

Fogaskerékhajtásról röviden

**II. FMK. BSc. hallgatói részére
(tananyag kiegészítő segédlet)**

**Németh Gábor
egyetemi adjunktus**

Sopron, 2007

Tartalomjegyzék

FOGASKEREKEK TÍPUSAI, FAJTÁI.....	3
FOGASKEREKEK JELLEMZŐ RÉSZEI.....	7
KAPCSOLÓDÁSI FELTÉTELEK.....	8
WILLIS TÉTELE VAGY FOGMERŐLEGES TÉTEL.....	9
ELEMI FOGAZATKAPCSOLÓDÁS.....	13
SOROS KEREKEK.....	16
AZ EVOLVENS, MINT FOGPROFIL VALAMINT AZ EVOLVENSEK KAPCSOLÓDÁSI JELLEGZETESSÉGEI.....	16
FOGAZAT LEFEJTÉSÉNEK ELVE.....	19
ALÁMETSZÉS, HATÁRFOGSZÁM.....	20
KOMPENZÁLT FOGAZAT.....	25
ÁLTALÁNOS FOGAZÁS.....	26
A FERDEFOGAZAT.....	27
BELSŐ FOGAZAT.....	33
KÚPKEREKEK.....	34
CSAVARKEREKEK.....	36
CSIGAHAJTÁS.....	36
A FOGASKEREKEK MÉRETEZÉSE.....	38
TÖNKREMENTELI MÓDOK.....	42
FOGASKEREKEK ANYAGAI.....	45
A FOGASKEREKEK GYÁRTÁSA.....	46
A FOGASKEREKEK MÉRÉSE.....	51
PROFILHIBA MÉRÉSE.....	62

Források:

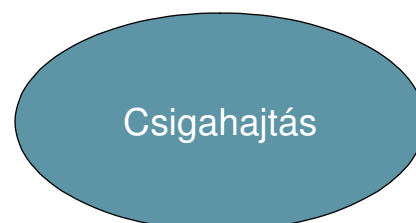
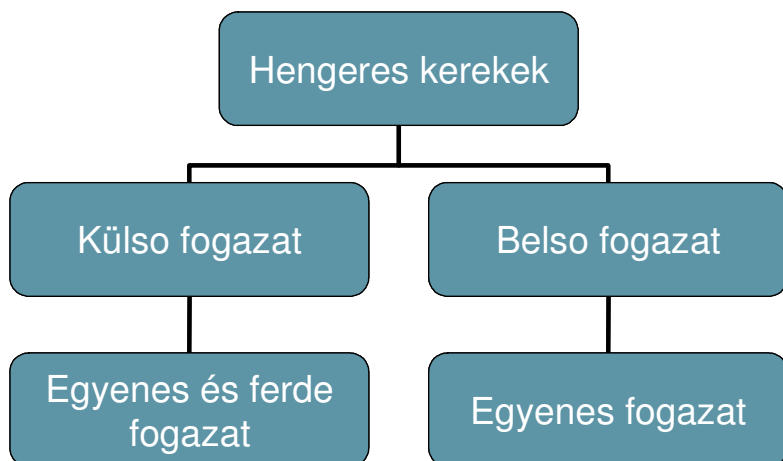
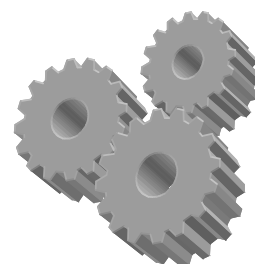
Bider Zsolt; Lászlóné Pozsgai Anna; Tóth József: GÉPSZERKEZETTAN II. Gépelemek, Széchenyi István egyetem, Győr, 2006

Dr. Kozma Mihály: GÉP ÉS SZERKEZETI ELEMELK; BME; Budapest, 2004

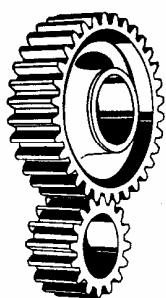
Dr. Szabó Dénes: Gépelemek III./A, Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron, 1972

Dr. Láng Miklós: Általános Géptan I.; Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron, 1973

Fogaskerekek típusai, fajtái

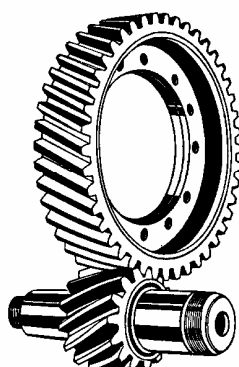


1) $a \neq 0$ és $\Sigma = 0^\circ \Rightarrow$ hengeres fogaskerekek



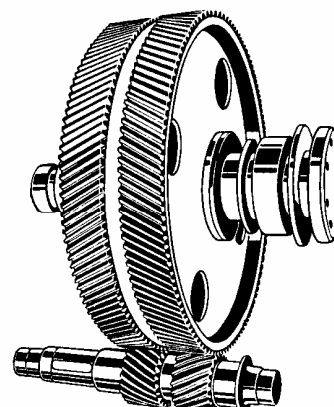
a

a) egyenes-;



b

b) ferde-;



c

c) nyíl- fogazat.

Speciális eset a belső fogazat:



2) $a = 0$ és $\Sigma = 90^\circ \Rightarrow$ kúpfogaskerekek

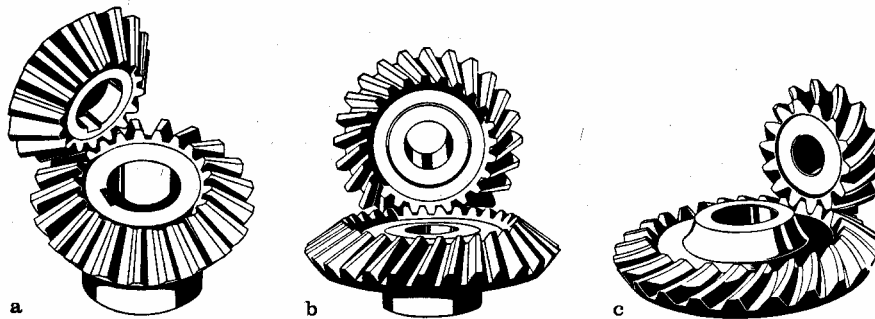
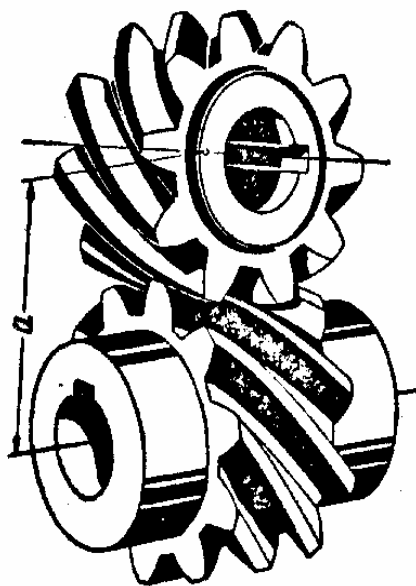
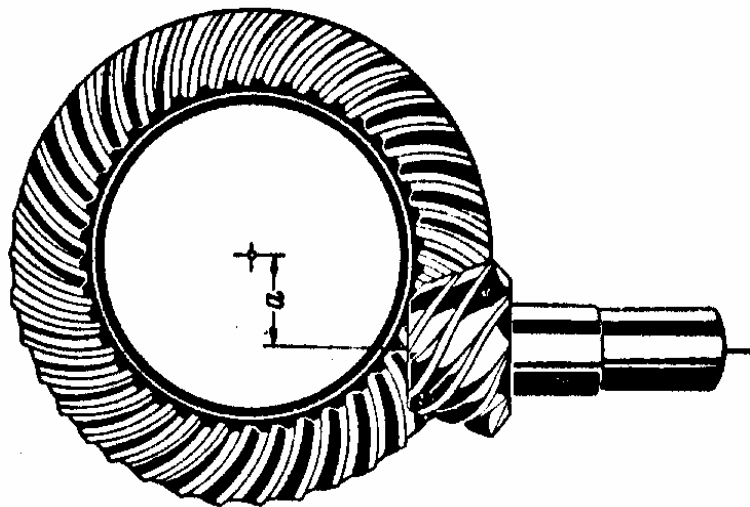


Bild 20/6. Kegélrader. a) Geradverzahnung; b) Schrägverzahnung; c) Bogen- (Spiral-) Verzahnung.

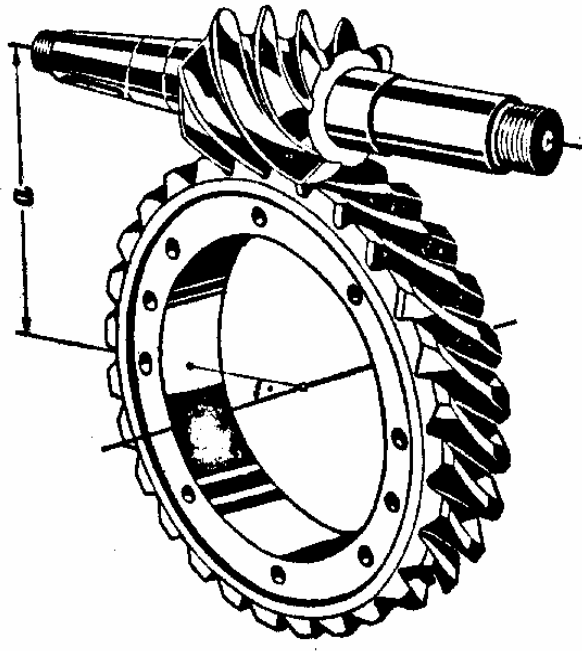
- 3) $a \neq 0$ és $\Sigma \neq 0^\circ \Rightarrow$ hipoid fogaskerekek (spiroid, toroid hajtás)



- 4) $a \neq 0$ és $\Sigma \neq 0^\circ \Rightarrow$ csavarkerekek

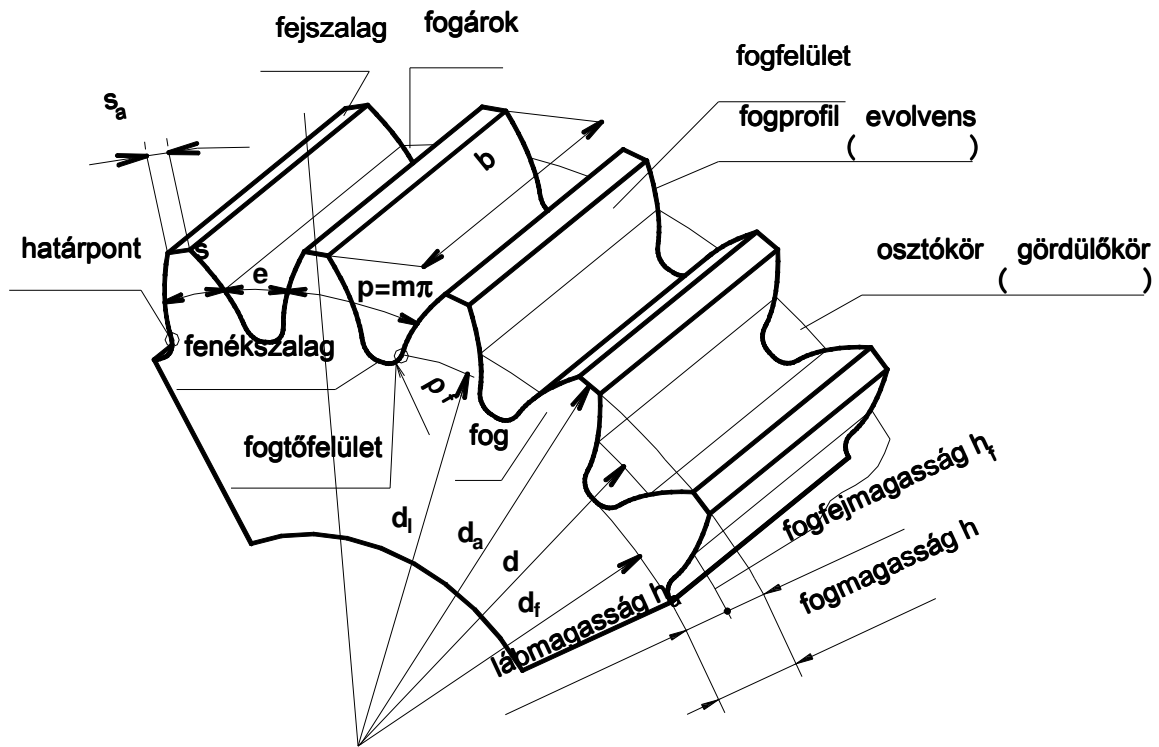
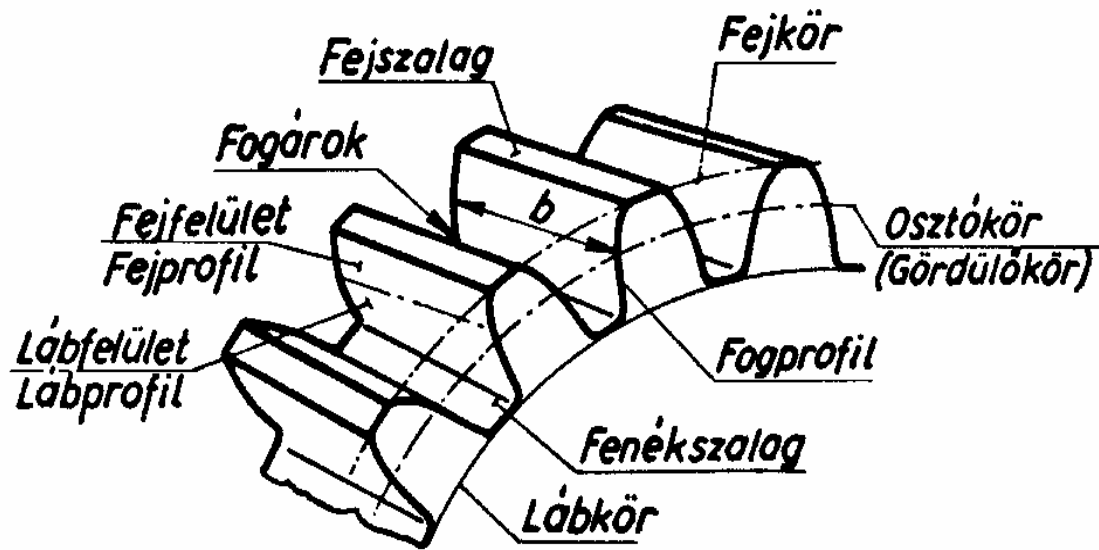
(A gyakorlatban a csavarkerekeket hengeres ferdefogú kerékkal helyettesítjük, ezáltal a vonal menti érintkezés pontszerűvé válik.)

- 5) $a \neq 0$ és $\Sigma = 90^\circ \Rightarrow$ csigahajtás



Fogaskerek jellemző részei

A fogaskerék jellemző részeinek elnevezése:



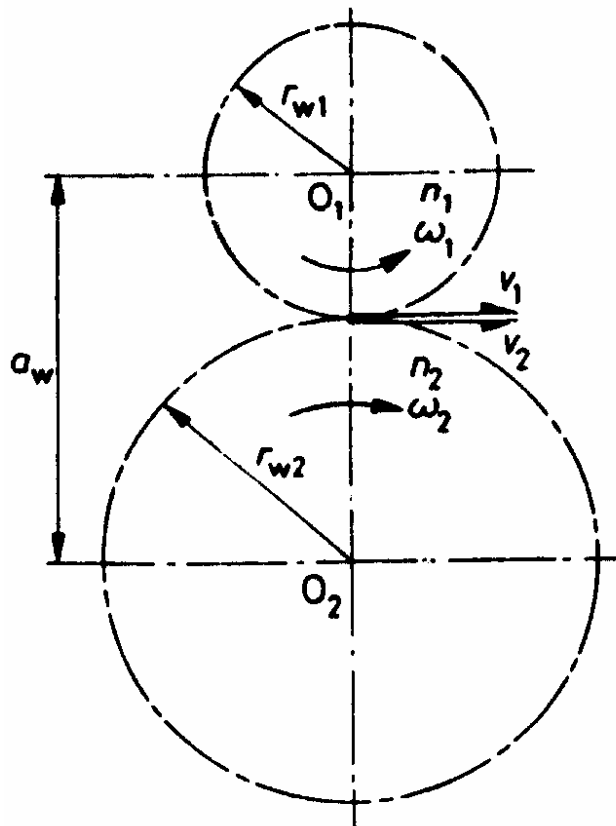
Kapcsolódási feltételek

Két párhuzamos tengely között a forgás átszarmaztatását úgy kell megvalósítani, hogy ha a **hajtó** tengely állandó szögsebességgel forog, akkor a **hajtott** tengely is állandó szögsebességgel forogjon. A kényszerkapcsolatot (alakzá-rást) létrehozó fogfelületeket tehát úgy kell kialakítani, hogy a két kerék szög-sebességének aránya minden pillanatban állandó legyen:

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \text{áll.}$$

Ha $i > 1$, akkor lassító áttétel; ha $i < 1$, akkor gyorsító áttételről van szó.

Az alakzárás és a szögsebességek arányának állandóságából következik, hogy mindkét keréken kell lennie egy olyan **gördülőfelületnek**, amelynek tengelyre merőleges metszetű körei csúszásmentesen gördülnek le egymáson.



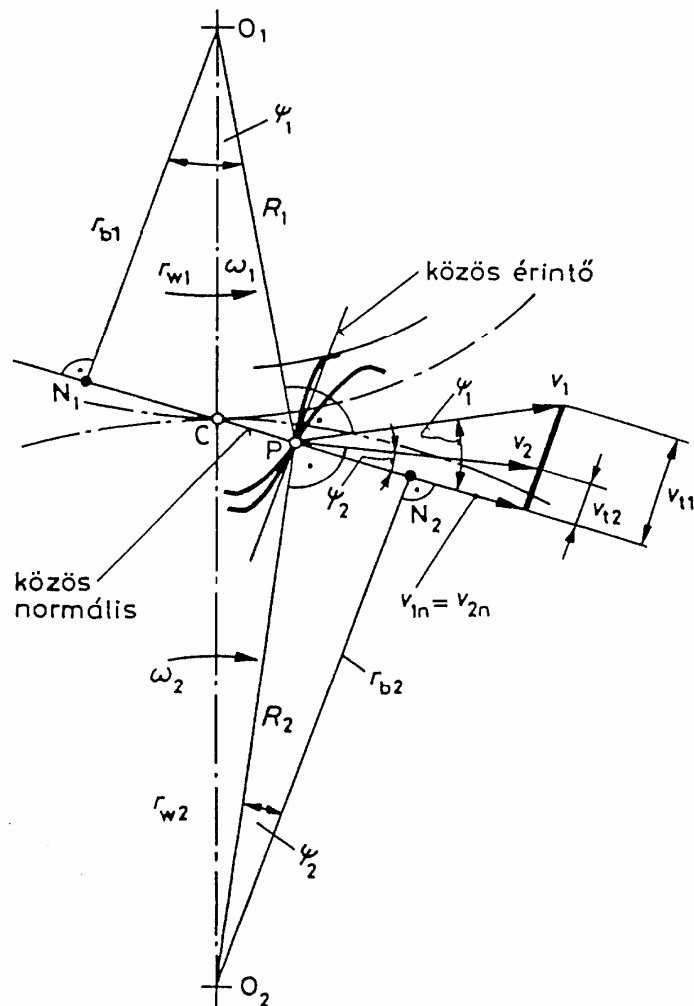
$$v_1 = v_2$$

azaz

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

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{w2}}{r_{w1}}$$

Willis tétele vagy fogmerőleges tétel



$$v_1 = R_1 \omega_1$$

$$v_2 = R_2 \omega_2$$

A két fogfelület együtt haladásának feltétele:

$$v_{1n} = v_{2n}$$

$$v_{1n} = R_1 \omega_1 \cos \psi_1; \quad v_{2n} = R_2 \omega_2 \cos \psi_2$$

$$\cos \psi_1 = \frac{r_{b1}}{R_1}; \quad \cos \psi_2 = \frac{r_{b2}}{R_2}$$

$$R_1 \omega_1 \frac{r_{b1}}{R_1} = R_2 \omega_2 \frac{r_{b2}}{R_2} \Rightarrow \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}}$$

Az O_1N_1C háromszög hasonló az O_2N_2C háromszöghöz:

$$\frac{r_{b1}}{r_{b2}} = \frac{r_{w1}}{r_{w2}} \Rightarrow \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{w2}}{r_{w1}}$$

A Willis tétele (fogmerőleges tétel) a következőket mondja ki:

- az $\omega_1/\omega_2 =$ állandó biztosításához a közös fogmerőlegesnek a C főponton kell keresztül mennie;
- a közös fogmerőleges az O_1O_2 távolságot a szögsebességek arányában osztja;
- Az O_1, O_2 pontokból húzott r_{b1} és r_{b2} merőlegesek nagysága változhat, de az arányuknak állandónak kell lennie.

A kerületi sebességek érintőirányba eső sebességkomponensei nem egyenlők $v_{t1} \neq v_{t2}$, tehát csúszásról beszélünk. A csúszási sebesség:

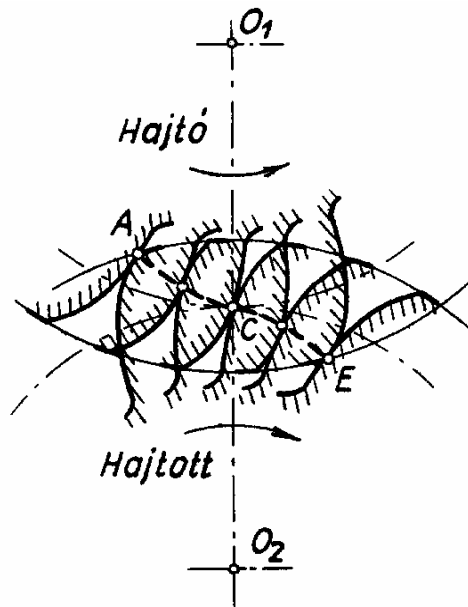
$$v_s = v_{t1} - v_{t2}$$

Tehát a relatív csúszás értéke egy olyan mérőszám, amely a csúszva megtett út viszonyát fejezi ki a gördülve megtett úthoz.

A normális irányú sebesség komponensek egymással egyenlők, a tangenciális komponensek azonban különböznek, ezért a fogak csúsznak egymáson. A csúszás nagyságát a relatív csúszással jellemzik, ami a kapcsolódó fogaskerék fogakon a $\Delta\varphi_1=(z_2/z_1)\Delta\varphi_2$ elemi elfordulás hatására egymáson elmozduló ívek különbsége. A nagy terhelésű fogaskerék hajtások tervezésekor arra törekszenek, hogy a fogfejnél és a foglábánál a relatív csúszásokat kiegyenlítsék, amit kompenzált fogazat esetén a profileltolás nagyságának helyes kiválasztásával, általános fogazat esetén pedig a profileltolások összegének megfelelő felosztásával érnek el.

