

JÁRMŰSZERKEZETI ANYAGOK ÉS TECHNOLÓGIÁK II.

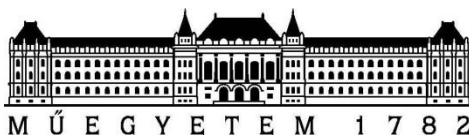
TÁMOGATÁS:

Készült a TÁMOP-4.1.2/A/2-10/1-2010-0018 számú, „Egységesített Jármű- és mobilgépek képzés- és tananyagfejlesztés” című projekt keretében.



A projekt címe: „Egységesített Jármű- és mobilgépek képzés- és tananyagfejlesztés”

A megvalósítás érdekében létrehozott konzorcium résztvevői:



[KECSKEMÉTI FŐISKOLA](#)

[BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM](#)

[AIPA ALFÖLDI IPARFEJLESZTÉSI NONPROFIT KÖZHASZNÚ KFT.](#)

Fővállalkozó: [TELVICE KFT.](#)



TELVICE

Írta:
SZMEJKÁL ATTILA
OZSVÁTH PÉTER

Lektorálta:
TAKÁCS JÁNOS

Rajzoló:
SZABADOS GERGELY
KRISTÁLY ATTILA
BAUERNHUBER ANDOR

JÁRMŰSZERKEZETI ANYAGOK ÉS TECHNOLÓGIÁK II.

Egyetemi tananyag

COPYRIGHT: © 2011-2016, Dr. Szmekál Attila és Dr. Ozsváth Péter, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki Kar

LEKTORÁLTA: Dr. Takács János, Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Gépjárművek Tanszék

RAJZOLTA: Szabados Gergely, Kristály Attila, Bauernhuber Andor

Creative Commons NonCommercial-NoDerivs 3.0 (CC BY-NC-ND 3.0)

A szerző nevének feltüntetése mellett nem kereskedelmi céllal szabadon másolható, terjeszthető, megjelentethető és előadható, de nem módosítható.

ISBN 978-963-279-599-7

KÉSZÜLT: a [Typotex Kiadó](#) gondozásában

FELELŐS VEZETŐ: Votisky Zsuzsa

KULCSSZAVAK:

élgeometria, élananyagok, forgácsképződés, forgácsolási folyamatok jellemzői, esztergálás, fúrás, marás, gyalulás, üregelés, fogazás, köszörülés, finomfelületi megmunkálások, NC/CNC, új technológiák

ÖSSZEFOGLALÁS:

A tananyag bemutatja a járműipar anyagainak megmunkálása során alkalmazott forgácsolási eljárásokat. Összefoglalja a forgácsolás alapjait, az alkalmazott szerszámok élgeometriáját, az élananyagokkal szemben támasztott követelményeket, élananyagok fajtáit, jellemzőit, bevonatokat és azok tulajdonságait.

Foglalkozik a forgács-képződés, -törés folyamatával, a forgácsolási folyamatok jellemzőivel – erő, nyomaték, teljesítmény, hő, rezgés, - valamint a szerszámkopással, az éltartammal és az optimális technológia adatok meghatározásával. Tárgyalja a forgó főmozgással végzett megmunkálásokat – esztergálás, fúrás, marás, kitérve a szerszámokra, eljárásokra és gépekre. Röviden összefoglalja az egyenes főmozgással dolgozó eljárásokat gyalulást, vésést, üregelést.

Összefoglalja a befejező-, köszörülő-, és finommegmunkálási eljárásokat és szerszámaikat, gépeiket. A jegyzet bemutatja fogaskerékgyártás alap eljárásait és szerszámaikat. Ismertetésre kerülnek az NC/CNC technológiai alapjai és gépei. Az új technológiai eljárásokról – nagy sebességű-, nagyteljesítményű-, (HSC/HPC) szárazforgácsolás, minimálkenés – az utolsó fejezet nyújt átfogó képet.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	8
1 Forgácsolás alapjai	9
1.1 Alapok, a megmunkálások rendszere.....	9
1.2 Élgeometria	12
1.3 Élanyagok.....	22
1.3.1 Gyorsacélok.....	27
1.3.2 Keményfémek	30
1.3.3 Bevonatolás	33
1.3.4 Kerámia élanyagok.....	39
1.3.5 Szuperkemény élanyagok.....	41
1.3.6 Forgácsoló anyagok csoportosítása	44
1.4 Szerszám konstrukciók	46
1.5 Forgácsképződés, forgácsolás.....	50
1.6 Forgácsolóerő, nyomaték, teljesítmény.....	61
1.7 Forgácsolási hő	70
1.8 Kopás, élettartam	76
Felhasznált irodalom az 1. fejezethez:.....	87
2 Forgácsolási eljárások	89
2.1 Esztergálás és esztergák	89
2.1.1 Mozgásviszonyok esztergálásnál.....	89
2.1.2 Az esztergálási eljárások	90
2.1.3 Az esztergálás szerszámai	91
2.1.4 Az esztergálásnál alkalmazott munkadarab befogások	96
2.1.5 Menetesesztergálás	99
2.1.6 Különleges esztergálási módok	102
2.1.7 Esztergagépek.....	105
2.1.8 Jellegzetes járműipari megmunkálások esztergagépen	109
2.2 Furás, furatbővítés.....	112
2.2.1 Mozgásviszonyok fúrásnál	112
2.2.2 A fúrás eljárások.....	112
2.2.3 A telibe fúrás szerszámai.....	113
2.2.4 A furatbővítés szerszámai és eljárásai	119
2.2.5 A fúrás technológiája.....	124

2.2.6 Fúrógépek.....	126
2.3 Marás.....	127
2.3.1 Mozgásviszonyok marásnál	127
2.3.2 Marószerszámok és létrehozható felületek.....	128
2.3.3 Palástmarás.....	129
2.3.4 Homlokmarás	133
2.3.5 Menetmarás	136
2.3.6 Alakos felületek marása	137
2.3.7 Marógépek.....	139
2.4 Fűrészelés.....	141
2.4.1 Szalagfűrészelés	141
2.4.2 Löketes fűrészelés	143
2.4.3 Körfűrészelés.....	143
2.5 Üregelés	143
2.5.1 Az üregelés jellegzetes forgácsleválasztási viszonyai és mozgások	144
2.5.2 Az üregelés jellegzetes szerszámai és a kialakítható felületek.....	144
2.6 Gyalulás és vésés	147
2.6.1 A gyalulás jellegzetes technológiai viszonyai és szerszámai	147
2.6.2 A vésés technológiája.....	149
2.6.3 Gyalugépek.....	149
2.6.4 Vésőgépek	150
2.7 A fogaskerékgyártás alapjai	151
2.7.1 Fogaskerékgyártás profilozó marással	152
2.7.2 Fogaskerékgyártás másoló gyalulással és üregeléssel.....	153
2.7.3 Homlokfogaskerék gyártás lefejtő véséssel.....	154
2.7.4 Homlokfogaskerék gyártás lefejtő marással.....	157
2.7.5 Egyenes fogazású kúpfogaskerekek gyártása.....	158
2.7.6 Ívelt fogazású kúpfogaskerekek gyártása.....	160
2.7.7 Fogaskerekek befejező finom megmunkálásai.....	162
Felhasznált irodalom a 2. fejezethez:	163
3 Forgácsolási eljárások geometriailag határozatlan éllel	165
3.1 A köszörülés technológiai alapjai	166
3.2 Köszörűszerszámok	170
3.3 Köszörülési eljárások és gépek	180
3.4 Finomfelületi megmunkálások.....	195
3.4.1 Tükrösítés	196
3.4.2 Dörzsköszörülés	198
3.4.3 Tükrösimítés.....	202

3.4.4 Koptató csiszolás	205
Felhasznált irodalom a 3. fejezethez:	207
4 NC forgácsolástechnológia	208
4.1 Az NC/CNC technológia jelentése.....	208
4.2 Az NC szerszám gép általános jellemzői	209
4.2.1 Koordináta rendszer	212
4.2.2 Vonatkoztatási pontok.....	212
4.2.3 NC vezérlési rendszerek	213
4.3 CNC szerszám gépek	216
4.3.1 Esztergagépek.....	216
4.3.2 Marógépek.....	218
4.3.3 Készítógépek.....	218
4.4 Az NC program alapjai	219
A 4. fejezethez felhasznált irodalom:	221
5 Korszerű technológiák, új irányzatok a forgácsolási technológiában	222
5.1 Nagysebességű forgácsolás (HSC)	222
5.2 Nagysebességű forgácsolás (HPC)	225
5.3 Forgácsolás kemény állapotban	226
5.4 Szárazforgácsolás, minimálkenés	228
Felhasznált irodalom az 5. fejezethez:.....	235
Ábrajegyzék	236

Bevezetés

Ez a tankönyv szoros kapcsolatban van az ANYAGISMETET és a JÁRMŰSZERKEZETI ANYAGOK I. c. tankönyvekkel. Míg az első a mérnöki gyakorlatban használatos anyagok alapvető tulajdonságait és szerkezeti jellemzőit ismerteti, a második az előalakítás, előgyártás főbb témaköreit mutatja be, addig ez a könyv a forgácsoló megmunkálásokat foglalja össze, melyek a járműalkatrészek készre gyártását biztosítják.

Az első fejezetben a forgácsolás alapjait foglaltuk össze. Részletesen tárgyaljuk a legdinamikusabban fejlődő élananyagokat és bevonatokat, melyek a szerszámok teljesítményét jelentősen növelik.

Bemutatásra kerülnek azok a legfontosabb technológiák (esztergálás, fűrés, marás, fogazás, köszörülés, stb.), melyek segítségével legyártjuk a tervezett járműelemeket az előírt méret-, alaktűréseknek és felületi minőségnek megfelelően.

A piaci verseny miatt rövidül a termékváltási idő (az ötlettől a gyártás megindulásáig). Ezért a tervezés és gyártás egyre erőteljesebben automatizálódik, mindez pedig a számítógéppel segített tervezés és gyártás – rugalmas gyártás CNC gépekkel – segítségével valósul meg.

Az új piaci és környezetvédelmi követelmények új anyagok, új technológiák kidolgozását, bevezetését követelik meg.

Az új elveken alapuló eljárások (HSC, kemény forgácsolás) nyernek teret, a hagyományos hűtés-kenés helyett terjed a szárazmegmunkálás ill. a minimálkenés alkalmazása.

1 Forgácsolás alapjai

1.1 Alapok, a megmunkálások rendszere

A forgácsolás célja: a felesleges anyagréteg – ráhagyás – eltávolítása, a munkadaraból az előírt

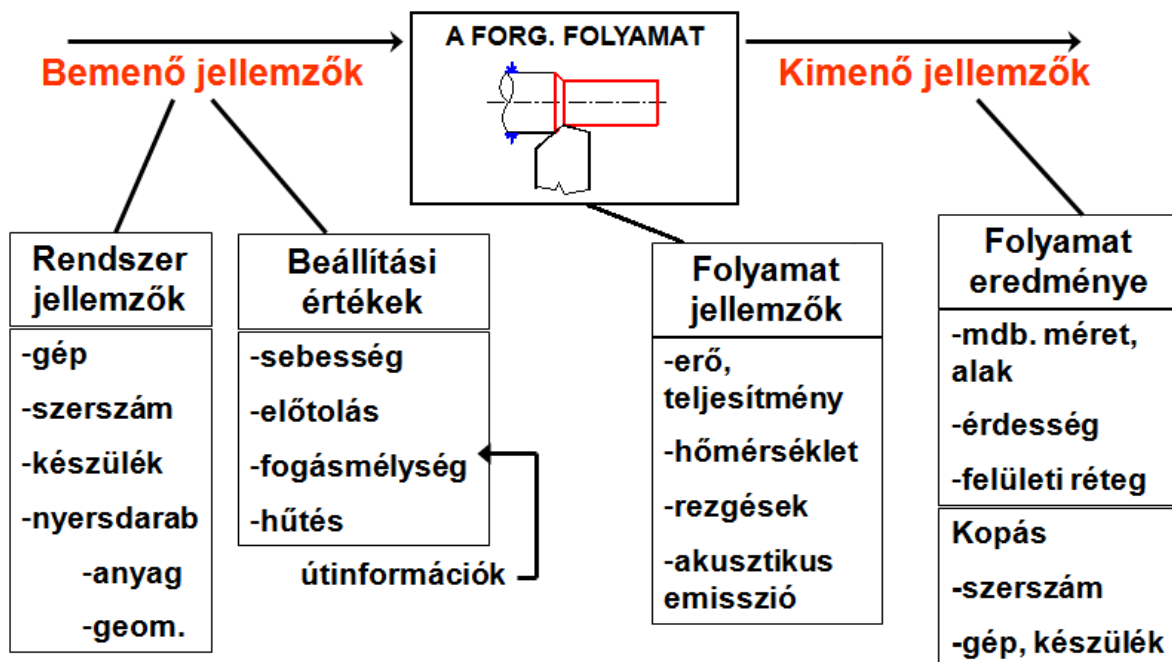
- alak
- méret
- felületi minőség

követelményeinek megfelelően, gazdaságosan.

A forgácsolás során a munkadarabról a szerszám élének-éleinek segítségével anyagrészecskéket – forgácsokat választunk le mechanikai megmunkálás útján, a munkadarab méretének alakjának, felületének megváltoztatása céljából.

A forgácsolási folyamatok során anyag-, információs és energiaáramlás történik.

A forgácsolási folyamat és jellemzői láthatók az 1.1 ábrán



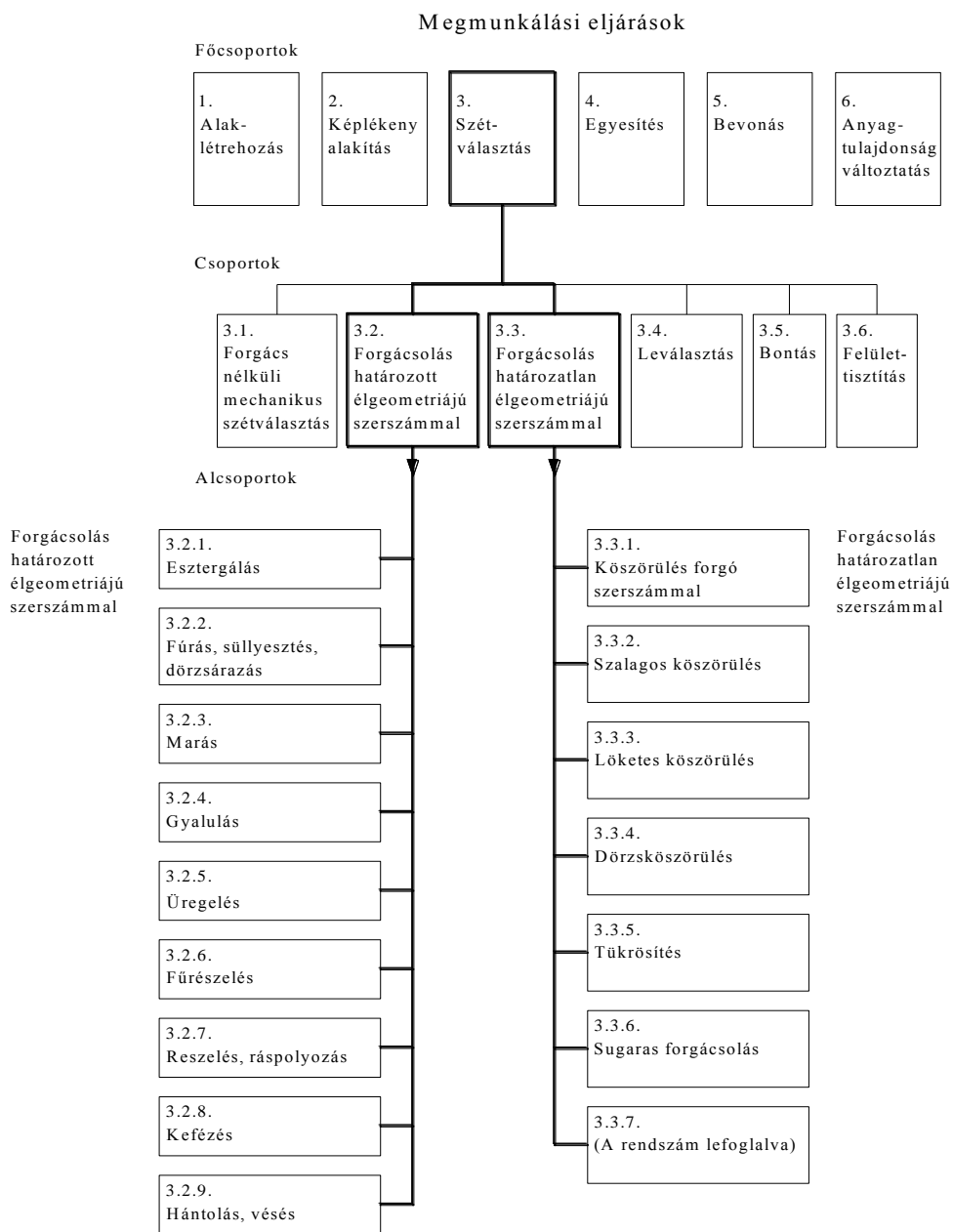
1.1. ábra Forgácsolási folyamat és jellemzői

A folyamat bemenő jellemzőit egyrészt a gép, szerszám, készülék és a munkadarab jellemzői – a rendszerjellemzők – másrészt a beállítási értékek – technológiai adatok adják.

A forgácsolás során a kísérőjelenségek alakulását –folyamatjellemzőket- érzékelve tudunk a folyamat lefolyására következtetni.

