



SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM

GYŐR

---

# MEGMUKÁLÁSI TECHNOLÓGIÁK

## NGB\_AJ003\_2

Gépészmérnöki (BSc) szak

# FOGAZÁSI ELJÁRÁSOK

9. előadás

Összeállította: Dr. Pintér József

---



## Vázlat

1. Fogazási technológia helyzete
2. Fogaskerekek megmunkálását alapvetően meghatározó tényezők
3. Fogazási technológiák csoportosítása
4. Hengeres fogaskerekek gyártási műveleteinek három szakasza
5. Foggyalulás (MAAG-eljárás)
6. Fogvésés (FELLOWS - eljárás)
7. Lefejtő fogmarás (Pfauter-eljárás)



# FOGASKEREKEK GYÁRTÁSA

## Fogaskerekek fő feladatai:



- ❖ forgómozgás átvitele, irányának és szögsebességének megváltoztatása,
  - ❖ nagy sebességek létrehozása és átvitele,
  - ❖ egyenletes, pontos mozgások létrehozása és átvitele,
  - ❖ erő- és nyomaték átvitele, stb.
- Általánosan használt gépelemek, de nem szabványosítottak, nem tipizáltak



## FOGASKEREKEK GYÁRTÁSA

A fogaskerékgyártásban nagyfokú termelékenység növekedés:


### ❖ A fogazógépeknél;

- a forgácsolási paraméterek (forgácsolási sebesség, előtolás, stb.) ugrásszerű (több, mint 100%-os) növekedése
- lerövidült a fogazógépek kinematikai lánc  megnőtt a pontosság és a dinamikai merevség
- a forgácsolási teljesítmény 2-2,5-szeresre növekedett,
- a mellékidők nagymérvű csökkenése  CNC vezérlésű fogazógépek, gyártócellák (FMC)



## FOGASKEREKEK GYÁRTÁSA

### A forgácsoló szerszámok vonatkozásában;

- ❖ anyagminőség és
- ❖ szerkezeti kialakítás (pl. progresszív lefejtőmarók és keményfém metszőkerekek   
ld. később!)
- ❖ A hőkezelések vonatkozásában;
- ❖ hőkezelési deformációk csökkentése (az edzés utáni megmunkálás esetleges elhagyása)



Fogazó  
szerszámok





## Egy felmérés szerint:

- évente 5 millió fogaskerék (2 millió normaóra)
- kb. 80 % hengeres fogaskerék (külső és belső fogazatú), 10-13 % kúp fogaskerék, 8 % lánckerék, a többi csiga-csigakerék, egyéb fogazat
- fogazógéppark; 52 % lefejtőmarógép, 14 % fogköszörűgép, 34 % egyéb

## A jellemző fogaskerekek adatai:

$m = 1-10 \text{ mm}$ ,  $D = 20-1000 \text{ mm}$ ,  $B = 10-250 \text{ mm}$

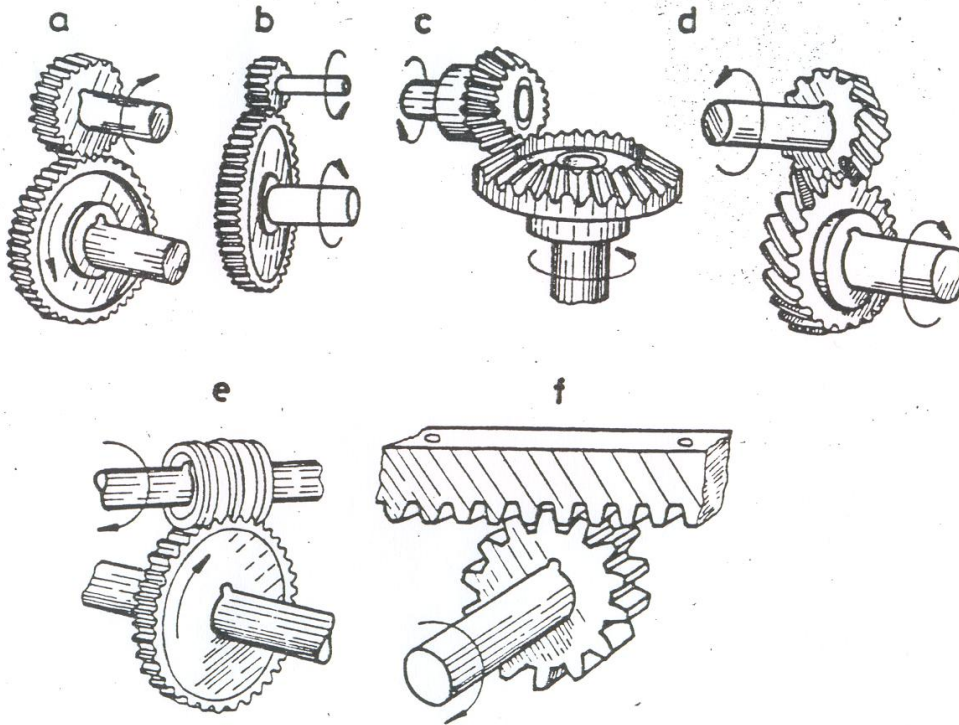


## **A fogaskerekek megmunkálását alapvetően meghatározó tényezők:**

- ❖ **méret,**
- ❖ **szerkezeti kialakítás,**
- ❖ **pontossági osztály,**
- ❖ **gyártási darabszám,**
- ❖ **előgyártmány,**
- ❖ **anyag és hőkezelés.**

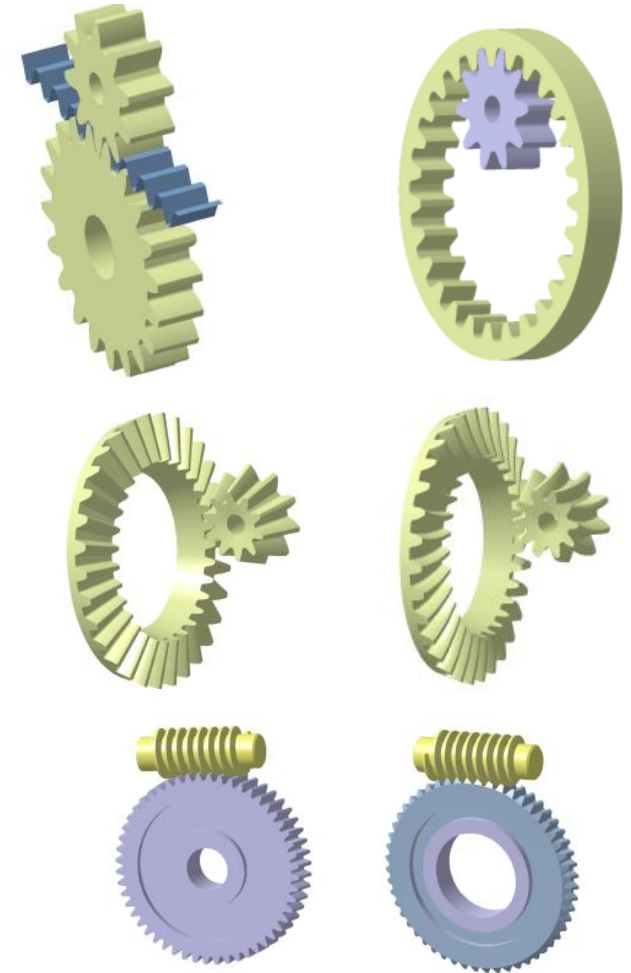


## Fogaskerék kapcsolatok



3.2.2. ábra Fogaskerék kapcsolatok

Forrás: Igaz-Pintér: Forgácsoló megmunkálás III. /10.1. ábra 516. oldal





## A fogaskerekek megmunkálását alapvetően meghatározó tényezők:

### ❖ Méret, amely meghatározza:

- a megmunkáló gép nagyságát
- a fogazási műveletben a fogások számát.

### ❖ Szerkezeti kialakítás, amely hatással van

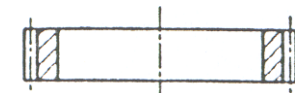
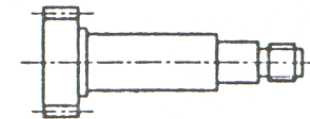
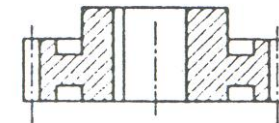
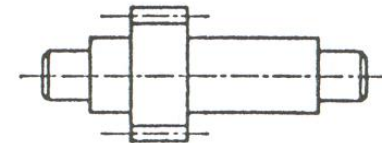
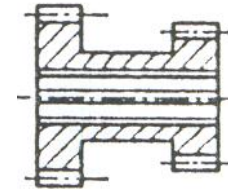
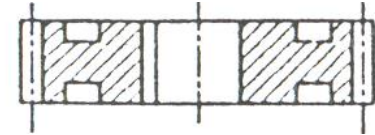
- a műveletek sorrendjére , és
- a megmunkálási műveletek számára.