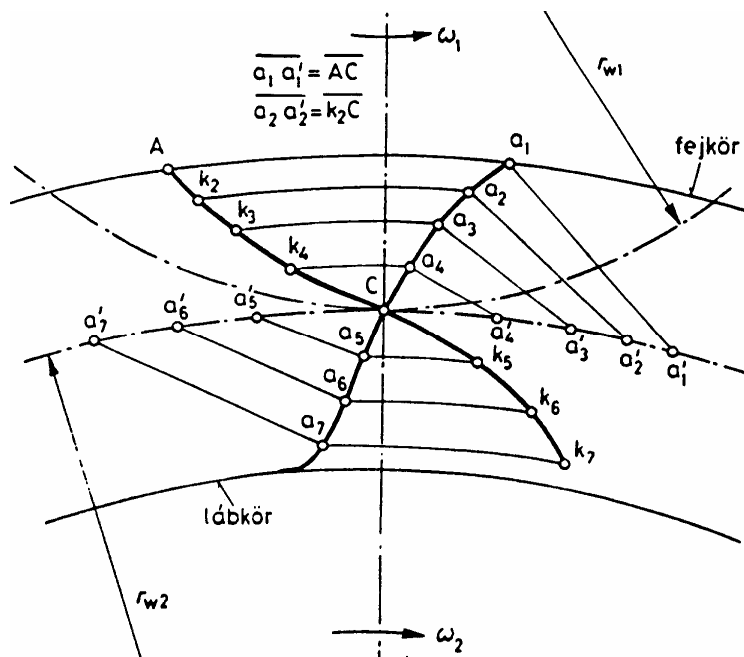
Definíció:

- A gördülőkörök C főpontbeli közös érintője és a fogmerőleges által bezárt szög a **kapcsolószög**.
- Azon pontok mértani helye, ahol a két foggörbe pontjai a kerek elfordulása közben kapcsolódnak a **kapcsolóvonal**.

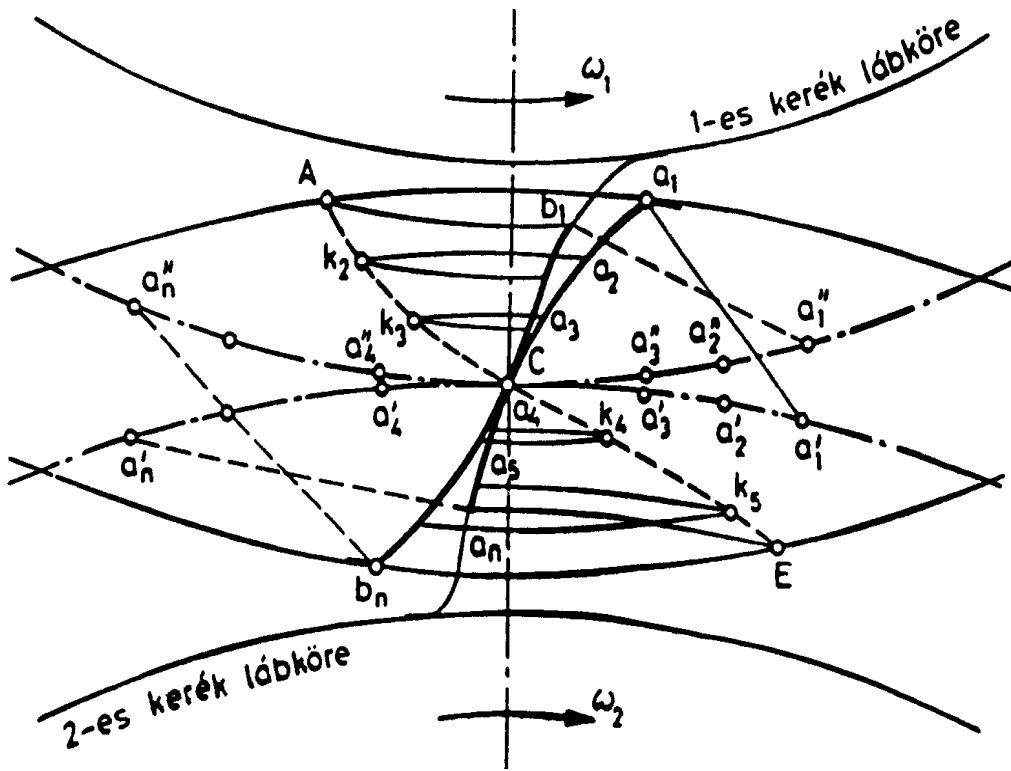


Reuleaux-féle szerkesztés:

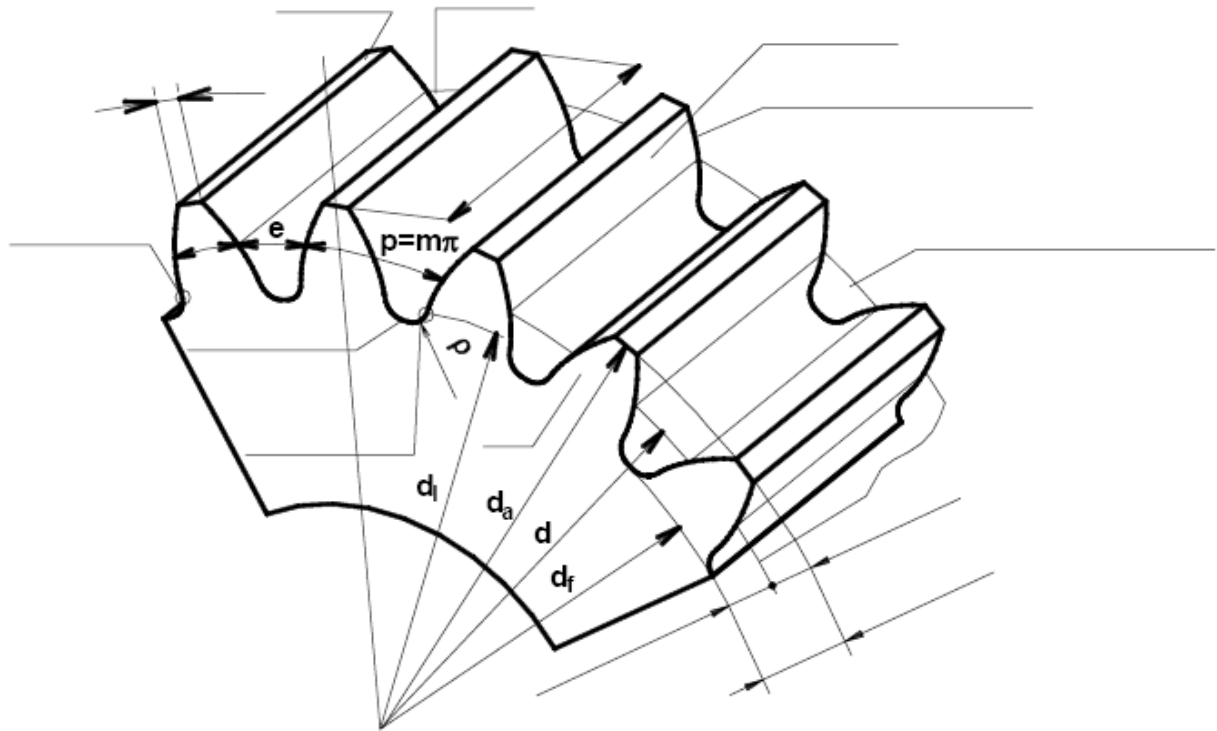
A fogmerőlegesről szóló tétel felhasználásával lehetőség van egy adott fogprofilhoz és egy adott gördülőkörhöz egy (és csak egy) **kapcsolóvonal megszerkesztésére**.



A fogmerőlegesről szóló tétel felhasználásával lehetőség van egy adott kapcsolóvonalhoz és egy adott gördülőkörhöz egy (és csak egy) **fogprofil megszerkesztésére**.



Elemi Fogazatkapcsolódás



2.6. ábra.

p – osztás	m – modul	d – osztókörátmérő
e – fogárokszélesség	h_a – fogfejmagasság	d_a – fejkörátmérő
b – fogszélesség	h_f – foglábmagasság	d_f – lábkörátmérő
ρ_f – fogtő lekerekítési sugár	h – teljes fogmagasság	d_l – határkörátmérő
s – osztóköri fogvastagság	s_a – fogfejvastagság	

Azt a kört, ahol a profilok távolságát elő szokták írni – ez nem feltétlenül a **osztókör** – nevezzük. Az osztókörön a fogvastagság és a fogárok szélesség azonos méretű. (Osztóköri jellemzők index nélkül.)

$$d\pi = zp \Rightarrow d = z \frac{p}{\pi} \quad (z=\text{fogszám}) \quad \text{másképpen felírva:} \quad p = \frac{d \cdot \pi}{z} = \frac{m \cdot z \cdot \pi}{z} = m \cdot \pi.$$

Willis javaslata alapján (1938) a p/π mennyiséget elnevezték **modulnak** és a modult később szabványosították. Ennek megfelelően az osztókör átmérő:

$$d = zm$$

Két egymással kapcsolódó keréken azonosnak kell lennie az osztásnak azaz a **modulnak**.

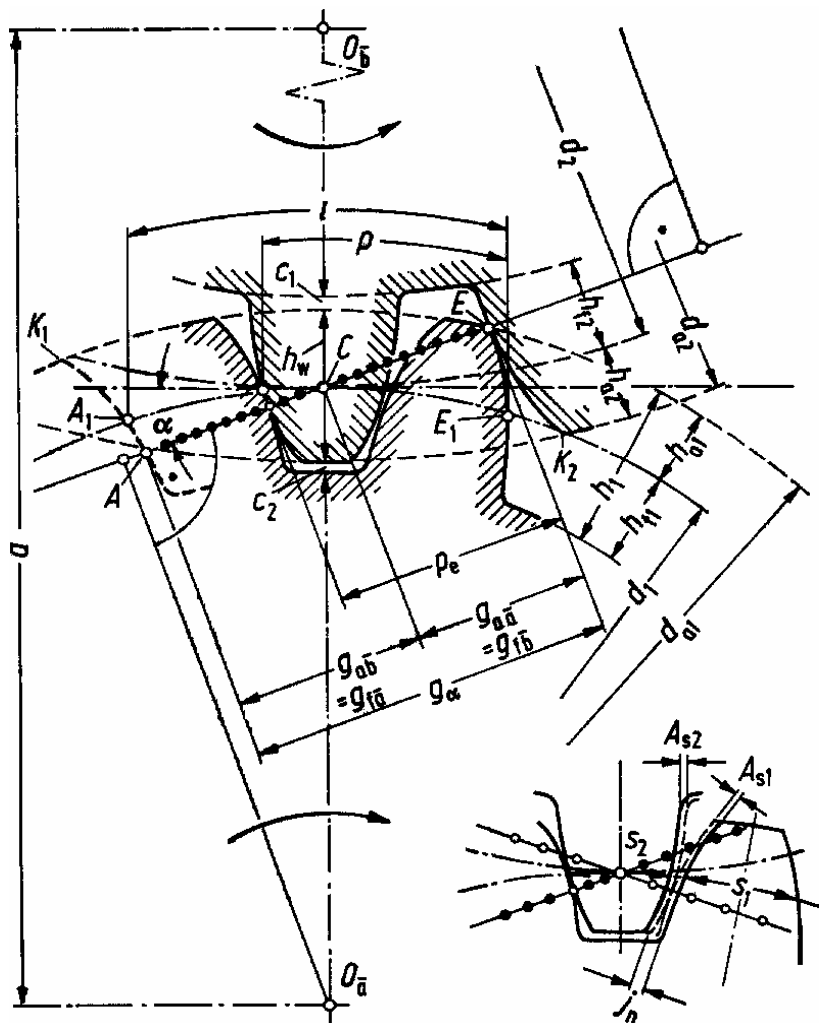
$$p_1 = p_2$$

Ahhoz, hogy a fogaskerék mindkét forgásértelmen használható legyen, jobb és baloldali fogfelületet kell kialakítani. A jobb és baloldali fogfelület osztókörü távolsága a **fogvastagság** (s), az osztásból fennmaradó rész a **fogárokszélesség** (e).

$$p = s + e$$

Profil kapcsolószám:

A folyamatos mozgáshoz az szükséges, hogy mielőtt a kapcsolatban lévő fogpár kilépne a kapcsolatból, létrejöjjön egy új fogpárkapcsolat. A fogaskerekek kapcsolódása a kapcsoló egyenesen szemléltethető, ahol a kapcsolódás szélső pontjait a fogaskereknek fejkörei jelölik ki



A fogkapcsolódás feltétele:

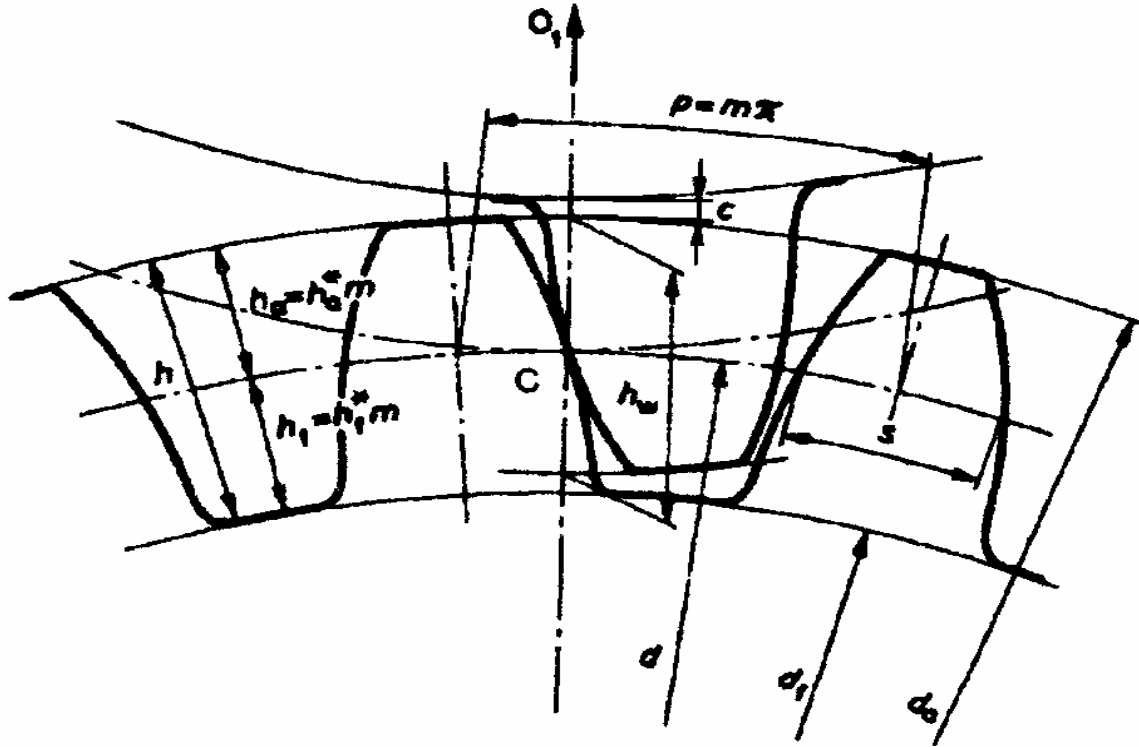
$$l_w < p_w$$

ahol p a gördülőkörü osztás, l pedig az $a_1 \dots a_n$ fogmerőleges talppontok által meghatározott ívhossz.

A profil kapcsolószám:

$$\varepsilon = \frac{l_w}{p_w} \geq 1$$

A fogaskerék sugárirányú méretei:



Fejmagasság: $h_a = h_a^* m$ (h_a^* fejmagasság tényező $h_a^* = 1$)

Lábmagasság: $h_f = (h_a^* + c_a^*) m$ (c_a^* fejhézag tényező $c_a^* = 0,25$)

Fogmagasság: $h = h_a + h_f$

Fejkör átmérő: $d_a = (z + 2h_a^*) m$

Szerszám kapcsolószög: $\alpha = 20^\circ$

Osztókör átmérő: $d = z m$

Lábkör átmérő: $d_f = (z - 2h_a^* - 2c_a^*) m$

Alapkör átmérő: $d_b = m z \cos \alpha$

Osztóköri osztás: $p = m \pi$

Osztóköri fogvastagság: $s = m \pi / 2$

Alapköri osztás: $p_b = m \pi \cos \alpha$

Lábkör átmérő: $d_f = (z - 2h_a^* - 2c_a^*) m$

Soros kerek

Két fogaskerék kapcsolódásának feltétele:

- a két keréken az osztás egyforma;
- megegyezik a két kerék kapcsolóvonal.

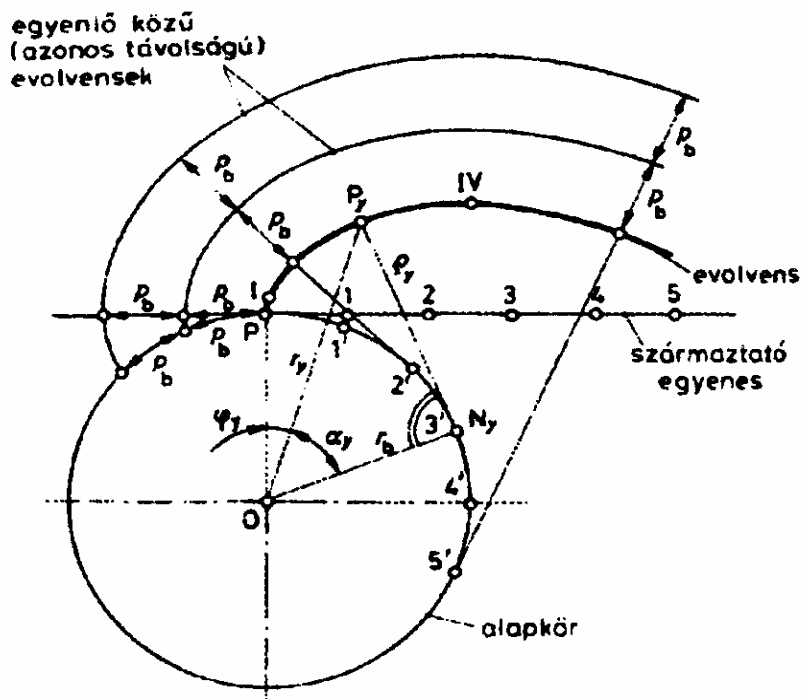
További megkötést jelent, hogy egy kerék több kerékkel is kapcsolódhasson, hogy a kapcsolóvonal a C főponthoz képest centrálisan szimmetrikusnak kell legyen.

Ezt a feltételt legegyszerűbben az **állandó kapcsolószögű, egyenes kapcsoló vonal** biztosítja.

Ilyen kapcsolóvonalal a **körevolvens** alakú fogprofil rendelkezik.

Az evolvens, mint fogprofil valamint az evolvensok kapcsolódási jellegzetességei

Az evolvenst először **Euler** alkalmazta fogprofilnak.



6.5. ábra Az evolvens származtatása.

Származtatás: Egy egyenest csúszásmentesen legördítve egy r_b sugarú körön, az egyenes minden pontja egy körevolvenst ír le.

Az ON_yP_y háromszögből:

$$r_y = \frac{r_b}{\cos \alpha_y} \quad (1)$$

A legördítésből $PP_y = N_y P_y$

$$\begin{aligned} r_b (\varphi_y + \alpha_y) &= r_b \operatorname{tg} \alpha_y \\ \varphi_y &= \operatorname{inv} \alpha_y = \operatorname{tg} \alpha_y - \alpha_y \end{aligned} \quad (2)$$

α_y a profilszög.

Az (1) és (2) az evolvens polárkoordinátás egyenlete.

Az $N_y P_y = \rho_y$ távolság a görbületi sugár.

$$\rho_b = r_b \operatorname{tg} \alpha_y$$

Az evolvens fogprofil alkalmazásának előnyei:

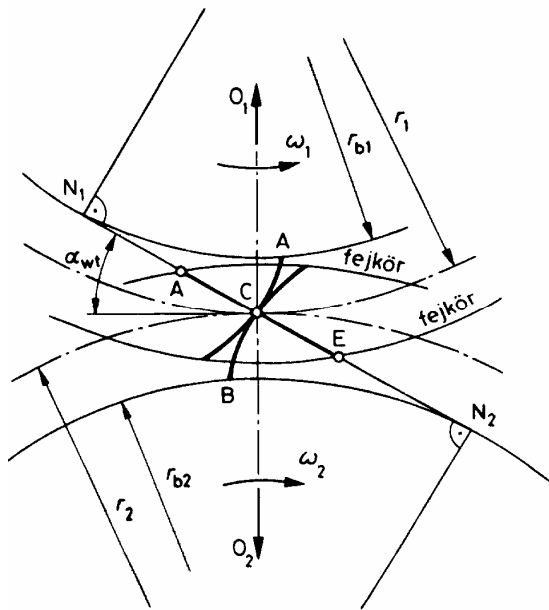
- a gyártáshoz használt szerszám geometriája egyszerű (egyenes élű), a kerék pontosan gyártható, könnyen ellenőrizhető;
- a tengelytávolság betartására nem érzékeny;
- a szerszám megváltoztatása nélkül javítható a gyártott kerekek kapcsolódási és szilárdsági tulajdonsága;
- a fogprofil csúszása relatíve kicsi, kicsi a kopás.

Az osztóköri profilszöget szabványosították. Ennek értéke Willis javaslatára $\alpha = 14,5^\circ$ (mert $\sin 14,5^\circ = 1/4$). Később ezt $\alpha = 17,5^\circ$ -ra növelték. Európában a Maag cég először 15° -os profilszöget használt, majd ezt $\alpha = 20^\circ$ -ra növelte.

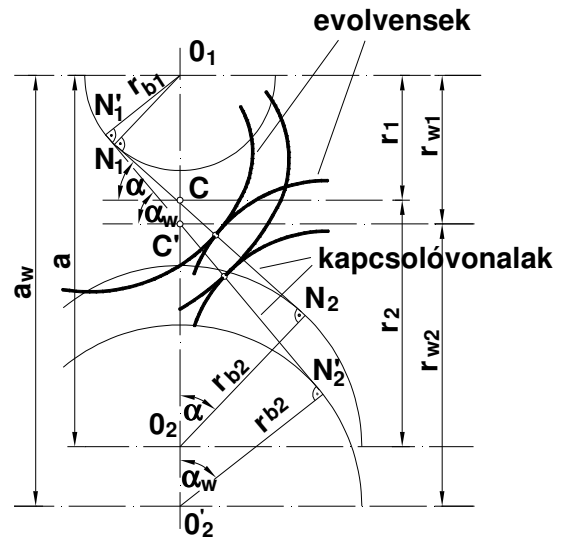
Ezzel $d = zm$ és $d_b = d \cos \alpha$

Mivel az érintkezés a közös fogmerőleges mentén történik meg, **evolvens profilok** esetén ez **egy egyenes az ún. kapcsolóvonal**, amely egyben az alapkörök érintője is lesz.