A forgácsolási folyamatok kimenő jellemzőit, a létrehozott eredmény, a munkadarab méret, alak, érdesség jelenti, de kimenő jellemző a folyamat során létrejött kopás, elhasználódás.

A forgácsolás helyét a megmunkálási eljárások sorában az 1.2 ábra mutatja be.



1.2. ábra Forgácsolás helye és megmunkálásai

A csoportosítás és kódolás a szabványnak megfelelő.

A forgácsolás történhet

- határozott
- határozatlan élgeometriájú szerszámmal.

Határozott élgeometriájú szerszámmal történő forgácsolás esetén ismert, meghatározott a szerszám

- forgács éleinek a száma
- élgeometriája
- munkadarabhoz viszonyított helyzete

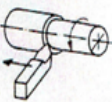
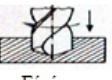

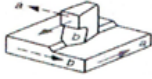

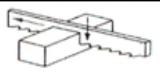

Határozatlan élgeometriájú szerszámmal történő forgácsolás esetén, határozatlan megmunkálásban résztvevő

- szerszám élek száma
- élgeometriája
- az élek munkadarabhoz viszonyított helyzete

A forgácsoláshoz a munkadarab és a szerszám relatív helyzetváltoztatása – forgácsoló mozgás – szükséges, mely összetett mozgás, a szerszám gép egyes mozgásainak eredője. A forgácsoló mozgás felbontható:

- forgácsoló főmozgásra – mely a forgács leválasztás irányába történik. A főmozgás lehet forgó vagy haladó, végezheti a munkadarab vagy szerszám.
- forgácsoló mellékmozgásra mely a forgács vastagsági, szélességi méretét határozza meg. A forgács vastagsági méretét az előtoló mozgás, szélességét a fogásvételi mozgás határozza meg.

Az 1. táblázatban a jellegzetes megmunkálások a fő –és mellékmozgásait foglaltuk össze, jelezve, hogy azt a szerszám vagy munkadarab végzi.

Forgácsolási Eljárás	Fő mozgás	Mellékmozgás
 Esztergálás	Forgó, munkadarab végzi [m/perc]	Egyenesvonalú, szerszám végzi [mm/ford]
 Fúrás	Forgó, szerszám [m/perc]	Egyenesvonalú, szerszám [mm/ford]
 Marás	Forgó, szerszám [m/perc]	Egyenesvonalú, munkadarab [mm/perc]
 Gyalulás (hossz a) (haránt b)	Egyenesvonalú, munkadarab (a) szerszám(b) [m/perc]	Egyenesvonalú, munkadarab (a) szerszám (b) [mm/lököt]
 Üregelés	Egyenesvonalú, szerszám [m/perc]	Nincs
 Fűrészelés	Egyenesvonalú, szerszám [m/perc]	Egyenesvonalú, szerszám [mm/fog]
 Palást köszörülés	Forgó, szerszám [m/sec]	Forgó, munkadarab [1/perc] Egyenesvonalú [mm/perc]

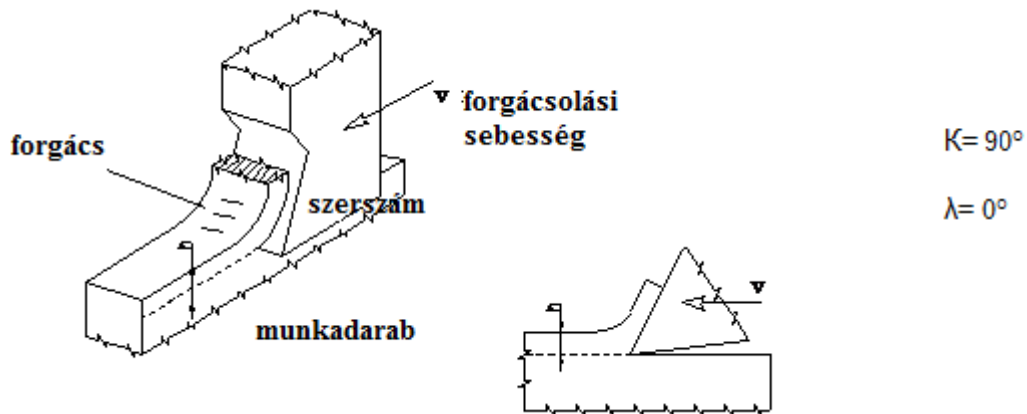
1.1. táblázat jellegzetes megmunkálások fő-, mellékmozgásai

Az előtoló mozgás lehet folyamatos vagy szakaszos, a fogásvételi mindig szakaszos.

A forgácsolás lehet

- szabad forgácsolás, a szerszám minden pontjában azonos feltételek mellett történik a forgácsolás.

A forgácsképződés jól megfigyelhető, az összefüggések síkbeli rendszerben íratók fel.



1.3. ábra Szabdforgácsolás

- kötött forgácsolás esetén – ilyen a legtöbb megmunkálás, a szerszám él, egyes pontjai különböző körülmények között forgácsolnak.

A forgácsolást tovább csoportosíthatjuk

- a kialakítandó felület (sík, henger, csavar stb)
 - forgácsolás kinematikája (lefejtő)
 - szerszám alakja, fajtája stb.
 - szerszám gép jellemzői
 - az automatizáltság szintje stb.
- szerint

1.2 Élgeometria

Az élgeometria meghatározza a szerszám geometriai elemeinek – síkok, felületek, élek – egymáshoz viszonyított helyzetét a térben különböző meghatározó - koordináta - rendszerekben.

Szerszám - meghatározó rendszer (MSZ ISO 3002-1, -2: 1994)

A szerszám gyártásához, élezéséhez, ellenőrzéséhez szükséges geometriai adatok – szögek, méretek, meghatározására szolgál - „gyártási” ill. „szerszám a kézben” rendszer.

Működő meghatározó rendszer

A szerszám élgeometriáját a szerszám él, relatív mozgásának vektorához – működési irányához – viszonyítjuk.

Gépi meghatározó rendszer

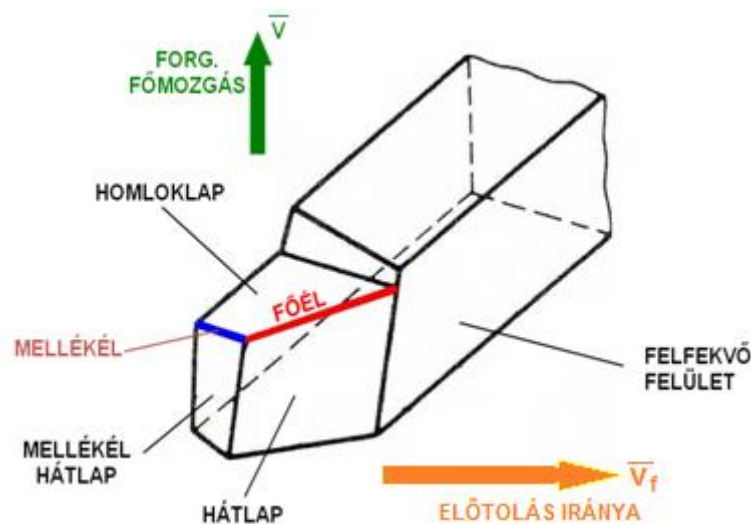
A szerszám geometriát a megmunkáló géphez kötött koordináta rendszerben vizsgáljuk.

Az egyes meghatározó rendszerek egymással kapcsolatba hozhatók, az egyes értékek átszámíthatók

A szerszám élgeometria döntően befolyásolja

- forgácsoló erőt, teljesítményszükségletet,
- éltartamot
- forgácsolt felület minőségét
- forgács alakulását
- forgácsolási folyamat dinamikáját

A következőkben a legegyszerűbb, egyélű szerszám, az esztergakés példáján keresztül mutatjuk be az élgeometriai meghatározásokat. (1.4. ábra)



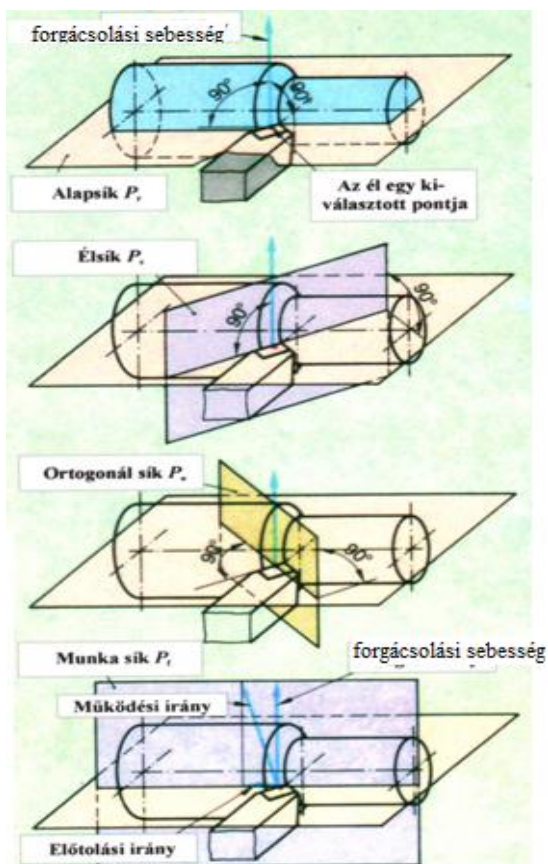
1.4. ábra Esztergakés

A fő él végzi a forgácsolást a forgácsoló főmozgás hatására, a forgács mindig a homloklapon fut fel. A homloklap foglalja magába a fő és mellékélt. Hátlap, a főélt tartalmazó felületet mely a forgácsolt felület felől határolja a szerszámot. A fő él a homlok-és hátlap metszészvonala.

Szerszám meghatározó rendszer

A geometriai meghatározást síkok felvételével, (1.5 ábra) metszetek (1.6. ábra) segítségével végezzük.

Az 1.5 ábrán láthatóan a főélen kijelölünk egy pontot, erre egy olyan síkot fektetünk mely merőleges a forgácsolási sebességre és merőleges vagy párhuzamos a felfekvő felülettel. Ez az alsósík - Pr.



1.5. ábra Szerszámsíkok [1]

P_r - alapsík $\perp \rightarrow v$, \perp vagy \parallel felfekvő felületre.

P_s – élsík, merőleges az alapsíkra és magába foglalja a főélt.

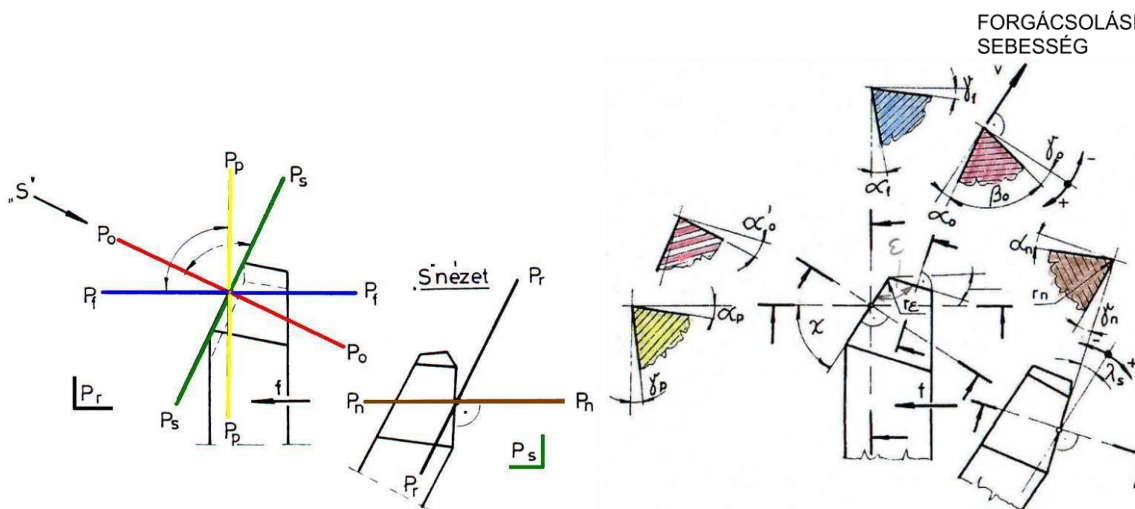
P_o - ortogonálisík, merőleges az alapsíkra és az él síkra.

P_f – munkasík, merőleges az alapsíkra és magába foglalja a forgácsolási sebességet és előtolást.

P_p tengelysík, merőleges a az alapsíkra és párhuzamos a szerszám tengelyvonalával.

P_n normálisík, merőleges a fő élre.

Az 1.6. ábra baloldalán az egyes síkok nyomvonalai, jobboldalán metszetei láthatóak, bejelölve az egyes szerszámszögeket. A szög indexe mindig a metszősíkot jelzi.



1.6. ábra Szerszám meghatározó rendszer, szerszám szögek [2]

SZERSZÁMSZÖGEK **α – HÁTSZÖG** **β – ÉKSZÖG** **γ – HOMLOKSZÖG (\pm)** **$\alpha + \beta + \gamma > 90^\circ$ negatív élgeometria** **δ – METSZŐSZÖG ($\alpha + \beta$)** **λ – TERELŐSZÖG (\pm)** **α – MELLÉKÉL HÁTSZÖG** **ε – CSÚCSSZÖG** **K – FŐÉL ELHELYEZKEDÉSI SZÖG** **τ – MELLÉKÉL ELHELYEZKEDÉSI SZÖG** **r_ε – CSÚCSRÁDIUSZ** **r_ρ – ÉLRÁDIUSZ**

A forgácsoló él helyzetét a főél elhelyezkedési szöge (K) és a terelő szög (λ) valamint a mellékél elhelyezkedési szöge (τ) határozzák meg.

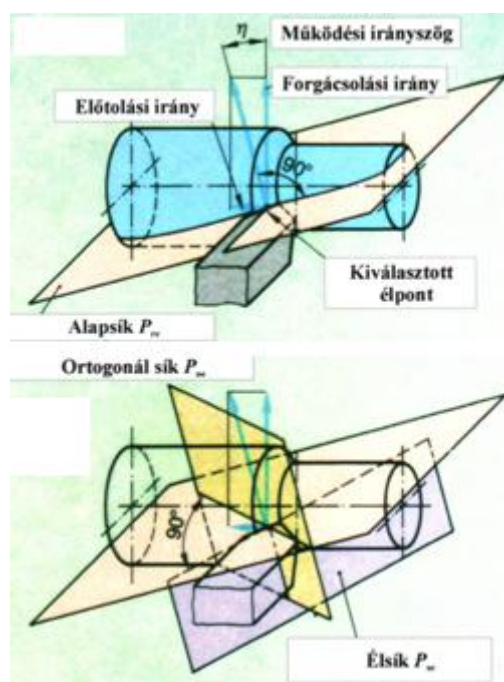
A homloklap helyzetét a homlok szögek ($\gamma_o, \gamma_f, \gamma_r, \gamma_n$), a hátlapét a hátszögek ($\alpha_o, \alpha_f, \alpha_p, \alpha_n$) határozzák meg, ahol az indexben azt a síkot jelöljük, amelyben a szöget értelmezzük.

Az élradiusz r_ρ szerepe az éltartás és bevonatolás szempontjából fontos.

Működő meghatározó rendszer

Az alapsíkot (P_r) a működés irányára – forgácsolási sebesség és előtolási sebesség eredője – merőlegesen vesszük fel. (1.7 ábra)

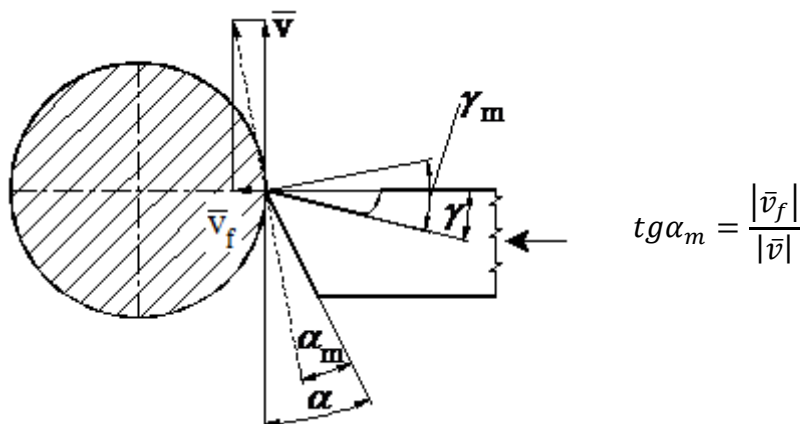
A további síkok (P_s, P_o, P_f, \dots) meghatározása azonos a szerszám meghatározó rendszerénél bemutatottakkal.



