

### 3.3 Fogaskerékhajtások

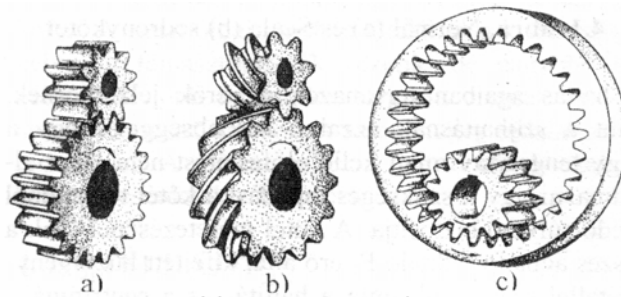
Jó tulajdonságaiknak köszönhetően a fogaskerékhajtóművek a legelterjedtebbek az összes mechanikus hajtóművek közül. A hajtás alakzáró és az áttétel állandó, így ha a hajtó tengely fordulatszáma állandó, akkor a hajtott tengelyé is az.

Két kapcsolódó fogaskerék egy fogaskerékpárt alkot, amelynél a hajtókerék forgatásakor annak fogai egymás után folyamatosan behatolnak a hajtott kerék fogárkaiba, forgómozgásra kényszerítve azt is, miközben végbemegy a kerületi erő, ill. a teljesítmény átszarmaztatása is. A fogaskerékhajtásokat az egymással kapcsolódó kerek tengelyvonalainak viszonylagos helyzete alapján három fő csoportba sorolhatjuk:

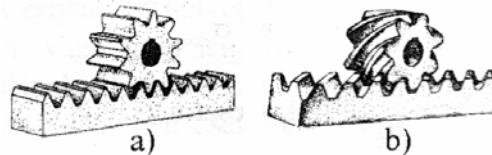
1. párhuzamos tengelyvonalú hajtások, amelyek hengereskerekekből állnak,
2. metsződő tengelyvonalú hajtások, amelyek kúpkerekekből állnak, és
3. kitérő tengelyvonalú hajtások, amelyeket még csavarhajtásoknak is nevezünk.

A fogazatuk alapján megkülönböztetünk külső fogazatú és belső fogazatú fogaskerekeket. Külső fogazatnál a fogak a keréktest külső palástján, belső fogazatnál pedig a kerékkoszorú belső felületén helyezkednek el. A külső és a belső fogazatú hengeres kerek közös határesete a fogasléc, ill. kúpkerekeknél a síkkerék. Külső fogazatú kerek kapcsolódását külső kapcsolódásnak, külső és belső fogazatú kerekét pedig belső kapcsolódásnak nevezzük.

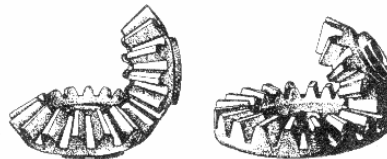
Az irányukat tekintve a fogak lehetnek egyenesek, ferdek (jobb hajlásúak vagy bal hajlásúak) vagy íveltek (csak kúpkerekeknél). Külső ferde fogazatú hengeres- és kúpkerék párosításánál a fogak hajlásszögeinek egyenlőnek, a hajlásirányuknak pedig ellentétesnek kell lenniük. Ide tartoznak még a nyíl fogú hengeres kerek is, melyeknél a ferde fogazat egyik fele jobb hajlású, míg a másik fele bal hajlású. Az előbbieket alapján a következő ábrák néhány fogaskerékpárt mutatnak be.



3-27. ábra. Hengeres kerek külső (a,b) és belső (c) kapcsolódása

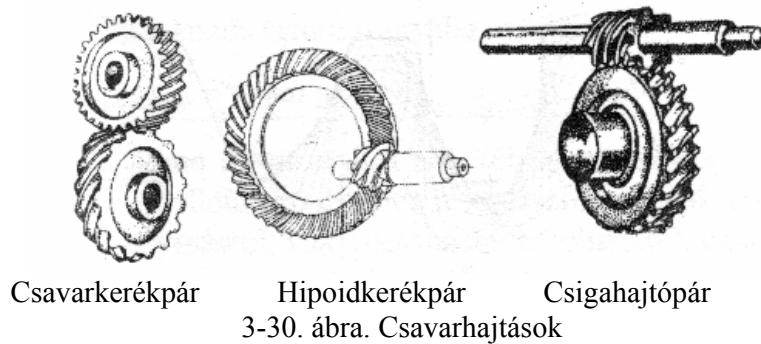


3-28. ábra. Egyenes (a) és ferde (b) fogazatú fogasléc



3-29. ábra. Kúpkerék és síkkerék-kúpkerék kapcsolódása

Csavarhajtásoknál megkülönböztetünk: (1) csavarkerékpárt, (2) hipoidkerékpárt és (3) csigahajtópárt (3-30. ábra).