Az evolvens profilú fogaskerekek kapcsolóvonala tehát a két alapkör közös érintője, és a kapcsolódás helyessége (Willis tételének teljesülése miatt) nem függ a tengelytávolságtól, mely csak a közös érintő hajlásszögére van hatással.



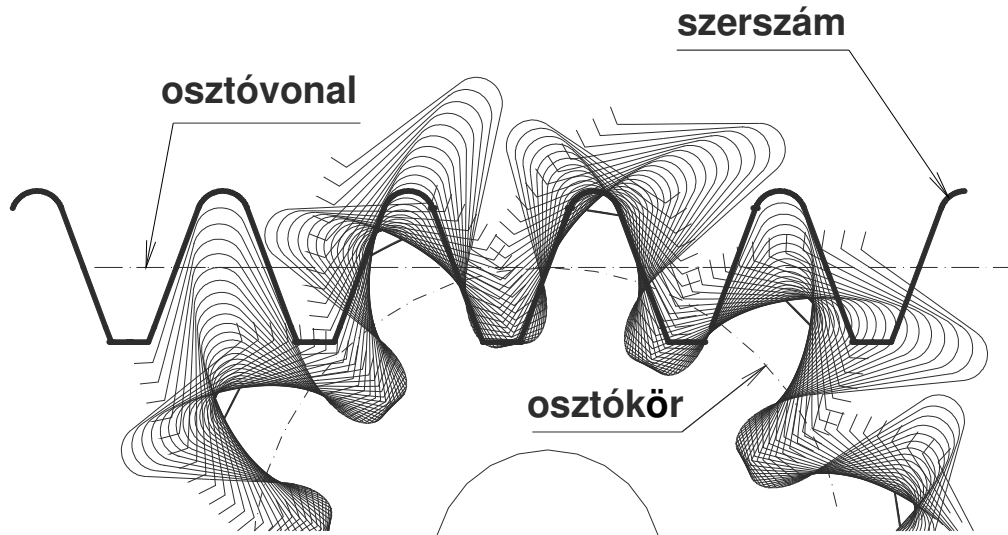
Evolvens fogazat kapcsolóvonalá



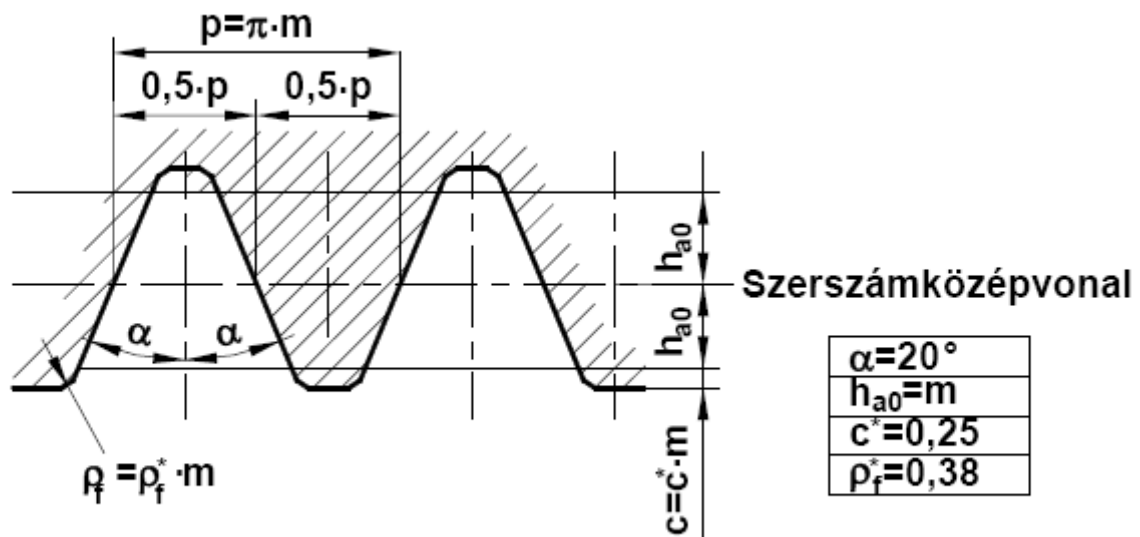
Evolvens fogazat tengelyváltótatása

Fogazat lefejtésének elve

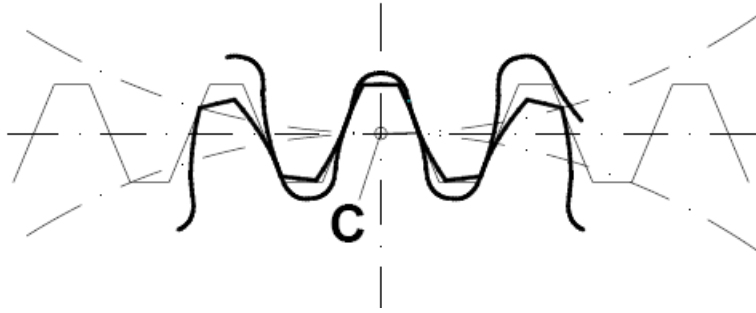
Az evolvens fogprofilú fogaskerék gyártása fogasléc alakú szerszámmal történhet a legelőnyösebb módon, mivel a kinematikai kapcsolat az előzőekben ismertetett módon körön egyenes legördítéssel egyezik meg. Tehát, ha a gyártandó kerék osztókörén a szerszám osztóvonalát csúszásmentesen legördítjük, akkor a fogasléc profil különböző helyzeteihez tartozó burkológörbe a kapcsolódó kerék (evolvens) foggömbjét adja.



Evolvens profilú hengeres kerekek „Maag-féle” szerszám alapprofilja az alábbi ábrán látható:



A szabvány által meghatározott evolvens alprofil (fogasléc) a vele megegyező modulú fogaskerekkel hézagmentesen kapcsolódik, és az ugyanilyen kialakítású kerekek egymással is képesek helyesen kapcsolódni



Alámetszés, határfogszám

Bizonyos kritikus fogszámnál kisebb fogszámú kerek fogazásánál a fogazó szerszám benyúlik az alapkörbe, ahol már nem alakíthat ki működő evolvens fogprofil. Ebben az esetben **alámetszés** keletkezik, ami gyengíti a fogtövet, és kapcsolódási zavarokat okoz. Az alámetszés határához tartozó **kritikus fogszám** a szerszám kapcsolószögtől és a fogfejmagasságtól függ. $\alpha=20^\circ$ esetén, egyenes fogú kerekknél az alámetszés kritikus fogszáma 17, ferdefogú kerekknél a fogferdeség növelésével ennek értéke 13-ig csökkenthető.

Az alámetszés tehát gyengíti a fogtövet és csökkenti a kapcsolóhosszat.

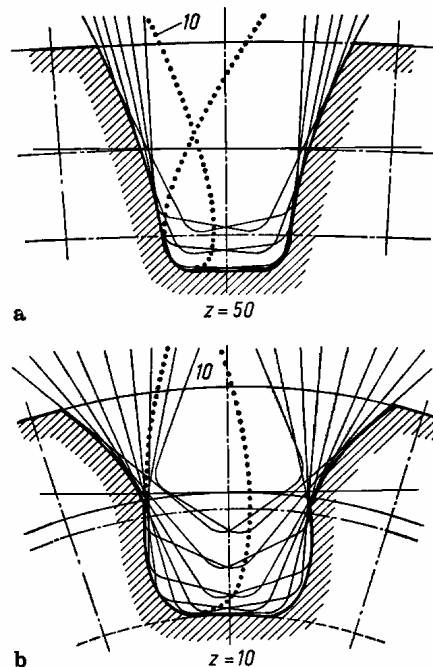
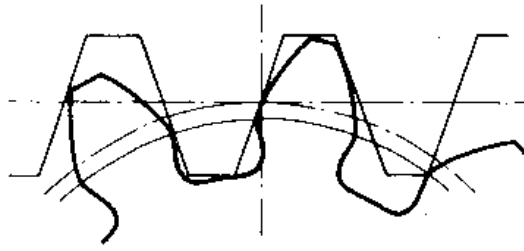


Bild 21.3/2

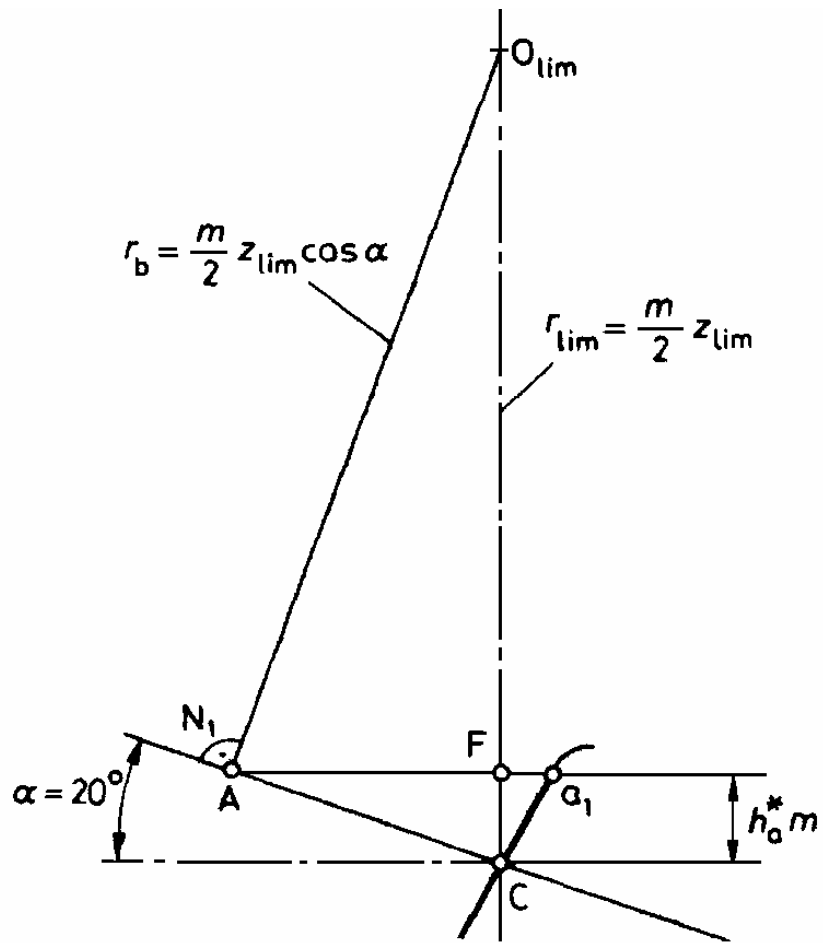
Alámetszés jelensége

Minden olyan jelenséget, amelyik az egyenletes mozgásátvitelt akadályozza, interferenciának nevezzük. Az alámetszés tehát interferencia.

Amennyiben a fogaskerék fogszáma 17-nél kevesebb, az elemi fogazást nem alkalmazzák, mert ez esetben a fogazószerszám kigördülésekor alámetszi a fogakat. Ennek eredménye a fogtő elvékonyodása.



Alámetszett fogak



285. ábra

A határfogszám megállapítása

A határkerék fogszám abból a feltételből határozható meg, hogy az N_1 pont egybe esik az A ponttal.

A CFN_1 háromszög hasonló az N_1CO_h háromszöghöz

$$\frac{CF}{CN_1} = \frac{CN_1}{CO_h}$$

$$CF = h_a^* m$$

$$CO_h = \frac{z_h m}{2}$$

$$CN_1 = \frac{z_h m}{2} \sin \alpha$$

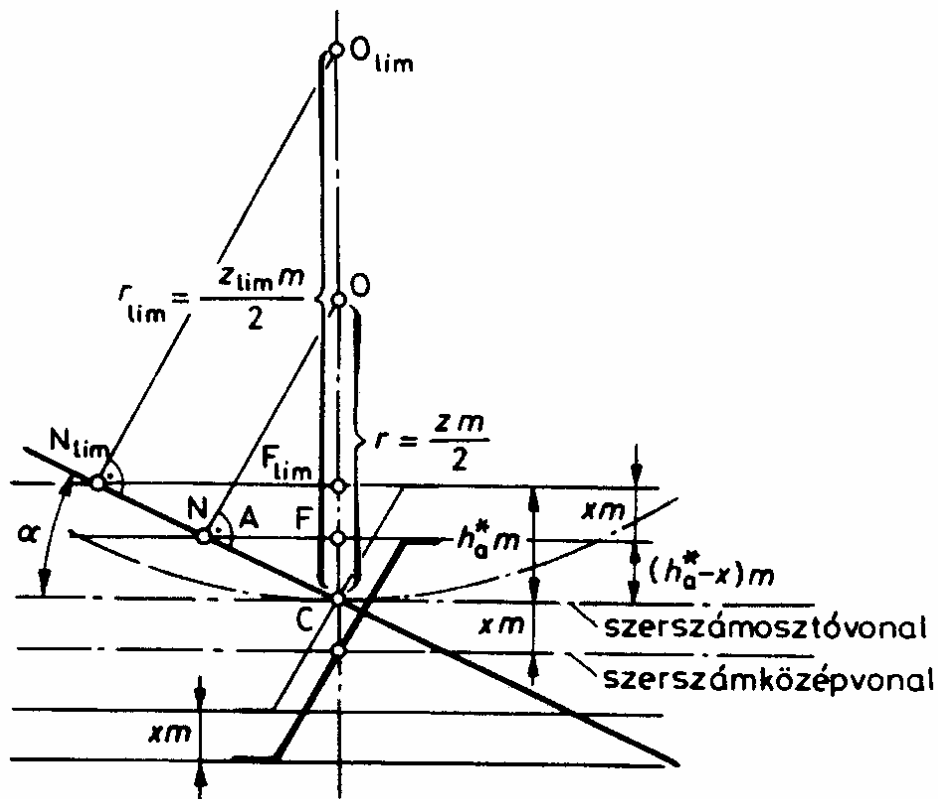
$$\frac{h_a^* m}{\frac{z_h m}{2} \sin \alpha} = \frac{\frac{z_h m}{2} \sin \alpha}{\frac{z_h m}{2}}$$

$$z_h = \frac{2h_a^*}{\sin^2 \alpha}$$

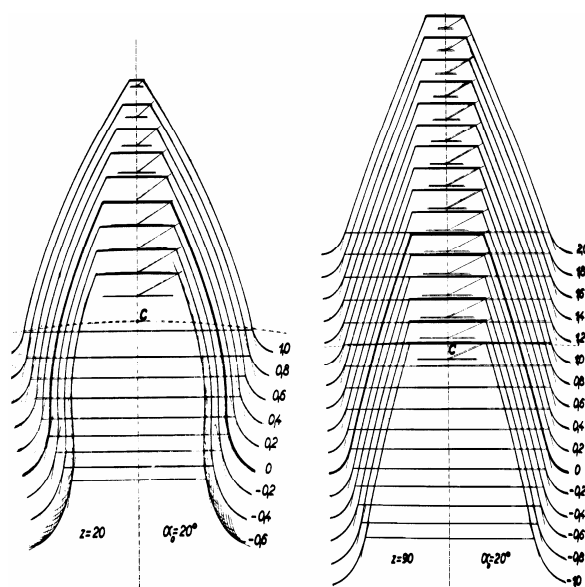
$$z_h \approx 17$$

Az alámetszés profileltolással elkerülhető, vagyis gyártáskor a szerszámot a fogaskerék középpontjától radiális irányban annyira el kell távolítani, hogy a teljes működő fogprofil alapkörön kívül legyen. A profileltolás növeli a fogtő szélességét, a fogfej vastagságát viszont csökkenti, ez a fog kihegyesedéséhez vezethet (a minimálisan szükséges fejszalag szélesség 0,2 mm). Profileltolásnál megváltoznak a jellemző értékek is.

Az alámetszés elkerüléséhez szükséges profileltolás meghatározása:



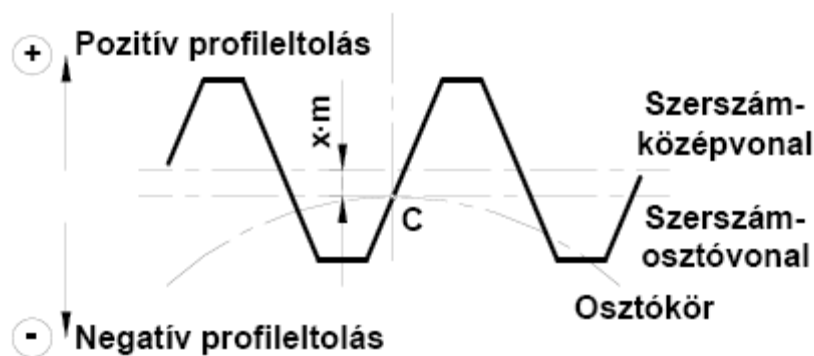
Az alámetszés tehát szerszám-elállítással kerülhető el:



Profileltolás hatása a fog alakjára

Az alámetszés elkerülhető, ha a gyártáskor a szerszámot a fogaskerék középpontjától radiális irányban annyira kihúzzák (**pozitív profileltolás**), hogy a teljes működő fogprofil az alapkörön kívülre kerüljön. Ez profileltolás azonban megváltoztatja a fog alakját: növeli a fogtő vastagságát, a fogprofil görbületi sugarát, és csökkenti a fogfej vastagságát, ami a fog kihegyesedéséhez vezethet. A fog kihegyesedése korlátozza az adott fogaskeréken megengedett legnagyobb pozitív profileltolás mértékét (minimálisan szükséges fejszalag szélesség 0,2m).

Negatív a profileltolás, ha a szerszámot az osztókörtől a fogaskerék középpontja felé tolják el. Ekkor csökken a fogtő vastagság és a fogprofil görbületi sugara, ami a fog teherbírása szempontjából kedvezőtlen, ezért a negatív profileltolást lehetőleg kerülni kell.



A profileltolással készült fogaskerék átmérői is megváltoznak, fej és lábkör átmérője az xm profileltolás kétszeresével növekszik (negatív profileltolás esetén csökken):

$$\text{Pozitív eltolás: } d_a = m \cdot (z + 2) + 2 \cdot x \cdot m, \quad d_f = m \cdot (z - 2 - 2 \cdot c^*) + 2 \cdot x \cdot m.$$

$$\text{Negatív eltolás: } d_a = m \cdot (z + 2) - 2 \cdot x \cdot m, \quad d_f = m \cdot (z - 2 - 2 \cdot c^*) - 2 \cdot x \cdot m.$$

A d osztókör átmérő nem változik.

A profileltolás alkalmazásának célja lehet:

- jobb csúszási és kopási viszonyok elérése,
- megadott tengelytávolság betartása,
- az alámetszés elkerülése,
- nagyobb teherbírás megvalósítása.

Az **elemi fogazatú** fogaskerekek az osztókörön (osztóhengeren) gördülnek le egymáson, tengelytávolságuk az osztókör sugarak összegével azonos: $a=(d_1+d_2)/2$. Amennyiben a fogaskerekek profileltolással készülnek, a kapcsolódó fogaskerekek tengelytávolsága és kapcsolószöge megváltozik (**általános fogazat**), kivéve, ha a két keréken a profileltolás nagysága megegyezik, és előjelük ellentétes (**kompenzált fogazat**).

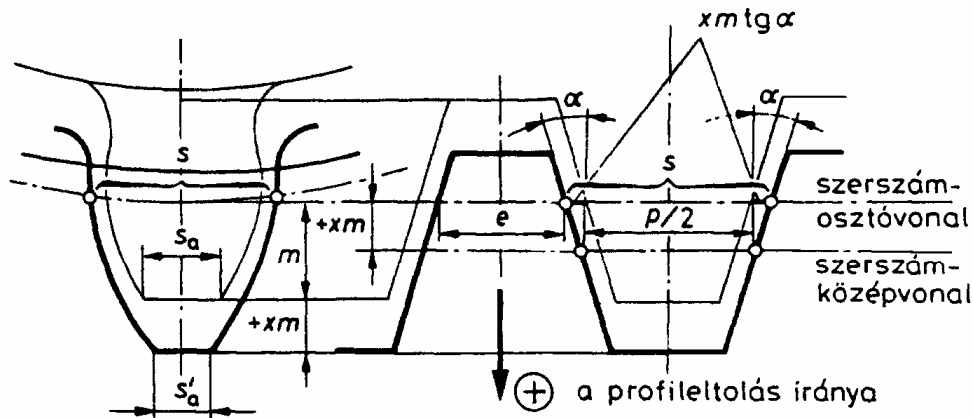
Fogazati rendszerek tehát:

- | | | |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| ➤ elemi fogazat | $x_1 = x_2 = 0, \Sigma x = 0$ | $a = a_w$ |
| ➤ kompenzált fogazat | | $x_1 = -x_2, \Sigma x = 0, a = a_w$ |
| ➤ általános fogazat | $x_1 \neq x_2$ | $\Sigma x \neq 0, a \neq a_w$ |

Kompenzált fogazat

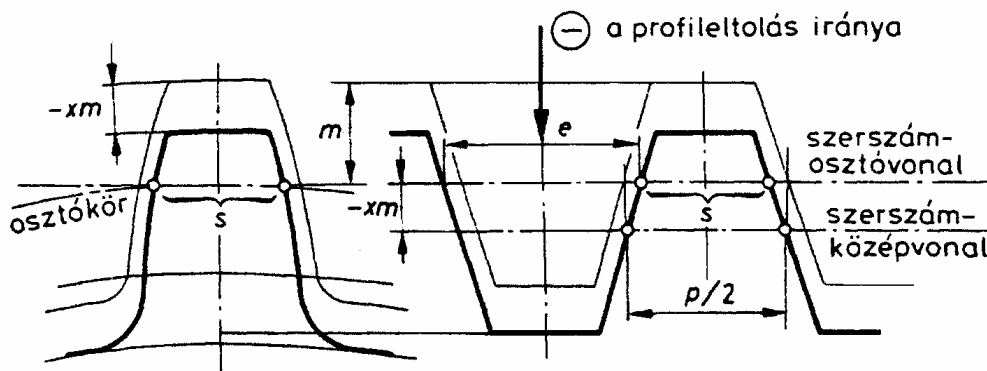
Abban az esetben, ha az egyik keréken pozitív profileltolást a másik keréken ugyanakkora nagyságú negatív profileltolást alkalmazunk, kompenzált fogazatról beszélünk: $x_1 = -x_2$

Tehát kompenzált fogazásakor a két keréken megegyező nagyságú, de ellentétes értelmű profileltolást hoznak létre. Végeredményben az elkészített fogaskerek osztóköréi tiszta gördülésben lesznek.