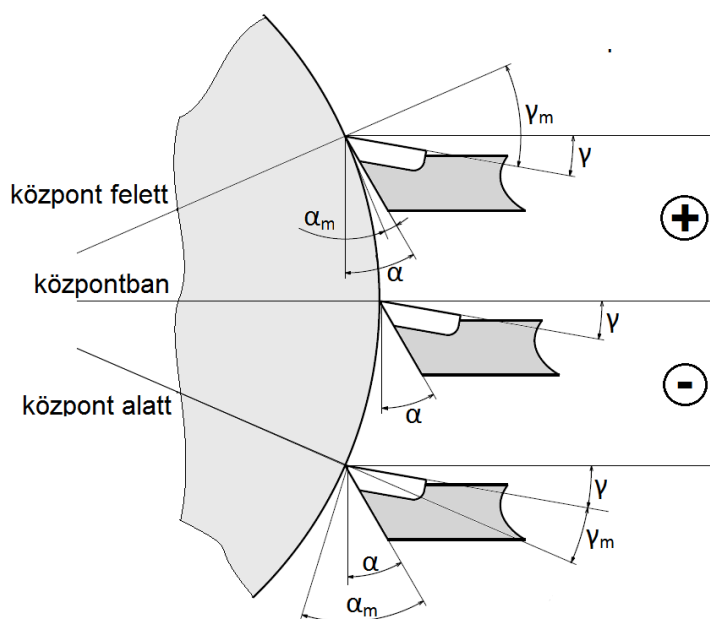
1.7. ábra működő meghatározó rendszer [1]

A forgácsolás közben értelmezett – működő szögek – közül a hátszögnek van nagy jelentősége, mivel fennáll annak a veszélye, hogy forgácsolás során „negatív” hátszög alakul ki, a szerszám hátfelülete súrlódik a munkadarabbal vagy lehetetlenné válik a forgácsolás.

A 1.8 ábrán beszúrás esetén láthatjuk a működő homlok és hátszögét. Szélső esetben, nagy előtolásnál a hátlap sűrődik, ill. ütközik a munkadarabbal.



1.8. ábra Működő szögek beszúrásnál



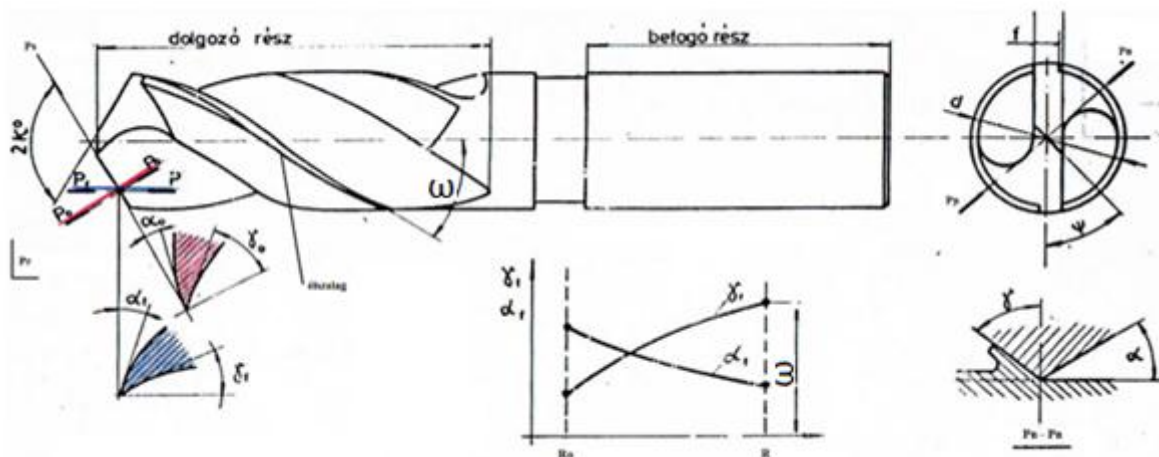
1.9. ábra Szerszámhelyzet hatása a működő szögekre

A 1.9 ábrán az esztergakés különböző a központtól eltérő befogási helyzetéből adódó működő szögeket láthatjuk, központ felett csökken a hátszög és fordítva

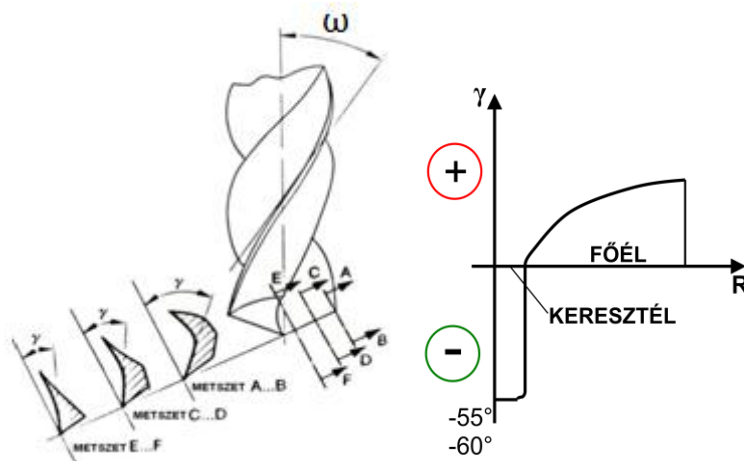
A befogással tehát megváltoztatjuk a működő szögeket, erre különösen a furatkéseknél kell figyelni.

Csigafűrő élgeometriája

A csigafűrőnek két fő éle van amelyeket a kereszt él köt össze. A forgács hornyot kísé-
rő szalag formájú él – él szalag – a mellékél. (1.10 ábra)



1.10. ábra csigafúró élegeometriája



1.11. ábra Csigafúró homlokszögének változása sugár függvényében

Szerszám meghatározó rendszerben a fő élen kijelölünk egy pontot arra a forgácsolási sebességre merőleges síkot fektetünk, ez az alapsík (P_r).

A P_s él sík erre merőleges és magában foglalja a főélt, a P_o ortogonál sík merőleges a P_r -re és a P_s síkra. A P_f munkasík merőleges a P_r és magába foglalja a forgácsolási és előtolási sebességet.

A (1.11 ábra) metszetekben ábrázoltuk a homlok és hát szöget, melyek a fúró sugarának függvényében változik.

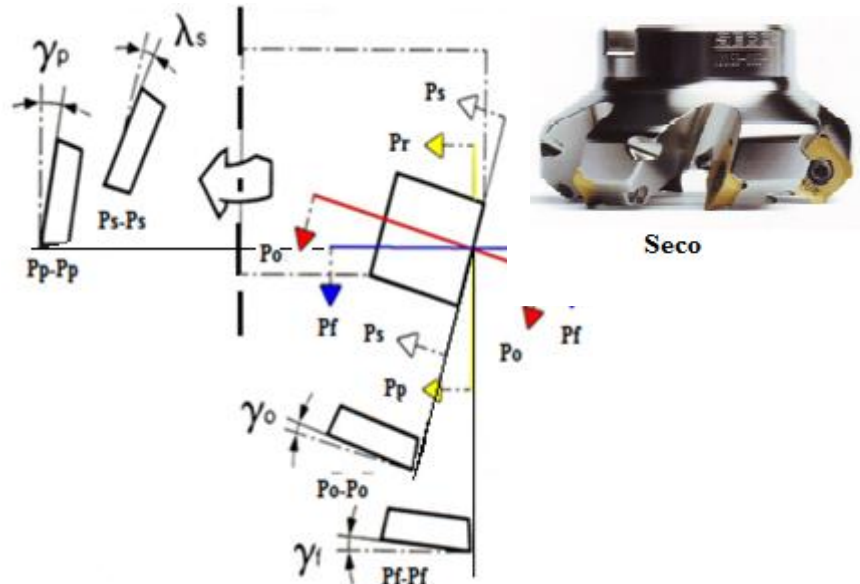
A forgács horony emelkedési szöge ω a kereszt él helyzetét a Ψ szög határozza meg. A fő él elhelyezkedési szöge K , a fúró csúcshöge $2K$.

A kereszt élre merőleges sík P_n – normál sík, a metszetben látható a γ homlokszög erősen (55° - 60°) negatív, mely a forgácsolás szempontjából igen kedvezőtlen, a keresztél hatásának csökkentése lehetséges:

- a keresztél hosszának köszörüléssel való csökkentésével,
- egyenes helyett „s” alakú kereszt éllel
- három főélel. melyek csúcsba futnak össze.

Homlokmaró élgeometriája

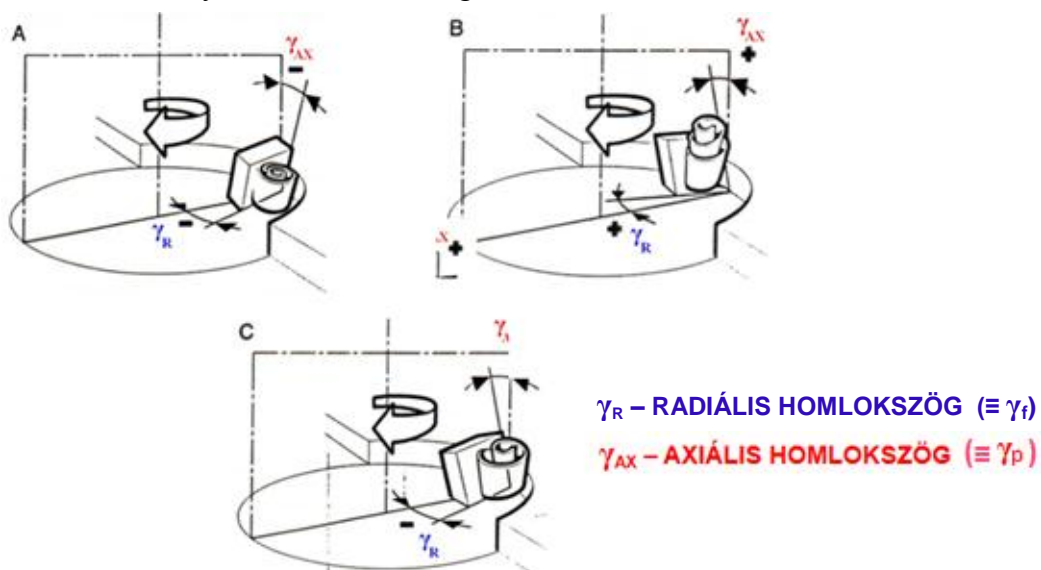
A homlokmarók élgeometriáját egy modern váltó lapkás szerszámon (Seco) mutatjuk be. A több élű szerszám egy lapkáját kiválasztjuk melynek főélén kijelölünk egy pontot.



1.12. ábra élszögek homlokmarónál[1]

A kijelölt pontra egy síkot fektetünk mely merőleges a forgácsolási sebességre, ez a Pr alap-sík. Hasonlóan az eddigiekhez felvesszük a többi Po,Ps, Pt, Pp síkokat. Ha a főél nem egyenes, akkor a pontban lévő érintő síkja lesz a Ps. A metszetekben meghatározhatjuk az élszögeket (γ_0 , γ_p , γ_f , λ_s)

A gyakorlatban egy egyszerűbb rendszert használnak, a homlok-és hátszögeket tengely irányában és radiális irányban határozzák meg.



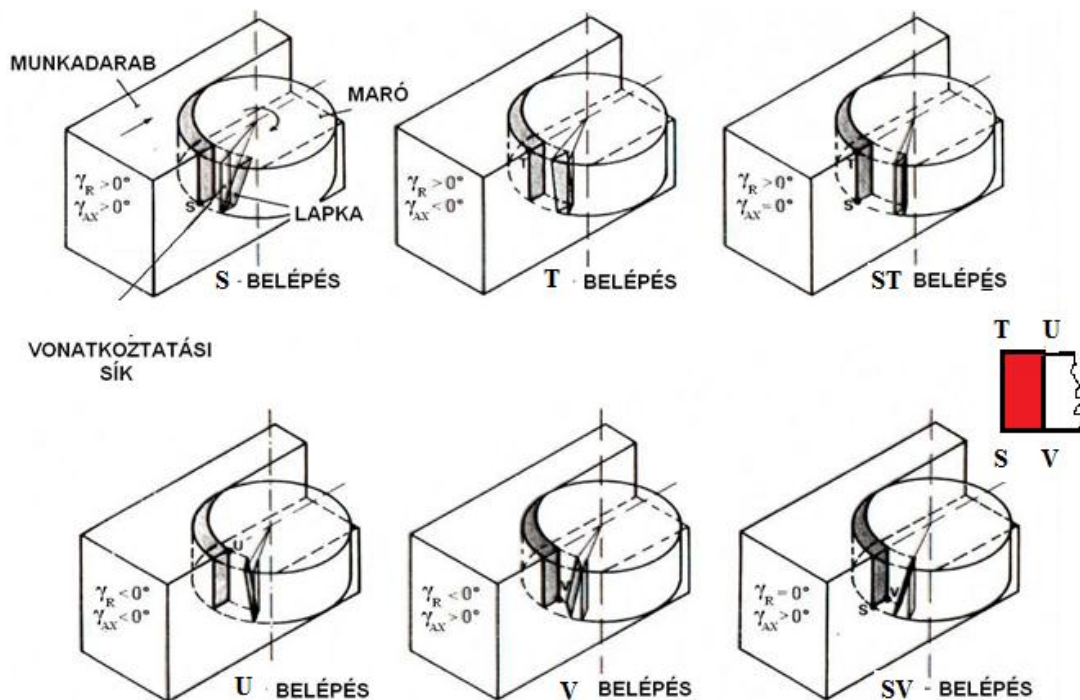
1.13. ábra Élszögek értelmezése homlokmarás esetén [1]

Ennek megfelelően van

- kétszer pozitív ($+\gamma_{ax}$; $+\gamma_r$)
éles él, kis forgácsoló erő, kis rezgéshajlam
- kétszer negatív ($-\gamma_{ax}$; $-\gamma_r$)
tompa vágás, nagy forgácsolóerő, kétoldalas lapka
- pozitív – negatív ($+\gamma_{ax}$; γ_r)
jó forgács alak és elvezetés

A lapka terhelés szempontjából az anyagba való belépés – lapka mely pontja érintkezik először a munkadarabbal – kritikus.

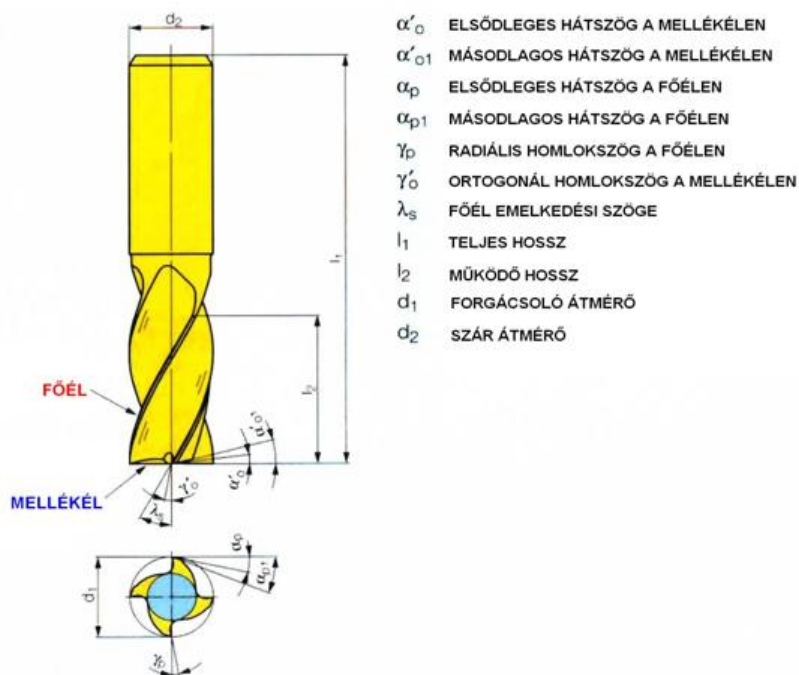
A belépés módját az élgeometria és a maró – munkadarab relatív helyzete határozza meg. Az élgeometria hatását a belépési viszonyok 1.14 ábrán láthatjuk.



1.14. ábra A lapka belépésének esetei homlokmarásnál[4]

Legkedvezőtlenebb eset az amikor a lapka „S” sarkán ($+\gamma_{ax}$; γ_r) lép be, a nagy dinamikus terhelés következtében könnyen lepattanhat a sarok a legkedvezőbb a „U” eset ($-\gamma_{ax}$; $-\gamma_r$) itt a belépés a lapka felületén belül történik.

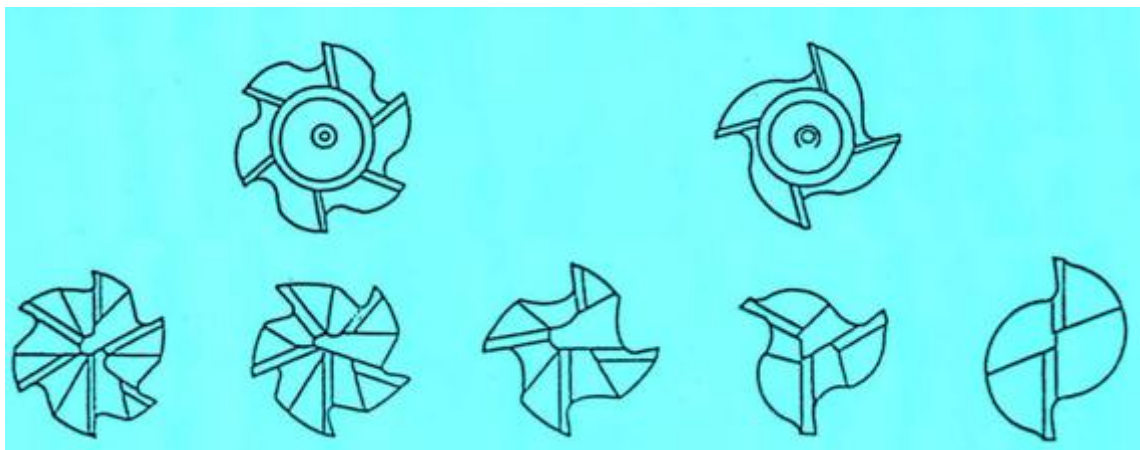
Szármaró élgeometriája



1.15. ábra A szármaró élszögei [5]

Az 1.15 ábrán a szármarónál használt él szögeket láthatunk.