A fogaskerekek megmunkálását alapvetően meghatározó tényezők:

Kialakítási változatok, alaptípusok:

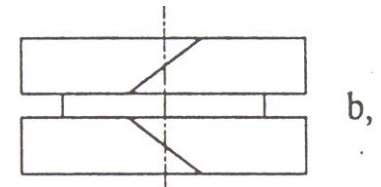
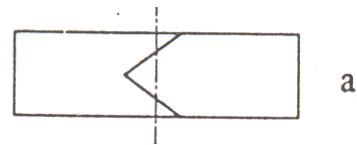
- ☞ *furatos kerék rövid aggyal*
- ☞ *kettőskerék, illetve csoportkerék;*
- ☞ *tengelyes kerék,*
- ☞ *furatos kerék hosszú aggyal,*
- ☞ *a száraskerék,*
- ☞ *a fogaskoszorú.*



## A fogaskerekek megmunkálását alapvetően meghatározó tényezők:

A felsorolt szerkezeti kialakítások bármelyike készülhet:

- o egyenes,
- o ferde, vagy
- o nyíl fogazással.



A nyíl fogazás **zárt** (a. ábra), ha a jobb, illetve a bal hajlású fogazat találkozásánál nincs középső horony. A **középső horonnyal rendelkező**

**nyílfogazás** (b. ábra) egybevágó, ha a fogak középvonalai metszik egymást, míg lépcsős nyílfogazatnak nevezünk, ha a két kerékfél fogainak középvonalai egymáshoz képest fél osztással el vannak tolvá.



## FOGASKEREKEK GYÁRTÁSA

- ❖ Pontossági osztály ☞ kiválasztható a befejező fogazási művelet, ☞ a pontosság és a felületi érdesség alapján eldönthető szükség van-e finomfelületi megmunkálásra (ISO ajánlása ☞ 12 pontossági fokozat)
- ❖ Gyártási darabszám ☞ a fogazógép típusának megválasztása annak teljesítőképessége alapján
- ❖ Előgyártmány, amely befolyással van
  - a műveletek sorrendjére és
  - a megmunkáló műveletek számára is.



## FOGASKEREKEK GYÁRTÁSA

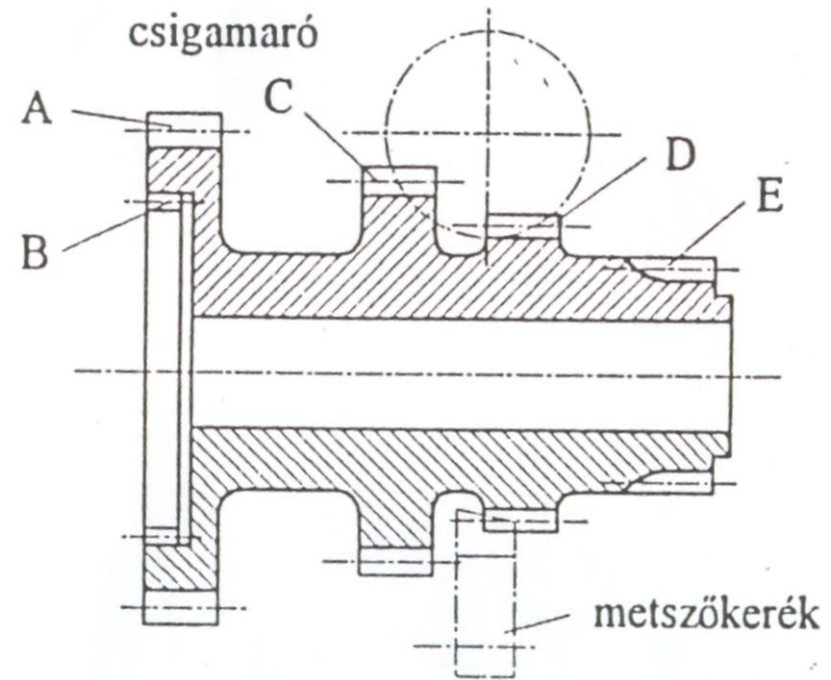
Néhány példa:

- kb. 100 mm átmérőig rúdanyagból ledarabolva esztergálással (kisebb igénybevételeknél)
- Nagyobb igénybevétel esetén; a kedvezőbb szálrendeződés biztosítására kisméretű kerekek előgyártmányait is kovácsolják.
- nagyméretű kerekeknél ➡ pl. öntött előgyártmány (fogaskoszorúval)

Az ábrán egy csoportkerék látható, amelyen öt fogkoszorút (lásd: A; B; C; D; E jelű fogazatok) kell kialakítani. Az (A) jelű egy hengeres fogaskerék, ahol a szerszám rá-és kifutása nincs korlátozva. Egyenes fogazat készítése lehetséges:

- egyenesfogú metszőkerékkel lefejtő fogvésőgépen (Fellow-eljárás),
- egyenesfogú fésűkessel, foggyalugépen (Maag-eljárás), vagy
- fogaskerék lefejtőmaróval (Pfauter-eljárás) lefejtő fogmarógépen.

Ha ferde fogazat készítése van előírva, a fentiek csak abban változnak, hogy a metszőkerekes eljárásnál szerszámként ferdefogú metszőkereket kell alkalmazni.



- B ➔ Fellow-eljárással
- C ➔ bármelyik eljárással
- D ➔ Fellow-eljárással, Maag-eljárással
- E ➔ Maag-eljárással



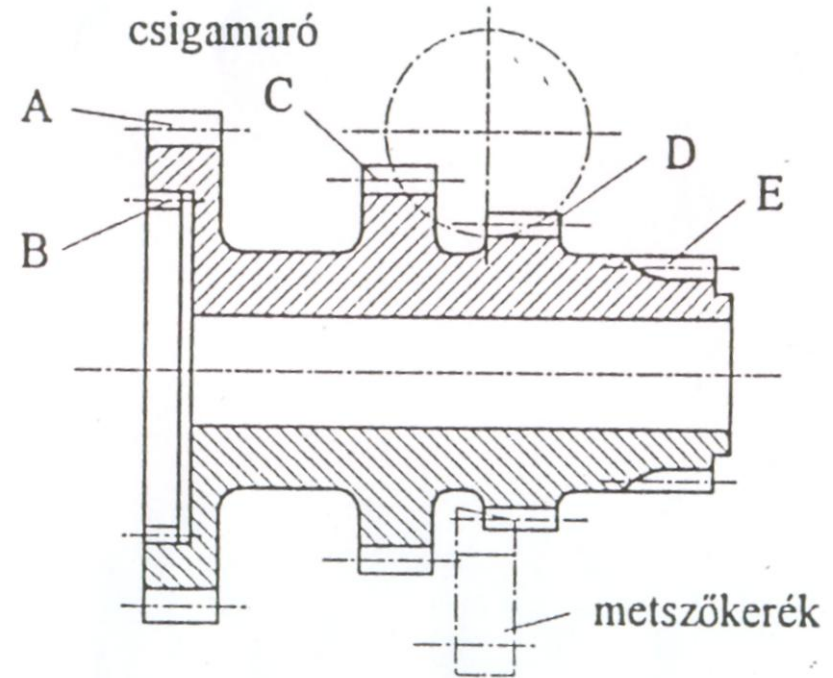


A (B) jelű fogazat egy belső fogazású fogkoszorú. Mivel a szerszámnak nincs szabad kifutási lehetősége, ezért a megmunkálás csak metszőkerékkel lefejtő fogvésőgépen lehetséges.

A (C) jelű fogazat hengeres fogaskerék, amelynél a szerszám rá- és kifutása nincs korlátozva. Gyártásánál az (A) esetben leírtak érvényesek.

A (D) jelű fogazat egy csoportkerék kisebb átmérőjű fogaskereke, ahol korlátozott szerszámkifutás van, így a Pfauter-eljárás nem jöhet számításba. A fogazat elkészítése metszőkerékkel lefejtő fogvésőgépen lehetséges.

Az (E) jelű fogazat elkészítése Pfauter-eljárással lehetséges (a lefejtőmaró átmérőjére figyelni kell!)