289. ábra

Pozitív profileltolással készített fogazat



290. ábra

Negatív profileltolással készített fogazat

$$a = m \cdot \frac{z_1 + z_2}{2}$$

Tengelytáv: , mint az elemi fogazás esetén

A CO_hN_h háromszög hasonló az CON háromszöghöz

$$\frac{z_1}{z_h} = \frac{(h_a^* - x)}{h_a^*}$$

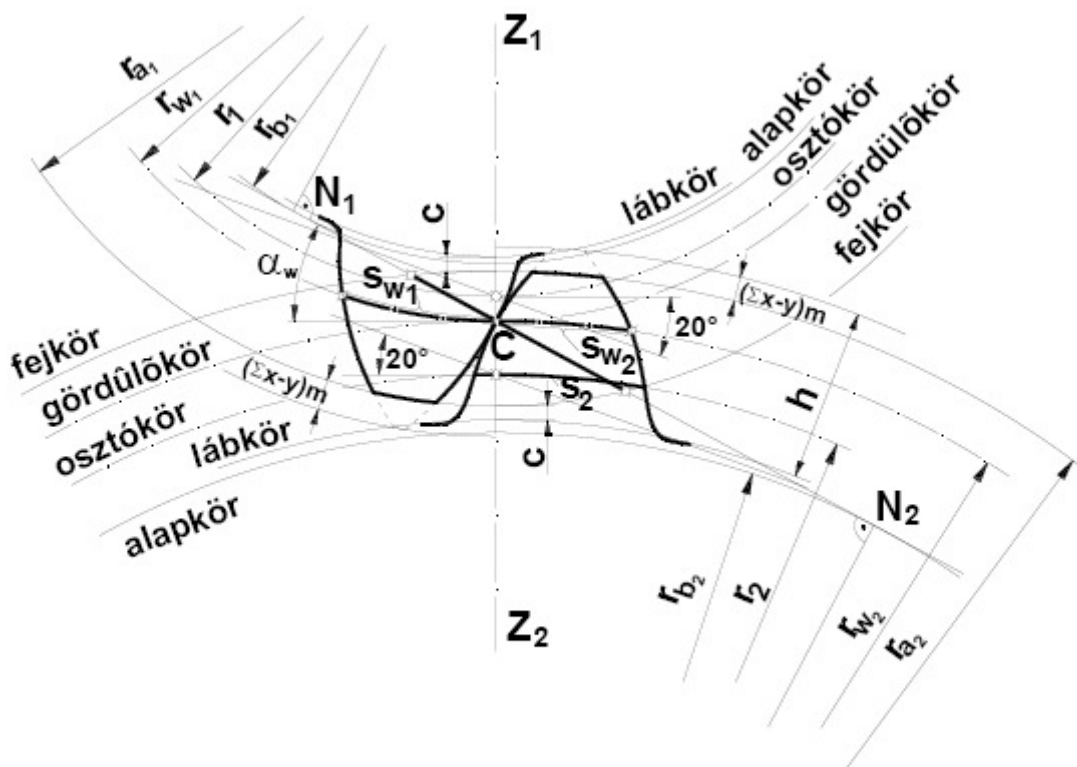
Az alámetszés elkerüléséhez szükséges minimális szerszám-elállítás a felső egyenlethől:

$$x_{\min} = \left(1 - \frac{z_1}{z_h}\right) h_a^*$$

Általános fogazás

Általános fogazást akkor alkalmazunk, ha az összekapcsolandó két fogaskerék fogszáma kicsi (a fogaskerékpár fogsámösszege nem éri el a határkerék fogszámának kétszeresét, ekkor az alámetszés nem kerülhető el kompenzált fogazással). Ekkor mindkét keréknél: pozitív profileltolást kell létrehozni.

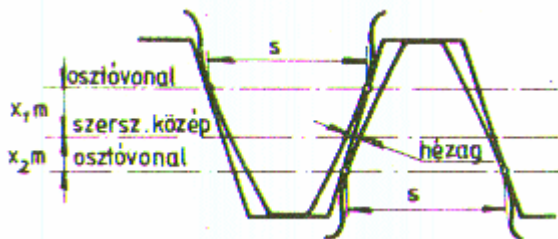
Általános fogazás esetén a kerek fogvastagsága nagyobb lett, így nem az osztókörön gördülnek, tehát az osztókörök nem gördülőkörök többé.



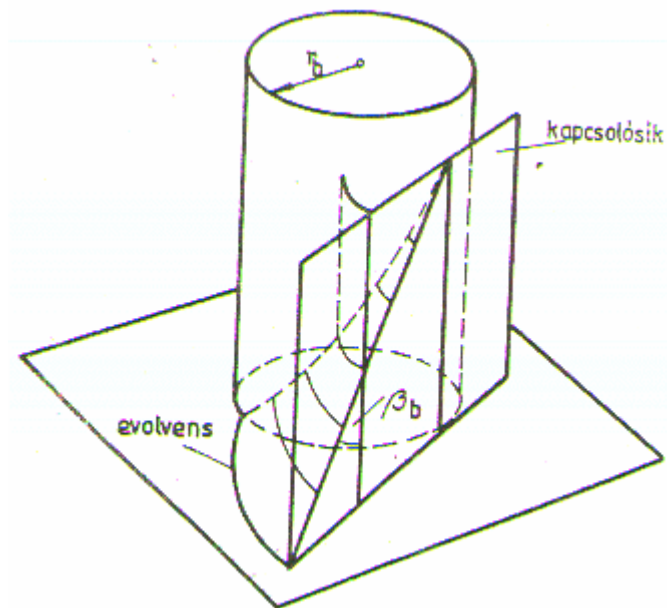
A fogaskerek nem az osztókörön, hanem a gördülőkörön gördülnek le egymáson.

A fogazott hajtás tengelytávja megnő! Értéke a modullal lesz egyenlő $m = a - a_0$ (Az a_0 értéke az elemi tengelytáv)

Ha a fogmagasságot nem változtatjuk meg, az általános fogazás csökkenti a lábhézagot, mivel a kereket nem húzzuk szét oly mértékben, ahogy a profileltolások összege megkövetelné.

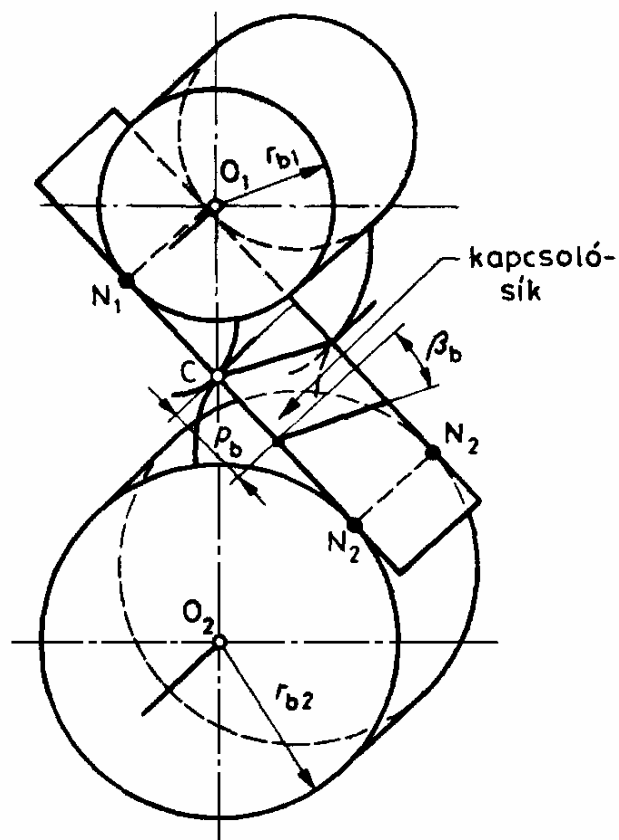


A ferdefogazat



Evolvens az alaphenger tengelyére merőleges síkban, azaz a homloksíkban.

Két ferde evolvens felület érintkezése:



298. ábra

A ferde fogú kerek kapcsolósíkja

Néhány megállapítás:

- Az érintkezési vonal egyenes;
- Az érintkezési vonal benne fekszik a kapcsoló síkban;
- Az érintkezési egyenes a tengelyiránnyal β_b szöget zár be.
- Az egymás mögötti tengelymetszetben egymáshoz képest fokozatosan elfordított evolvensok érintkeznek.

Fogalom definíciók:

- **Kapcsoló sík:** a két kapcsolódó kerék alaphengerének közös érintő síkja;
- **Homlok sík:** a kerék forgástengelyére merőleges sík;
- **Normál sík:** a fogazat irányára merőleges sík;
- **A fogazat iránya:** jobb fogazat, bal fogazat

Ha a kapcsolósíkban lévő érintkezési egyenest visszafektetjük az alaphengerre, akkor egy β_b szögben elhelyezkedő csavarvonalat kapunk.

A fogfelületen lévő vonalak szintén csavarvonalak.

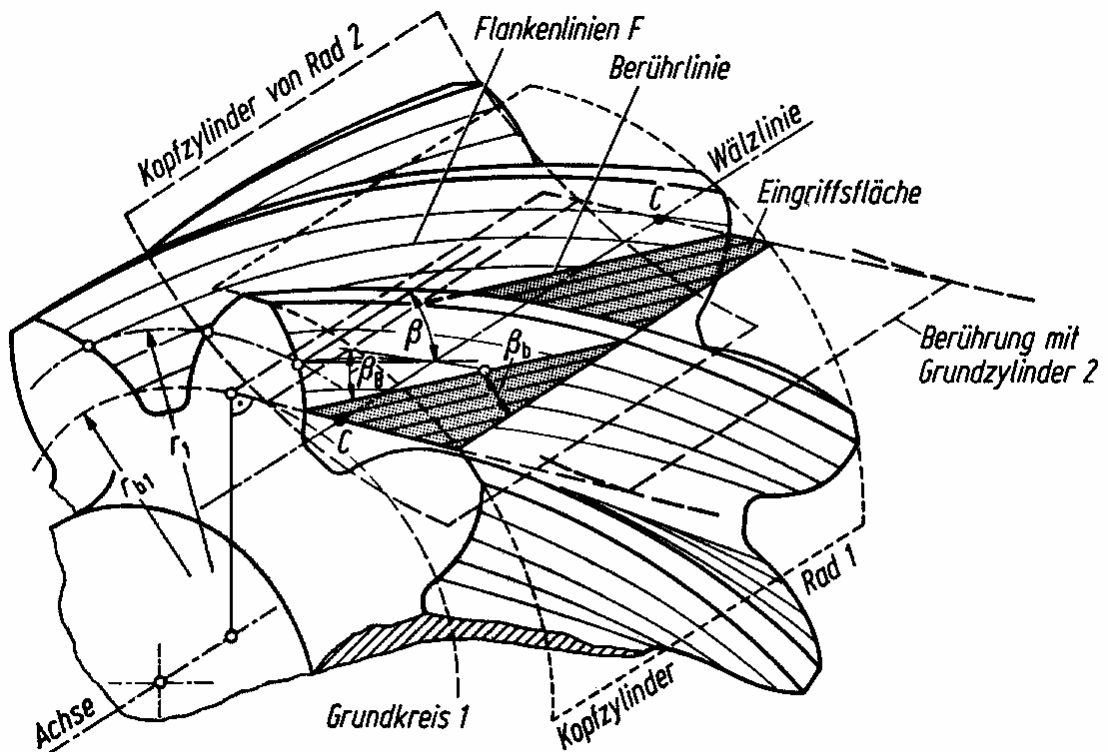
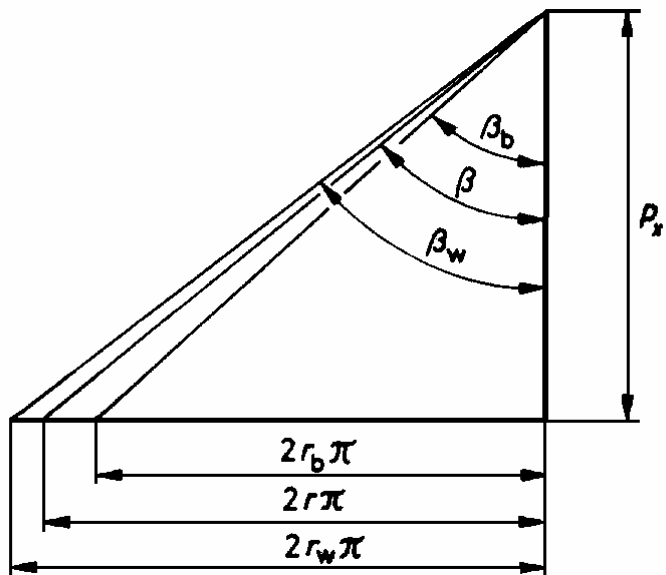


Bild 21.3/16. Schrägstirnrad mit Eingriffsfläche und Berührlinie.

Jellemző fogferdeségi szögek:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta_b &= \frac{2r_b \pi}{p_x} \\ \operatorname{tg} \beta &= \frac{2r \pi}{p_x} \\ \operatorname{tg} \beta_w &= \frac{2r_w \pi}{p_x} \end{aligned}$$

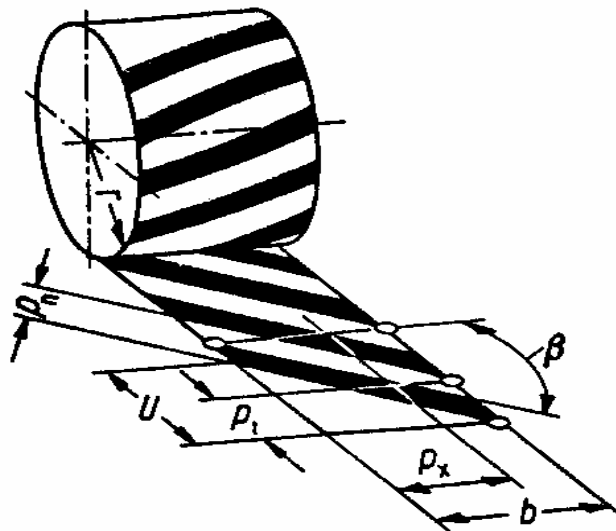


$$\frac{\operatorname{tg}\beta_b}{\operatorname{tg}\beta} = \frac{r_b}{r}$$

$$\frac{\operatorname{tg}\beta_w}{\operatorname{tg}\beta} = \frac{r_w}{r}$$

A ferdefogú kerek jellemzésére az osztóköri fogferdeségi szöget használjuk.

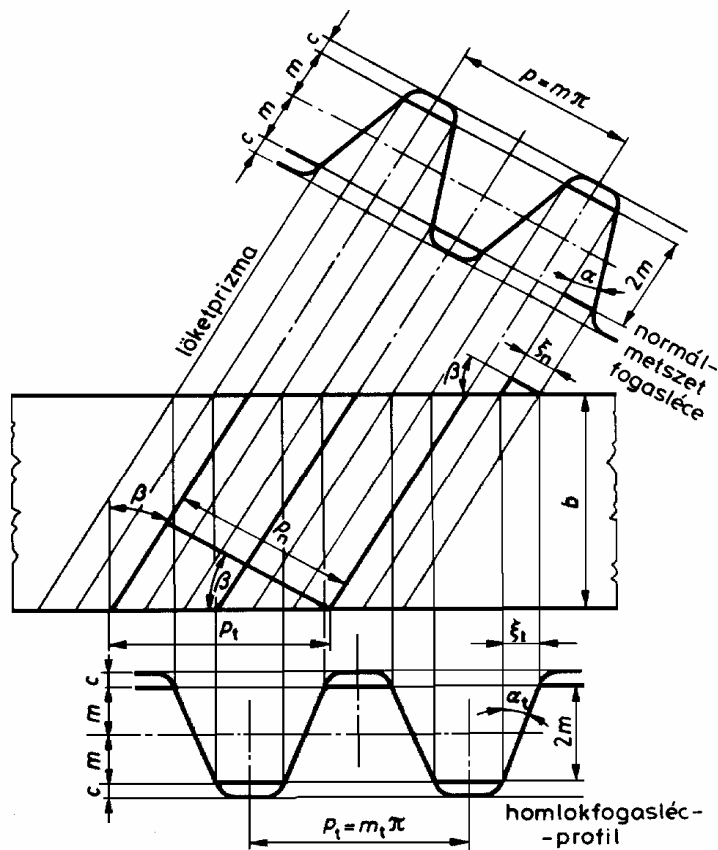
Jellemző osztások az osztóhengeren:



β	osztóköri fogferdeségi szög;
b	kerék szélesség;
p_t	homlok osztás;
p_n	normál osztás;
p_x	axiális osztás;

Az axiális kapcsolószám (átfedés):
$$\varepsilon_\beta = \frac{b}{p_x} = \frac{U}{p_t} = \frac{btg\beta}{m_t\pi} = \frac{b \sin \beta}{m\pi}$$

A ferdefogú kerék gyártása:



300. ábra

A ferde fogú kerék normál- és homlokmetszeti fogasléce

A homlok kapcsolószög:

$$\xi_n = 2mtg\alpha \qquad \xi_t = \frac{\xi_n}{\cos\beta}$$

$$tg\alpha_t = \frac{\xi_t}{2m} = \frac{2mtg\alpha}{2m\cos\beta}$$

$$tg\alpha_t = \frac{tg\alpha}{\cos\beta} \qquad p_t = \frac{p}{\cos\beta}$$

Az osztókör:

$$d\pi = zp_t$$

$$d = z \frac{p_t}{\pi} = zm_t$$

$$m_t = \frac{p_t}{\pi} = \frac{p}{\pi \cos\beta} = \frac{m}{\cos\beta}$$

Evolvens a homlok síkban van, a geometriát a homlok síkban kell számolni.

A ferde fogazat előnyei:

- A határkerék fogszáma csökken.
- A profil kapcsolószám nő \Rightarrow nyugodtabb járás.
- Megjelenik axiális kapcsolószám \Rightarrow sokkal nyugodtabb járás.
- Hosszabb érintkező fogalkotó \Rightarrow nagyobb teherbírás.
- Rezgésmentes, csendes üzem
- kisebb alámetszési határfogszám

Hátránya :

- minden esetben keletkezik axiális erőkomponens

Elemi ferde fogazat:

Osztókör:	$d = z \frac{m}{\cos\beta}$
Fejkör:	$d_a = z \frac{m}{\cos\beta} + 2h_a^* m$
Lábkör:	$d_f = z \frac{m}{\cos\beta} + 2h_a^* m - 2c^* m$
Alapkör:	$d_b = z \frac{m}{\cos\beta} \cos\alpha_t$
Határkerék fogszám:	$z_h = \frac{2h_a^* \cos\beta}{\sin^2\alpha_t}$

Általános ferde fogazat:

Tengelytávok:	$a = \frac{z_1 + z_2}{2} \frac{m}{\cos\beta}$
	$a_w = a + ym$
Alapegyenlet:	$a_w \cos\alpha_w = a \cos\alpha$
A szerszám eltolás:	$\Sigma x = \frac{z_1 + z_2}{2} \frac{inv\alpha_w - inv\alpha_t}{tg\alpha}$

$$\Sigma x_t = \frac{z_1 + z_2}{2} \frac{\operatorname{inv} \alpha_w - \operatorname{inv} \alpha_t}{\operatorname{tg} \alpha_t}$$

$$x_t m_t = xm$$

$$x_t = x \frac{m}{m_t} = x \cos \beta$$

$$\Sigma x_t = \Sigma x \cos \beta$$

$$\Sigma x = \frac{\Sigma x_t}{\cos \beta} = \frac{z_1 + z_2}{2} \frac{\operatorname{inv} \alpha_w - \operatorname{inv} \alpha_t}{\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} \cos \beta}$$

Osztókör:

$$d = z \frac{m}{\cos \beta}$$

Fejkör:

$$d_a = z \frac{m}{\cos \beta} + 2h_a^* m + 2xm - 2(\Sigma x - y)m$$

Láb kör:

$$d_f = z \frac{m}{\cos \beta} + 2h_a^* m - 2c^* m + 2xm - 2(\Sigma x - y)m$$

Profil kapcsolószám:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} - a \sin \alpha_t}{m_t \pi \cos \alpha_t}$$

Belső fogazat

Előnyei:

- kis helyszükséglet
- jó hatásfok
- nagy teherbírás
- bolygókerékes hajtóműben való felhasználhatóság

Hátrányai:

- csak fogaskerék alakú szerszámmal gyártható
- többféle interferenciára is hajlamos
- nagyobb a kapcsolódó kerekek alámetszési határfogszáma
- a kiskerék tengelye nem lehet átmenő, ezért csak egy oldalról csapágyazható

A belső fogazás a külső negatívja és minden profilfelületre, osztókörre és alapkörre azonos.

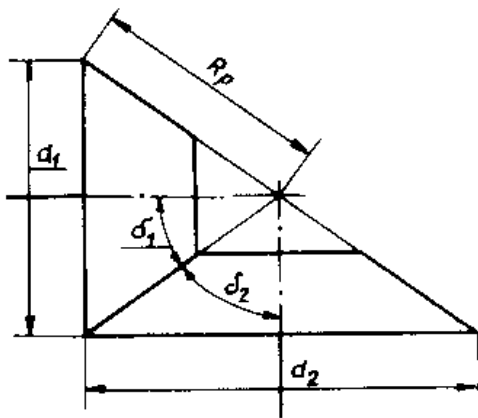
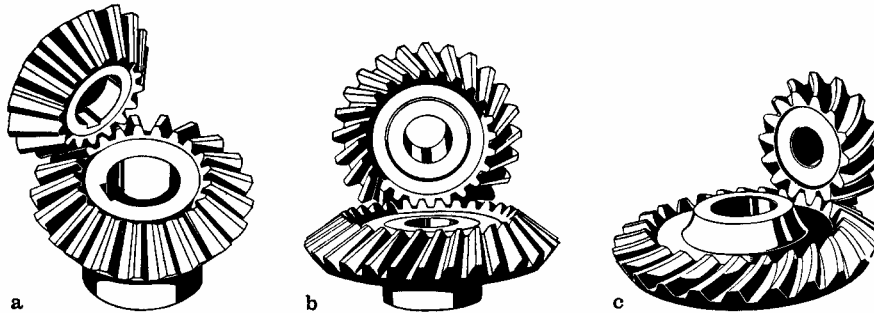
A legördülés fontos feltétele, hogy a gyűrűkerék fogszáma legalább 2-vél több legyen mint a külső fogazású kerék fogszáma. Ellenkező esetben nem tud elfordulni, legördülni benne. A szükséges fogszám különbség a belső fogazás fogszámától függ, de általában ennek egyharmada. A tengelytávolság:

$$a = \frac{d_2 - d_1}{2}, \text{ amely elemei egyenes fogazás esetén } a_0 = m \cdot \frac{z_2 - z_1}{2}$$

Előnye, hogy a hajtás kis helyen elfér, viszont hátránya, hogy a külső fogazatú kereket csak egyoldalon lehet csapágyazni.