A szármaró több élű (2,3,4,5,6) szerszám. A fő élek a palást felületen általában csavarvonalban (30°, 45°, 60 emelkedési szöggel) helyezkednek el, a mellékélek a homlok felületen vannak.

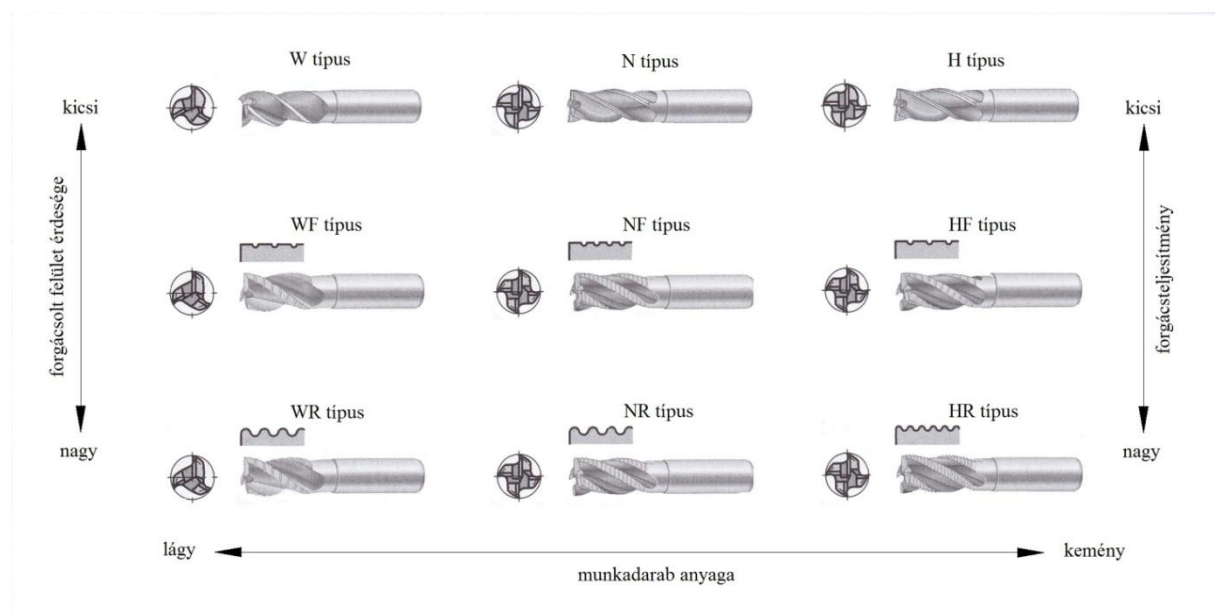


1.16. ábra Homlokél kialakítása szármaróknál [5]

A szármaróval csak akkor lehet mélyítő – tengely irányban – forgácsolni, ha van, olyan éle mely átmegy a központon.

A marók a fő- és mellékélen kettős hátfelülettel rendelkeznek.

A fő él különböző formában (...F,...R) lehet megszakított, mely fogás megosztást biztosít. (1.18 ábra)



1.17. ábra Különböző élkialakítású maró típusok és alkalmazási területük [6]

A szármarók homlok felülete, lehet sík, gömb és torusz is.

Az eszterga és marószerszámok geometriájának szavatos leírása az ISO szabványok alapján történik.

Példaképen váltólapkás esztergakés (MSZ ISO 5608: 1990) (1.19 ábra) és lapka (1.19 ábra) meghatározására szolgáló kódrendszert mutatjuk be

Váltólapka ISO jelölése

1) Lapka alak

2) Hátszög

5) Élhossz

6) Vastagság

7) Csúcs sűrűsége

T
P
M
R
16
03
08
S
N

3) Türesék

Kód	Türes mm	a	d
A	± 0,008	3,0008	± 0,008
F	± 0,008	± 0,008	± 0,013
C	± 0,013	± 0,008	± 0,025
M	± 0,013	± 0,008	± 0,013
E	± 0,025	± 0,008	± 0,025
G	± 0,025	± 0,013	± 0,025
J	± 0,008	± 0,008	v: ± 0,05 b: ± 0,13
K	± 0,013	± 0,008	v: ± 0,05 b: ± 0,13
L	± 0,025	± 0,008	v: ± 0,05 b: ± 0,13
M	v: ± 0,05 h: ± 0,18	± 0,013	b: ± 0,13
U	v: ± 0,13 h: ± 0,25	± 0,013	b: ± 0,05

d: beírható kör átmérője
s: lapka vastagság
m: lásd ábrát

4) Forgácsoló horony és felületi furat

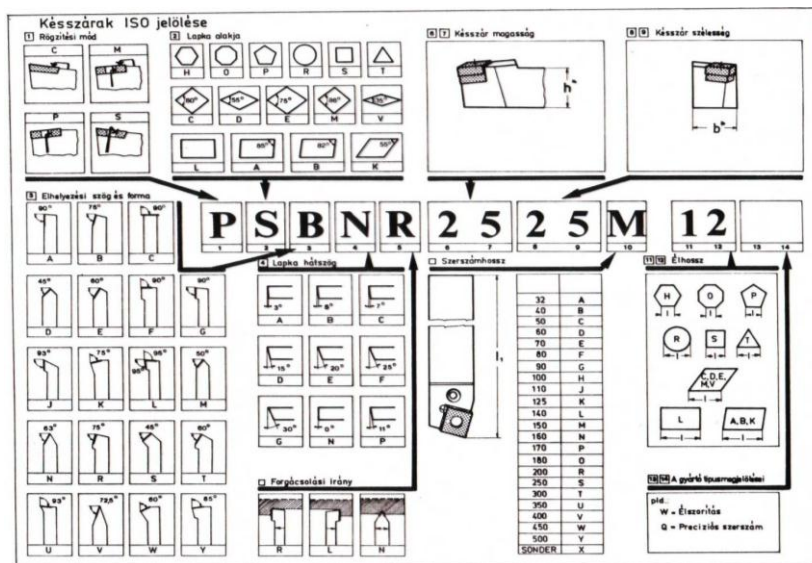
A	F
G	M
N	R
X Különleges	

6) Élalkatás

9) Forgácsolás iránya

Baírható kör á	Türes		Türes	
	Mosható mm	Jesztály mm	Mosható mm	Jesztály mm
8,25	± 0,08	± 0,13	± 0,05	± 0,05
9,52	± 0,08	± 0,13	± 0,05	± 0,05
12,7	± 0,13	± 0,20	± 0,08	± 0,13
15,88	± 0,15	± 0,27	± 0,10	± 0,15
19,05	± 0,15	± 0,27	± 0,10	± 0,15
25,4	± 0,18	± 0,33	± 0,13	± 0,25

1.18. ábra Váltólapkák jelölése ISO szerint



1.19. ábra Késszárak jelölése ISO szerint

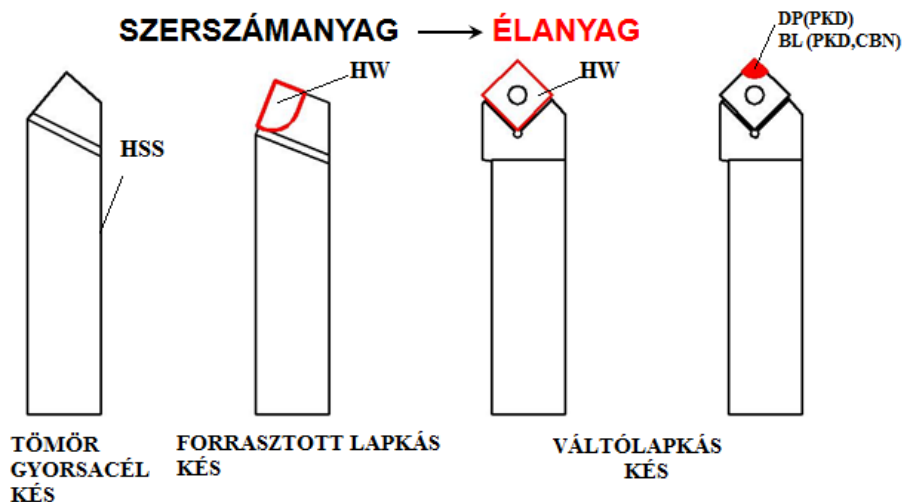
A váltólapkás homlokmarók geometriájának leírására a ISO 7406-88 / DIN 8029/1, váltólapkás szármárók geometria azonosítása az ISO 7548-86 /DIN 8029/2 szabvány szolgál. Sok esetben a gyártó cégek szerszámaik meghatározásához saját kódrendszereiket használják.

1.3 Élanyagok

A forgácsolás során a szerszám igénybevétele

- mechanikai (húzó, nyomó, hajlító, csavaró, nyíró) terhelés, mely statikus és váltakozó lehet
- hő, magas forgácsolási hőmérséklet, ugrásszerű váltakozó hőterhelés
- kémiai, oxidáció, diffúzió lehet, melynek meg kell felelnie.

A szerszám forgácsolást végző része – az él – és az azt hordozó test nem azonos anyagból készül ma már, mivel a velük szemben támasztott követelmények eltérőek.



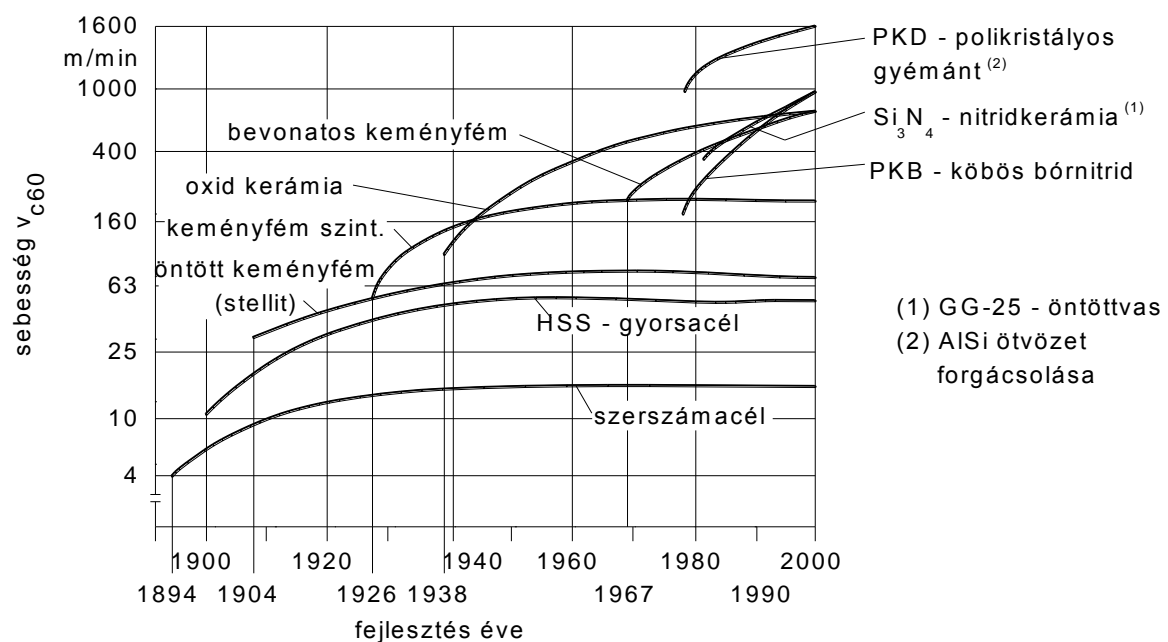
1.20. ábra Különböző élanyagú kések kialakítása

Az élananyagok jellemző tulajdonságai:

- keménység, nyomó szilárdság
- meleg keménység, hősokk állóság
- élszilárdság, éltartósság
- kopásállóság (reprodukálható kopás jellemzők)
- szívósság, hajlító-, törő szilárdság
- oxidációállóság
- diffúziós hajlam.

A termelékenység fokozása, a forgácsolási sebesség növelésével a megmunkálás idejének csökkentése a kiváltója az élananyagok folyamatos fejlesztésének.

Az élananyagok időbeni fejlesztését szemlélteti a 1.21. ábra, jellemzőként az elérhető forgácsolási sebességet véve.



1.21. ábra Élananyagok fejlesztése [7]

Az élananyagokat a következő fő csoportokba foglalhatjuk össze:

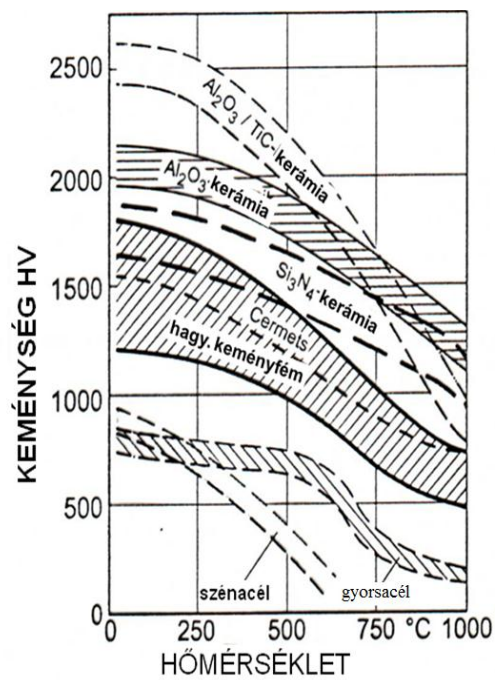
- szerszámacélok
gyorsacél
- keményfémek
wolfram bázisú
titán bázisú
- forgácsoló kerámiák
oxid
nitrid
- szuperkemény anyagok
köbös bornitrid
gyémánt

A DIN ISO 513 szerint a keményfém, kerámia, szuper kemény élananyagok csoportosítása és jelölése látható a következő táblázatokban.

Élananyagok csoportosítása ISO szerint		
	Rövid jel	Anyagcsoport
Keményfémek	H W	WC/Co keményfém
	H F	Finomszemcsés keményfém (<1 μ m)
	H T	Ti/TiN keményfém (Cermet)
	H C	Bevonatolt keményfém (fentiek)
Keramiák	C A	Fehér kerámia (Al_2O_3)
	C M	Kevert kerámia (Al_2O_3 + nem oxid)
	C N	Szilícium-nitrid kerámia (Si_3N_4)
	C R	Erősített kerámia (Al_2O_3 + Whisker)
	C C	Bevonatolt kerámia (fentiek)
Gyémánt	D P	Polikristályos gyémánt (PKD)
	D M	Gyémánt egykristály
Köbös bórnitrid	B L	Köbös bórnitrid (alacsony CBN tartalom) (PKB, CBN)
	B H	Köbös bórnitrid (magas CBN tartalom)
	B C	Bevonatolt CBN (fentiek)

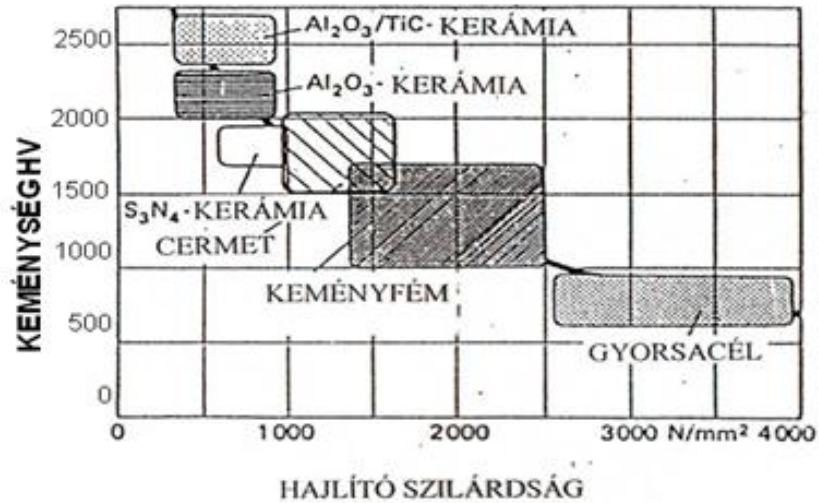
1.2. táblázat Élananyagok csoportosítása ISO szerint

Az élananyagok egyik fontos jellemzője a melegkeménység, mely a hőfok függvényében mutatja az egyes élananyagok keménységváltozását.



1.22. ábra Melegkeménység [4]

Az él anyagok hajlító-törő szilárdságát 1.23 ábrán láthatjuk.