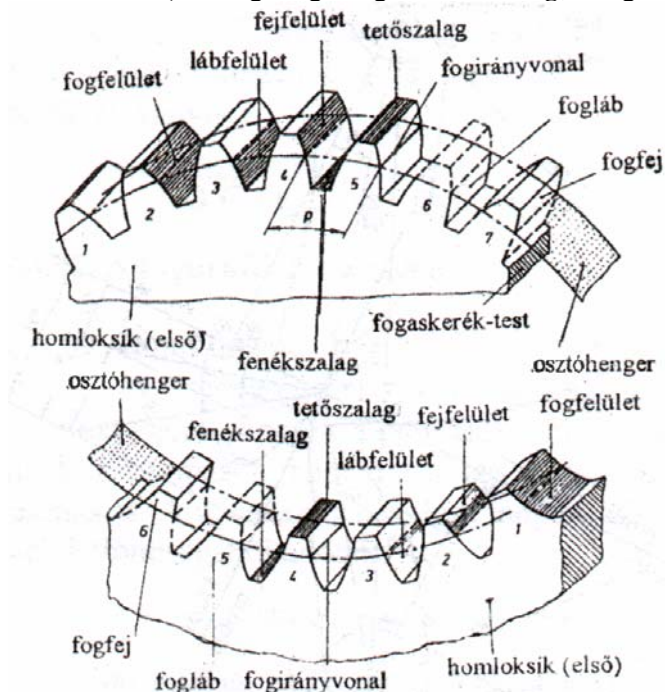


A fogprofil alakja szerint a fogazat lehet:

1. evolvens profilú (legelterjedtebb a gépgyártásban),
2. ciklois profilú (óraiparban, nagy fogsámviszonynál és fogasléchaajtásnál nyer alkalmazást),
3. Novikov-fogazat, amelynél a fogprofil körív alakú.

### 3.3.1 A fogaskerek és a fogak elemei

A fogaskerek mozgást átvivő elemei a *fogak*, amelyek egymástól egyenlő távolságra, szabályosan helyezkednek el. Azt a felületet, melyen megadjuk ezt a távolságot, osztófelületnek nevezzük. A kerék fogainak összessége képezi a *fogazatot*. Két szomszédos fog között van a *fogárok*, amelybe az ellenkerék foga benyúlik. Külső fogazatnál a fognak az osztófelületen kívül eső része a *fogfej*, míg az osztófelülettől a keréktest felé eső része a *fogláb* (belső fogazatnál fordítva). A fog magasságát a *tetőszalag*, a fogárok mélységét a

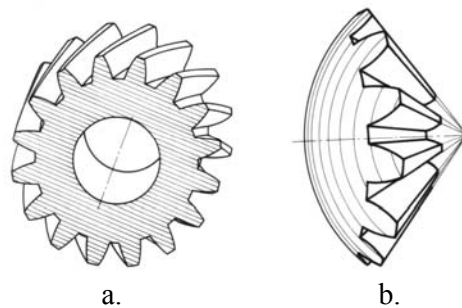


3-31. ábra. A fogak elemei külső (felső ábra) és belső (alsó ábra) fogazatnál

fenékszalag határolja.

A foglábát a fogtő köti össze a fenékszalaggal. A fogat kétoldalt fogfelületek határolják (egy jobboldali és egy baloldali, amikor a fog felfelé irányul), amelyek fejfelületből, lábfelületből és fogtőfelületből állnak. Ez utóbbi szilárdági és technológiai okok miatt homorú kialakítású. A fogfelületnek az a része, amely az ellenkerék fogával való helyes kapcsolódásra alkalmas, a használható fogfelület. A fogak szélességét (egyenes fogazatnál ez egyenlő a foghosszal) az osztófelületre merőleges homloksíkok (egy első és egy hátsó) határolják. A fogfelület és az osztófelület metszésvonala adja a fogirányvonalat. A felsorolt fogelemek az 5. ábrán láthatók. A tető- és a fenékszalagok a kerék osztófelületével azonos jellegű felületeket képeznek. Hengeres kerekeknél az osztófelület henger alakú, ez az osztóhenger, így ezeknél a fogakat határoló legnagyobb henger a fejhenger, és a legkisebb a lábhenger. Kúpkerékeknél osztókúpot találunk, ezért itt a fogakat a fejkúp és a lábkúp határolja.

A fogaskerekek kapcsolódásának vizsgálata lényegesen leegyszerűsödik, ha a fogak helyett azok profiljait vizsgáljuk. A fogprofil a fogfelület homlokmetszete, amelyet az osztófelület alkotójára merőleges metszetként kapunk meg: hengeres kerekeknél a forgástengelyre merőleges síkkal képezzük a metszetet, míg kúpkerékeknél egy gömbbel, amelynek a középpontja a tengelyvonalak metszéspontjába esik (3-32. ábra).