- A ➔ bármelyik eljárással
- B ➔ Fellow-eljárással
- C ➔ bármelyik eljárással
- D ➔ Fellow-eljárással, Maag-eljárással
- E ➔ Pfauter-eljárással





## FOGASKEREKEK GYÁRTÁSA

Anyag és hőkezelés ➡ meghatározza:

- ❖ a megmunkáláshoz választott forgácsolási technológia beállítási paramétereit, illetőleg
- ❖ a megmunkálási sorrendet (öntöttvas, acél, műanyag, stb.)

A kerék anyagának tulajdonságai döntően befolyásolják:

- ❖ a fogaskerékgyártás folyamatának technológiai részállapotait,
- ❖ a műveletek sorrendjét, illetve
- ❖ műveletelemenként a technológiai adatokat (forgácsolási sebesség, előtolás, stb.).



## FOGASKEREKEK GYÁRTÁSA

*A fogaskerekek gyártása során alkalmazott hőkezelések:*

- a fogazat kialakítása előtti hőkezelések, illetőleg
- a fogazást követő hőkezelések.

*A fogazat kialakítása előtti hőkezelések célja:*

- ❖ Az anyag lehető legkedvezőbb megmunkálhatóságának elérése (megmunkálási idő és költség csökkentése);
- ❖ A lehető legegyenletesebb szövetszerkezet elérése (a forgácsoló megmunkálások során az elérhető legkisebb mértékben változzék az anyag felületi, illetve felület alatti rétegében a feszültségállapot, és ezáltal a lehető legkisebb maradó deformációk, elhúzódnások, vetemedések keletkezzenek).



## FOGASKEREKEK GYÁRTÁSA

### ❖ Fogazat kialakítása előtti hőkezelések:


- *Kiegyenlítő izzítás*
- *Lágyító izzítás*
- *Temperálás*

### ❖ A fogazást követő hőkezelések (a fogtő és a fogfelület teherbírásának növelése)

- *Betétedzés*
- *Nitridálás*
- *Indukciós edzés*
- *Lángedzés*
- *„Contur hardening” (rövid ideig tartó nagyfrekvenciás hevítéssel járó felületi hőkezelés és edzés)*



## Fogazási technológiák

- Az alkalmazható fogazási technológiák választéka bő.
  - A fogaskerekes hajtások száma nagy, sokféle szerkezeti változat, eltérő pontossági igények miatt.
  - Az eljárások közötti tájékozódás megkönnyítése érdekében egy csoportosítás  Id. táblázatot
- A csoportosítás alapelveinek azt tekintettük, hogy a fogazás során a szerszám hordozza-e a vele készítendő fogazat geometriai alakját (**profilozó eljárások**), vagy pedig az evolvens profil a szerszám és a munkadarab geometriailag helyes legördülése során jön létre (**lefejtő eljárások**).



## Fogazási technológiák

*A lefejtés, illetve a legördítés fogalma, megvalósítása*

A legördítés alapja  szerszám által valamilyen metszetben megtestesített  **fogaslécprofilon történő legördítés**

A legördítés (egyben a fogazási eljárás) lehet:

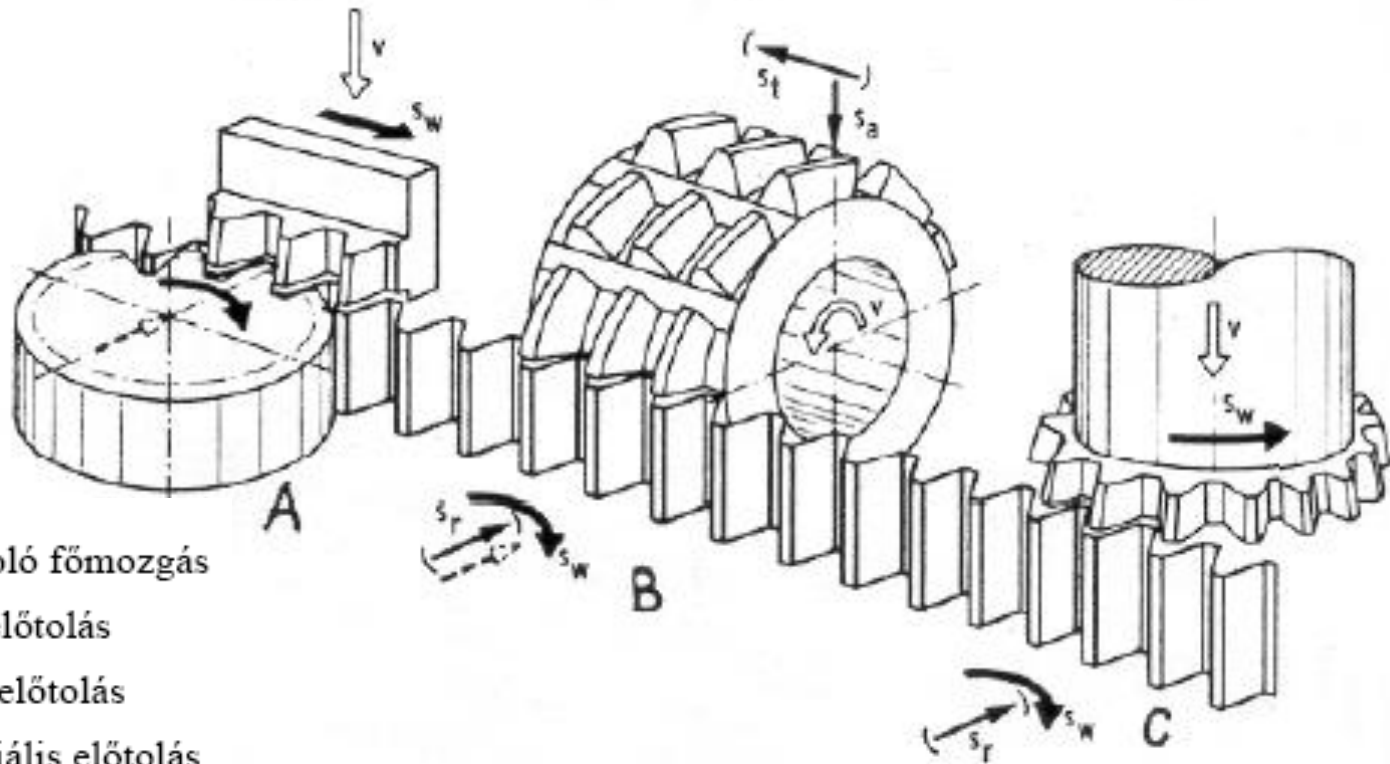
- szakaszos, illetve
- folyamatos

 3.2.5. ábra

Foggyalulás

Fogmarás

Fogvésés

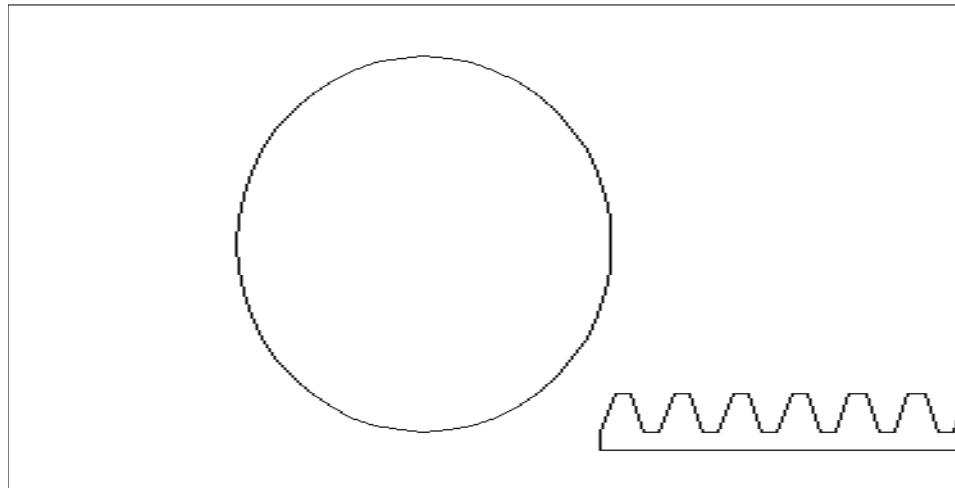


- $v$  forgácsoló főmozgás
- $s_a$  axiális előtolás
- $s_r$  radiális előtolás
- $s_t$  tangenciális előtolás
- $s_w$  legördítés