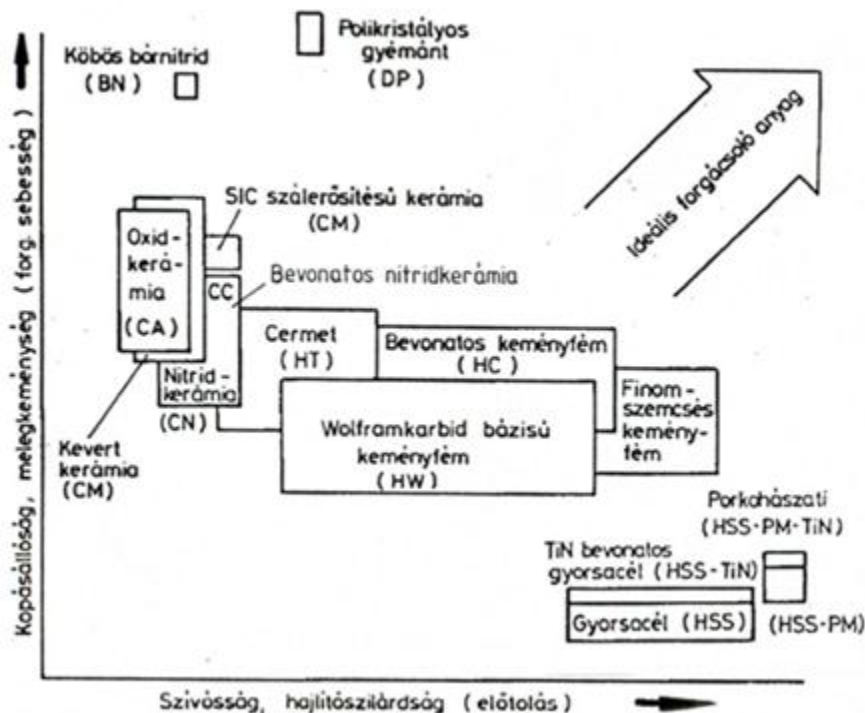


1.23. ábra Élanyagok hajlítószilárdsága

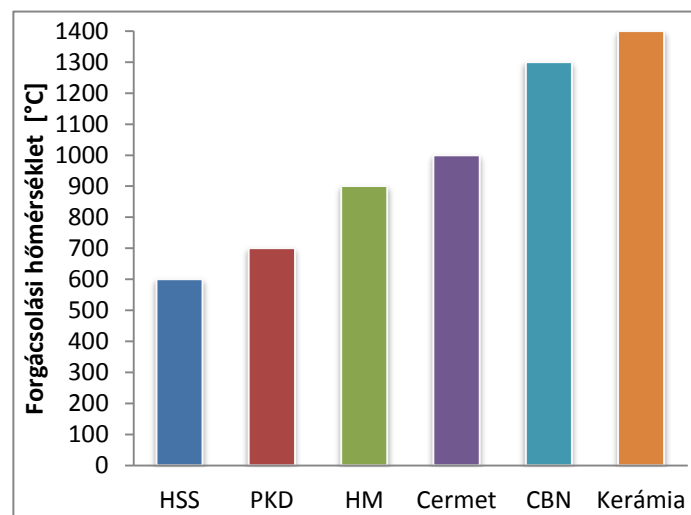
	edzett acél	gyors-acél	kemény-fém	forg. kerámia	PKB	PKD
sűrűség (g/cm ³)	7,8	8,0 - 8,8	6,0 - 15,0	3,8 - 7,0	3,4	3,5
keménység HV	700 - 900	750 - 100	1300 - 1700	1400 - 2400	4500	7000
E-modul (GPa)	220	260 - 300	430 - 630	300 - 400	680	890
olvadáspont [°C]	1200 - 1400	1300 - 1400	~ 1300	1700 - 2050	2700	3700
hőállósági határ [°C]	200 - 300	600 - 800	800 - 1200	1300 - 1800	1500	600
hőtágulási együttható (10 ⁻⁶ /K)	13 - 15	9 - 12	5 - 7,5	7,4 - 9	3,6	0,8
nyomószilárdság [N/mm ²]	2000 - 3000	2500 - 3500	4000 - 5900	2500 - 4500	4000	3000
hajlítószilárdság [N/mm ²]	1800 - 2500	200 - 3800	800 - 2200	300 - 700	600	300

1.3. táblázat Élanyagok jellemzői [7]

Az 1.24 ábra összefoglalóan szemlélteti az élanyagokat kopásállóság és szívosság függvényében.



1.24. ábra Az élanyagok kopásállósága és szívossága



1.25. ábra Legnagyobb forgácsolási hőmérséklet [5]

1.3.1 Gyorsacélok

A gyorsacél (HSS – High Speed Steel) erősen ötvözött, nagy meleg keménységű és kopásállóacél. A keménységét a martenzites alapszövetben egyenletesen eloszló finom karbidok (WC, W-Mo-C, CrC, VC) biztosítják. Keménysége 60-67 HRC, melyet 600 °C-ig megtart.

A gyorsacél tulajdonságait elsősorban a W és Mo tartalom határozza meg, ez alapján a szabvány (MSZ EN 10027) négy csoportot különböztet meg, a 1.4 táblázatban az összetétel mellett a leggyakoribb alkalmazási területet is feltüntettük.

CSOPORT	MEGNEVEZÉS (EURONORM 17006)	KÉMIAI ÖSSZETÉTEL %					FELHASZNÁLÁS
		C	W	Mo	V	Co	
6 % W u. 5 % Mo	S 6 - 5 - 2	0,85	6,5	5,0	2,0	-	- FÚRÓK
	S 6 - 5 - 3	0,85	6,5	5,0	2,8	-	- MENETFÚRÓK
	S 6 - 5 - 2 - 5	0,85	6,5	5,0	2,0	4,75	- MARÓK
	S 10 - 4 - 3 - 10	1,25	10	4,0	3,25	10,0	- DÖRZSÁRAK - ESZTERGAKÉSEK
2 % W u. 10 % Mo	S 2 - 10 - 1 - 8	1,1	2,1	10,0	1,2	7,9	- SZÁRMARÓK
12 % W	S 12 - 1 - 4 - 5	1,45	12	0,8	3,75	4,75	- ESZTERGAKÉSEK
18 % W	S 18 - 1 - 2 - 5	0,80	18	0,8	1,5	4,75	- ESZTERGAKÉSEK - GYALUKÉSEK - MARÓK

1.4. Táblázat Gyorsacélok csoportosítása szerint (MSZ EN 10027/2.4) DIN EN 10027 a szerint

Gyorsacélok szabványos jelölése (DIN EN ISO 4957) HS – W – Mo – V – Co tartalom alapján történik.

A gyorsacél előállítása történhet hagyományos – olvasztásos – eljárással vagy porkohászati úton.

A gyorsacél előállítási technológiái



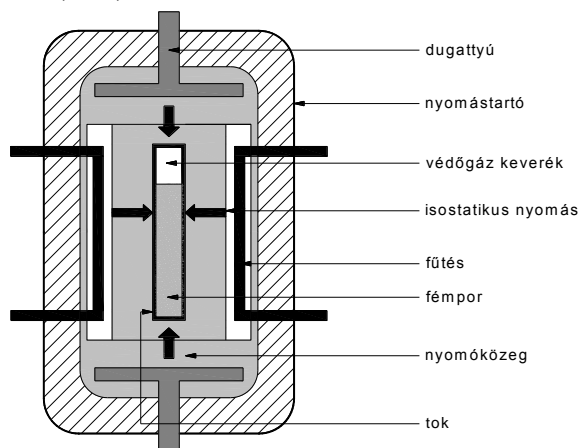
1.26. ábra A gyorsacél előállítási technológiái [4]

Az olvasztásos eljárás 25 %-os karbid tartalmával szemben porkohászati úton 40 % érhető el.

A porkohászati úton gyártott gyorsacélt „PM” megkülönböztető jelzéssel látják el, külön, szabványos jelölése még nincs. A gyorsacél por előállítása az olvadékból vízzel (1.26 ábra) vagy gázzal való porlasztás útján történik.

A gázzal (hélium ill. nitrogén, 200 bar) történő porlasztással extrém finom, azonos méretű por állítható elő. A port védőgázos acéltokba helyezik, melyet lezárnak. Ezt követi a meleg izosztatikus – minden irányból azonos nyomású – préselés (HIP) és szinterezés (1000-1200 C°).

A meleg izosztatikus préselés (HIP) elvét az 1.27 ábra szemlélteti.



1.27. ábra Meleg izosztatikus préselés [9]

A porkohászati (PM) gyorsacél a fennitben igen finom egyenletes a karbid eloszlás és nagyobb karbid tartalom miatt szívósabb, kopásállóbb, mint a hagyományos, a megmunkálhatósága jó.

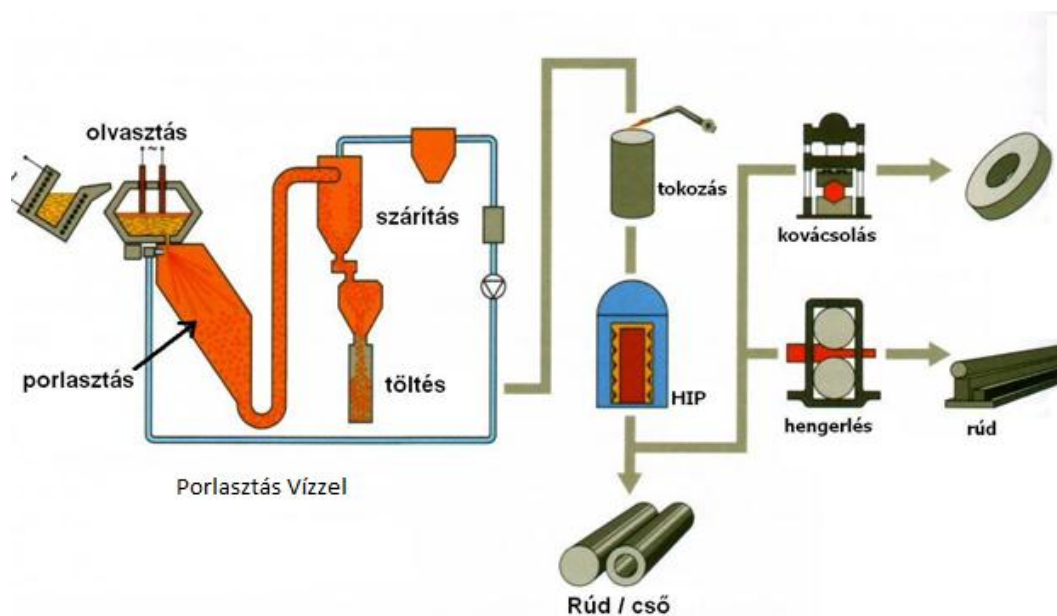
Drágább, mint a hagyományos gyorsacél, ezért csak bonyolult szerszámok gyártásánál gazdaságos.

HSS alkalmazásának megoszlása [4]

W	Mo	V	Co		
6	5	2		DMo5 (50%)	} 90%
6	5	3		EMo3-V3; HSS-E	
6	5	2	5	EMo5-Co5 (HSS-Co)	

HSS-PM (porkohászati gyorsacél) alkalmazása

Fogazó szerszám	70%
Üregelő szerszám	50%
Maró	20%
Menetfúró	10%
Fúró	1%



1.28. ábra Porkohászati gyorsacél előállítása [6]

A gyorsacélból, PM-gyorsacélból többnyire tömör – monolit – szerszámokat, de váltótáplakákat (pl.: Alesa) is gyártanak. A szerszámok teljesítőképességét bevonatolással (PVD eljárás) növelik.

1.3.2 Keményfémek

Keményfémeknek nevezzük azokat az állóanyagokat, melyeket nagy olvadáspontú karbidokból (WC, TiC, TaC, NbC) TiN és kobaltból (Co) ill. nikkelből (Ni) porkezelési úton állítanak elő.

Két alapvető csoportot különböztetünk meg:

- wolfram bázisú
- titán bázisú

keményfémeket.

WOLFRÁM BÁZISÚ KEMÉNYFÉM		HW
KEMÉNY FÁZIS	KÖTŐANYAG	
WC, TiC, TaC, NbC	Co	
TITÁN BÁZISÚ KEMÉNYFÉM		HT CERMET
KEMÉNY FÁZIS	KÖTŐANYAG	
TiC, TiN	Ni, Mo	

1.29. ábra Kemény fémek

A szinterezés folyamán a kobalt – kötőanyag – megolvad és erős kötést alkotva körbefogja a karbidokat jó élszilárdságot biztosítva.

A keményfém alkotók tulajdonságai és azok hatása:

WC - legfontosabb összetevője a keményfémnek,

kopásállóbb, mint TiC és TaC,

magas hőmérsékleten hajlamos a diffúzióra és kioldódásra (kráteres kopás!).

TiC - kis diffúzió hajlamú,

magas hőmérsékleten is kopásálló,

kis kötés- és élszilárdságú, rideg.

Vegyes karbidot (TiC-WC) alkot.

TaC - kis mennyiségben szemcsefinomító hatású,

javítja a szívósságot, élszilárdságot.

NbC - hasonló tulajdonságú, mint a TaC, mellyel vegyes karbidot (Ta Nb)C képez.

TiN - meghatározó alkotója a cermetnek,

igen diffúzióálló,

szemcsefinomító hatású,

növeli a kopásállóságot.

Co - kötőfém a WC-nek, mely jól oldódik kobaltban,

jól körbefogja karbid szemcsét a WC-Co kötőfázis,

növeli a szívósságot, hajlító-, törő szilárdságot,

de csökkenti a keménységet, a kopásállóságot.

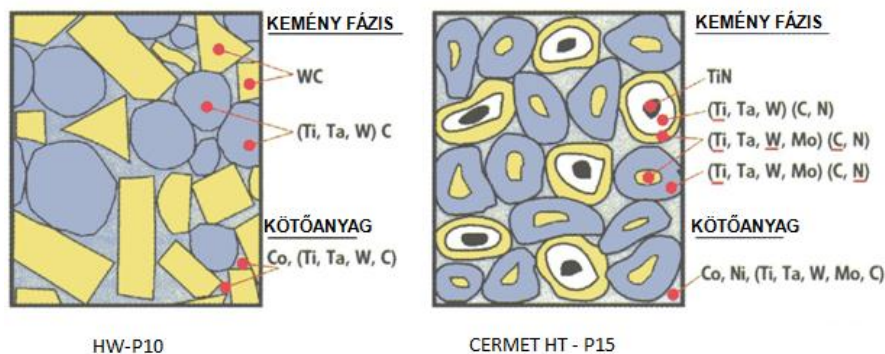
Ni - kötőanyaga a legtöbb cermetnek.

A szemcsenagyság csökkentésével nő a keménység, nyomószilárdság, kopásállóság és a hajlító szilárdság, szívósság. A szemcseméret alapján is csoportosíthatjuk a keményfémeket.

WC/Co keményfém textúrák osztályozása (Fachverband Pulvermetallurgie alapján)	
WC kristályok szemcsemérete (μm)	Szinter szövet megjelölése
< 0,2 (=200 nm)	Nano
0,2 – 0,5	Ultra finom
0,5 – 0,8	Finomabb
0,8 – 1,3	Finom
1,3 – 2,5	Közepes
2,5 – 6,0	Nagy
> 6,0	Extra nagy

1.5 táblázat Keményfémek csoportosítása szemcseméret szerint [6]

A wolfram bázisú és titánkarbid bázisú keményfémek szövetszerkezetének sematikus képét láthatjuk, a 1.30 ábrán.



1.30. ábra HW, HT keményfémek szövetszerkezete [2]

A különböző forgácsolási feladatokhoz eltérő összetételű és tulajdonságú keményfémeket fejlesztettek ki:

- P - hosszú forgácsot adó acél anyagokhoz, acél öntvényekhez,
- M - rozsdamentes austenites, austenit-ferrites acélokhoz, acél öntvényekhez
- K - rövid forgácsot adó anyagokhoz, öntött vas, nemvasfémek, műanyagokhoz.

A különböző keményfémek összetételét és tulajdonságait a alábbi táblázatban foglaltuk össze.

Keményfém fajta alkalmazási csoport (DIN ISO 513)	HW-P10	HW-P15	HW-P25	HW-P30	HW-M10	HW-M15	HW-K05	HW-K10	HW-K25	HW-K40
Összetétel (tömeg %)										
WC		64,5	72,7	78,5	84,5	82,5	96	94	91	88
(Ti, Ta, Nb,) C	60 31	25,5	17,3	10,0	9,5	11,0	-	-	-	-
Co	9	10,0	10,0	11,5	6,0	6,5	4	6	9	12
Sűrűség g/cm ³ (ISO 3369)	10,6	11,7	12,6	13	13,1	13,3	15,1	14,9	14,6	14,2
Keménység HV30 (ISO 3878)	1560	1500	1490	1380	1700	1550	1730	1580	1420	1290
Nyomó szilárdság (ISO 4506)	4500	5200	4600	4450	595	5500	5700	5400	5000	4500
Hajlító szilárdság (ISO 3327) N/mm ²	1700	2000	2200	2250	1750	1900	1600	2000	2350	2450
E-modul (ISO 3312) 10 ³ N/mm ²	520	500	550	560	580	570	650	630	590	580
Törési szívósság	8,1	9,5	10	10,9	9	10,5	6,9	9,6	12,3	12,7
Poisson-állandó	0,22	0,23	0,22	0,23	0,22	0,22	0,21	0,22	0,22	0,22
Hővezető képesség W*m ⁻¹ *K ⁻¹	25	20	45	60	83	90	80	80	70	65
Hőtágulási együttható (293K-1073K) (10 ⁻⁶ *K ⁻¹)	7,2	7,9	6,7	6,4	6	6	5	5,5	5,6	5,9

1.6. táblázat HW keményfémek jellemzői [4]

A betű melletti szám a szívósságot ill. a kopásállóságot jelzi a csoporton belül, a nagy számok a szívós, a kis számok a kopásállóbb minőséget jelzik.

Titán bázisú keményfémek, cermetek

A titán bázisú (TiC, TiN, TiCN), wolfram mentes keményfémeket a ceramic-metall összetétel alapján nevezik cermetnek. Porkohászati úton gyártják, a kemény fázis TiC, TiN, az egyéb karbidok (TaC, Nb, WC) egy százalék alatti értékben fordulnak elő. Kötőanyaga a Ni és Co, de kis mértékben molibdént is használnak.

A keményfémhez viszonyítva a cermetnek

- kisebb a sűrűsége (~ fele)
- nagyobb a meleg- és élszilárdsága
- kisebb a súrlódási tényezője
- nagyobb az oxidációállósága
- kicsi az adhéziós hajlama
- kicsi a törőszilárdsága.