3-32. ábra. Fogprofil hengeres (a) és kúpkeréknél (b)

A fogprofilokra ugyanazok a fogalmak érvényesek, mint a fogfelületekre, így megkülönböztetünk: jobboldali és baloldali fogprofilokat, fejprofil és lábprofil, használható fogprofil és fogtőgörbét, valamint fejkört, osztókört és lábkört.

A folyamatos forgásátvitel érdekében a kerék teljes területén ki kell a fogakat alakítani, melyeknek számát fogszámnak (jele  $z$ ) nevezzük. Csigáknál a menetek száma jelenti a fogszámot, míg fogaslécnél nem beszélhetünk fogszámról.

A fogaskerékpár kisebb fogszámú kereke a kiskerék (jele 1-es index), a nagyobb fogszámú pedig a nagykerék (jele 2-es index). A nagykerék fogszámának és a kiskerék fogszámának a hányadosát fogszámviszonynak nevezzük (jele  $u$ ), amely igen fontos jellemzője a fogaskerékhajtásnak:

$$u = \frac{z_2}{z_1} \geq 1.$$

A fogaskerékpár azon eleme, amelyik a hajtást végzi a hajtókerék, míg a másik a hajtott kerék. A hajtó kerék és a hajtott kerék szögsebességének (jele  $\omega$ ), ill. fordulatszámának (jele  $n$ ) a viszonya adja a fogaskerékhajtás áttételét (jele  $i$ ):

$$i = \frac{\omega_{\text{hajtó}}}{\omega_{\text{hajtott}}} = \frac{n_{\text{hajtó}}}{n_{\text{hajtott}}}.$$

A szomszédos fogak egyoldali fogprofiljainak távolsága az osztókörön ívhosszban értve az osztás (jele  $p$ ), amely magába foglal egy fogat és egy fogárkot (3-31. ábra). Az osztások egyformák, az osztókör kerületén  $z$  számú osztás fér el. Így az osztókör kerülete egyenlő az osztás és a fogszám szorzatával:  $d \cdot \pi = p \cdot z$ . Innen az osztókör átmérője:

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

Ezt a hányadost modulnak nevezzük és  $m$  – el jelöljük. A modul a fogaskerék legfőbb jellemzője, mert minden hosszmeretet a modul függvényében fejezünk ki. A modulok választható értékeit szabvány rögzíti. Ezek a szabványos modulok mm-ben megadott egész- vagy tizedes számok, legfeljebb 3 tizedes jeggyel. Osztást nemcsak az osztókörön, hanem bármelyik körön mérhetünk, de akkor ezt ki kell hangsúlyozni.

A fogaskerék-hajtásokat gördülőhajtásoknak nevezzük, mert a párosított kereknek vannak olyan képelt felületei, amelyek a kerek forgatásakor csúszás nélkül gördülnek le egymáson, ezek a gördülőfelületek: hengeres kerekknél gördülőhengerek, kúpkerékknél gördülőkúpok, fogaslécnél gördülősíkok. A gördülőfelületek egyenes alkotó mentén érintik egymást, amelyet a hajtás fővonalának nevezünk. A fogprofilok vizsgálatánál a megfelelő metszetekben gördülőköröket kapunk. Ugyanitt megjelenik a fővonal metszéspontja is, a főpont (jele  $C$ ), amelyben a gördülőkörök érintkeznek egymással. Párosított fogaskerek szabályos kapcsolódása csak akkor jöhet létre, ha a fogak gördülőköreiken mért osztása -  $p_w$  egymással egyenlő, azaz:  $p_{w1} = p_{w2}$  (a gördülőkörök elemei  $w$  indexet kapnak).

Mivel a gördülőkörök (elemi fogazatnál ezek megegyeznek az osztókörökkel) csúszás nélkül gördülnek le egymáson, ezért a  $v$  kerületi sebességük egyenlő (3-33. ábra):

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

A fentiek alapján, lassító hajtás esetén az áttétel megadható még a következő módon is:

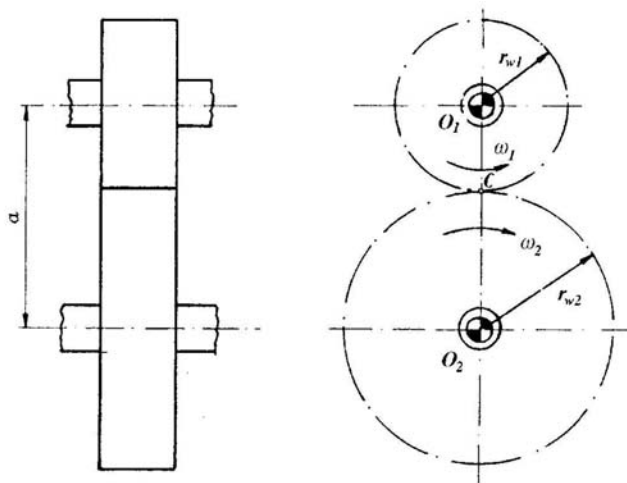
$$i = \frac{r_{w2}}{r_{w1}} = \frac{d_{w2}}{d_{w1}} \quad (\text{elemi fogazatnál } d_w = d)$$