Kúpkeretek

Kúpkerék párokat egymást metsző tengelyek esetén alkalmazunk. Gördülőtestjei csonkakúpok. A kúpalkotók hajlásszöge megszabja a tengelyek hajlásszögét. A tengelyszög általában 90° , amely a kúpalkotók hajlásszögének összege.



211. ábra.
Kúpkeretek jellemzői

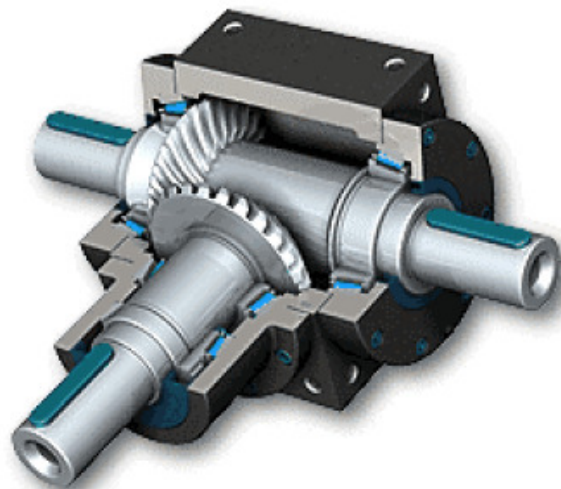
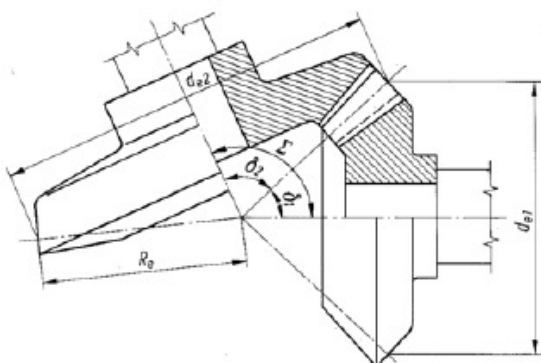
A gördülőkúpok körkúpok, amelyek egyetlen alkotó mentén érintkeznek és a két kúp csúcsa egybeesik. A kúpos hajtások gördítőkúpjai egyben mindig osztókúpok is.

Az osztókúp legnagyobb átmérőjű köre az osztókör, ezen az osztás szabványos, ezért átmérőjét ugyanúgy számítjuk ki, mint a hengeres keréknél:

$$d = z \cdot m$$

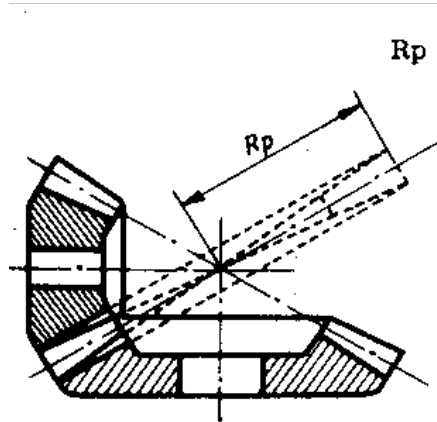
Az osztókúpszögeket a következő egyenletekből számíthatjuk

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{r_1}{r_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{i} \quad \delta_2 = 90^\circ - \delta_1$$



A kúpos hajtások jellemzője, egy elképzelt kerék, amelynek osztókúpszöge derékszög és a hajtás mind a két kerékkel hibátlanul kapcsolódik (212. ábra). Ennek

a keréknek síkkerék a neve. Ezt legjobban úgy képzelhetjük el, mintha a két kúpkerék közé egy vékony és jól alakítható körlemez szorítanának, amelyet a forgó kúpkerékek hullámosra deformálnának. A síkkerék külső sugara



$$R_p = R_p = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$$

fogszáma pedig:

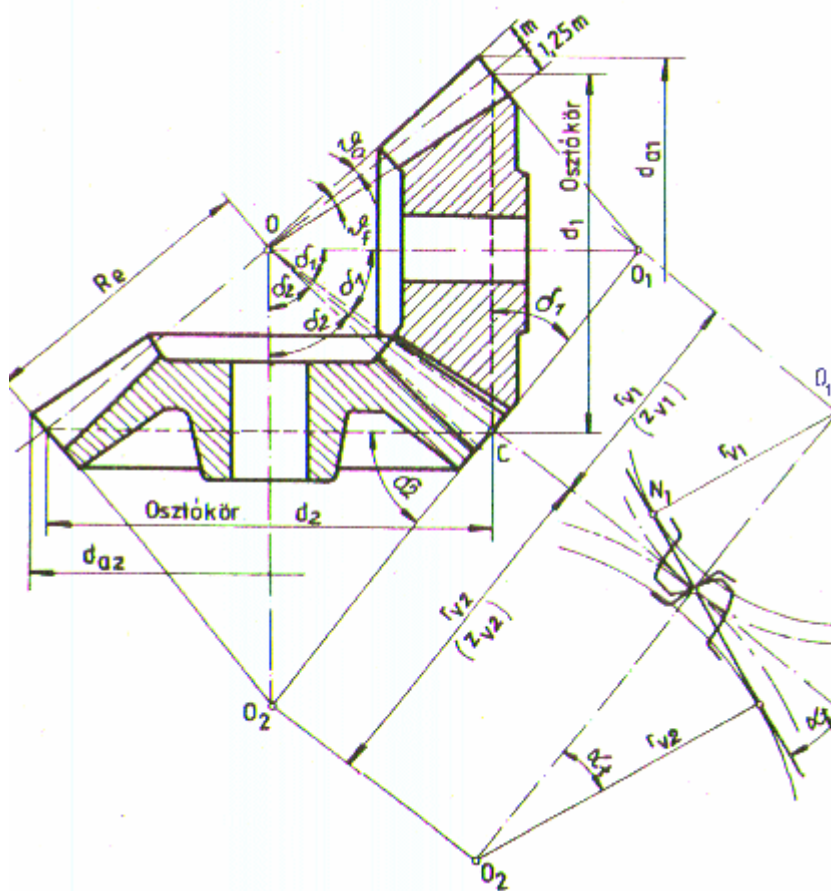
$$z_p = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$$

Ez a fogszám soha nem egész szám, nem is szabad egészre kerekíteni, csak három tizedes pontossággal kell megadni.

A kúpkerékek lehetnek egyenesek ferde- és ívelt fogazatúak. Az ívelt fogazat fogirány görbéje lehet: kör, evolvens vagy ciklois. Ilyen kerékeket főleg gépjárművek hajtóműveibe építenek.

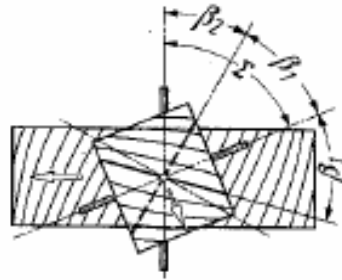
212. ábra.
Kúpkerékek kapcsolódása

Merőleges tengelyű kapcsolódó kúpkerékek az osztókúpok feltüntetésével :



Csavarkerekek

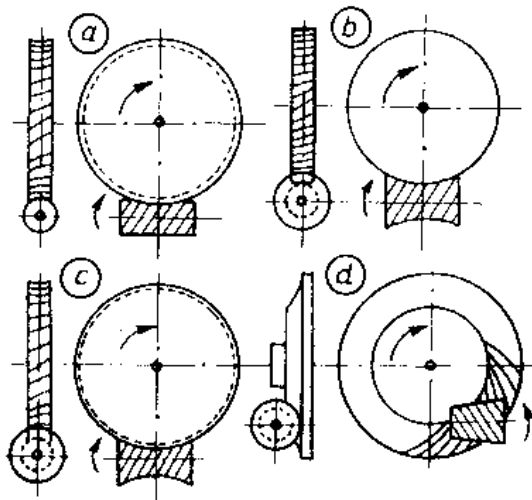
Kitérő tengelyek esetén a teljesítmény átadása ferde fogazatú homlok kerekkel is történhet. Mivel ezek fogfelülete csavarfelület, ezért nevezzük csavarkereknek. Mivel ezeknél a fogalkotók egymással egy pontban érintkeznek, terhelhetőségük kicsi. Főleg műszeriparban alkalmazzák.



Csigahajtás

Kitérő tengelyek közötti kapcsolat megvalósítására alkalmasak. Két szerkezeti eleme a csiga és a csigakerék.

A csigahajtás a csiga és csigakerék alakja szerint lehet: hengeres, globoid és kúpos



213. ábra.

Csigahajtás:

a - hengeres csiga globoid csigakerékkel

b - globoid csiga hengeres csigakerékkel

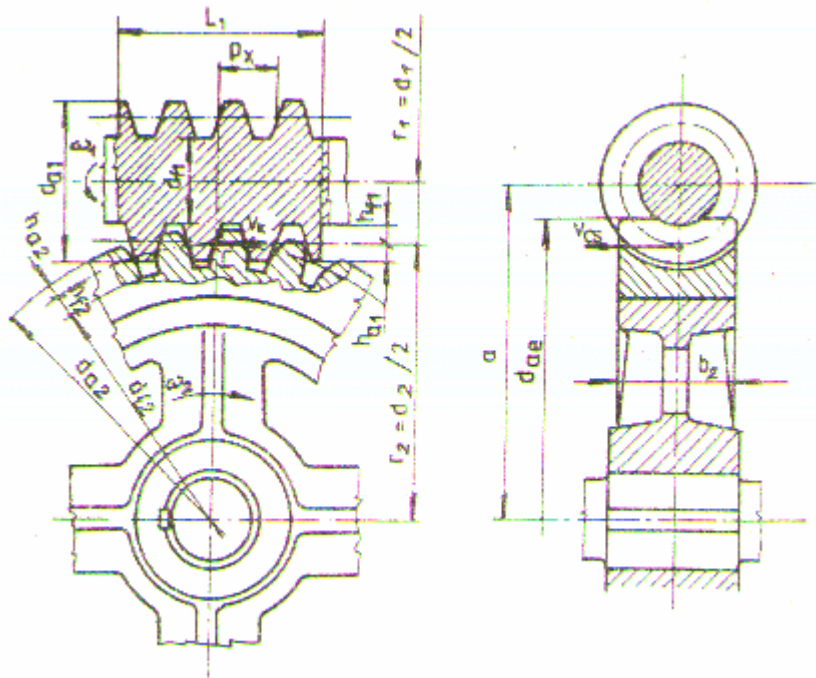
c - globoid csiga globoid csigakerékkel

d - kúpos csigahajtás

A 213 a) ábrán hengeres csiga és globoid csigakerék kapcsolódik egymáshoz. Az

ábra b) része globoid csigát és hengeres csigakereket ábrázol, míg a c) ábrán a csiga és a csigakerék is globoid. A kúpos csigahajtást a d) ábrán láthatjuk.

A csiga és csigakerék kapcsolódása a csigakerék homlokmetSZetében egyenes profilú (archimedesi) csiga esetén a fogasléc-fogaskerék kapcsolódással azonos



A csigahajtás nagy előnye, hogy egyetlen fokozat alkalmazásával is mintegy 100-szoros áttételt lehet megvalósítani. Ennek magyarázata, hogy a csiga egy teljes körülfordulásakor a csigakerék csak egy foggal fordul el ha a csiga egybekezdéssel készül. Több bekezdésű csiga alkalmazásával

az áttétel ugyan csökken, de a csiga terhelése szerencsésebb. A több bekezdés azt jelenti, hogy a csiga palástfelületére egymással párhuzamosan több csavarfelületet munkálnak meg.

Egytől négy bekezdésű csigát szokás készíteni csigakerék fogszám pedig 30. ..100 lehet.

A fogaskerek méretezése

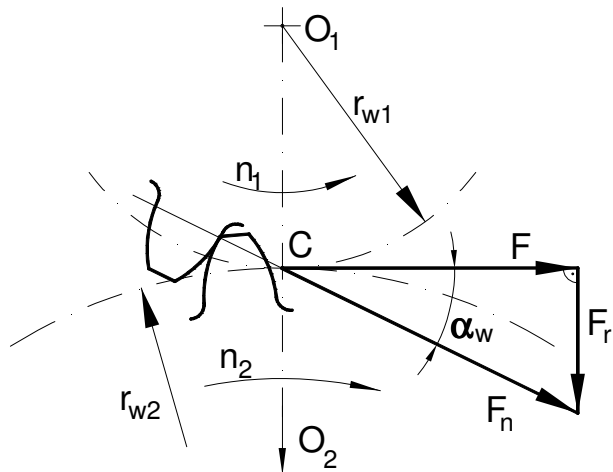
Általános szempontok :

- A mechanikai igénybevételt létrehozó nyomaték :

$$T_1 = \frac{P}{\omega_1} = \frac{P}{2 \times \pi \times n_1}$$

$$T_2 = \frac{P}{\omega_2} = \frac{P}{2 \times \pi \times n_2}$$

- A gördülőkörökre számított kerületi erő :



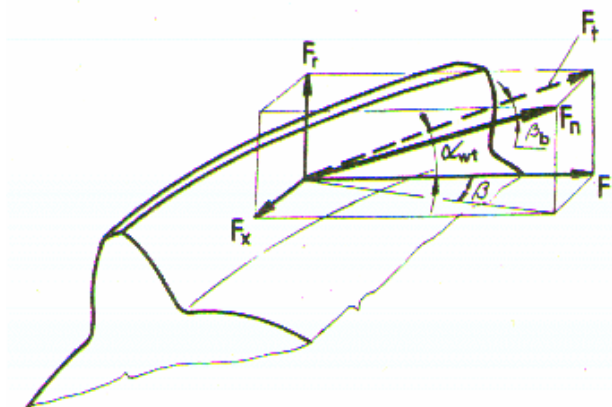
$$F = \frac{T_1}{r_{w1}} = \frac{T_2}{r_{w2}}$$

- A kerekre ható erők közti összefüggés :

$$F_n = \frac{F}{\cos \alpha_{wt}}$$

$$F_r = F \times \tan \alpha_{wt}$$

- A ferde fogazaton fellépő egyéb erők :



40. ábra(Tk.66.ábra)

$$F_t = \frac{F}{\cos \alpha_{wt}}$$

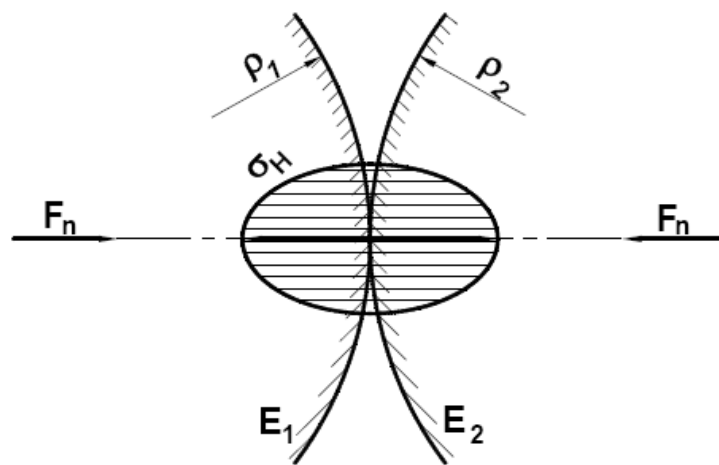
$$F_x = F \times \tan \beta$$

- Az erők fogazattönkretevéő hatása :

- az érintkezési hely környezetében fellépő nagy felületi nyomás hatására a fogfelület kigödrösödése
- a teljes fogban hajlító igénybevétel hatására a fog töben eltörhet
- a súrlódás felületi hőhatást és τ feszültségeket okoz, amitől a fogfelület berágódhat
- az erőhatás alatti csúszás kopással jár, ezáltal a fogfelület a kopás miatt deformálódhat

Méretezés felületi nyomásra :

A felületi nyomásra történő méretezés a Hertz elméleten alapszik. Ha két hengeres felületű (ρ_1 és ρ_2 görbületi sugarú, valamint E_1 és E_2 rugalmassági modulusú) testet F_n erővel egymáshoz nyomunk, akkor a 2.51. ábra szerinti feszültség eloszlás (σ_H) jön létre az érintkezés környezetében.



2.51. ábra.

A feszültség maximumát a következő összefüggésből kapjuk:

$$\sigma_{H\max}^2 = 0,35 \cdot \frac{F_n}{b} \cdot \frac{E_m}{\rho_{red}},$$

- ahol b a fogszélesség,
- E_m az érintkező anyagok közepes rugalmassági modulusa,
- ρ_{red} az érintkezési ponthoz tartozó görbületi sugarak redukált értéke.

Ha az egyenletet fogaskerekekre alkalmazzuk figyelembe kell venni, hogy a méretezés során a **C** főpontban történő érintkezést vizsgáljuk. Így a geometriai viszonyok alapján ρ_{red} meghatározható. Vezessük be a palástnyomás fogalmát:

$$k_{\max} = \frac{\sigma_{H\max}^2}{0,35 \cdot E_m}, \quad E_m = \frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2},$$

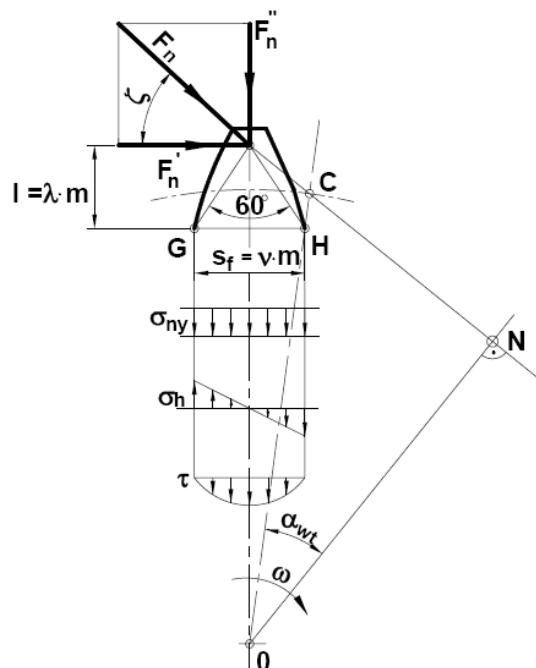
így az első egyenletünk a következőre módosul:

$$F_n = b \cdot k_{\max} \cdot \rho_{red} \quad \rho_{red} = \frac{2 \cdot \rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_1 \pm \rho_2}.$$

„+” külső fogazat esetén
„-” belső fogazat esetén

Méretezés a fogtő igénybevételre

A fogtő igénybevételének legkedvezőtlenebb esete, amikor a normálfogató F_n a kapcsolódás kezdetén a fog fejlén hat:



A fogtő veszélyes keresztmetszetét az ábrán **G** és **H** pontokkal jelöltük. A normálfogó merőleges komponensei (F_n' és F_n'') a fogtőben nyomó (σ_{ny}), hajlító (σ_h) és nyíró (τ) igénybevételt okoznak. Ha csak a hajlítást vesszük figyelembe, a fog ábrán megadott geometriai adataival írhatjuk:

$$\begin{aligned}\sigma_h &= \frac{F_n' \cdot l}{K} = \frac{6 \cdot F_n \cdot \cos \xi \cdot l}{b \cdot s_f^2} = \frac{6 \cdot F_n \cdot \cos \xi \cdot \lambda \cdot m}{b \cdot v^2 \cdot m^2} = \\ &= \frac{F_n}{b \cdot m} \frac{6 \cdot \cos \xi \cdot \lambda}{v^2} = \frac{F_n}{b \cdot m} \cdot Y,\end{aligned}$$

- ahol K keresztmetszeti tényező,
- Y fogalaktényező.

Az egyenletet a modulra rendezve és az F_n normálfogó értékét az előzők alapján behelyettesítve kapjuk a minimálisan szükséges modult:

$$m_{\min} = \frac{F}{b \cdot d_w \cdot \pi \cdot n \cdot \cos \alpha_w} \cdot \frac{Y}{\sigma_{meg}},$$

- ahol $\sigma_{meg} \approx 0,3 \cdot \sigma_D$ (σ_D az alkalmazott fogaskerékanyag fogtő kifáradási határa).

Ellenőrzés berágódásra

Blok kísérletei alapján a fogaskerekek kapcsolódása alatt bekövetkező helyi hőmérséklet-növekedés meghatározható (a pontos összefüggések szakirodalomban megtalálhatók). A berágódás elkerülésének az a feltétele, hogy ez a hőmérséklet egy megadott határértéket ne érjen el. A helyi hőmérséklet-növekedés megengedhető értéke függ a kerek anyagtól és a kenés módjától.

Tönkremeneteli módok

A meghibásodási statisztikák azt mutatják, hogy a hajtóművek tönkremenetelére 60%-ban a fogazatok, 20%-ban a csapágyak meghibásodására vezethetők vissza. A maradék részt a tengelytörés, a tömítés meghibásodás, a segédberendezések üzemképtelenné válása teszi ki.

A fogaskerék meghibásodások két fő csoportra oszthatók: **fogtörésre** és a **felületi sérülések** csoportjára. Az utóbbiba tartoznak a gödrösödés, a kopás és a berágódás.

Fogtörés

Lehet statikus (szemcsés töretkép), vagy fáradt (kagylós töretkép).