Hengeres fogazatok lefejtő eljárásainak elve



Hengeres fogazatok lefejtő eljárásainak elve



Hengeres fogazatok lefejtő eljárásainak elve





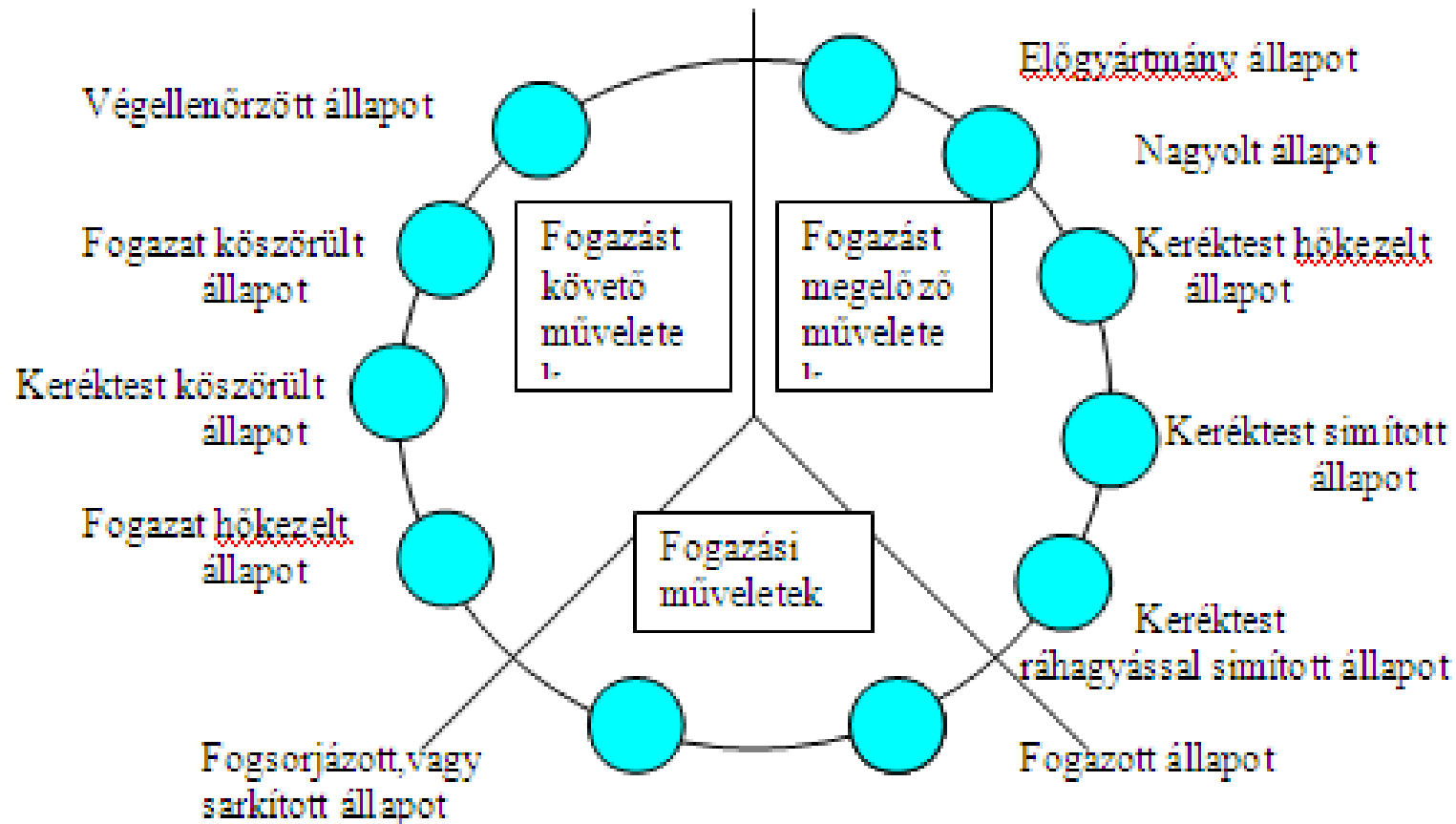
## Fogazási technológiák

**A hengeres fogaskerekek gyártási műveleteinek három fő szakasza különböztethető meg:**

- a fogazást megelőző műveletek,
- a fogazás műveletei,
- a fogazást követő műveletek.



## A hengeres fogaskerek gyártási műveleteinek szakaszai:





A fogaskerekek megmunkálását alapvetően meghatározó tényezők a következők:

- ❖ Méret;
- ❖ Szerkezeti kialakítás;
- ❖ Pontossági osztály;
- ❖ Gyártási darabszám,
- ❖ Előgyártmány;
- ❖ Anyag és hőkezelés.
- ❖ **A méret, amely meghatározza:**
  - a megmunkáló gép nagyságát, és
  - a fogazási műveletben a fogások számát.



## A fogaskerek megmunkálását meghatározó tényezők

### ❖ Szerkezeti kialakítás

- Kisméretű fogaskerekeknél a kerék egy koncentrikus furattal rendelkező tömör tárcsa, a kerék tengelyirányú mérete sehol sem kisebb a fogszélességnél.
- A méret növelésekor, a kerékagyat és a fogkoszorút áttörés nélküli gerinc köti össze.
- További méretnöveléskor a gerinc rendszerint kör alakú nyílásokkal van áttörve, vagy a gerinc megmaradó részét küllők helyettesítik, míg
- az egészen nagyméretű küllős fogaskerekeket csavarokkal összeerősített két félkerékből, vagy szegmensekből állítják össze.



A felsorolt szerkezeti kialakítások bármelyike készülhet

- egyenes,
- ferde, vagy
- nyíl fogazással.

❖ **Pontossági osztály**, amelynek alapján kiválasztható a befejező fogazási művelet, a pontosság és a felületi érdesség alapján eldönthető, szükség van-e finomfelületi megmunkálásra.

A nemzetközi fogazási gyakorlat, valamint az ISO ajánlása a fogaskerekeket 12 pontossági fokozatba sorolja.

Ezeket 1-től 12-ig terjedő sorszámozással jelölik. Nagyobb fokozatszám nagyobb pontatlanságnak felel meg.



## ❖ Pontossági osztály

A gépiparban az 1-4 pontossági fokozat tűréselőírásai szerint készülő fogaskerekek használatát csak különleges esetekben igénylik, ugyanakkor a 11. és 12. fokozat tűréseinek számértékei olyan pontatlan kerekeket engednek meg, amelyeket a gépipar már nem alkalmaz.

❖ **Gyártási darabszám**, amely befolyásolhatja a fogazógép típusának megválasztását, annak teljesítőképessége alapján. Ugyanaz a fogazat többféle eljárással is előállítható. Az egyes eljárásokhoz különböző bonyolultságú és költségráfordítású szerszám illetve gépi berendezés tartozik. A gazdaságos gyártást szem előtt tartva a sorozatnagyság egyben meghatározza a választandó technológiai eljárást is.



- ❖ **Előgyártmány**, amely befolyással van
  - a műveletek sorrendjére , és
  - a megmunkáló műveletek számára is.
- ❖ **Anyag és hőkezelés**, amely meghatározza:
  - a megmunkáláshoz választott forgácsolási technológia beállítási paramétereit, illetve
  - a megmunkálási sorrendet.

A fogaskerekek anyagát mindig rendeltetésük, terhelésük, és a szerkezeti beépítésük során kiadódó üzemi kerületi sebességük függvényében választják meg.



### ❖ **Anyag és hőkezelés,**

- kis terhelésű kerekek anyaga acél vagy öntöttvas,
  - nagyobb terhelésnél acélöntést vagy modifikált, gömbgrafitos öntöttvasat használnak.
  - A hajtás zajának csökkentésére kisebb igénybevételek mellett akár műanyag fogaskereket is alkalmaznak.
- A kerék anyagának tulajdonságai döntően befolyásolják
- a fogaskerékgyártás folyamatának technológiai rész-állapotait,
  - a műveletek sorrendjét, illetve
  - műveletelemenként a technológiai adatokat (forgácsolási sebesség, előtolás, stb.).



