdot m$$

$$d_{a1} = d_m + 2 \cdot m$$

$$d_{f1} = d_m - 2 \cdot m(1 + c^*)$$

Csigakerék méretei:

$$d_2 = m \cdot z_2$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m(1 + x)$$

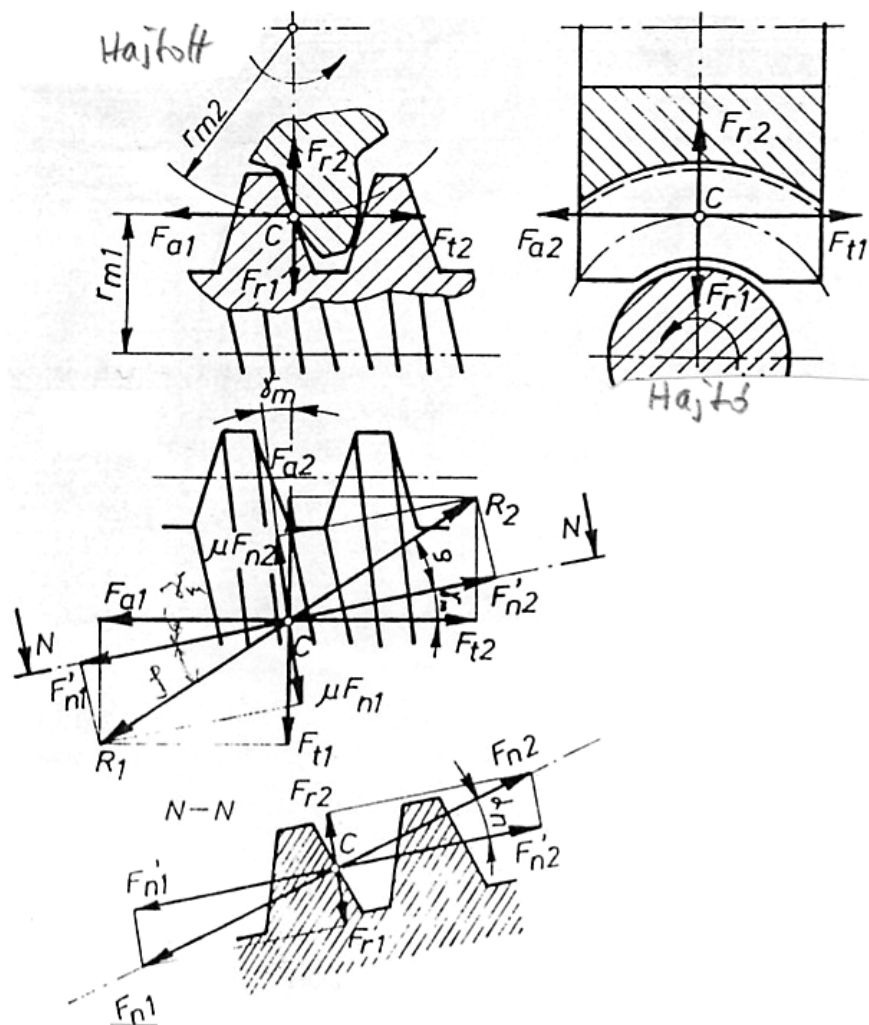
$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot m(1 + c^* - x)$$

$d_{k2} \geq d_{a2} + m$ a fogfelületek
hengeres részének az átmérője.

$$r_{k2} \geq a - \frac{1}{2} d_{a2} \quad \text{fogtőív sugara}$$

Tengelytáv:
$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{d_m + 2x \cdot m + d_2}{2} = m \frac{q + z_2 + 2x}{2}$$

A csigahajtásokban fellépő erők



F_n – normál fogerő a C pontban. Ezt három egymásra merőleges összetevőre bontjuk:

- F_t , tangenciális erő
- F_r , radiális és
- F_a . axiális erő

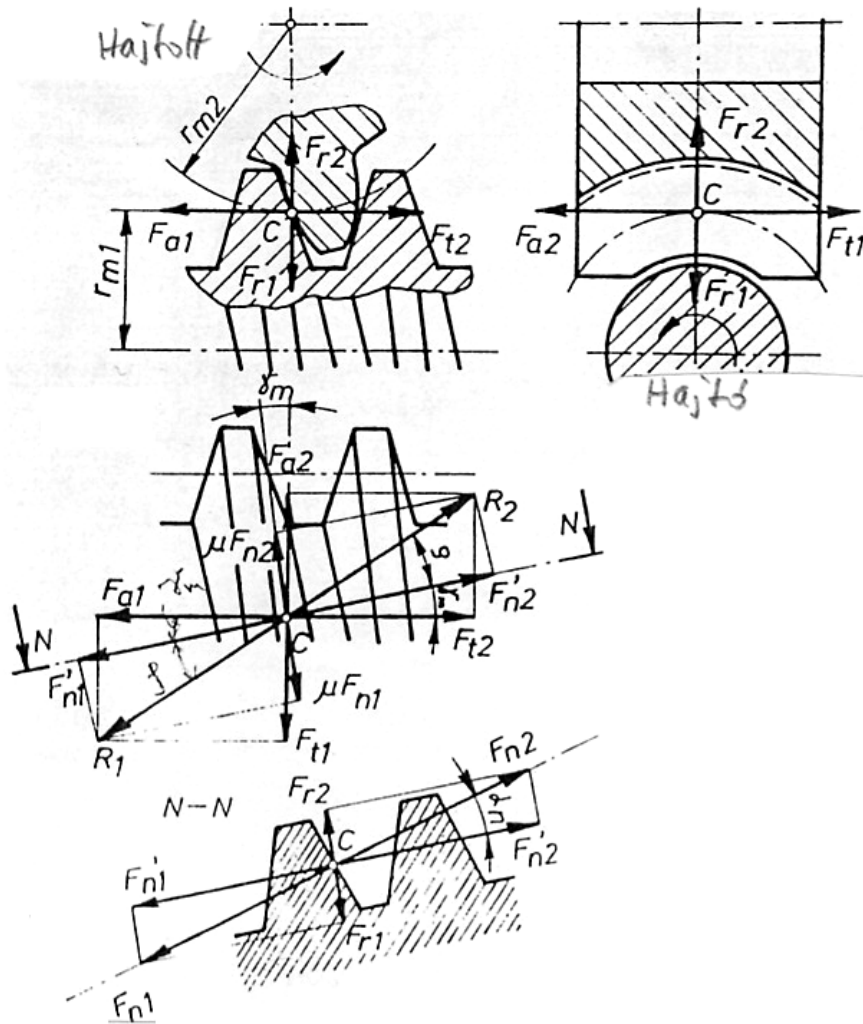
A csúszó kapcsolat miatt jelentős a súrlódási erő, melynek értéke: $\mu \cdot F_n$