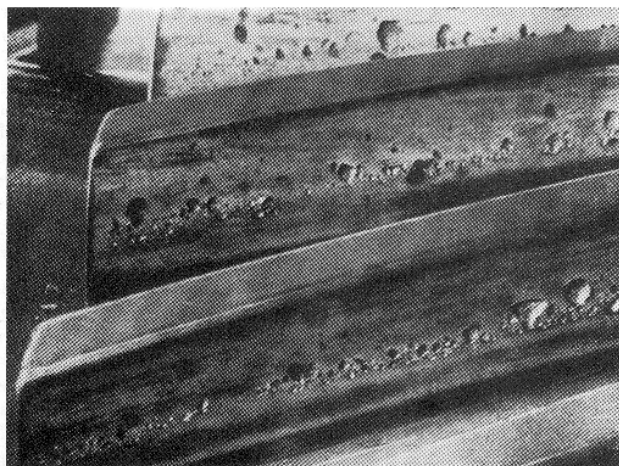


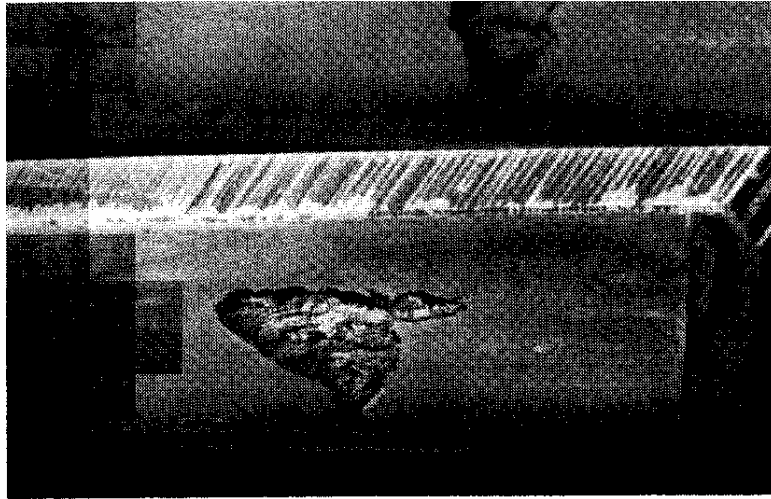
A fáradt törés a gyakoribb. A fáradt repedés a fogtő húzott oldaláról indul.

Elkerülési módok:

- nagyobb modul (azaz kisebb fogszám, de így a felületi károsodás veszélye nagyobb);
- pozitív profileltolás (kisebb fogszámnál a fog hamar kihegyesedik);
- nagyobb kapcsolószög (a kapcsolószám csökken);
- sima lábgörbe átmenet (köszörülésnél nehéz).

Gödrösödés





A Hertz-érintkezés környezetében, a lüktető nyíró feszültség hatására a felület alatt fáradt repedések keletkeznek, amelyek a felület felé fordulva gödrösödést eredményeznek. A gödröcskék széle éles, a gödröcskék feneké kagylós töretű.

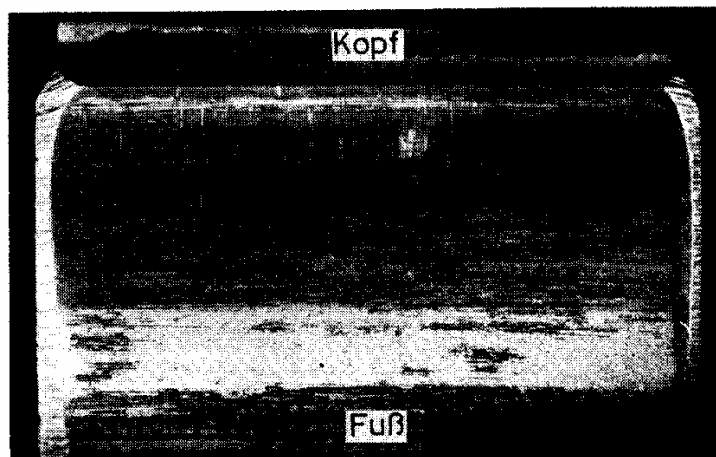
A gödrösödés mértéke szerint megkülönböztetünk **bejáratási pittinget**, amelyek a kezdeti kapcsolódáskor keletkeznek, majd idővel megáll. Ez a fajta pitting az üzemvitelt nem veszélyezteti.

Nem engedhető meg viszont a lineárisan vagy **progresszíven növekvő pittin-gek**, mert ezek tönkremenetelhez vezetnek.

Elkerülési módok:

- kisebb modul (azaz nagyobb fogszám, de így a fogtörés veszélye nagyobb);
- pozitív profileltolás (kisebb fogszámnál a fog hamar kihegyesedik);
- nagyobb kapcsolószám ;
- a felület keményítése (felületi edzés, nitridálás, stb) (igen hatásos, de drága, főleg nagyobb kerekeknél).

Kopás



A fogfelületek gördülnek és csúsznak egymáson. A csúszás még megfelelő kenés esetén is kopást okoz. Itt is megkülönböztetünk **bejáratási kopást**, amely során a gyártási felületi érdesség csökken, sima, tükrös felület alakul ki. A bejáratási kopást külön **bejáratási adalékkal** szokták segíteni.

Nem kívánatos viszont a **progresszív kopás**, amelyik a bejáratási periódus után sem szűnik meg, hanem az idővel fokozódik. Elsősorban normalizált és nemesített kerekeknél fordul elő. A kopás oka a nem megfelelő kenőanyag, az elégtelen kenés, az elégtelen keménység, a szennyeződések.

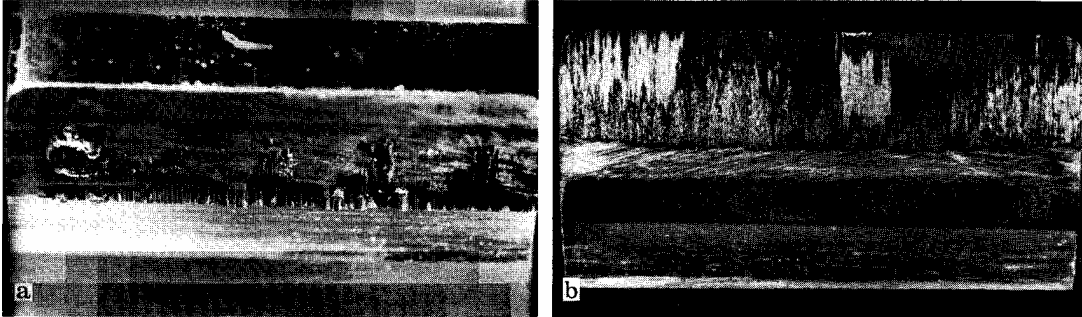
Elkerülési módok:

- megfelelő kenőanyag választása;

- EP adalékok használata (drága);
- foglenyesés alkalmazása (drága) ;
- különböző keménységű anyagok párosítása .

Berágódás

Ha nagy a felületi nyomás, és nagy a csúszás-sebesség, és nem megfelelő a kenés, akkor a fogfelületek erősen felmelegedhetnek, és a felület-érdességi csúcsok összehegedhetnek. A csúszás miatt az összehegedt részek lenyíródnak, és durva, horzsolts felületet eredményeznek.



Elkerülési módok:

- megfelelő kenőanyag választása;
- EP adalékok használata (drága);
- olyan profileltolás választása, hogy a be- és kilépő pontokban a relatív csúszás azonos legyen;
- nagyobb modul alkalmazás (kisebb fogszám) .

Fogaskerek anyagai

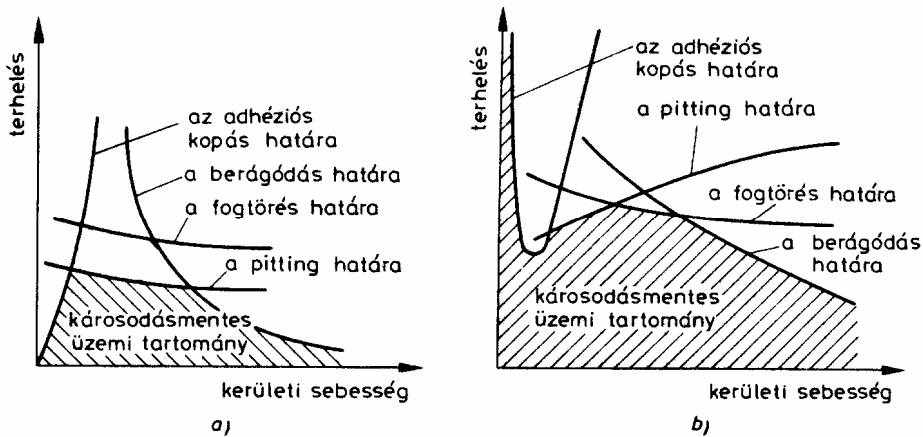
A fogaskerek anyagai három nagy csoportra osztható: mindenképp acél, aztán öntöttvas, és egyre inkább terjed a műanyag.

Az alkalmazott acélfajták négy fő csoportra oszthatók:

- ötvöztelen vagy gyengén ötvözött acélok;
- ötvözött, nemesíthető acélok;
- betétben edzhető acélok;
- nitridálható acélok.

Néhány szempont

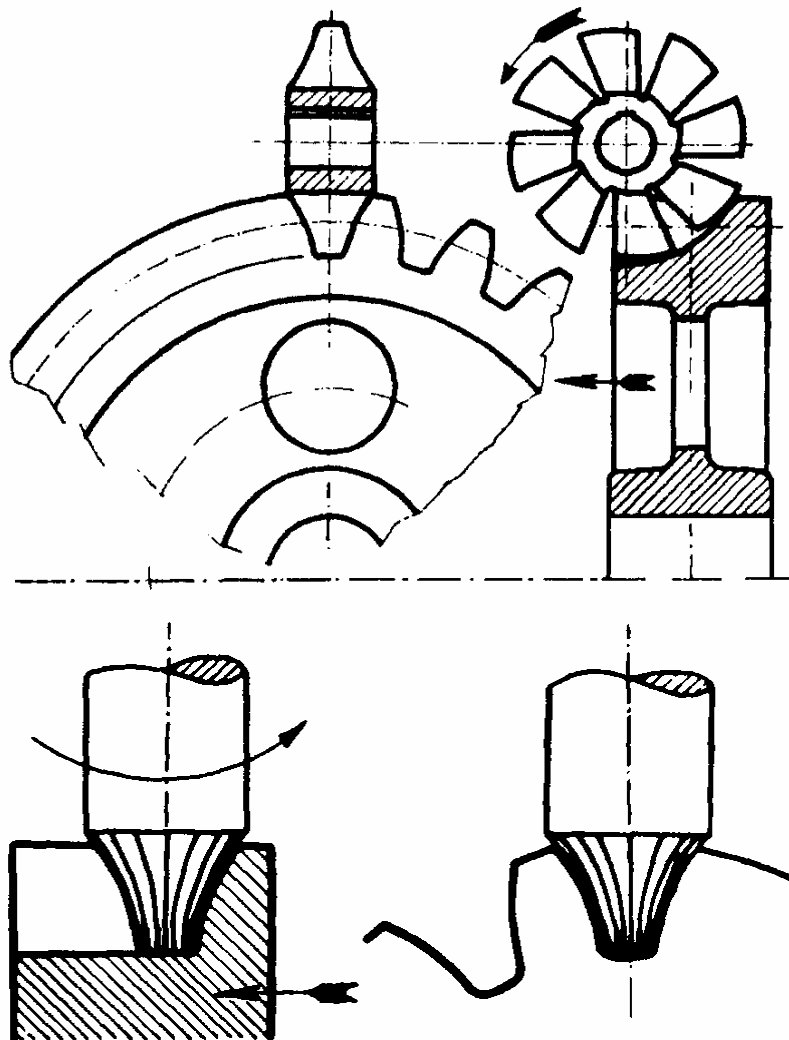
- a nemesített kerek felületi teherbírási elmarad az edzettekhez képest;
- a berágódási teherbírást nitridálással lehet növelni;
- ütésszerű igénybevétellel szemben a nitridálás érzékeny;
- a legnagyobb teherbírást betétedzéssel érhető el;
- a legkedvezőbb keménység 60 HRC körül van.



A fogaskerekek gyártása

a) profilozó eljárások

- tárcsamaróval;
- újmaróval.

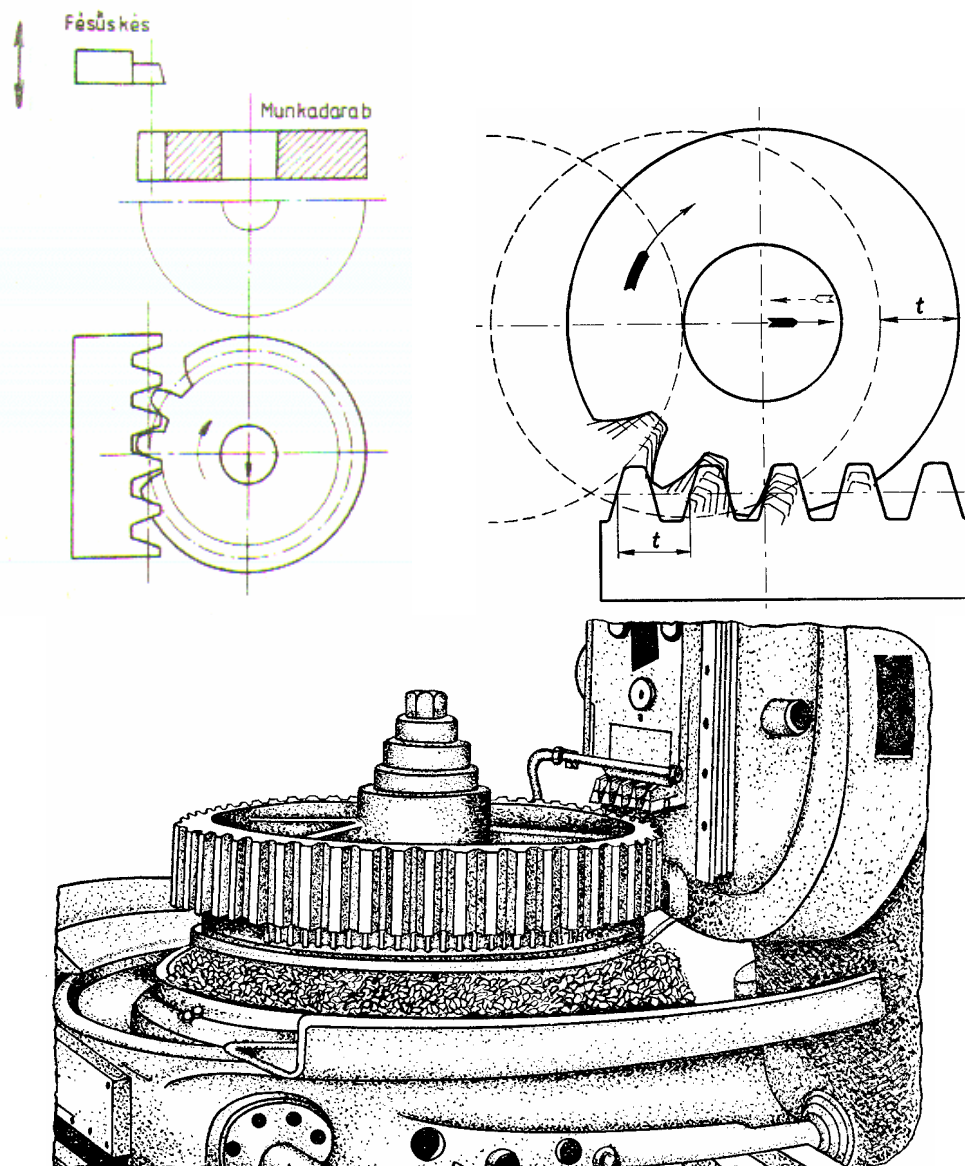


Probléma: Minden modulhoz és minden fogsámhoz saját szerszám kellene.
A szerszám fogsám tartományra, pl. $m = 5$, $z = 20 - 25$.

b) A homlokkerekek gyártására használható három elterjedt lefejtő forgácsolási módszer a következő:

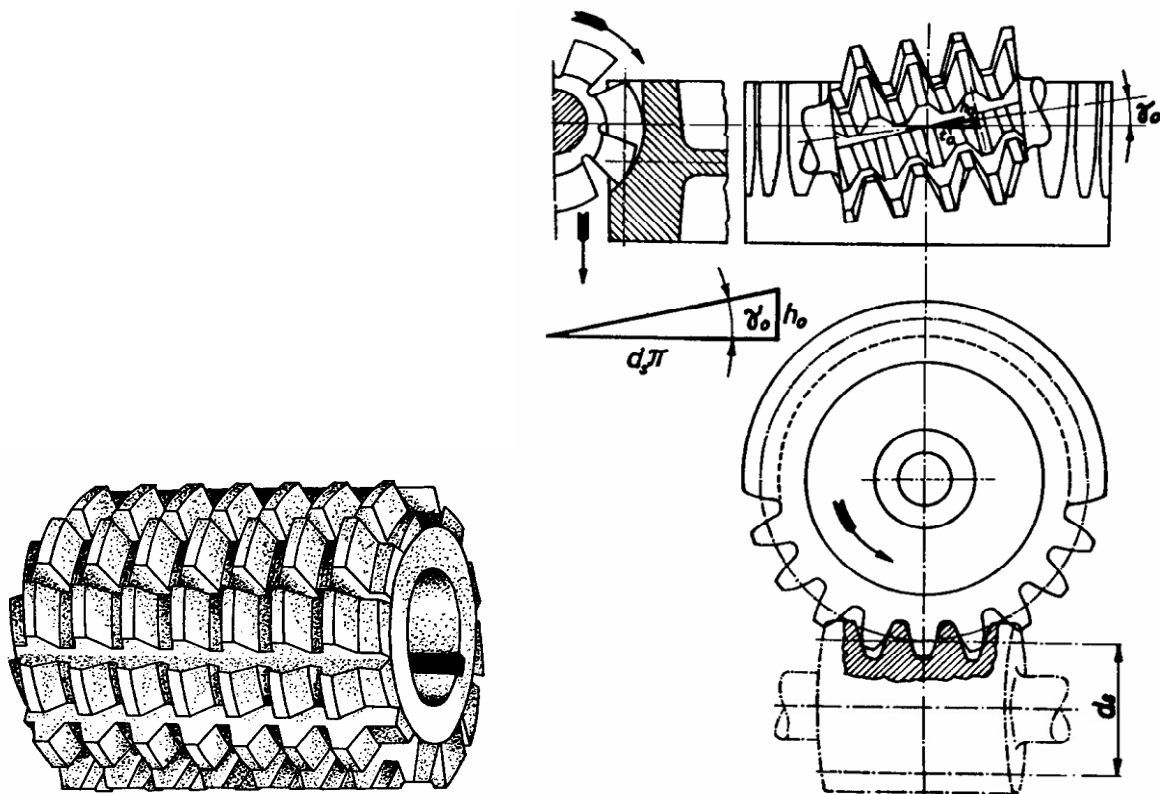
Maag-rendszerű, fésűskés-szerszámú lefejtő gyalulás

Maag-rendszerű, fésűskés-szerszámú lefejtő gyalulás, amikor is fogasléchez hasonló, egyenes profilú szerszám végzi a gyaluló (alternáló) főmozgást, a munkadarab pedig a szakaszos gördülő mellékmozgást. Elemi fogazat készítésekor az osztókör a szerszám középvonalával, a korrigált fogazat készítésekor pedig valamely ezzel párhuzamos $\pm x m$ távolságban levő vonalával van tiszta gördülésben.



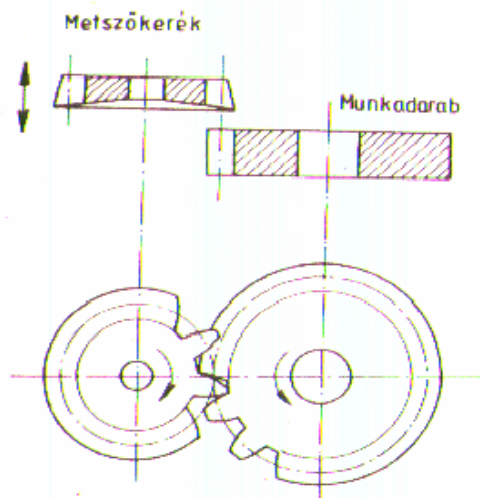
Pfauter-rendszerű, csigamarós lefejtő marás:

Pfauter-rendszerű, csigamarós lefejtő marás, amikor is a főmozgást végző szerszám lényegében fogasléc (egyenes) profilú csavarfelület és a munkadarab mellékmozgása is folytonos forgó mozgás. A folytonos mozgások révén nagy termelékenység érhető el. A Pfauter-gép egy második mellékmozgást - a gyártandó kerék tengelye irányába eső előtolást is létrehoz.



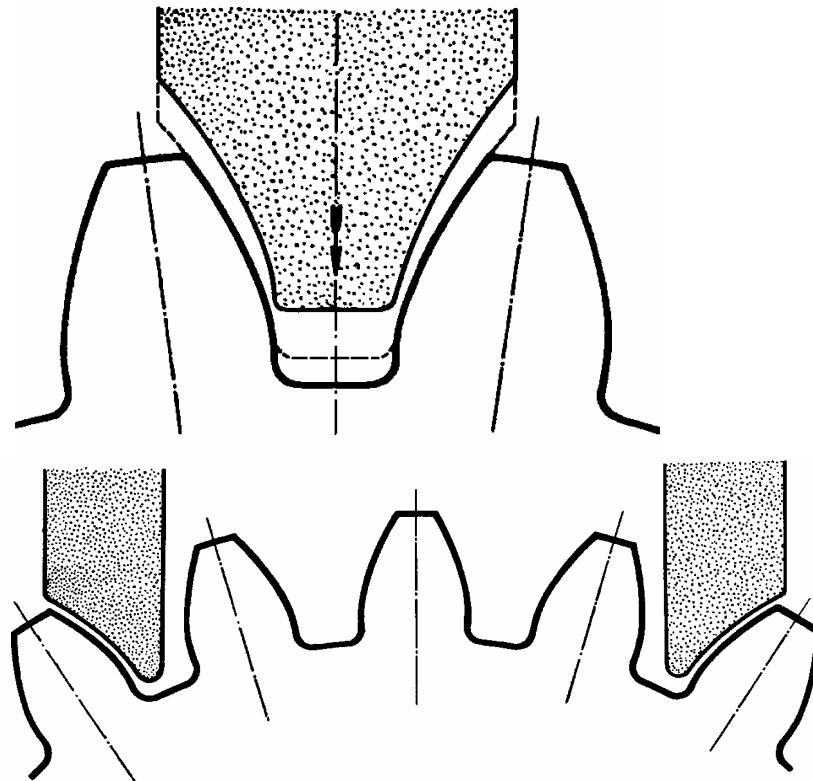
Fellows-rendszerű, metszőkerekes lefejtő vésés:

Fellows-rendszerű, metszőkerekes lefejtő vésés, amikor is az alternáló főmozgású, evolvens fogprofilú fogaskerék alakú szerszám mellékmovgásként szakaszosan összegördül a munkadarabbal. E rendszer a belfogazatok előállítására egyedül alkalmas lefejtő eljárás.