Ahol  $d_{w1}$ ,  $d_{w2}$  a gördülőkörök átmérője. Mivel

$$\pi \cdot d_{w1} = z_1 \cdot p_{w1} \quad \text{és} \quad \pi \cdot d_{w2} = z_2 \cdot p_{w2}, \quad \text{valamint} \quad p_{w1} = p_{w2} = p_w$$

az áttétel fölírható úgy is mint:  $i = \frac{d_{w2}}{d_{w1}} = \frac{z_2}{z_1} = u$

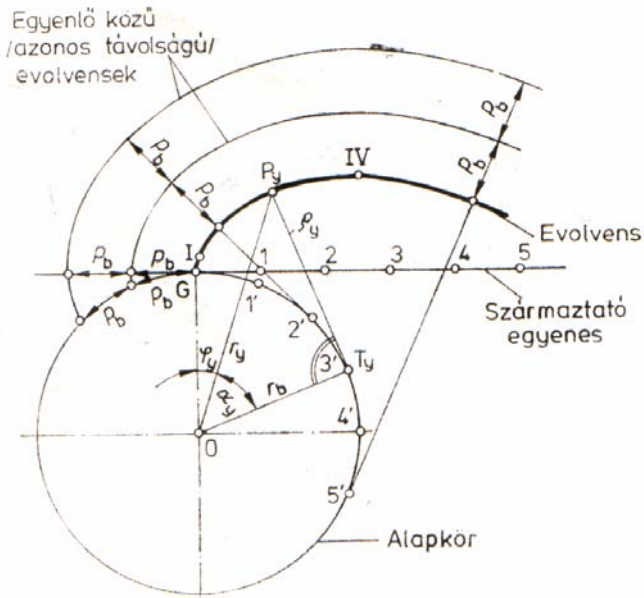
Lassításnál  $u=i$ , gyorsításnál viszont  $u=1/i$ .



3-33. ábra. Gördülőkörök

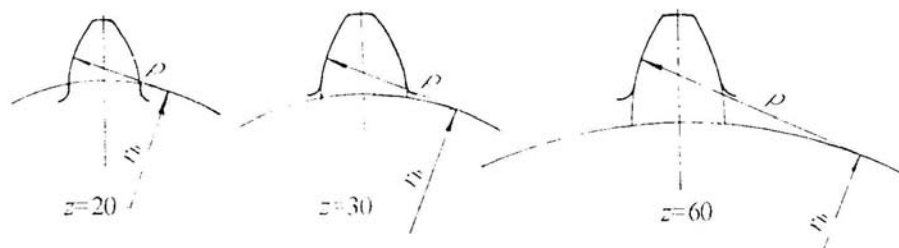
### 3.3.1.1 Az evolvens mint foggörbe

Ha egy körhöz, amelyet *alapkörnek* (a sugara  $r_b$ ) nevezünk, érintőt húzunk, és ezt az ún. *származtató egyenest* az alapkörön csúszásmentesen legördítjük, akkor ennek a gördülő egyenesnek a pontjai evolvenseket írnak le (3-34. ábra). Ha az egyenest ellenkező értelemben gördítjük le, akkor az előző evolvensnek tükörképeit kapjuk. Ha a származtató egyenesen pontokat jelölünk ki egymástól egyenlő  $p_b$  távolságra ( $p_b$  az ún. alaposztás – az egyoldali szomszédos fogprofilok kezdőpontjainak az alapkörön ívben mért távolsága), azok a legördítés folyamán a szomszédos fogak profiljait írják le. A másik irányba való legördítéssel megkapjuk a fogak ellentétes profiljait is.



3-34. ábra. Az evolvens származtatása

A fogprofil kialakításához az evolvens bármelyik szakasza felhasználható. A fogszám növekedésével a felhasznált evolvensszakasz távolodik az alapkörtől és ezzel együtt növekszik a szakasz görbületi sugara. Ez az eset a nagyobb fogszámú kerekeknél jelentkezik. Ha a fogszám a végtelen felé tart (fogasléc), akkor az evolvens görbületi sugara is végtelen nagyra válik és a fogprofil átalakul egyenessé.