A fenti tulajdonságokból adódik, hogy a cermet nagy sebességű, kis forgács keresztmetszetű simításra alkalmas, nagy mérettartás, hosszú éltartam és kiváló felületi minőség biztosítása mellett.

A cermetek jellemzőit az 1.7 táblázat foglalja össze.

Cermet fajta alkalmazási csoport (DIN ISO 513)	HT-P05	HT-P10	HT-P20
Összetétel (tömeg %)	89,0	85,7	82,3
TiC, TiN, TiCN	0,6	08	1,0
Co/Ni	10,4	13,5	16,4
Sűrűség g/cm ³ (ISO 3369)	6,1	7,0	7,0
Keménység HV30 (ISO 3878)	1650	1600	1450
Nyomó szilárdság (ISO 4506)	5000	4700	4600
Hajlító szilárdság (ISO 3327) N/mm ²	2000	2300	2500
E-modul (ISO 3312) 10 ³ N/mm ²	460	450	440
Törési szívósság	7,2	7,9	10,0
Poisson-állandó	0,21	0,22	0,21
Hővezető képesség W*m ⁻¹ *K ⁻¹	9,8	11,0	15,7
Hőtágulási együttható (293K-1073K) (10 ⁻⁶ *K ⁻¹)	9,5	9,4	9,1

1.7. táblázat HT keményfémek jellemzői [4]

Japánban az alkalmazása 30 % feletti, mely az európai felhasználás négyszerese, mivel ott az előgyártmányok jobban közelítik a kész darab méretet, és így már csak simító forgácsolásra van szükség (Near-Net-Shape).

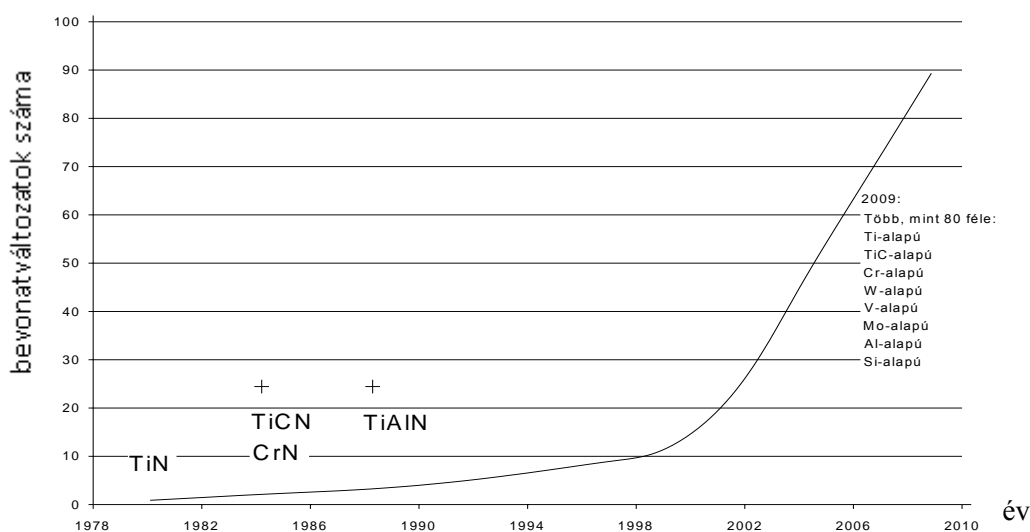
1.3.3 Bevonatolás

A keményfémek továbbfejlesztésében mérföldkövet jelent a szerszám, lapka felületére felvitt nagy kopásállóságú, vékony bevonatú réteg. A bevonatolandó szerszám, lapka relatív szívós minőségű (P 20), amelyre egy 5-20 µm kemény karbid (pl. TiC), nitrid (pl. TiN), karbonitrid (TiCN) és/vagy oxid (Al₂O₃) réteget visznek fel.

A bevonatok fő feladatai:

- kopás elleni védelem
éltartam növelése
- súrlódás csökkentése
forgácsolóerő, hőfejlődés csökkentése
- hőszigetelés.

Mint a 1.31 ábrából látható, a bevonatok fejlesztése igen erőteljes, ma már több mint 80 féle bevonat létezik.



1.31. ábra Bevonatok fejlesztése [Platit]

Alapvetően két bevonatolási módot különböztetünk meg:

CVD-eljárás (Chemical Vapour Deposition)

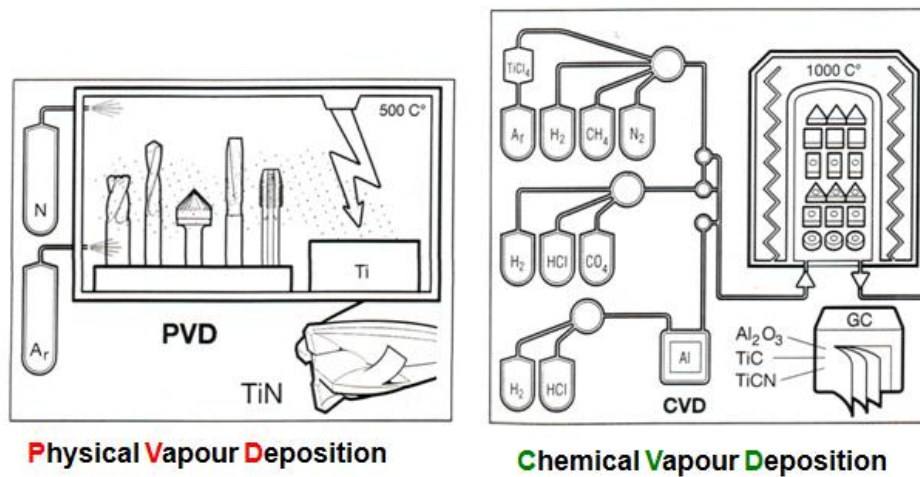
A bevonat alkotói között, gáz fázisban, adott nyomáson, hő vagy sugárzási energia bevitelle mellett kémiai reakció megy végbe, létrehozva a bevonandó felületen egy szilárd réteget.

A reakciógáz összetételét változtatva hozhatók létre különböző összetételű rétegek. A rétegek vastagságát a bevonatolás ideje határozza meg.

PVD-eljárás (Physical Vapour Deposition)

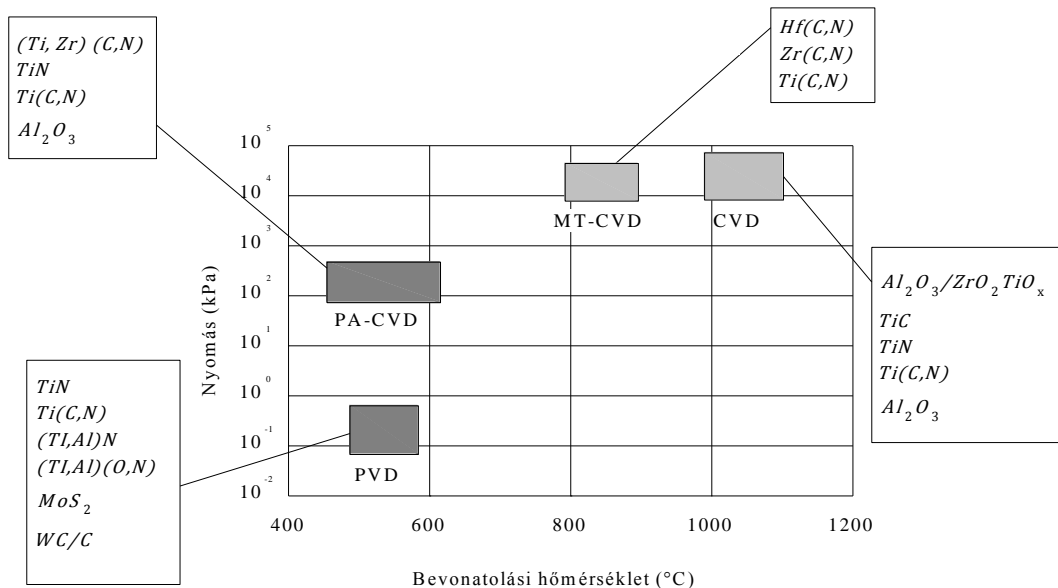
Gőz fázisból történő lecsapás. Az egyes eljárások a gőz fázis létrehozásában (termikus vákuum elgőzölögtetés, ill. kisüléssel, katód porlasztással) különböznek. A különböző bevonatok az elgőzölögtetendő anyagok (Ti, Al, Cr...) és munkagázok megváltoztatásával hozhatók létre.

A CVD és PVD eljárások elvét szemlélteti a 1.32 ábra.



1.32. ábra Bevonatolási eljárások [1]

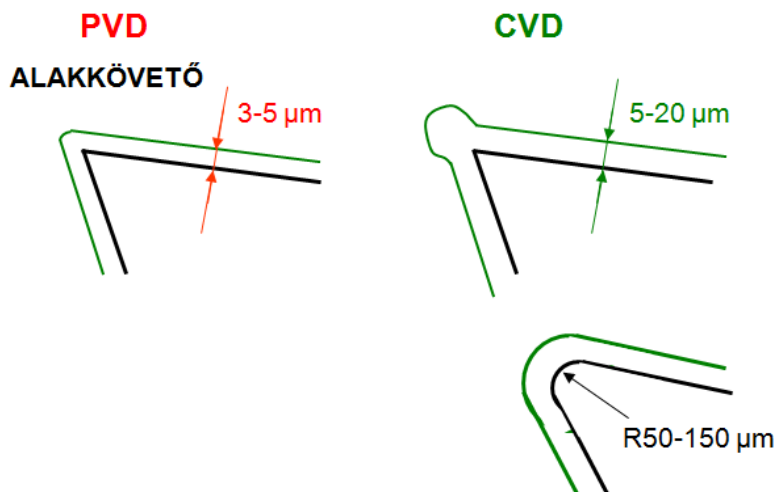
Az egyes eljárások hőfok-nyomás értékeit és a bevonat fajtákat a 1.33 ábrán láthatjuk.



1.33. ábra Bevonatolási eljárások a hőfok és nyomás függvényében [2] (PA- plazmaaktivált, MT – közepes hőmérsékletű)

A hőfok adatok alapján látható, hogy a gyorsacél szerszámok csak a megeresztési hőfoknál alacsonyabb PVD eljárással, míg a keményfémek mindkettővel, de elsősorban CVD eljárással bevonatolhatók.

A PVD bevonatok vastagsága 3-5 µm és alakkövető, a CVD-bevonat 5-20 µm vastag és hajlamos az élen való „kibunkósodás”-ra, ennek elkerülése végett az éleket le kell kerekíteni 50-150 µm-re (1.34. ábra).



1.34. ábra Él kialakítása PVD és CVD esetén

Ha éles él szükséges keményfém szerszámok esetén, akkor a bevonatolást PVD-eljárással végzik.

A különböző bevonatok tulajdonságairól ad áttekintő képet a teljesség igénye nélkül a 1.8 táblázat.

HÁTKOPÁS ÁLLÓSÁG	KRÁTERES KOPÁS ÁLLÓSÁG
<p>↑ TiC Al₂O₃ TiN</p>	<p>↑ Al₂O₃ TiN TiC</p>

1.8. táblázat bevonatok kopásállósága

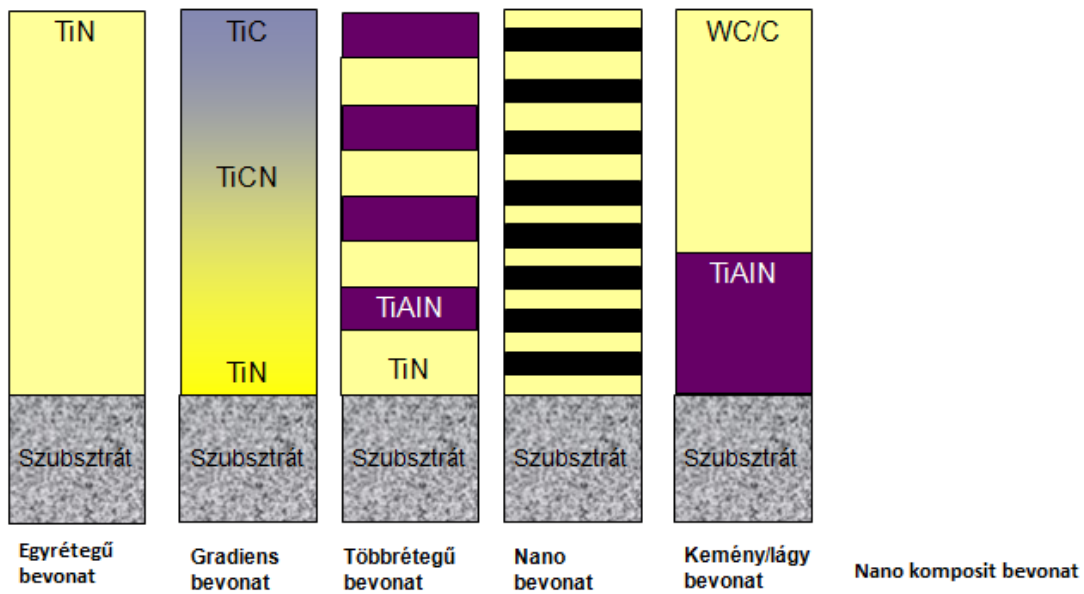
Meg kell említeni a táblázatban nem szereplő, súrlódás csökkentő lágy, kenő bevonatokat, amelyeket a kemény rétegre visznek fel pl.: TiN + MoS₂, ill. (TiAl)N + WC/C és száraz forgácsolásnál alkalmaznak.

A gyémánthoz hasonló (DLC – diamond-like-carbon) bevonat (1-5 μm) kis súrlódási tényezőjű, kopásálló és nagyon kicsi a feltapadás hajlama, nem vas fémek, és Al, Mg száraz forgácsolásánál alkalmazzák.

CVD-eljárással lehetséges kristályos gyémánt bevonatot előállítani, mely teljes mértékben gyémánt, mikro vagy nano kristályokból áll kötőfázis nélkül.

Megjelent, de még nem terjedt el a CBN bevonat.

A bevonatok szerkezeti felépítését a 1.35 ábrán foglaltuk össze.

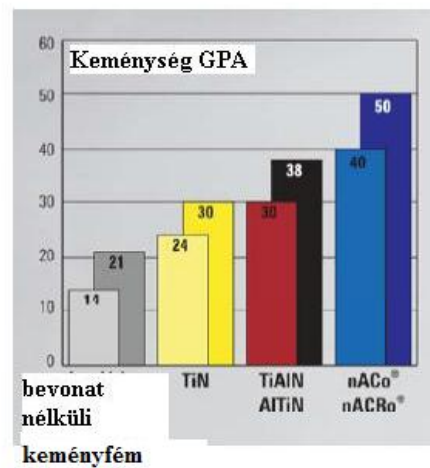
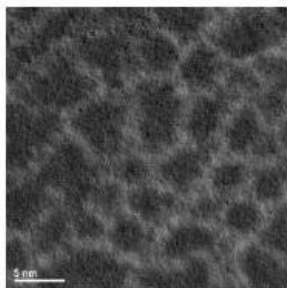
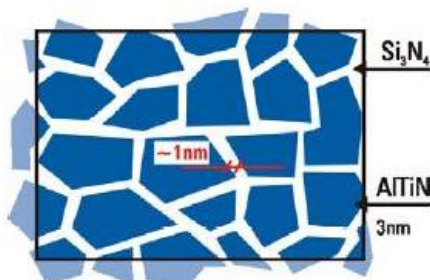


1.35. ábra Bevonat strukturák [10]

A nanokompozit szerkezet esetén egy relatív szivós mátrixba (pl. Si_3N_4) ágyazódnak be a kemény nano kristályok (pl. AlTiN , AlCrN). (1.34 ábra)

Nanokompozit bevonatok: nACo° (AlTiN/SiN), nACRo° (AlCrN/SiN), nATCRo° (AlTiCrN/SiN)

Nanokompozit struktúra:
(nc-AlTiN)/(a- Si_3N_4)



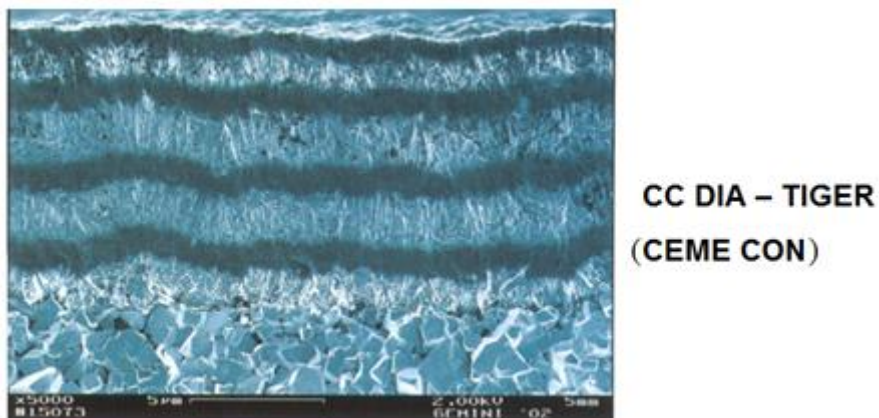
Nano kristályos TiAlN vagy AlCrN szemcsék amorf SiN -mátrixba beágyazva, a keménység növekedését a szerkezet biztosítja egyedül

1.36. ábra Nanokompozit bevonat [Platit]

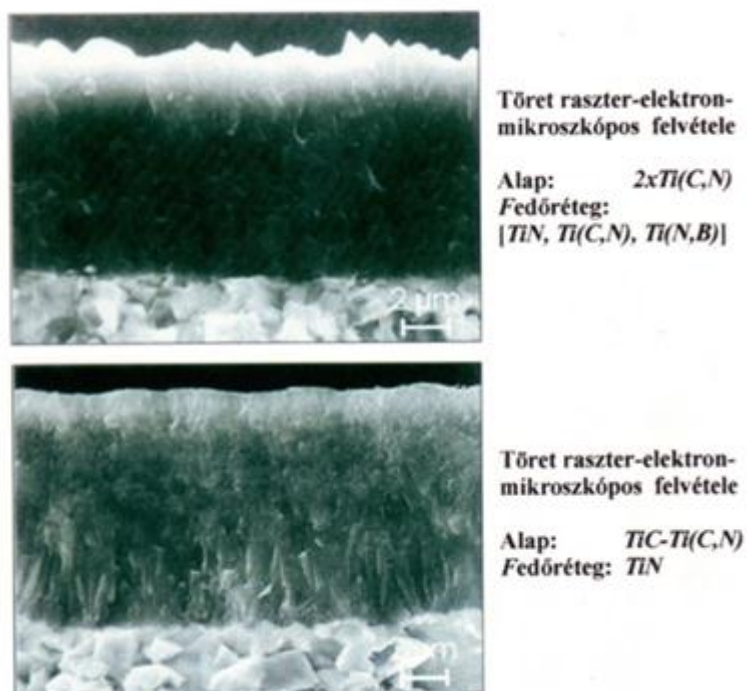
A bevonatot az adott munkadarab anyaghoz, megmunkálási eljáráshoz, szerszámhoz, technológiához választjuk meg. Ebben adnak segítséget a bevonatóló cégek, ajánlatai.