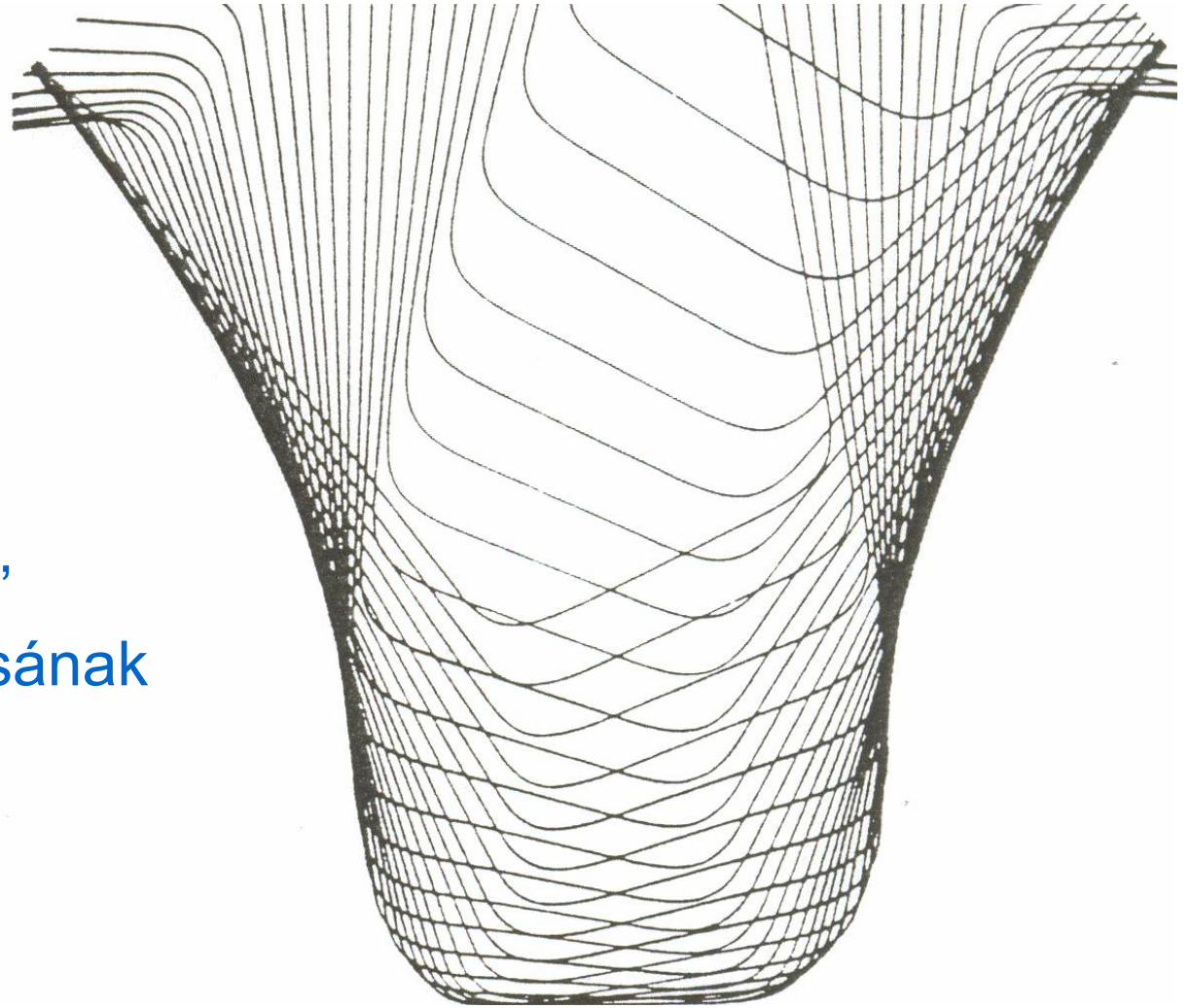


A sokféle szerkezeti változat, az eltérő pontossági igények miatt az alkalmazható fogazási technológiák választéka is igen bő. A tájékozódás megkönnyítése érdekében a fogazási eljárásokat **táblázatban** csoportosítottuk. A csoportosítás alapelve: a fogazás során a szerszám hordozza-e a vele készítendő fogazat geometriai alakját (**profilozó eljárások**), vagy pedig az evolvens profil a szerszám és a munkadarab geometriailag helyes legördülése során jön létre (**lefejtő eljárások**). Ezek alapján a fogazási eljárások lehetnek:

- ❖öntési eljárások,
- ❖másoló eljárások,
- ❖profilozó eljárások, illetve
- ❖lefejtő eljárások.




A legördítés menete  
A szerszám „nyoma”  
A fogprofil kialakulásának  
folyamata

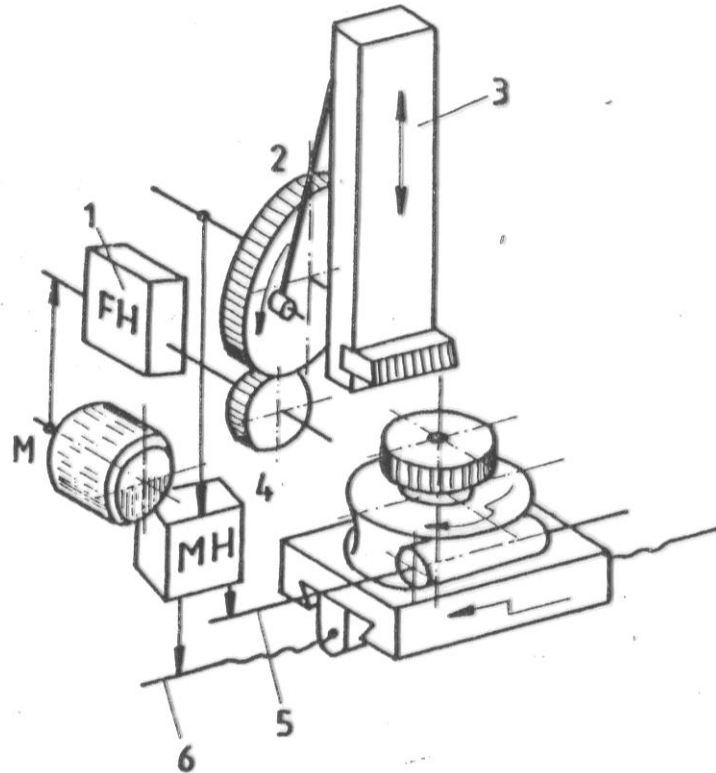






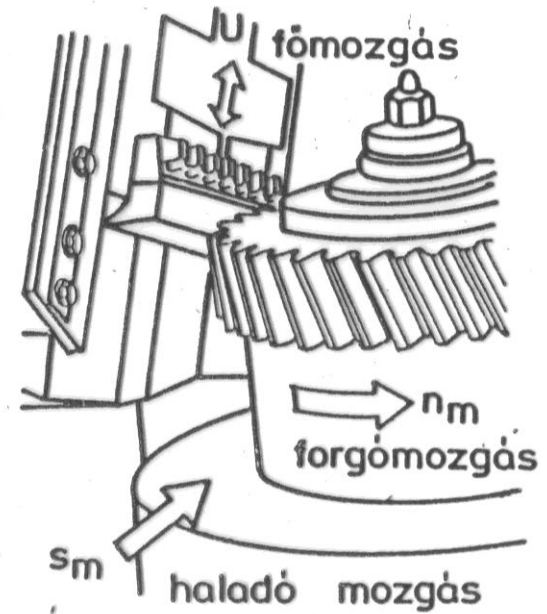
## Foggyalulás (MAAG-eljárás)

- **Lefejtő eljárás**  munkadarab a fogasléc szerszámon gördül le.
- A munkadarab
  - ❖ **forgó** és
  - ❖ **haladó** mozgást végez.
- A szerszám véges hossza miatt a munkadarab **több legördítő ciklusban - szakaszosan** - készül el.
- A munkadarab továbbgördítése - szakaszosan - a szerszám felső holtpontjában
- Egyenes és ferde fogazatú külső fogazatú hengeres kerek készítésére
- Lassú, kevésbé termelékeny, de pontos eljárás



3.3.1. ábra Fésűskéses lefejtő fogvesőgép működési elve

Forrás: Igaz-Pintér: Forgácsoló megmunkálás III./10.51. ábra 573. oldal



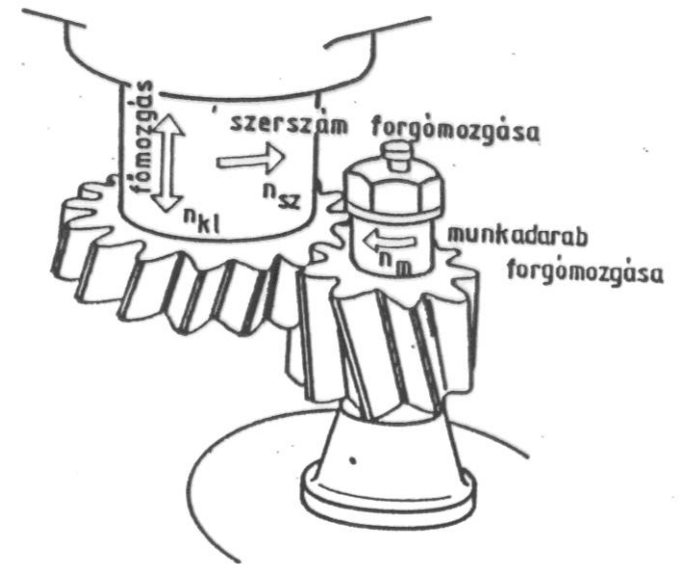
3.3.2. ábra Ferde fogazatú homlokkerék fogazása