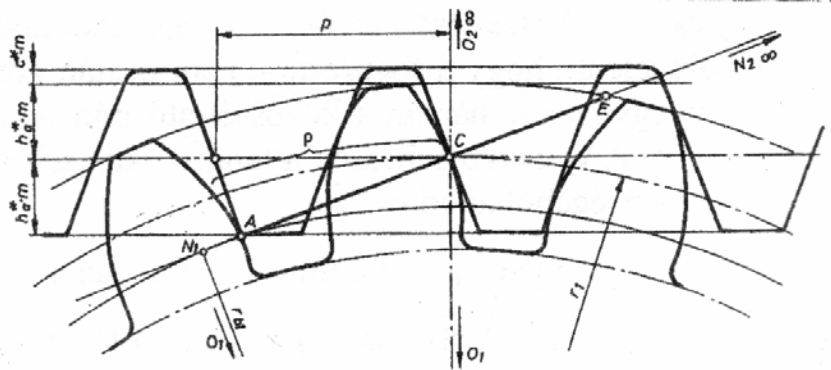
3-35. ábra. A fogszám hatása a fogprofil alakjára.

### 3.3.2. Egyenes fogazatú hengereskerék-hajtások

#### 3.3.2.1 Szabványos alaprofil

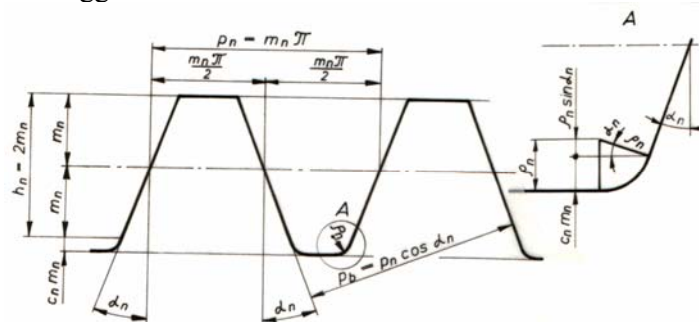
Mivel egy fogazat profilját az ellenkerék fogprofilja határozza meg, találni kellett egy olyan profilt, amely egyszerre határozza meg egy fogaskerékpár mindkét tagjának a fogprofilját. Ez

az *alapprofil*, amely hengeres kerekeknel egy képzel fogasléc profilja. A fogasléc egy végtelen nagy sugarú fogaskerék részének tekinthető, amely ha kapcsolódik egy fogaskerékkel, akkor mozgásátvitelnél a gördülőkörök legördülnek egymáson. Mivel a fogaslécnél a gördülőkör egyenesbe megy át, a fogaskerékpár relatív mozgását úgy tekinthetjük, mintha a kerék gördülőköré legördülne a lécc gördülő egyenesén. Elemi fogazatnál a kerék gördülőköré egybeesik az osztókörrel, ill. a fogasléc gördülő egyenesé az osztóvonallal, melyeken mindkét elem osztása egyenlő kell, hogy legyen (3-36. ábra). Evolvens fogazatnál az alapprofil működő oldalai egyenesek, a kapcsolóvonal szintén egyenes, amely egybeesik a fogmerőlegessel.



3-36. ábra. Fogaskerék és fogasléc kapcsolódása

Az alapprofil szabványosításával alakult ki a szabványos alapprofil (3-37. ábra), melynek alakját és méreteit az ide vonatkozó szabvány írja elő. A szabványos alapprofil méretei az  $m_n$  szabványos modultól függenek.



3-37. ábra. Szabványos alapprofil

A szabványos alapprofil 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, a 3-37. ábra A részlete alapján:  $\rho_n = \frac{c_n^* m_n}{1 - \sin \alpha_n}$ .

Az egyenesfogazatú hengeres kereknek az alaprofil megegyezik a szabványos alaprofillal, ezért a méreteik is egyformák ( $\alpha = \alpha_n = 20^\circ$ ,  $m = m_n$  stb.)

### 3.3.2.2 A fogaskerékpár jellemző méretei

A fogaskerek homlokmetszetében több kör található, amelyek közül néhány csak elméleti, melyeknek az átmérője ideálisan pontos és nem függ a fogazat fajtájától. Ezek a következők:

Osztókör, - átmérője:  $d = mz$ .

Alapkör, - átmérője:  $d_b = d \cos \alpha = mz \cos \alpha$ .

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

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

A felsorolt elméleti körökön kívül van még két látható kör is. Ezek a láb kör és a fejkör, melyeknek az átmérője függ a fogazat fajtájától is. A fogazat készülhet profileltolás nélkül és profileltolással. A profileltolás nélküli az elemi fogazat. A profileltolással készült fogazatnak két fajtáját ismerjük. Az egyik a kompenzált fogazat, amelynél  $x_1 = -x_2$ , a másik pedig az általános fogazat, amit akkor kapunk, ha  $x_1 + x_2 \neq 0$ .