A felbontás menete:

1. Az F_{n1} erőt F_{r1} és F_{n1}' összetevőkre.
2. Az F_{n1}' és a súrlódási erő $\mu \cdot F_n$ összevonásával az R_1 eredőt kapjuk.
3. Ezt követően az R_1 eredőt két egymásra merőleges összetevőre, F_{a1} , F_{t1} , bontjuk

A csigára ható axiális erő megegyezik a csigakeréken ható kerületi erővel

$$F_{a1} = F_{t2} \qquad F_{t1} = F_{a2}$$



Először a csigán ható kerületi erő számolható a forgatónyomatékból:

$$F_{t1} = F_{a2} = \frac{2T_1}{d_{m1}}$$

A többi erőösszetevő az erőháromszögek alapján:

$$F_{a1} = F_{t2} = \frac{F_{t1}}{\operatorname{tg}(\gamma_m + \rho)},$$

ρ – súrlódási félkúpszög $\operatorname{tg}\rho = \mu$

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t1} \frac{\operatorname{tg}\alpha_n \cdot \cos\rho}{\sin(\gamma_m + \rho)}$$

A normál fogerő:

$$F_{n1} = F_{t1} \frac{\cos\rho}{\cos\alpha_n \cdot \sin(\gamma_m + \rho)}$$

Csigahajtó-párok hatásfoka

A csiga és a csigakerék kapcsolat a hatásfok vizsgálatánál a csavarorsó-anya kapcsolat (mozgató orsók) hatásfokával egyezik meg:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \gamma_m}{\operatorname{tg}(\gamma_m + \rho)}$$

A γ_m szög növelése az η növeléséhez vezet ($\eta_{\max} \rightarrow \gamma_m = 45^\circ - \frac{\rho}{2}$)

Az önzáró menet esetében: $\gamma_m \leq \rho$

Határesetben $\gamma_m = \rho$

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \rho}{\operatorname{tg}(\rho + \rho)} = \frac{\operatorname{tg} \rho}{\operatorname{tg} 2\rho} \quad \operatorname{tg} 2\rho = \frac{2\operatorname{tg} \rho}{1 - \operatorname{tg}^2 \rho}$$

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \rho}{2 \cdot \operatorname{tg} \rho} (1 - \operatorname{tg}^2 \rho) = 0,5 - \operatorname{tg}^2 \rho$$

Ebből az látszik, hogy önzáró csigapár esetén, a hatásfok 0,5-nél kisebb!!!

A csigahajtás méretezése

1. A fogsám viszony és a fogsámok

$z_1 = 1 \cdots 4(6)$ a menet-bekezdések száma

$Z_{2\min} = 29$ a csigakerék legkisebb fogsáma (foghegyesedés, alámetszés)

$Z_2 = 29 \dots 100$ a csigakerék fogsám tartománya

A legkisebb fogsám-viszony (áttétel): $u_{\min} = \frac{z_{2\min}}{z_{\max}} = \frac{29}{4} = 7,25$

2. Tengelytáv

Több tapasztalati alapon nyugvó eljárás használatos

- Niemann féle nomogramok $a = f(P, n_1, u)$

- Buckingham szerint $a = 100 \cdot 1,8 \sqrt{\frac{P_o}{0,35 \cdot y_k}}$

Ahol: $P_o = P(1 - \eta)$ teljesítmény veszteség

η értékét csak megbecsülni tudjuk ebben a tervezési szakaszban

y_k a hajtómű elrendezésétől és n_1 -től függő tényező

3. Modul kiválasztása

$$a = 0,5 \cdot m(q + z_2) \quad \text{innen:} \quad m = \frac{2a}{q + z_2}$$

q – szabványos értéket kell választani

Az alapvető paraméterek meghatározása után a csigapár geometriai méretei kiszámíthatók.

Ezt követően elvégezhető az ellenőrző számítás, ami a következőkből áll:

- fogfelületi teherbírás ellenőrzése (felületi sérülés és kopás szempontjából),
- fogtőszilárdság ellenőrzése,
- csigatengely merevségének ellenőrzése,
- a felmelegedés ellenőrzése.