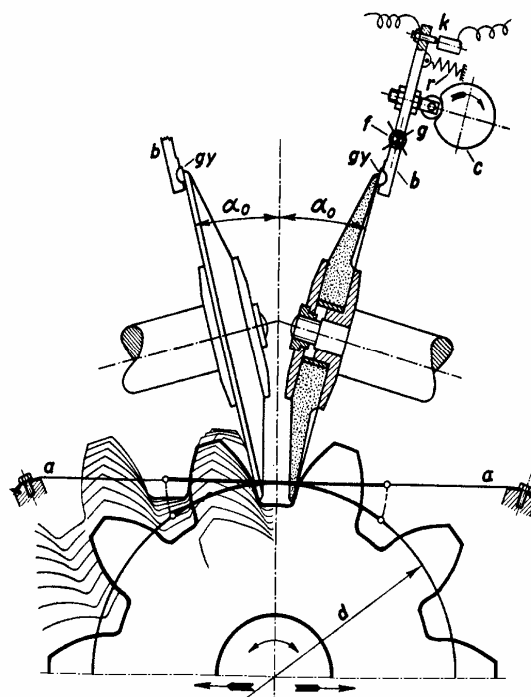


c) fogaskerekek köszörülése

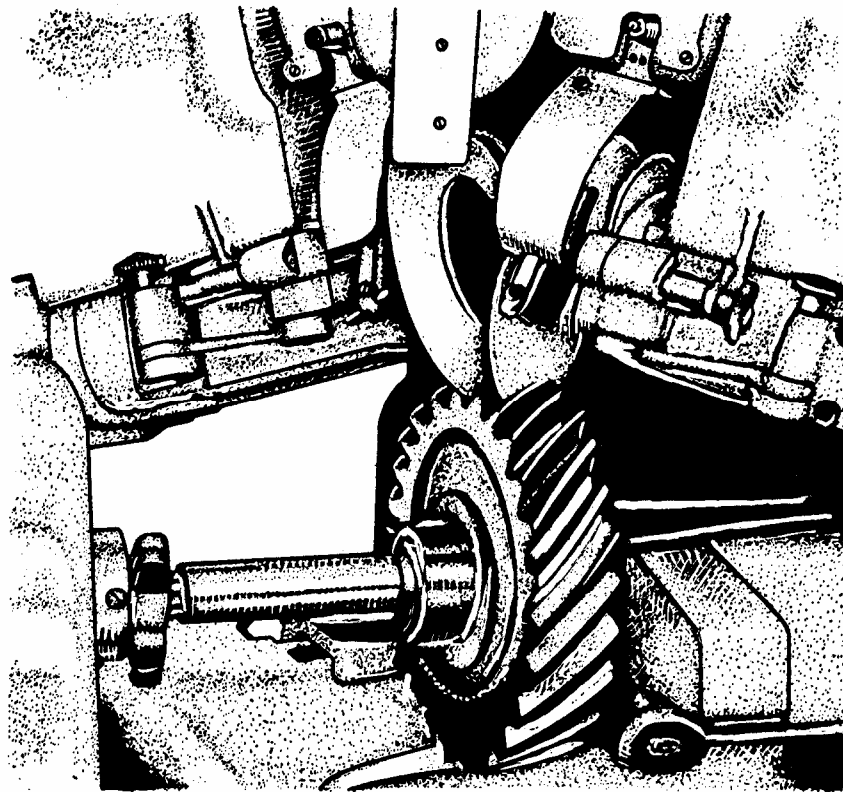
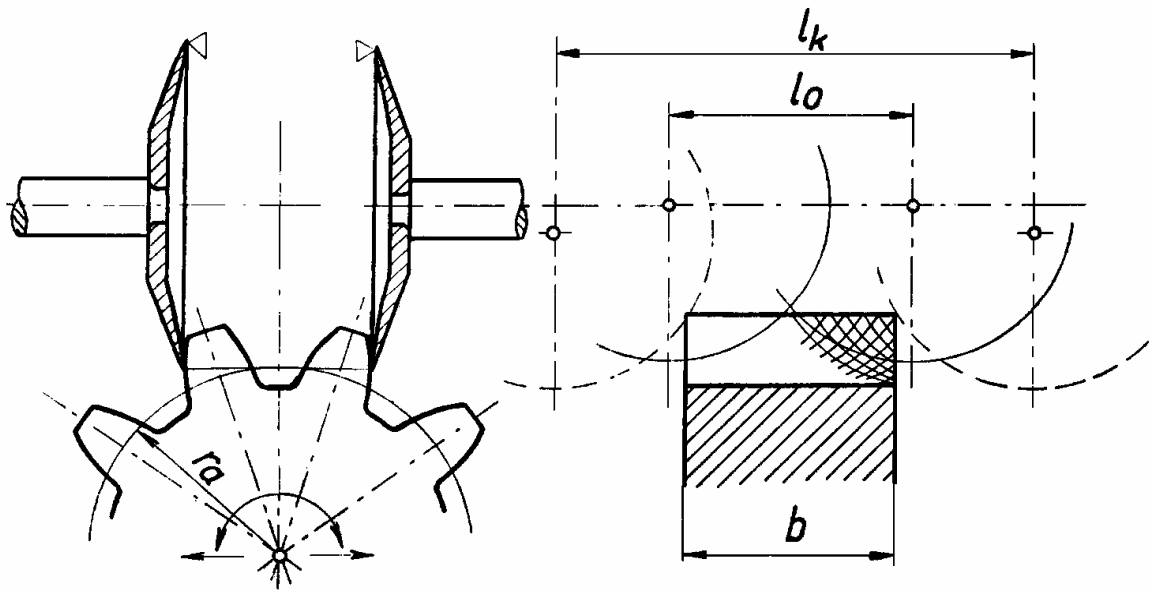
- profilozó eljárások;



- lefejtő eljárások;



Az egy- és kétkorongos Maag-köszörűgépek közül utóbbi a fejlettebb, ahol a megmunkálandó kerék ingamozgással gördül be a párhuzamos helyzetű, forgó köszörűkorongok közé.



A fogaskerekek mérése

Célja: a gyártási pontosság ellenőrzése.

A hengeres kerekek ellenőrzése viszonylag egyszerű. Problémásabb a kúp ke-rekek és a csiga ellenőrzése.

A mérés csoportosítása:

1) Összetett hiba ellenőrzés

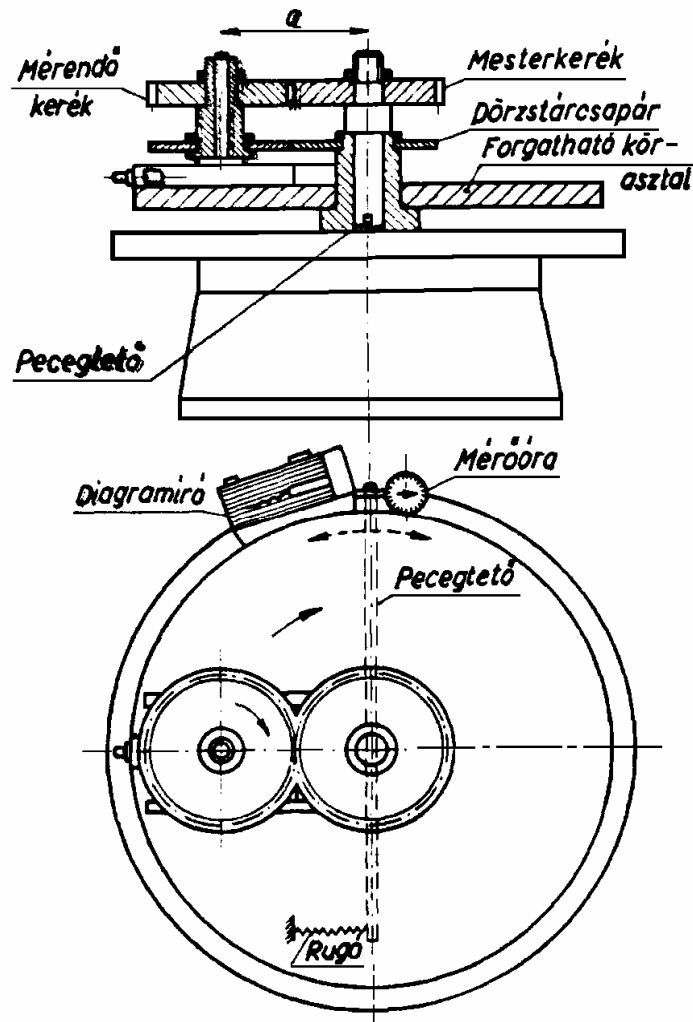
- egyprofilos legördítés;
- kétprofilos legördítés;
- hordkép vizsgálat;
- zajmérés;

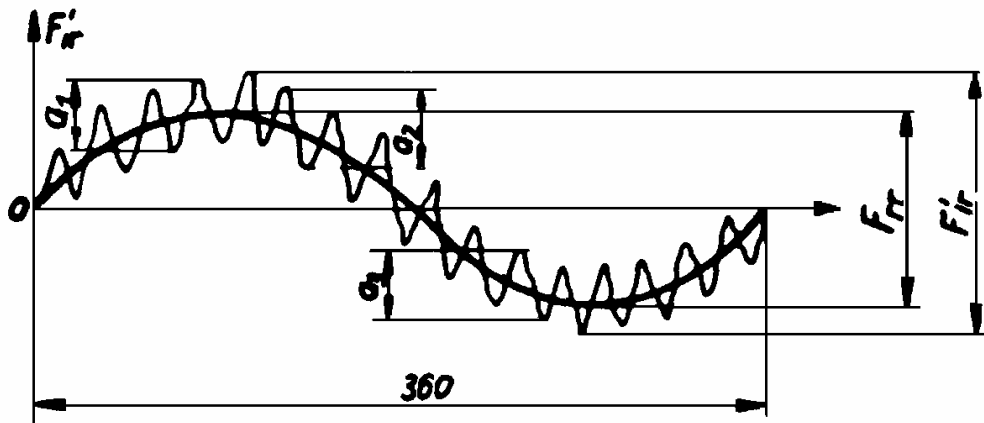
- profil hiba;
- fogirány mérés;

2) Egyedi hiba ellenőrzés

- osztás mérés;
- fogazat ütése;
- fogvastagság mérés;
- többfog méret;
- csapméret;

Egyprofilos legördítés:





Elv: A hajtó és hajtott kerék között a szögsebesség ingadozás a hiba következménye. Ennél a mérésnél azt vizsgáljuk, hogy egy körülfordulás alatt a mesterkerékről a vizsgált kerékre a szögsebesség milyen ingadozással adódik át.

A dörzstárcsa gördülőkör átmérőjű.

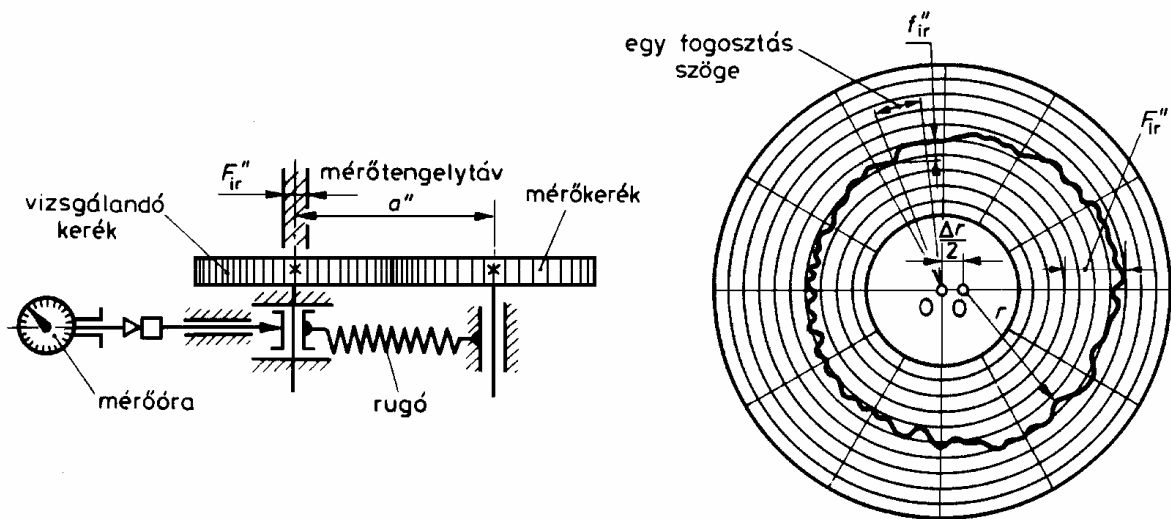
A hibátlan kerék hosszdiagramja egyenes.

- Értékelés:**
- egy irányú forgásnál csak az egyik profilt méri;
 - a legbiztosabb funkcionális vizsgálat;
 - drága a mesterkerék, a dörzstárcsa, a készülék bonyolult;
 - a drágasága miatt nem terjedt el.

Kétprofilos legördítés:

Elv: A mérendő kereket egy rugó szorítja kis erővel a mesterkerékhez. Így mindkét profil érintkezik. A vizsgálandó kereket körbe forgatva a tengelytáv változást mérik.

Kétprofilos legördítés:



- Értékelés:**
- előnye hogy összesített hiba mérést, összesített minősítést tesz lehetővé;
 - előnye, hogy egyszerű, ezért nagyon elterjedt;
 - hátránya, hogy mindkét profillal egyszerre érintkezik, ezért a két profil hibái összeadódnak;

Hordkép vizsgálat:

Olyan fogaskerékpár vizsgálatánál használják, ahol a profil és fogirány pontosságát nem lehet mérni. A mérés során a kiskerék néhány fogfelületét lassan száradó festékkel kenik be, majd a kerékpárt kis terhelés mellett körbe forgatják. A festék a másik kerék fogoldalára nyomódik, és így kapják a **hordképet**.

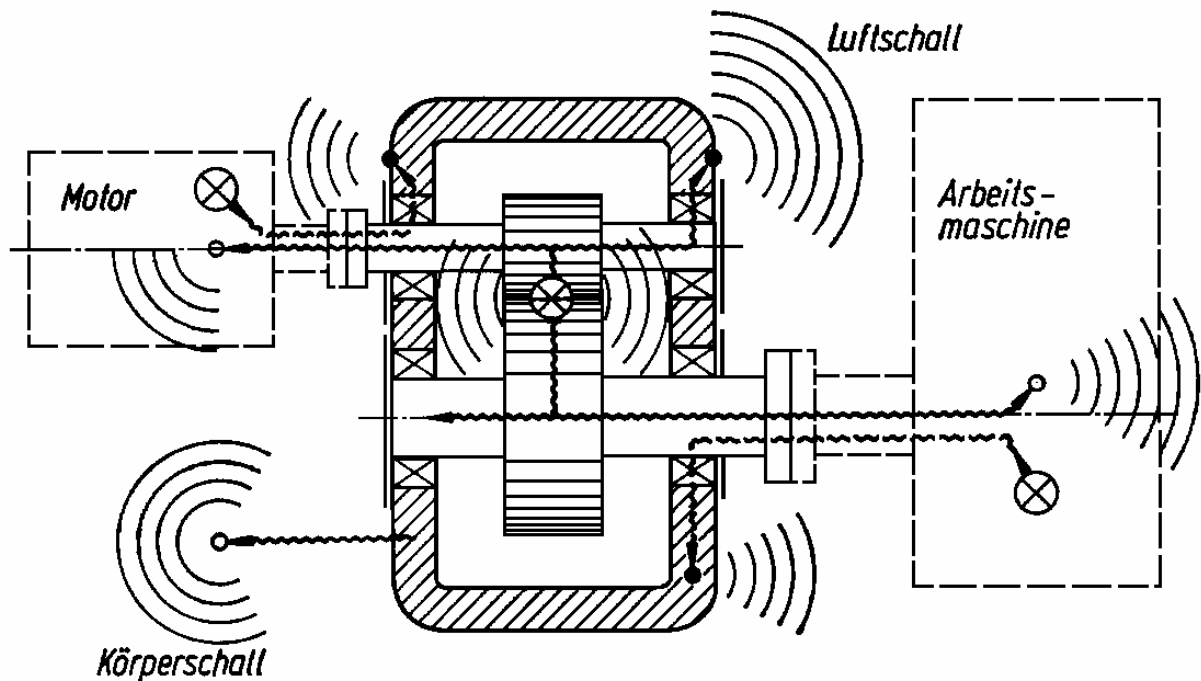
A festékfoltok elhelyezkedéséből nagyjából megállapítható a kapcsolódás helyessége.

Értékelés:

- a hordkép vizsgálatot elsősorban ívelt fogazatú kúpkerékknél és csigahajtásoknál használják;
- előnye, hogy egyszerű, olcsó;
- a hordkép elhelyezkedéséből következtetni lehet a gyártási és szerelési hibákra;
- előnye, hogy egyszerű, olcsó;

Zajvizsgálat:

A fogaskerekek fogazási és szerelési hibái, rezgést, zajt keltenek, amit rezgés-mérő, illetve hangnyomásszint mérő készülékekkel mérni lehet. A mérési eredmények kiértékelése nem könnyű, mert a mért értékek számos részhangokból tevődik össze, mert a hajtóműben számos zajforrás található.



A hang a hangforrástól testhang és léghang formájában terjed. A bal oldali diagram egy lassú fordulatszámú fogaskerékpár hangnyomás változását mutatja az idő függvényében. Az E pontok a fogkapcsolódás pontjai, f_z a fog-frekvencia, f_e a sajátfrekvencia.

A jobb oldali ábra a hangnyomás idealizált változását mutatja az idő függvényében.

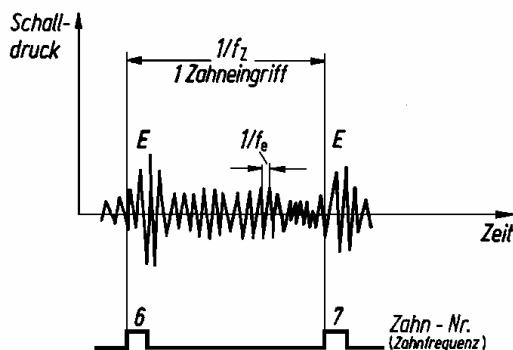


Bild 21.13/4

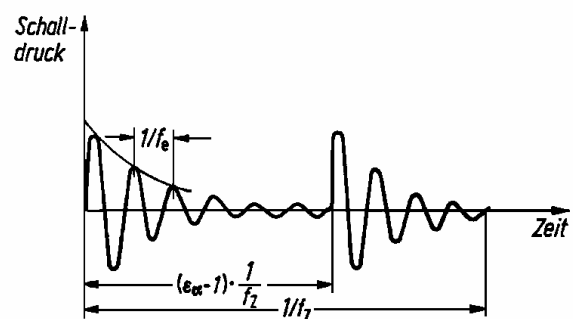


Bild 21.13/5

A frekvencia-analízis eredménye egy egyenes fogazatú és egy ferdefogazatú fogaskerékpár kapcsolódása esetén.

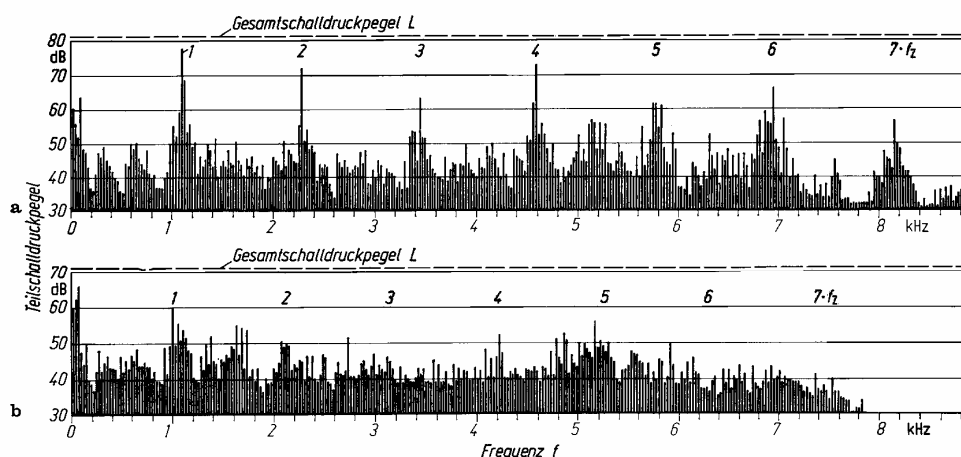


Bild 21.13/13. Schalldruckspektrum. a) Geradverzahnung; b) Schrägverzahnung $\beta = 25^\circ$.
 $m_n = 3$; $i \approx 1,6$; $a = 91,5$ mm; $b = 22$ mm; DIN-Qualität 3 (geschliffen); $n_1 = 3000$ min $^{-1}$ [21.13/14].

A közepes zajszint változása egyenes és ferde fogazat esetén. Egyenes fogazatnál lényegében a profil kapcsolószám, ferde fogazatnál pedig a fogferdeségi szög a paraméter.

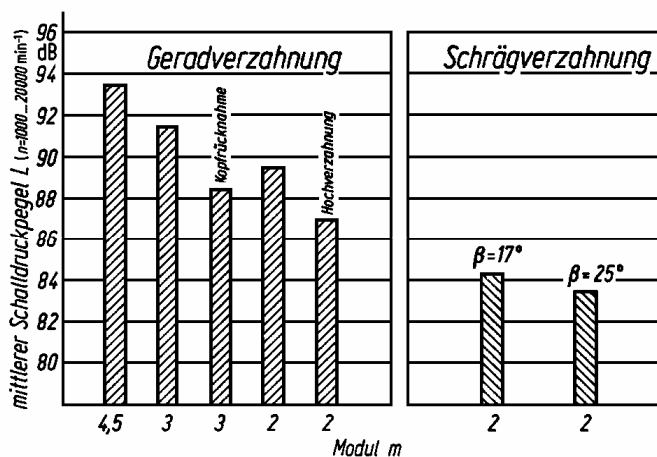
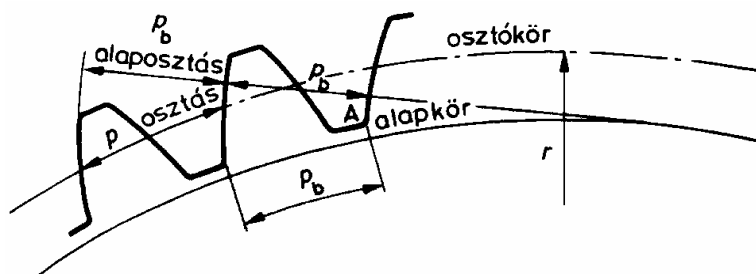


Bild 21.13/14. Vergleich verschiedener Einflüsse auf das Geräusch [21.3/23]. Verzahnungen: Einsatzgehärtet, geschliffen; $a = 91,5$ mm; $b = 15$ mm; $F_{bt}/b = 437$ N/mm.