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

Láb kör átmérők:

$$d_{f1} = d_1 - 2m(h_a^* + c^* - x_1) = m(z_1 + 2x_1 - 2,5),$$

$$d_{f2} = d_2 - 2m(h_a^* + c^* - x_2) = m(z_2 + 2x_2 - 2,5);$$

Fejkör átmérők:

$$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1} = d_1 + 2m(h_a^* + x_1), \quad \text{és.}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2} = d_2 + 2m(h_a^* + x_2),$$

### 3.3.3 Ferdefogazatú hengereskerék-hajtások

A ferde fogazatú hengeres kerek fogainak alakját olyan ferdefogú fogasléc határozza meg, amelynek a fogirányvonala  $\beta$  szöget zár be a fővonal, ill. a fogaskerek forgástengelyének irányával. A kialakított fogak fogirányvonala tkp. csavarvonal, amely lehet jobb- vagy balhajlású. A kapcsolódó kerek fogainak ellentétes hajlásúaknak kell lenniük. A fogirányvonal érintője és az osztóhenger alkotója által bezárt szög megegyezik a fogaslécnél említett  $\beta$  szöggel, ezért ezt a szöget foghajlásszögnek nevezzük.

A ferde fogazat előnye az egyenessel szemben az, hogy a kapcsolódás és a terhelés átadása folyamatos, így csökkennek a dinamikus hatások, és ezért elsősorban nagyobb kerületi sebességeknél előnyösen alkalmazhatók. Jelentős előny még az is, hogy a tengelytáv nemcsak a modulnak és a fogszámnak, hanem a fogferdeségnek is a függvénye, ezért a  $\beta$  szög

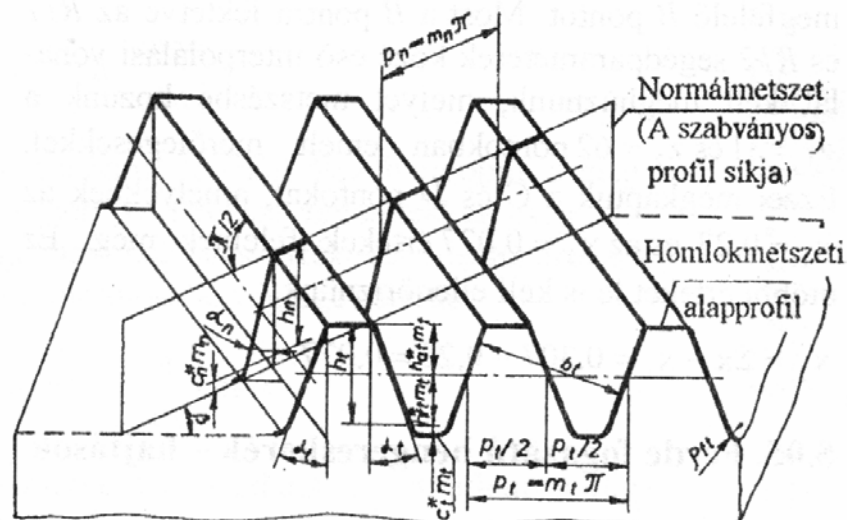
változtatásával kívánt tengelytáv valósítható meg. Előnytelen viszont, hogy a fogak ferdeségének következményeként a csapágyazást axiális erő is terheli.

A ferde fogazatnál a fogprofil két síkban szokás vizsgálni: a homloksíkban és a normálmetszetben.

A homloksík (ill. homlokmetszet) merőleges a forgástengelyre. Ebben a síkban található az alaprofil, amely meghatározza a ferde fogazat profilját. E profilok kapcsolódása megegyezik az egyenes fogazat profiljainak kapcsolódásával, így itt vizsgáljuk a fogaskerekek legördülésével kapcsolatos, vagyis a kinematikai összefüggéseket. A fogazat és a kerék homloksíkra vonatkozó minden elemének jele  $t$  indexet kap (az egyenes fogazatnál a homlok- és a normálmetszet egybeesik, ezért az indexeket nem szokás kiírni).

A normálmetszet, amely merőleges a fogirányvonalra, a szabványos alaprofil síkjának felel meg, így itt vizsgálják a fogak lefejtésével kapcsolatos kinematikai problémákat és fogak terhelhetőségét. A fogazat és a kerék normálmetszetére vonatkozó minden elemének jele  $n$  indexet kap.

A homlokmetszet és a normálmetszet a  $\beta$  szögön keresztül vannak összekötve egymással (3-38. ábra).



3-38. ábra. Ferde fogú fogasléc

Az alaprofil jellemző méretei a következők:

$$\text{homlok-alaprofilszög} \quad \operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta}$$

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

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

A homlokmetszeti és normálmetszeti alaprofilok magasság irányú méretei megegyeznek.