Forrás: Igaz-Pintér: Forgácsoló megmunkálás III./10.57. ábra 579. oldal

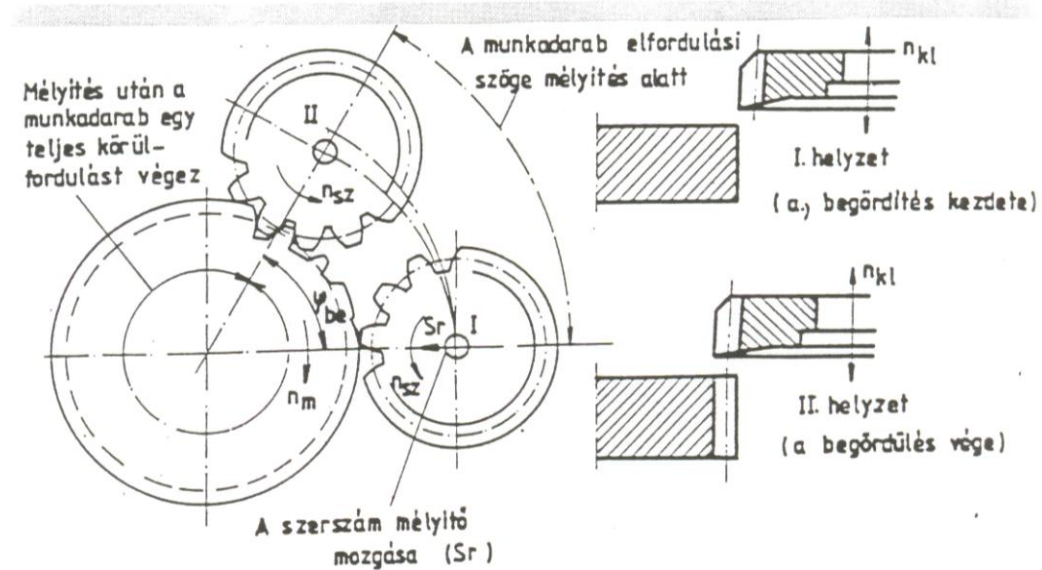
## Fogvésés (FELLOWS - eljárás)

A metszőkerékkel dolgozó fogvésőgép (szokás **metszőkekes** eljárásnak is nevezni) szerszáma kettőslöketszerű, függőleges irányú egyenesvonalú főmozgást végez. A legördítéshez szükséges mozgások:

- ❖ a **szerszám folyamatos forgó mozgása** és
- ❖ a **munkadarab** ugyancsak **folyamatos forgó mozgása**



## Fogvésés (FELLOWS - eljárás)




Ferdefogú homlokkerék készítése  
vezetőhüvely segítségével


Fogásvétel Fellow-eljárásnál





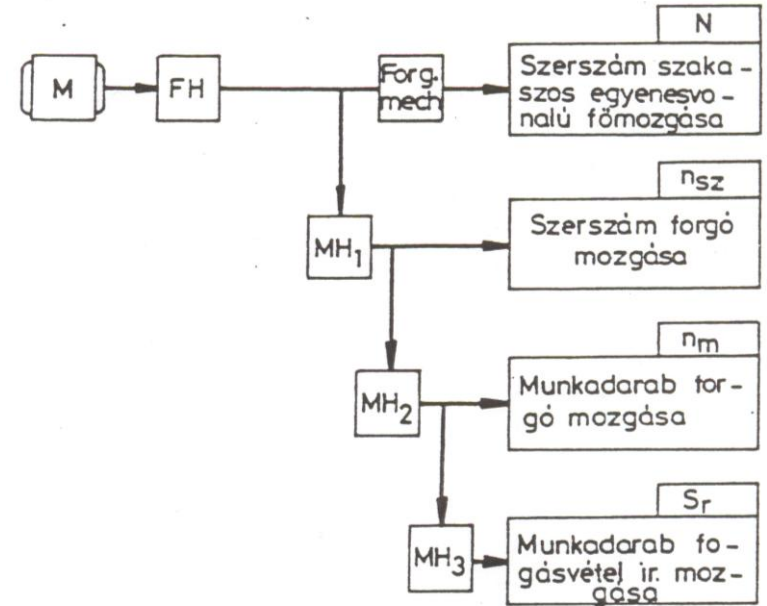
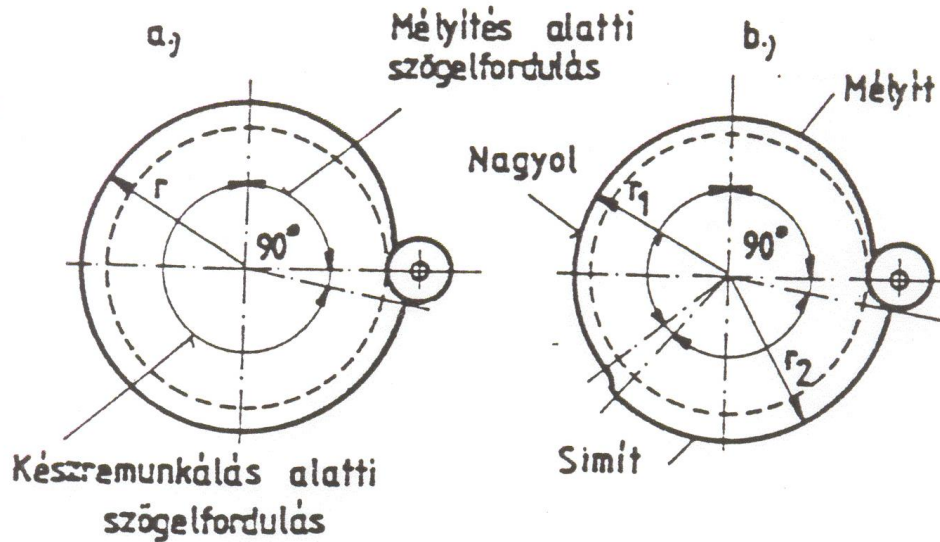
## Fogvésés (FELLOWS - eljárás)

A kinematikai **kényszerkapcsolat alapja**  a szerszám és a munkadarab fogszámaránya szerinti legördítés (szerszám és a munkadarab modulja azonos)

A fogazás a szerszám és a munkadarab fejkörének érintkezéséből indulva, vezértárcsákkal vezérelt **fogásvételi mozgással egy, kettő, vagy három** fogással (kb.  $1/3$  -  $1/4$  munkadarab-fordulat alatt)  a ráhagyás eltávolításához további egy teljes munkadarab-fordulat szükséges



Fogvésés (FELLOWS - eljárás)