(www.pannonplatit.com – bevonat tájoló, www.oerlikon.com/coatingservice/hu)

A következőkben néhány jellegzetes bevonat mikroszkópi felvételét láthatjuk.



1.37. ábra Többrétegű gyémánt bevonat elektronmikroszkópi képe[6]



1.38. ábra Többrétegű bevonatok (CERATIZIT)

1.3.4 Kerámia élananyagok

A kerámia élananyagokat porkohászati úton fém oxidokból, karbidokból, nitridekből állítják elő.

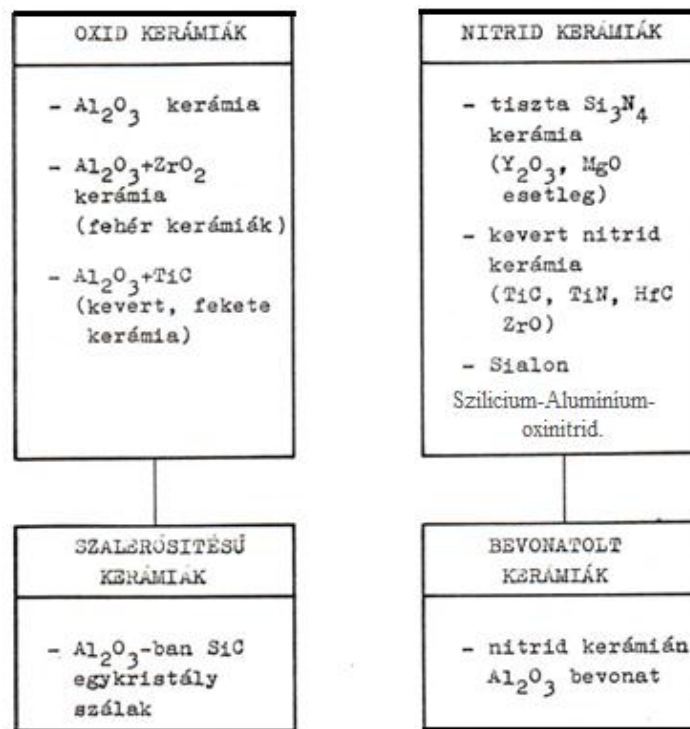
Két fő csoportot különböztetünk meg:

- oxid kerámiák Al_2O_3
- nitrid kerámiák Si_3N_4

A kerámiák legfőbb jellemzője a nagy keménység, kopásállóság. Keménységük a hő hatására kisebb mértékben változik, mint a keményfémé, ezért nagy forgácsolási sebességnél is jó a kopásállóságuk, kémiai ellenállásuk kitűnő, felhegedésre nem hajlamosak.

Szívóosságuk korlátozott, mechanikai túlterhelés esetén törnek, ridegek. Repedésre hajlamosak, ütésre, hajlításra érzékenyek.

A kerámiák csoportosítása látható az 1.39 ábrán.



1.39. ábra Forgácsoló kerámiák csoportosítása

Az Al_2O_3 tulajdonságainak, szívóosság növelésére, repedési hajlam csökkentésére ZrO_2 -t (3-15 %) kevernek a kerámiába.

TiC , Ti(CN) (- 40 %) növeli a keménységet, abrazív kopással szembeni ellenállást, meleg keménységet. A kevert kerámiával már edzett acélok 64 HRC-ig nagy sebességű simítása megvalósítható, megszakított felületen is.

Az oxidkerámia szívóosságát szálerősítéssel lehet növelni. Az oxidhoz SiC egykristály szálakat (Whisker) kevernek, mely a hajlító-, törő szilárdságot növeli, a repedést megakadályozza.

SiC - WHISKER

5000×

\varnothing 0,1-10 μm
 L 5-50 μm
 ρ 3,9 g/cm³
 R_M 14000 N/mm²
 ACÉL 370 N/mm²

1.40. ábra SiC whisker [11]

Az alumíniumoxid kerámiákat elsősorban öntöttvasak nagy sebességű megmunkálására – esztergálás – alkalmazzák.

A nitrid kerámiák a 80-as évek elején jelentek meg. Az oxid kerámiánál szívósabb, jobb a hősokkállósága, melegszilárdsága, nagyobb a törési ellenállása. Kopásállósága kisebb, de bevonatolással növelhető.

A tiszta nitrid kerámia csak szinter segédanyagokat (Y_2O_3 , MgO, Al_2O_3) tartalmaz, melyek üvegfázist képezve, a nitrid tüket körülfogva tömör, pórusmentes szerkezetet képeznek.

A TiC, TiN, Hf adalékokkal a keménységet növelik.

A sialon ($\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{AlN}$) + (Y_2O_3) kerámia keménysége, kémiai ellenálló képessége és oxidációállósága nagyobb.

A kerámia anyagok tulajdonságait az alábbi 1.9. táblázat foglalja össze.

JELLEMZŐK			OXIDKERÁMIA		KEVERT KERÁMIA		SZALÉROSÍTÉS Ű OXIDKERÁMIA	SZILICIUM NITRID KERÁMIA			
			Al ₂ O ₃		Al ₂ O ₃		Al ₂ O ₃	Si ₃ N ₄	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiC
			+3,5% ZrO ₂	+15% ZrO ₂	+10% ZrO ₂	+30% Ti(CN)	+15% ZrO ₂				
Sűrűség	ρ	g/cm ³	4,0	4,2	4,1	4,3	3,7	3,3	3,9	6,1	4,9
Vickers keménység	-		1730	1750	1730	1930	1900	1750	2100	1300	3200
Hajlító-szilárdság	σ_{bb}	MPa	700	800	650	620	900	800	400	1200	-
Nyomó-szilárdság	σ_{aB}	MPa	5000	4700	4800	4800	-	-	5000	3000	-
E-Modul	E	GPa	380	410	390	400	390		410	240	320
Törési szívósság	KIc	MPa·m ^{1/2}	4,5	5,1	4,2	4,5	8,0	7,0	4	7	
Hővezető képesség	λ	W/mK	16,4	15	14,7	20	32		25	2	29
Hőtágulási együttható	α	10 ⁻⁶ K ⁻¹	8	8	8	8	-	3,4	8,3	10	7,4
Olvadáspont	t	°C	-	-	-	-	-	-	2050	2680	3140

1.9. táblázat kerámia élananyagok tulajdonságai [4]

A kerámiával való forgácsolásnak sajátosságai – belépés, fogásfelosztás stb. – vannak, melyeket figyelembe véve érhetünk csak el eredményeket.

1.3.5 Szuperkemény élananyagok

A szuperkemény élananyagok csoportját a

- természetes gyémánt,
- mesterséges gyémánt,
- köbös bornitrid

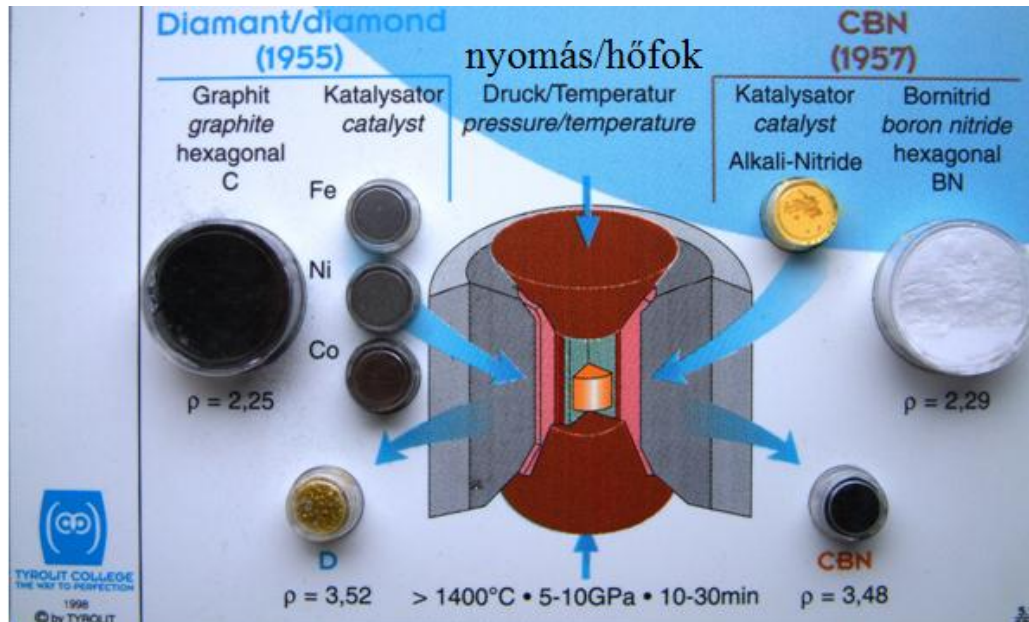
alkotják.

A gyémánt a legkeményebb ismert, természetben előforduló anyag, tiszta szén, melynek különleges tulajdonságát kristály szerkezete – köbös rácsrendszer, adja melyben a szén-atomok tetraéder formában kovalensen kötődnek. Nemcsak a keménysége, hővezető képessége is a legnagyobb.

A gyémánt lehet mono-, vagy polikristályos formájú.

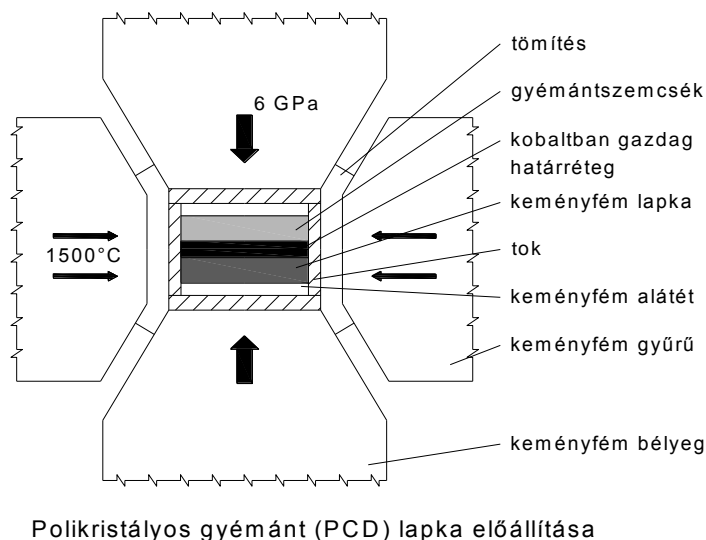
A természetes gyémántot monokristályos formájában használják forgácsolásra. A kristály tulajdonságai keménység, kopásállóság, irány függőek. A monokristályt a megfelelő irányba forrasztással rögzítik a szerszámba. Ott használják, ahol csorbulásmentes, igen éles élre ($r_g \sim 1 \mu\text{m}$) van szükség – ultra precíz forgácsolásnál ill. réz, alumínium tükrök megmunkálásánál.

Az első közlemény 1955-ben jelent meg a mesterséges gyémánt előállításról (General Electric), mely hexagonális grafitból kiindulva nagy nyomáson, magas hőmérsékleten katalizátorok segítségével történt.



1.41. ábra Polikristályos gyémánt és köbös bornitrid (cbn) előállítása [12]

A keletkezett monokristályokat (2-400 μm) osztályozzák, nagynyomású szintézissel polikristállá (kötőanyag Co) alakítják egy kobaltban gazdag kemény felületre felvíve.



1.42. ábra polikristályos gyémánt (pcd) lapka előállítása [4] [7]

A keményfémre felvitt PKD-ből nagyméretű korongot gyártanak, melyet megfelelő alakra darabolnak, és a lapka sarkába ill. szerszámtestbe forrasztanak.

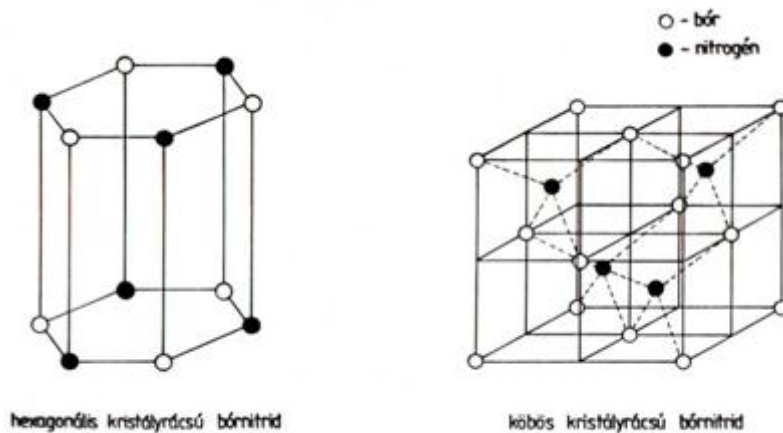
Alkalmazása nemvasfémek, Cu, Al nagy Si tartalommal, keményfém, grafit, szálerősítésű műanyagok és kompozitok nagyoló és simító megmunkálása.

CVD-bevonatolással készíthető vastag gyémánt réteg (0,5-1,8 mm), melyet az alapról leválasztanak, alakra darabolnak, lapkába forrasztanak.

CVD-vastag réteg tulajdonságai jobbak a PKD-nál, mivel kötőanyagot nem tartalmaz, tiszta gyémánt.

A köbös bórnitrid a gyémánt után a második legkeményebb anyag, mely a természetben nem fordul elő, mesterséges anyag. Nagy termikus stabilitású, igen jó hővezető.

A bórnitrid a grafithez hasonló hexagonális szerkezetű, melyből nagy nyomáson és hőmérsékleten lítiumnitrid katalizátor segítségével köbös kristály szerkezetet állítanak elő.



1.43. ábra köbös bórnitrid (cbn)

A keletkezett szemcséket (1-50 μm) válogatják, és egy második szintereléssel, kerámia kötőanyag hozzáadásával, különböző szemcse- és kötőanyag arányú PKB (CBN, BN)-t állítanak elő.

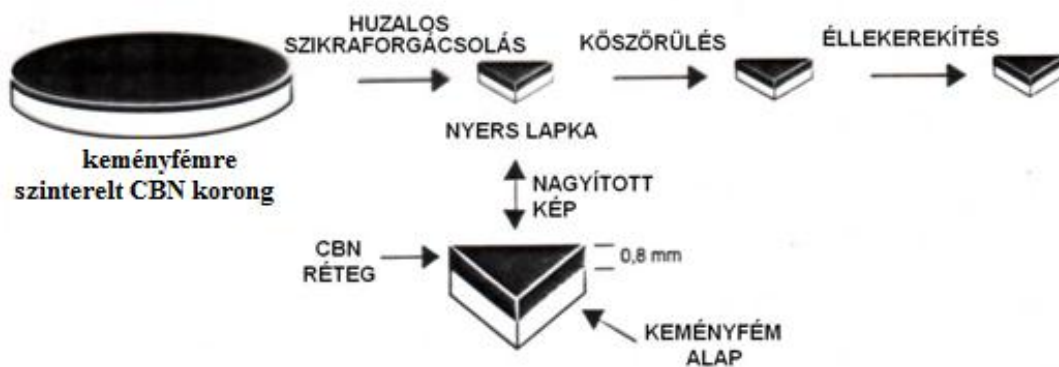
- nagy (80-90 %) CBN tartalmú (BH)
kötőanyag W-Co vagy Ti, Al kerámia
szemcse nagyság 5-10 μm
- kis (45-65 %) CBN tartalmú (BL)
kerámia kötőanyag TiC, TiN
finom szemcsés < 2 μm
jobb élmínőség – kemény, finom megmunkálásra alkalmazzák

A CBN szerszámokat edzett acél (HRC 55-68), gyors acél, szürkeöntvény, keményöntvény hőálló ötvözetek (Ni, Co bázisú) szinterfémek esztergálásánál, fúrásánál, marásánál alkalmazzák.