Az átmérők:

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



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

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

### 3.3.4 A kapcsolódó fogakat terhelő erő

A fogakat terhelő erő, az  $F_n$  normálfogatóerő a normálmetszetben, a kapcsolóvonal irányában hat, így az erőjátékot a fogaskerékpár főpontjában vizsgáljuk.

#### 3.3.4.1 Az egyenes fogazat erőjátéka

Az  $F_n$  erő a főpontban egymásra merőleges két összetevőre bontható (3-39. ábra), ezek:

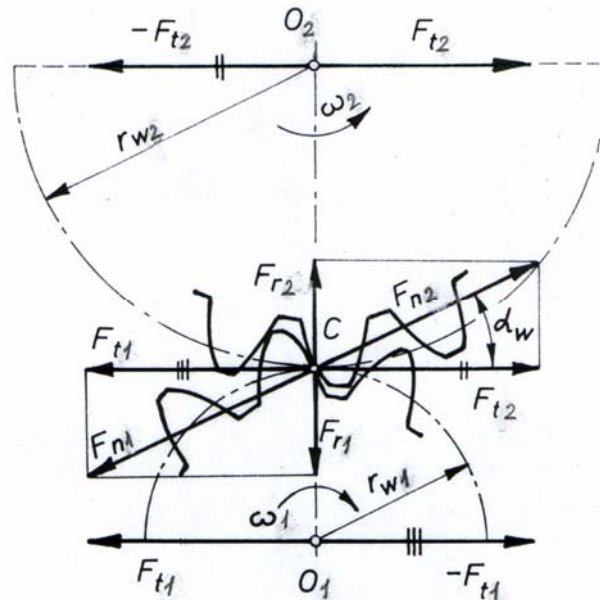
Meg kell jegyeznünk, hogy

- a kerületi erő, amely a fogaskerékre ható  $T$  forgatónyomatékból számítható ki. Valójában a gördülőköri átmérővel kellene számolni, de gyakorlatban általában az osztókör átmérőjével szokták a kerületi erőt kiszámolni, vagyis:

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

- és a radiális erő:

$$F_r = F_t \operatorname{tg} \alpha .$$



3-39. ábra. A normálfogatóerő felbontása  
1 – hajtó kerék, 2 – hajtott kerék

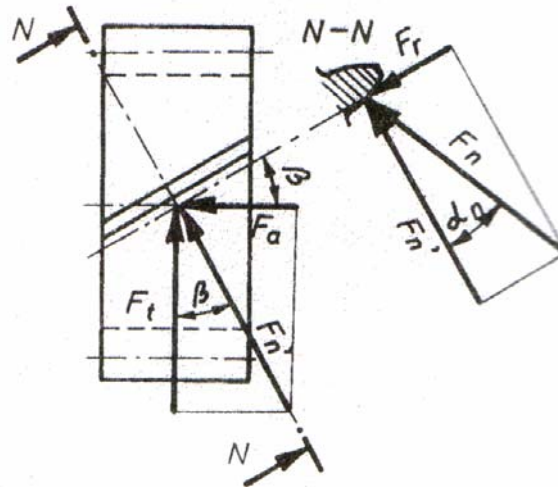
A kerületi erők iránya egybeesik a gördülőkör érintőjének az irányával. Mivel a hajtókerék (1) kényszeríti forgásra a hajtott kereket (2), ezért a hajtott kerék fogain jelentkező  $F_{t2}$  kerületi erő értelme megegyezik a kerék forgásirányával, míg a hajtókerék fogaira ható  $F_{t1}$  erő értelme ellenkező, de a két erő nagysága egyenlő.

Ha a kerületi erőt redukáljuk az adott kerék középpontjára, egy erőpárt kapunk, amely csavaró igénybevételnek, míg a visszamaradt harmadik erő hajlítói igénybevételnek teszi ki a tengelyt. A radiális erőkomponensek igyekeznek eltávolítani a kapcsolt kerekeket egymástól, a tengelyt pedig hajlítói igénybevételnek teszik ki.

### 3.3.4.2 A ferde fogazat erőjátéka

Ferde fogazatnál a normálmetszet merőleges a fogirányvonalra, ezért a kapcsolóvonal  $\beta$  szöget zár be a homloksíkkal. Ebből kifolyólag a normálfogóerő a  $C$  pontban egymásra merőleges három összetevőre bontható (3-40. ábra), ezek:

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



3-40. ábra. Az  $F_n$  erő felbontása ferde fognál

A kerületi erőt ugyanúgy határozzuk meg, mint az egyenes fogaknál.

A radiális erő, a 3-40. ábra alapján:  $F_r = F'_n \operatorname{tg} \alpha_n = \frac{F_t \operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta}$ , mivel:  $F'_n = \frac{F_t}{\cos \beta}$ .