Fogásvételi szerkezet vezérlő tárcsái

- a. egy fogás
- b. két fogás esetén

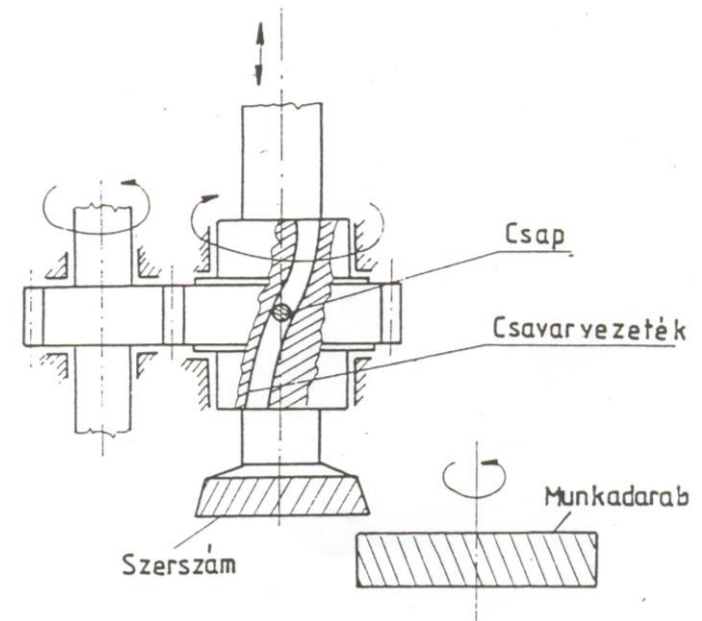
Metszőkerekes fogvésőgép blokkvázlata



Ferde fogazatú fogaskerék készítése:  
Az egyenesvonalú - véső -  
főmozgásra - egy vezetőpálya  
segítségével - csavarvonal menti  
szerszám mozgást kell  
rászuperponálni  $\Rightarrow$  a munkadarab ( $\beta_m$ )  
és a szerszám ( $\beta_{sz}$ ) menetemelkedési  
szögei, valamint a szerszám ( $H_{sz}$ ) és a  
vezetőpálya ( $H_v$ ) menetemelkedése  
egyenlők (az elektronikus  
kinematikai láncú fogazógépeken is  
vezetőpályát alkalmaznak  $\Rightarrow$  a  
gyártás, a tervezés is célszerűen  $\Rightarrow$  a  
vezetőpályát csak ritkán kell cserélni).

## FOGAZÁSI ELJÁRÁSOK

### Fogvésés (FELLOWS - eljárás)





## Fogvésés (FELLOWS - eljárás)

Egyaránt alkalmas mind külső, mind belső fogazatok megmunkálására. Mivel kis szerszámkifutást igényel, ezért csoportkerekek megmunkálására is előnyösen használható.

A CNC vezérlésű kinematikai lánc lehetőséget ad a lökethelyzet változtatására is, így széles fogazatok megmunkálhatók rövidebb löketű fogazógépeken is. Elektronikus kinematikai láncú, speciális fogvéső gépeken különleges (pl. ellipszis alakú) fogaskerekek is készíthetők.



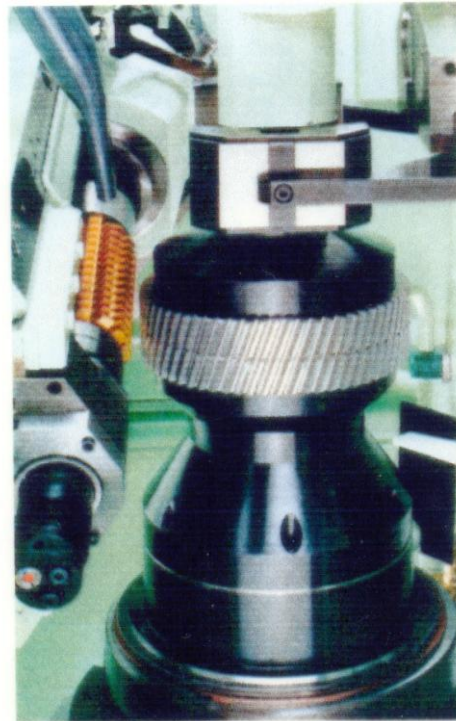
## Lefejtő fogmarás (Pfauter – eljárás)

- ❖ A legelterjedtebben használatos fogazógép, A legtöbb esetben ez a legtermelékenyebb eljárás
  - ❖ A legördítés folyamatos.
  - ❖ Szerszáma **evolvens csiga**.
  - ❖ **A legördítő mozgások:**
    - a **szerszám folyamatos főmozgása**, valamint
    - a **munkadarab** ugyancsak **folyamatos forgó mozgása**.
- A **legördítés a csigahajtás kinematikai kapcsolatának** felel meg, a kinematikailag helyes lefejtés (legördülés) a csiga szerszám bekezdései számának és a munkadarab fogszámának arányától függ.



## Lefejtő fogmarás (Pfauter – eljárás)

A megmunkálás  
elrendezése

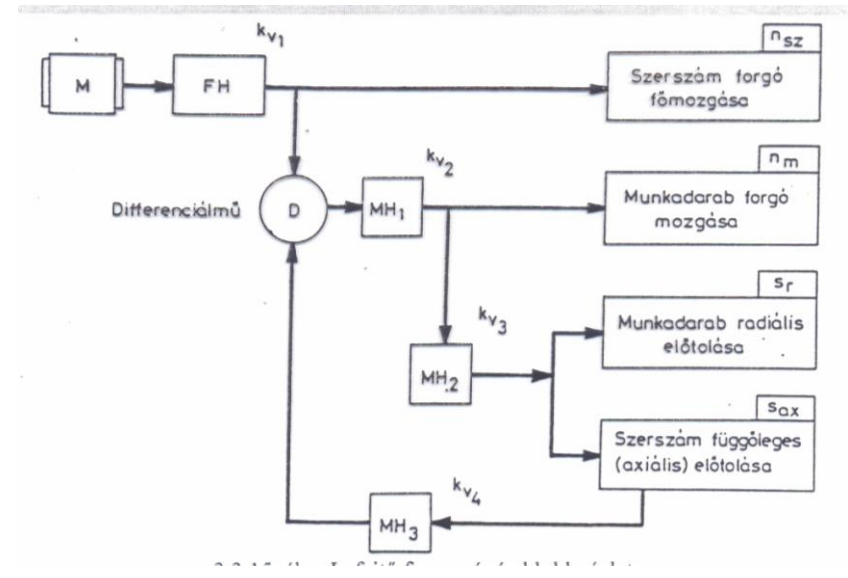
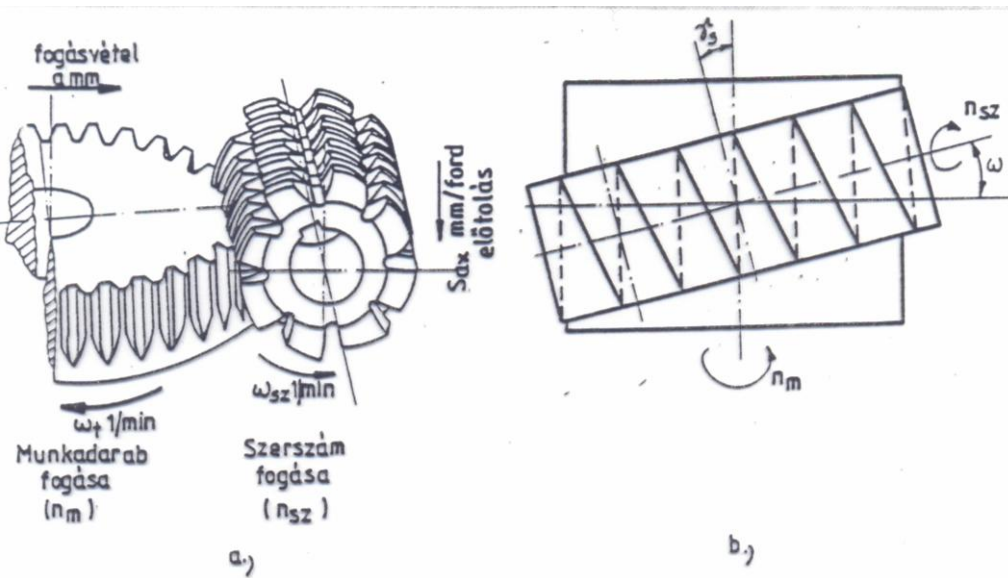