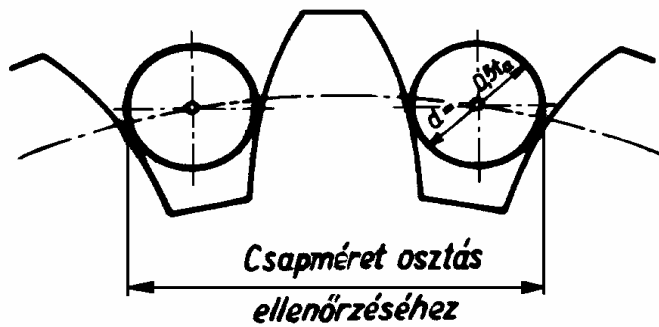
Osztásmérés:

A fogazatok osztáshibája a fogak kapcsolódásakor ütközéseket, szögsebesség ingadozást, nyugtalan, zajos járást okoz. Az osztásmérés lehet **osztóköri osztásmérés**, vagy **alapköri osztásmérés**.



351. ábra
 Az osztóköri osztás és az alaposztás

Osztóköri osztásmérés



235. ábra

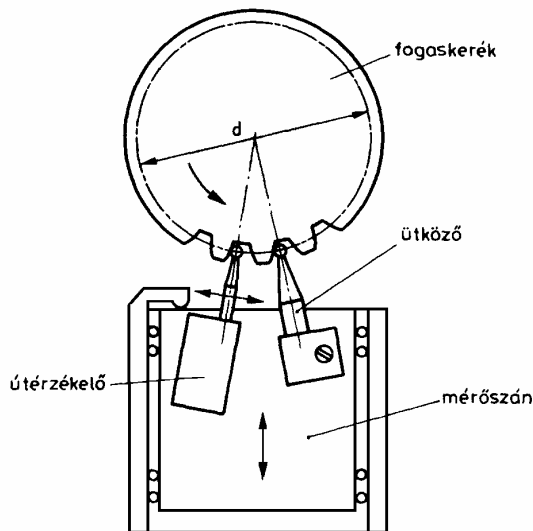
Az osztáshiba megállapítása két köszörült hengeres csappal

Köszörült hengeres csapok távolságát mérjük tolómérővel vagy mikrométerrel.

Eredmény: osztáshiba, osztásegyenetlenség.

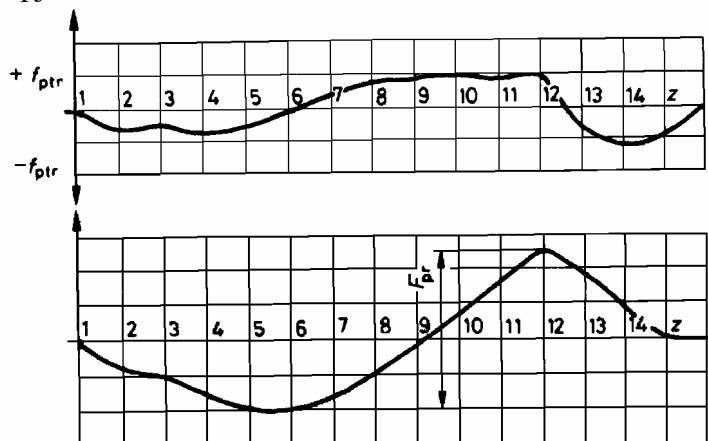
Hátrány: a mérés eredményében mindkét oldali profil benne van.

Osztóköri osztásmérés párhuzamos profilon



Két szomszédos osztás különbsége az **osztáshiba** (f_{ptr}); két tetszőleges osztás különbsége az **osztás különbség** (V_{ptr});

A fogaskerék osztáshibájának értékét sorban felmérve egyenesre, kapjuk az osztáshibák diagramját. Ha azonos léptékben az egyes hibákat összeadva ábrázoljuk az összegezett osztáshiba görbét kapjuk.

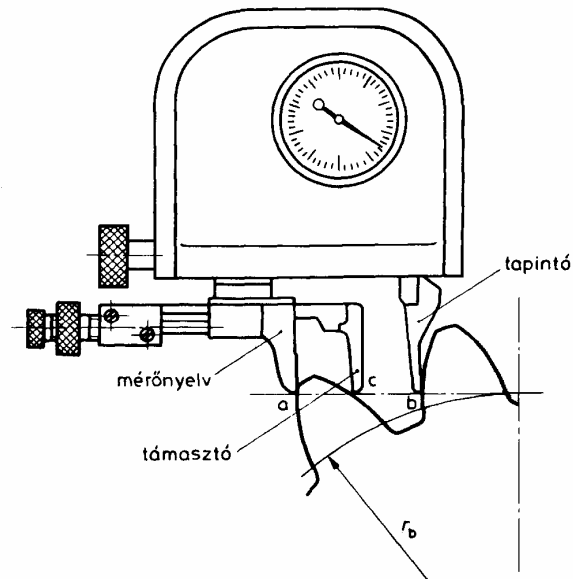


353. ábra

Az osztáshiba és az összegezett osztáshiba diagramjai

Alaposztásmérés

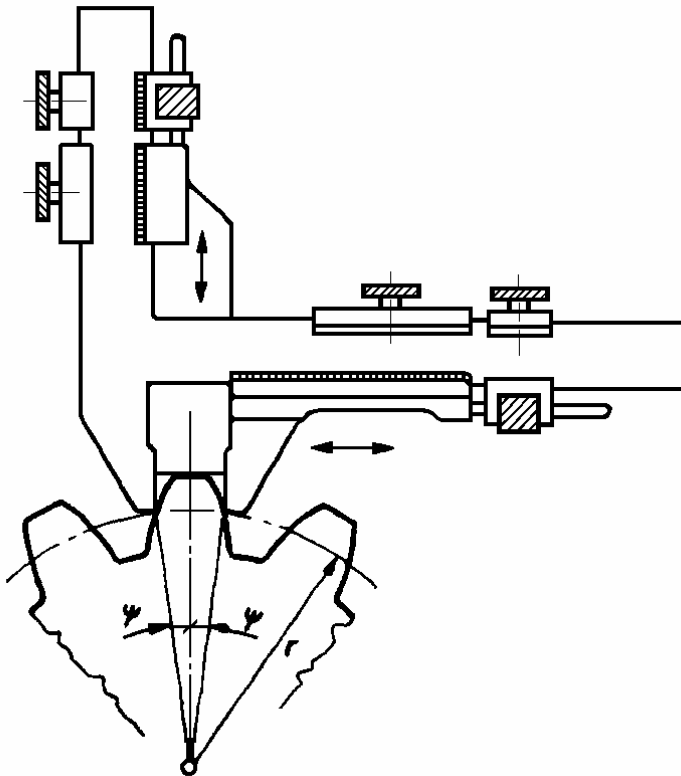
Az alaposztás hiba (f_{pbr}) két szomszédos fog egyoldali fogfelületének valóságos és névleges távolságának különbsége.

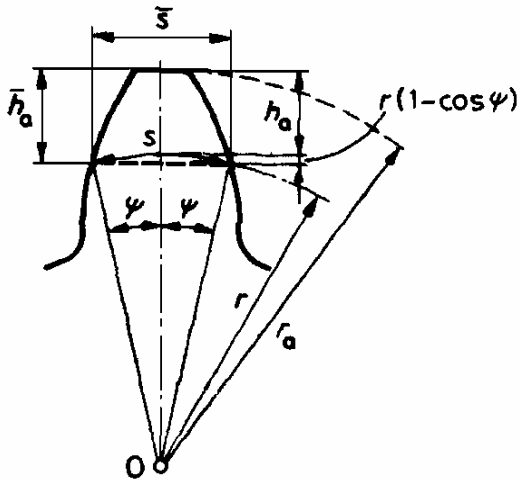


354. ábra
A Maag-féle alaposztásmérő

Fogvastagság mérés:

a) Fogvastagság mérés tetszőleges körön fogtolómérővel





Ív helyett húr mérünk. Ebből kell az ívet kiszámítani.

$$\bar{s} = 2\psi r,$$

ahol a ψ szög a húrméretből

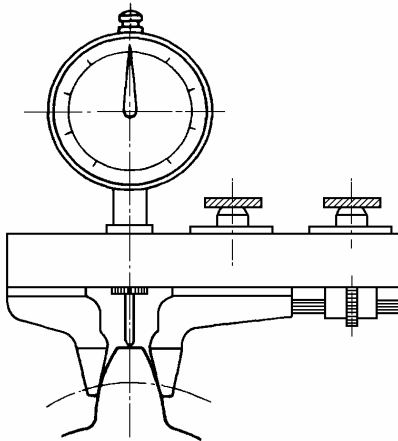
$$\psi = \arcsin \frac{\bar{s}}{2r}$$

a mérés mélysége: $\bar{h}_a = r_a - r \cos \psi$

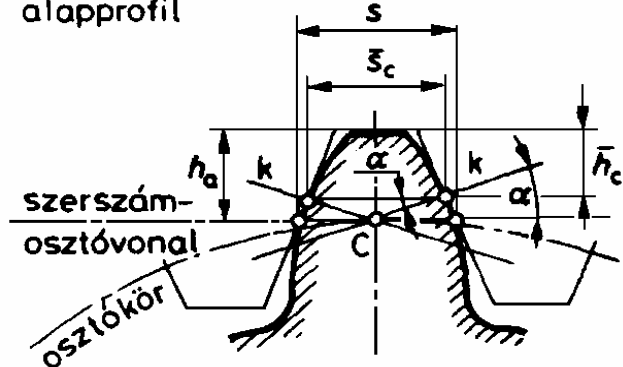
Értékelés:

- A mérés pontossága megkívánja a fejkörátmérő pontos megmunkálását.
- Hátrány, hogy a fogprofil a műszer csúcsa érinti, és az gyorsan kopik.

b) Fogvastagság mérés állandó húron



alapprofil



A mérés elve: az osztóköri fogvastagság megegyezik a szerszám osztóvonalán lévő fogvastagsággal.

$$\widehat{s} = s = \frac{\pi}{2}m$$

$$\overline{Ck}_{bal} = \overline{Ck}_{jobb} = \frac{1}{2} \frac{\pi}{2} m \cos \alpha$$

Az állandó húrméret, amelyik csak a modultól függ, a fogszámtól nem:

$$s_c = 2\overline{Ck}_{bal} \cos \alpha = \frac{1}{2} \pi m \cos^2 \alpha$$

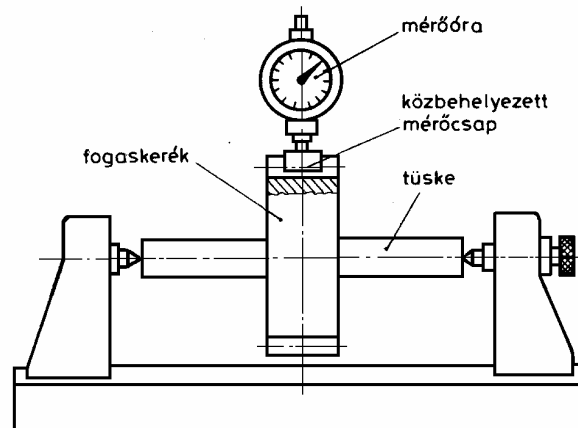
A mérőmagasság: $h_c = m - \overline{Ck}_{bal} \sin \alpha = m - \frac{\pi}{4} m \sin \alpha \cos \alpha$

A mérőórát egy etalonhoz be kell állítani, majd az órával a mérőmagasság eltérését mérjük.

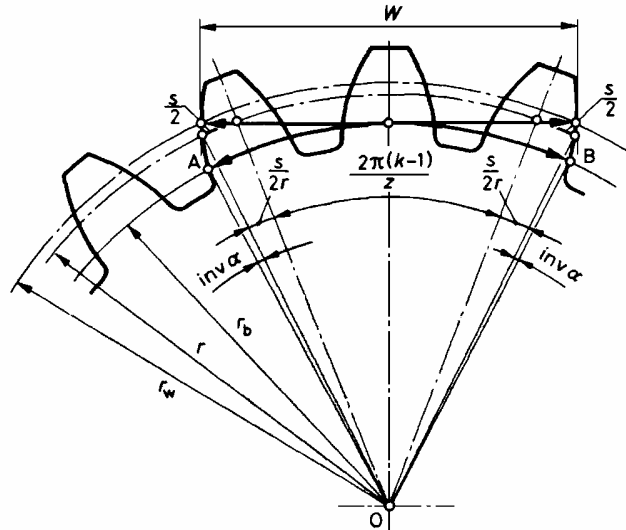
A mérés előnye az előzőhöz képest az él menti felfekvés, de a fejkör átmérőt ennél a mérésnél is pontosan kell megmunkálni.

Ütés mérés:

A fogazat radiális ütésének mérésével a fogazat furathoz viszonyított elhelyezkedését lehet meghatározni.

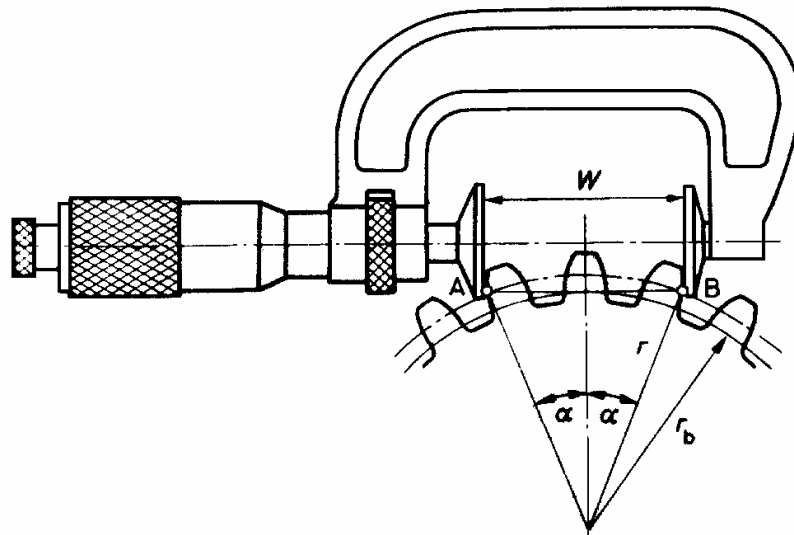


Többfogmért (1923 Wildhaber):



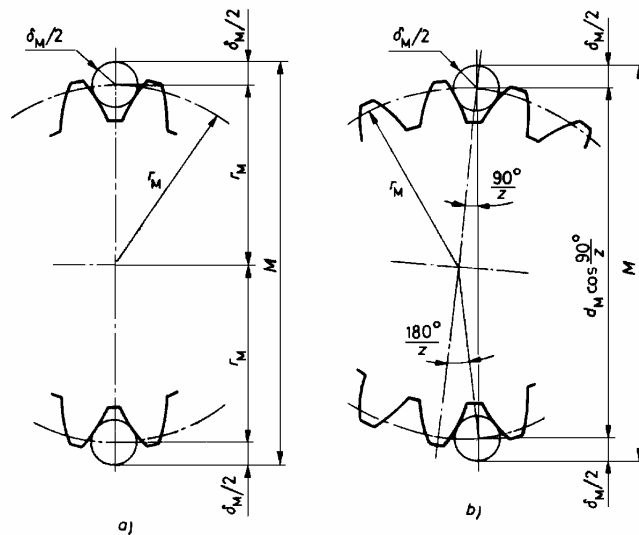
Elv: Egy alapkörből kiindított, egymással szembe menő evolvens ágak párhuzamos érintőinek érintési pontjait összekötő egyenes érinti az alapkört, és az egyenes hossza az alapkör ívhosszával egyenlő.

A távolság független az egyenes irányától. A többfogmért jele Wildhaber után **W**.



Mérni úgy kell, hogy az osztókör közelében tapintson a műszer.

Csapmért



A mérőcsap átmérője:

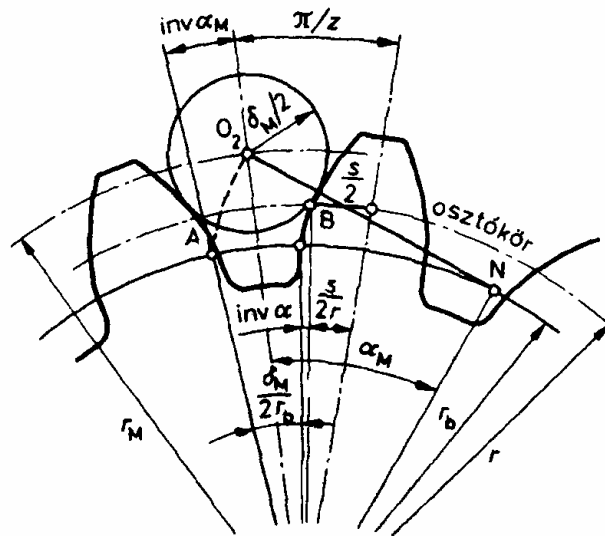
$$\delta_M = 1,75m$$

A csapméret páros fogszám esetén:

$$M = d_M + \delta_M$$

A csapméret páratlan fogszám esetén:

$$M = d_M \cos \frac{90^\circ}{z} + \delta_M \Rightarrow d_M$$



361. ábra

A csapméret meghatározása

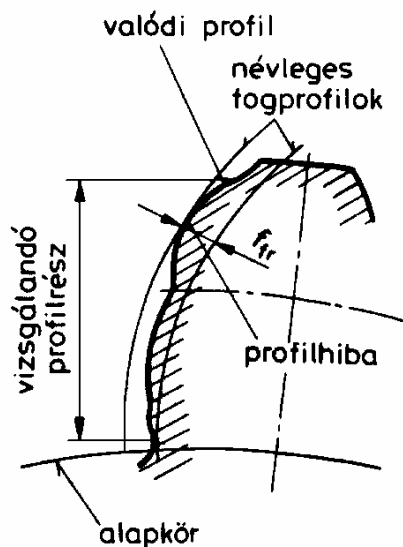
$$\cos \alpha_M = \frac{d_b}{d_M}$$

$$\frac{\pi}{z} + \text{inv} \alpha_M = \frac{s}{2r} + \text{inv} \alpha + \frac{\delta_M}{2r_b} \Rightarrow s$$

Fogprofil mérése:

A fogoldal evolvensének vizsgálata az egyik legfontosabb vizsgálati eljárás. Ennek segítségével a profilhibát (f_{fr}) lehet megállapítani. A profilhiba a valóságos profil eltérése a névleges profiltól, illetve ennek legnagyobb értéke.

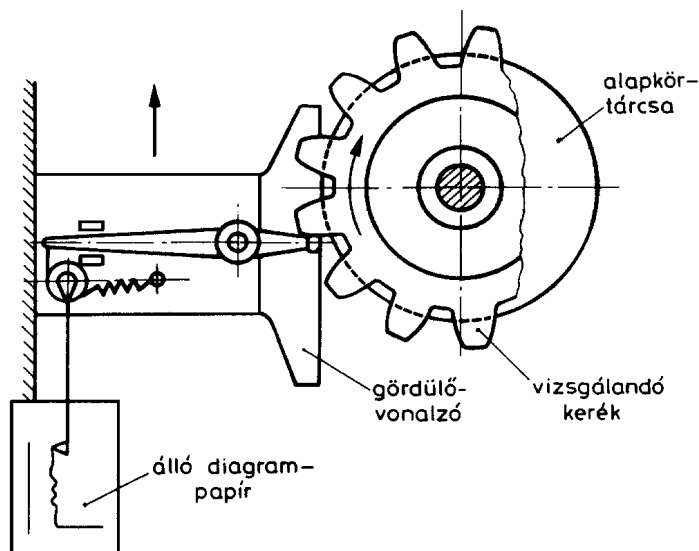
A profilhiba nyugtalan zajos járást, hatásfok csökkenést, kenőhatás csökkenést, ezáltal berágódás veszély növekedését idézi elő.



348. ábra

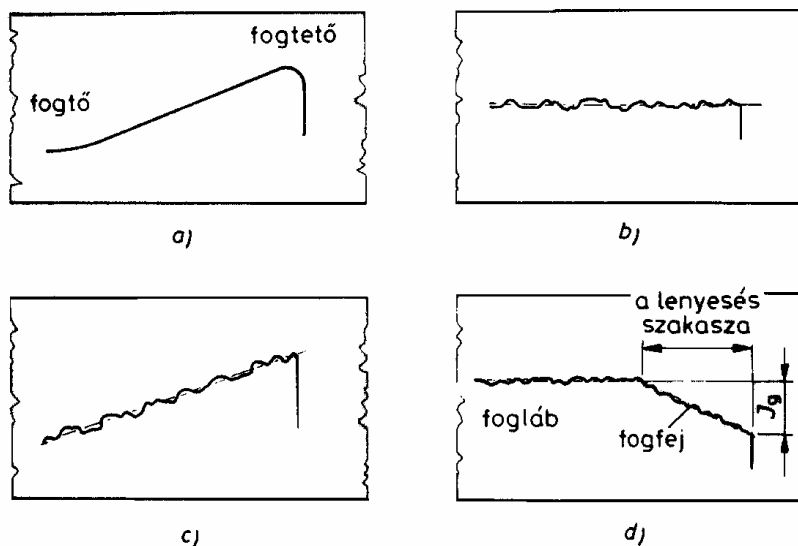
A profilhiba értelmezése

A profilmérő gép az evolvens származtatás kinematikai elvén működik.



349. ábra
A profilmérő gép mérési elve

Példák a profil-diagramokra:



- a) a profil jó, az alapkör átmérő, ebből kifolyólag a profilszög hibás; b) az alapkör jó, a fogprofil nem pontos, c) az alapkör is és a profil is hibás; d) foglenyesés profildiagramja.

Fogirány mérése:

A fogirány hiba a foghossz mentén a terhelés egyenlőtlen eloszlását eredményezi. A fogirány méréséhez az előző pontbeli profilmérő gép használható azzal, hogy a tapintó axiális irányban mozdul el.

Fogaskerek pontossági előírásai:

Az egyes hibafajták tűrései alapján a fogaskerekeket 12 pontossági osztályba sorolják.

- 1., 2. pontossági fokozat a mai technológiával még nem gyártható;
- 3., 4. pontossági fokozat mérő kerek pontossága;
- 5., 6. pontossági fokozat köszörüléssel gyártható kerek;
- 7., 8. 9. pontossági fokozat általános gépépítés fogaskerekei;
- 10., 11. pontossági fokozat forgácsolással, nagyolva gyártható;
- 12. pontossági fokozat már öntéssel, kovácsolással is előállítható.

Profilhiba mérése

A diagram jellegéből a hiba természete is megállapítható: a görbe ingadozása a felületi hibákra, a diagram egészének függőlegestől való elhajlása az alapkör méreteltérésére utal.)