Az axiális erő a kerületi erő függvényében:

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

Az  $F_t$  és  $F_r$  erők a tengelyt ugyanúgy terhelik, mint az egyenes fogazatnál.

Az axiális erőt redukáljuk a kerék tengelyvonalára, kapunk egy erőpárt a tengelyvonal síkjában, amely hajlítói igénybevételnek teszi ki a tengelyt. A visszamaradó harmadik erő húzó- vagy nyomó igénybevételt vált ki a tengelyben, a vezetőcsapágy helyzetétől függően.

### 3.3.5 A fogak meghibásodásai

Az üzemeltetés során a kapcsolódó fogakat különböző dinamikai hatások érik, amelyek kiválthatják azok meghibásodását és tönkremenetelét. A fogak meghibásodásai két különálló csoportba sorolhatók, amelyek általában egymástól függetlenül jelentkezhetnek. Ezek a fogtörések és a fogfelületi sérülések.

A fogtörés leggyakrabban kétféle módon jelentkezik:

- a fogtő közelében a fog teljes hosszában letörik, melynek oka lehet az anyag kifáradása, hirtelen túlterhelés vagy anyaghiba,
- a fog egyik vége letörik, ha a terhelés eloszlása nem egyenletes a fog egész hosszán és a fogvég terhelése meghaladja az anyag teherbírását. Ennek oka a fogirányvonal túl nagy hibája, ill. a hajtóműház hibás elkészítése (a tengelyek nem párhuzamosak).

A fogfelületi sérülések igen sokrétűek lehetnek, melyek közül leggyakoribbak :

- a kopás,

- a gödrösödés (pitting),
- a karcok és a berágódás,
- a repedések.

A kopást a fogfelületek egymáson való csúszása okozza, amely a bejáródás folyamán még hasznosnak tekinthető, mert javítja az érintkező fogfelületeket, de ha ez a kopás tovább tart, akkor az már káros a fogakra. Ennek az ún. *progresszív kopásnak* a kiváltója a helytelen kenés, ill. a nem megfelelő vagy szennyezett kenőanyag.

A pitting oka főképpen az anyag felületi kifáradása, melynek folyamán a gördülőköri fogirányvonal mentén apró gödröcskék jelennek meg. Az anyag kitöredezését apró hajszálrepedések előzik meg, amelyek közvetlen a felszín alatt jelennek meg. Ezek idővel megnőnek, eljutnak a felszínig és ekkor a repedések között az anyag kitöredezik. Ez a jelenség főleg egyenes fogú hengereskerékknél jelentkezik olajkenés esetén, mivel az olaj tapadása elősegíti az anyag kiszakadását. *Fokozódó pittingnél* a gödröcskék idővel megnőnek és az egész fogfelületre kiterjednek, ami a kerekek nyugtalan járását, rezgését, zaját, majd a fogazat teljes tönkremenetelét okozza.

Karcok és barázdák a fogmagasság irányában jelentkező hornyok, amelyeket a kenőanyagba került apró szennyeződések okoznak. A karcok 1-2 µm mélyek és kisebb terheléseknél, míg a barázdák több µm mélységűek és nagyobb terheléseknél jelentkeznek.

Ha a fogfelületek kenése vagy a kenőanyag viszkozitása nem megfelelő, a fogfelületek erősen felmelegednek, az olaj viszkozitása lecsökken és ha a fogfelületek kiálló részecskéi egymással fémesen érintkezve összehegednek, majd kiszakadnak és további durva sérüléseket okoznak a kapcsolódó fogfelületeken, akkor beáll a berágódás. Ez általában igen gyorsan játszódik le, ami a fogak hirtelen tönkremenetelét okozhatja. A berágódás gyakrabban jelentkezik olyan fogaskerékpároknál, amelyeknél a fogfelületek keménysége egyforma, ezért ajánlatos a kiskerék fogait keményebbre edzeni.

A repedések megjelenésének az oka lehet anyaghiba, hőkezelési hiba és megmunkálási (főleg köszörülési) hiba. Ezek általában hajszálrepedésekként jelennek meg, de idővel megnövekednek és akkor kiváltják a fogak letörését, ill. olyan fokú károsodását, hogy a fogaskerék használhatatlanná válik.

A meghibásodások meghatározott kritikus feszültségeknél jelentkeznek. Ennek megelőzése érdekében a méretezésnél olyan biztonsági tényezőkkel kell számolni, amelyekkel az üzemi feszültség, vagyis a fogak igénybevétele a kritikus érték alatt tartható.

A fogaskerekek méretezését rendszerint a fogoldalakon jelentkező felszíni nyomás (Herz feszültség) és a fogtő hajlító igénybevétel alapján végzik. Ennek részletes ismertetése a Gépszerkezettan II tárgy keretein belül történik majd.