A lefejttő marószerszám





# Lefejtő fogmarás (Pfauter – eljárás)



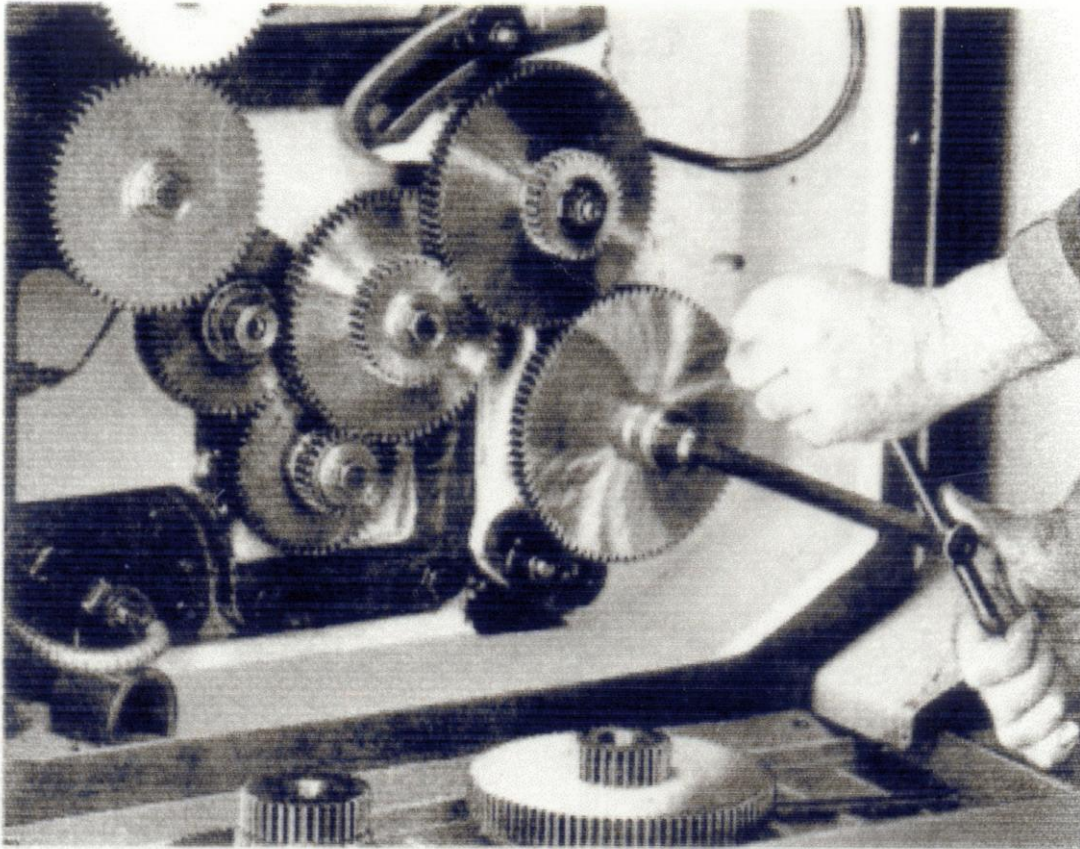
Mozgások lefejű fogmarógéppel történő fogazás esetén

Lefejű fogmarógép blokkvázlata






## Lefejtő fogmarás (Pfauter – eljárás)



Cserekerekek beállítása  
(Szerszám és munkadarab  
legördítése)



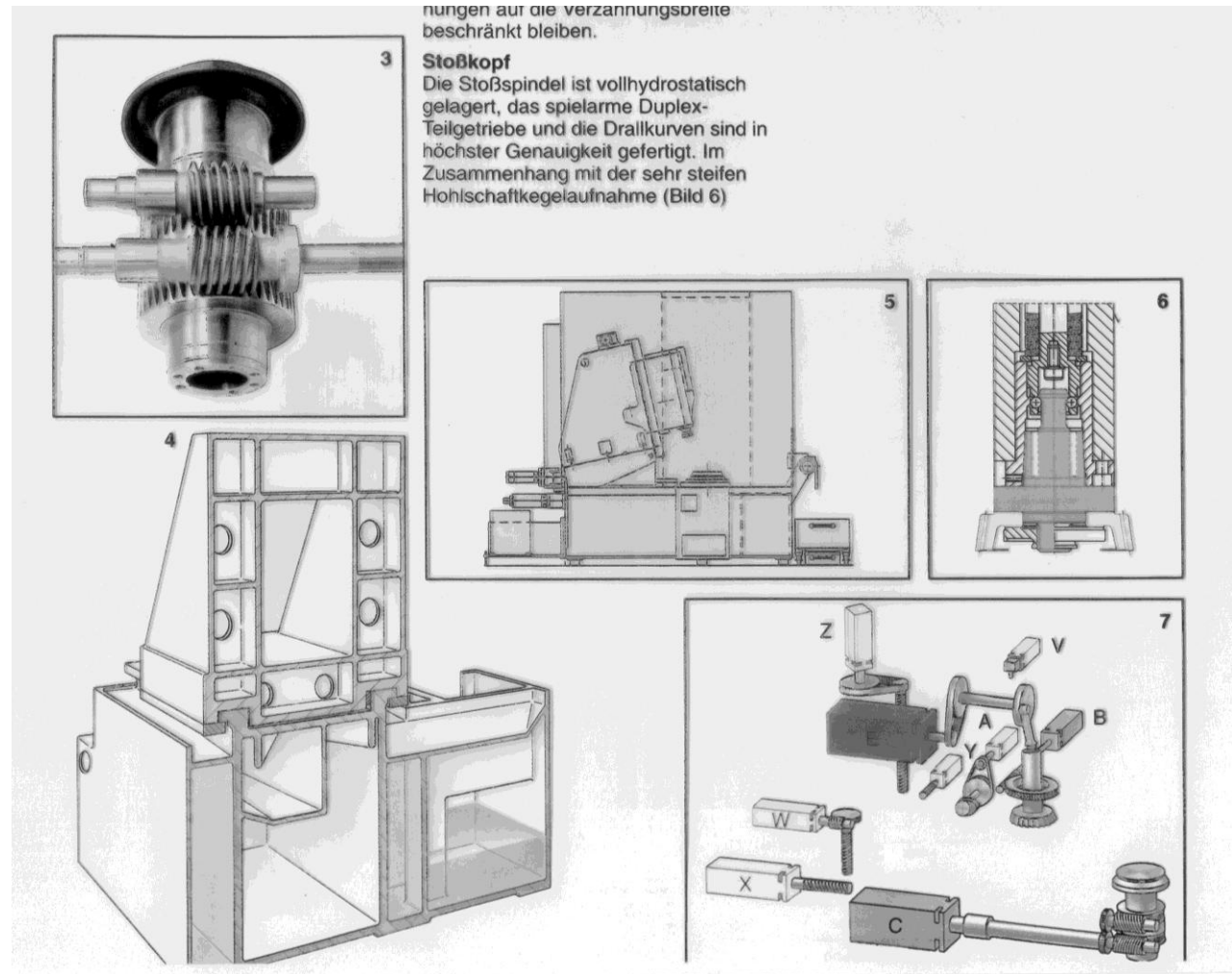
## Lefejtő fogmarás (Pfauter - eljárás)

- ❖ Ferde fogazat készítése esetén a kinematikai láncban egy differenciálmű, (elektronikus kinematikai lánc esetén az azt helyettesítő elektronika) A differenciálmű  a legördítő mozgás korrekciója, a "pótforgás" biztosítása ferde fogazat axiális, egyenes és ferde fogazat diagonális és tangenciális marásánál.
- ❖ Csigakerék radiális, vagy tangenciális eljárással
- ❖ A szerszám egyenes és ferde fogazat készítése esetén ugyanaz (a fogferdeséget csak a beállításnál kell figyelembe venni)



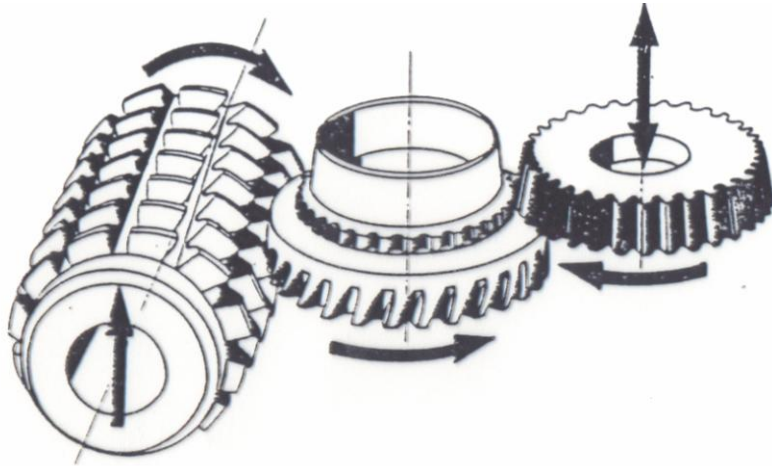


Lefejtő marógép felépítése

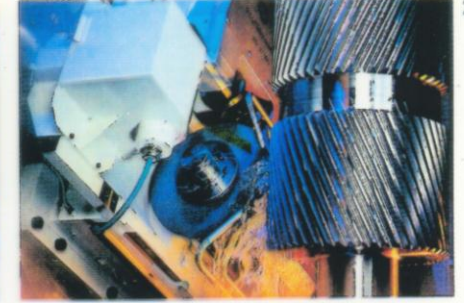




Kombinált fogazási eljárások



Kombinált fogazási eljárás  
Csoportkerék megmunkálására





**Köszönöm a figyelmet!**