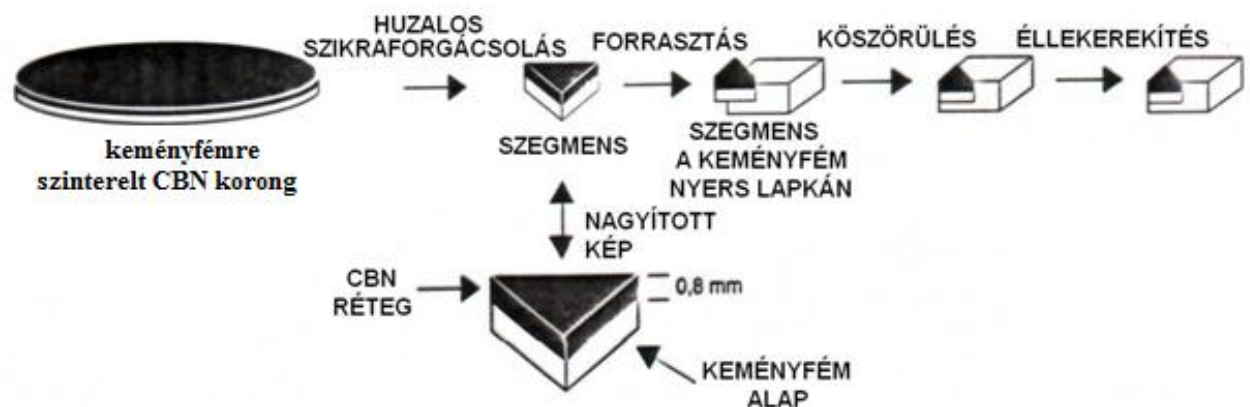
A nagy CBN tartalmút (BH) nagyolásra, előmunkálásra használják.

A CBN élananyagot váltólapka formájában használják, mely kialakítása lehet tömör, teljes réteges (full face), és a lapka sarkába forrasztott (ezüsttartalmú keményforasz). (1.44 ábra)

TELJES FELÜLETŰ RÉTEGES CBN VÁLTÓLAPKA
LF – CBN20/CBN10



FORRASZTOTT CBN SARKÚ VÁLTÓLAPKA
L0, L1, L2 – CBN20/CBN10



1.44. Ábra CBN váltólapkák különböző típusainak gyártása[13]

Nagyobb kopásállóságot biztosít a bevonatolt (pl. TiN) CBN élanyag, a bevonat a kötőfázist védi és jobb kopásérzékelést biztosít.

1.3.6 Forgácsoló anyagok csoportosítása

A munkadarab anyagokat az ISO forgácsolhatóságuk szerint, melyet

- kopás, éltartam,
- érdesség,
- forgácsoló erő,
- forgácsolási hő,
- forgács alakja, terjedelme alapján

határoznak meg foglalta csoportokba a szabvány, az egyes csoportokat betűvel és színnel jelölve.

Jelölés	Szín	Anyag
P	Kék	acél,acélöntvény,kivéve rozsdamentes aust. acélok
M	Sárga	rozsgamentes ausztenites,auszt/ferites acélok
K	Piros	szürkeöntvény, gömbgrafitos öntvény,temperöntvény
N	Zöld	Alumínium, nem vasfémek, nem fémes anyagok
S	Barna	Hőálló különleges ötvözetek, Ni,Co,Ti ötvözetek
H	Szürke	Edzett acél, edzett acél öntvény, kemény öntvények

1.10. táblázat Anyag csoportok

Ez a besorolás nem nyújt elegendő információt a forgácsoló szerszám élgeometriájának, élanyagának, a forgácsolási adatok meghatározásához, ezért az anyagcsoportokat alcsoportokra osztják gyártási eljárás(kovácsolt, hengerelt, öntött) hőkezeltégi állapot(lágy, nemsített, edzett) keménység, fajlagos forgácsolási erő szerint, megmunkálhatóságuk alapján (pl. COROMANT – CMC kód rendszere). [14]

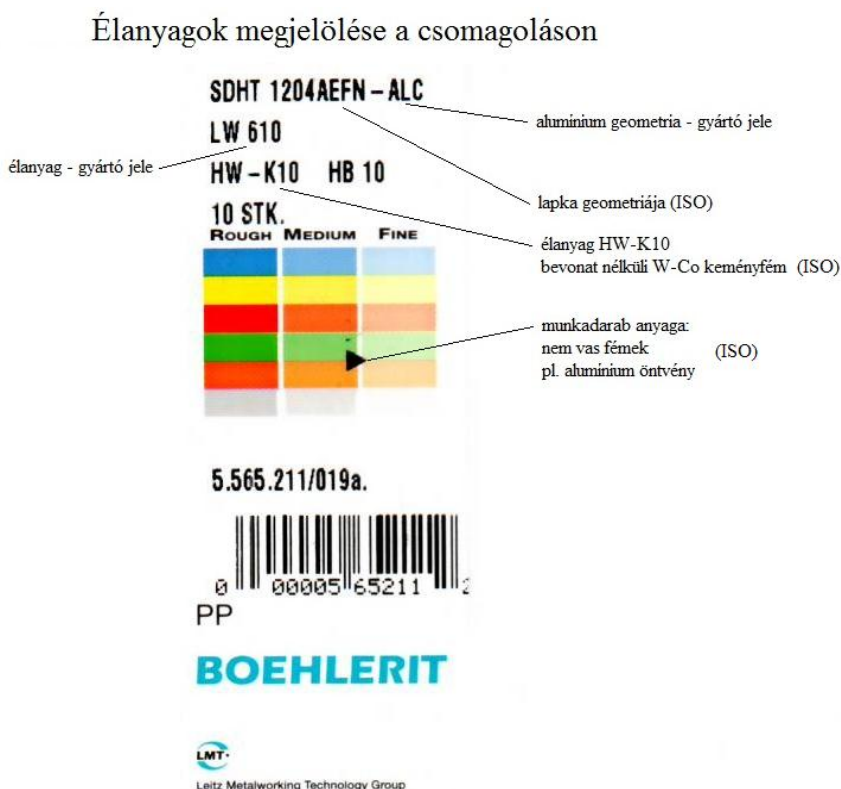
Az anyag csoportokhoz hozzárendelve az élanyagokat, az alkalmazás fő területeit jelölhetjük ki.

MUNKADARAB ANYAGA							
acél	erősen ötvözött acél	vasbányászati	szines- és könnyűfémek	és speciális anyagok	kemény anyagok		
P	M	K	N	0	H	ÉLANYAGOK	ISO 513 szerint
GYORSACÉL							
x	x	x	x	x		hagyományos	S 6-5-2
x	x	x	x	x		bevonatos	S 6-5-2-5
x	x	x	x	x		perkohéztali	HSS-TIN
x	x	x	x	x			HSS-PM
x	x	x	x	x			HSS-PM-TIN
KEMÉNYFÉM							
x	x	x			x	bevonat nélküli	HW-P01, HW-P40
	x	x					HW-M10
x		x	x		x		HW-K10, HW-K30
		x	x				HW-N10
x	x	x			x	bevonatos	HC-P10
x	x	x					HC-P35
x	x	x				cermet	HT-P01, HT-P20
ÉLKERÁMIÁK							
x		x			x	oxid	CA-K10
x		x			x	kevart	CM-K05
x	x	x			x	szálerősítésű	CM-S20
x		x				nitrid	CN-K20
BŐRNITRID							
x		x			x	kőbő-kristályos	BN-H05
GYÉMÁNT							
x		x				polikristályos	DP-N15

x = fő alkalmazási terület

1.11. táblázat Élanyagok jelölései és alkalmazási területei (ISO)

A szerszámgyártók katalógusaikban ezeket a jelöléseket használják, a lapkák dobozán is ennek megfelelő a lapka azonosítás. (1.45 ábrán)



1.45. ábra Élanyagok megnevezése a csomagoláson (BOEHLERIT)

Az élanyagok megoszlása tájékoztatásként Németországban 2008-ban

- gyorsacélok 30 %
- keményfém 50 % ebből bevonatos 35 %
- oxidkerámia 13 %
- DP + BN 3%
- cermet 4%
volt.

A HSS szerszámok csökkenő, a keményfém szerszámok növekvő tendenciát mutatnak, ezen belül növekszik a bevonatos szerszámok aránya, a gyémánt és CBN szerszámok alkalmazása nő.

1.4 Szerszám konstrukciók

A szerszámok készülhetnek általános felhasználásra és egyedi megmunkálási feladatra – speciál szerszámok.

A nagy gyártók készítenek félkész (taylor made) szerszámokat, melyeknek végső kialakítása a felhasználó speciális igényének megfelelően történik.

A szerszám tervezése során figyelembe kell venni

- a mechanika terhelést (forgácsoló erő)
- hőterhelést (surlódási-, alakítási hő, hűtés)
- a gyors cserélés lehetőségét, élek biztos pozicionálását

- sokoldalú alkalmazás lehetőségét
- a kopott alkatrészek egyszerű, gyors cseréjét
- a gyártás, üzemeltetés költségeit

A szerszámok kialakításukat tekintve

- tömör, monolit
- forrasztott
- szerelt

kivitelűek lehetnek.

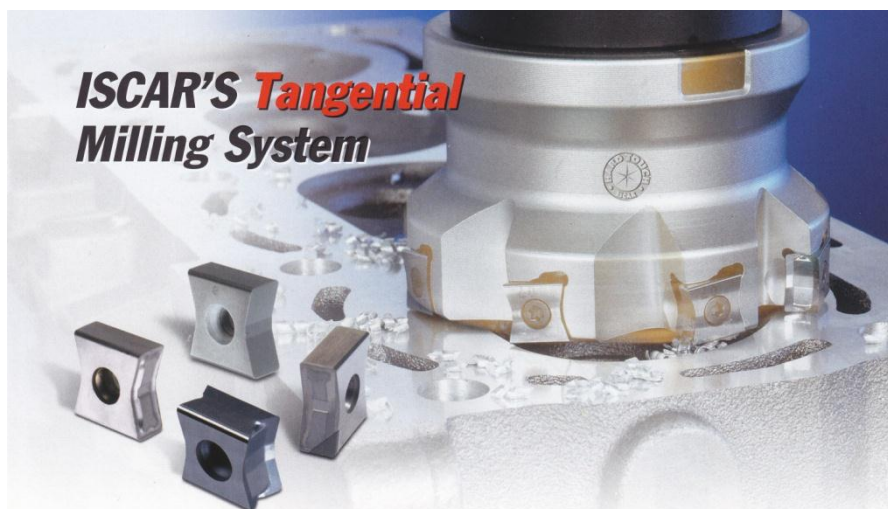
Tömör kialakítás esetén egy anyagból készül a szerszám él és felfogó rész, a szerszám szára (csigafűrők, szárasmarók). A tömör szerszámok gyoracélból (HSS) és keményfémből (HW,HT) készülnek.

A forrasztott szerszámoknál a szívós acélból készült szerszám testbe forrasztják be az élt, (éleket), mely általában lapka, de lehet spirál formájú is. Az él anyaga általában keményfém, de lehet gyémánt, kőbős bórmitrid.

A szerelt élű szerszámok általában váltólapkás kivitelűek, melynek nagy előnye a kopott él egyszerű és gyors cseréje a lapka megfordításával ill. cseréjével. Az él pozicionálási pontossága a lapka gyártási tűrésétől függ.

E szerszámok nagy előnye, hogy csak lapka ill. annak éle készül drága anyagból.

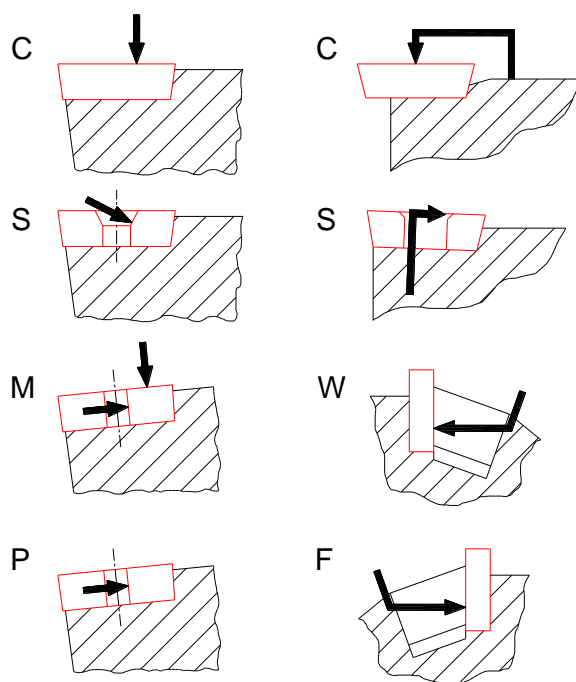
A lapkák elhelyezése maróknál lehet hagyományosan radiális vagy tangenciális, (1.46 ábra) mélyítő marók esetén a szerszám homlok felületén.



1.46. ábra Tangenciális lapka elhelyezés (ISCAR Tangmill) [15]

A lapkákat a befogásukra szolgáló fészekbe szorítjuk be, mely lehet közvetlenül a szerszámtestben vagy külön betétbe, a kazettába bemunkált. A szorítóerő iránya a fészekbe mutat és nem lehet ellentétes a forgácsoló erő irányával.

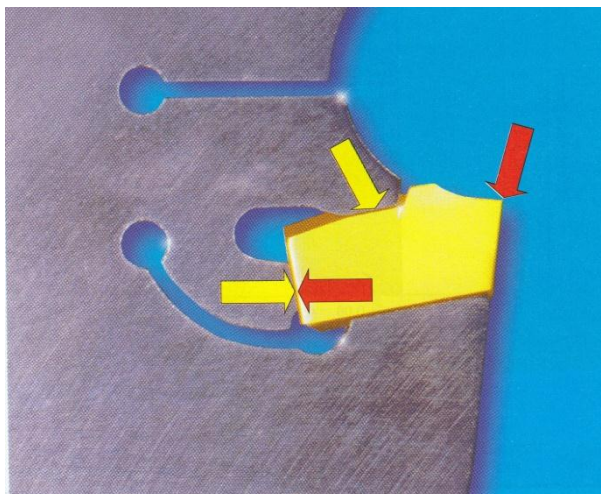
A lap rögzítési módok elvi megoldásait szabványos jelölésükkel a 1.47. ábrán láthatjuk eszterga és maró szerszámokra vonatkozóan.



1.47. ábra Lapka rögzítési módok

Maróknál a szorítás ék segítségével is történhet a lapka homlok ill. felfekvő felületés, (W,F). A forgács lefutása és helyszükséglet szempontjából a furaton való szorítás az optimális.

Különleges, de elterjedten alkalmazott szorítási megoldás az „önszorítás” melyet beszűrő késeknél, (1.48.ábra) tárcsamaróknál alkalmaznak



1.48. ábra Önszorítás beszűrőskés [16]

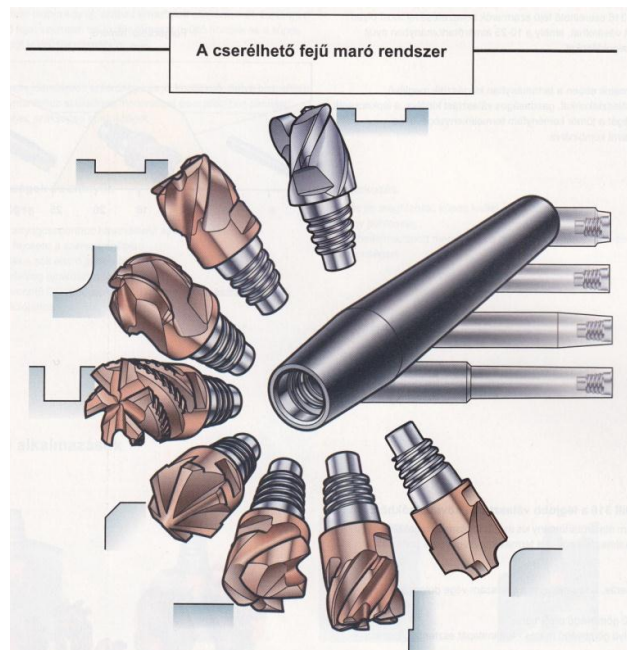
A forgácsoló erő növekedésével a szorító erő is növekszik.

Vannak olyan szerszám konstrukciók, melyeknél az élyanyagból- keményfém- készült tömör dolgozó rész cserélhető.

A 1.50 ábrán egy cserélhető fejű csigafűrő (SECO Crownloc) 1.51. ábrán szármaró (COROMANT COROMILL 316) [10] látható. A fej cserével a szerszám sok oldalúan, különböző forgácsolási feladatokhoz használható.



1.49. ábra Cserélhető fejű csigafúró
(SECO)



1.50. ábra Cserélhető fejű szármaró
(Coromant)

A cserélhető fejű szerszámok, a fej helyzet meghatározásában – központosításában – és a menesztés módjában különböznek egymástól.

A szerszám testek anyaga általában szívós acél. Nagy méretű, nagy fordulatszámon dolgozó homlokmaróknál (HSC) lényeges a szerszám tömege, ezért ezek könnyűfémről (Al, Mg) készülnek. Az erősen igénybevett részek pl. menetek, és kopó felületek (pl. ahol a forgács lefut) acélból készülnek.

A szerszámtesteket a lefutó forgács koptató hatása és sérülések ellen kemény bevonattal védik újabban (pl. Cr bevonat SECO).

A gép és szerszám megfelelő kapcsolatát a szerszám befogó része biztosítja. Álló szerszámok esetén ez nem jelent különösen problémát (pl. eszterga kés). Forgó szerszámok esetében biztosítani kell a szerszám futás pontosságát (központosítás) és a nyomaték átvitelét (menesztés).

A forgó szerszámok készülhetnek száras vagy feltűzhető kivitelben.

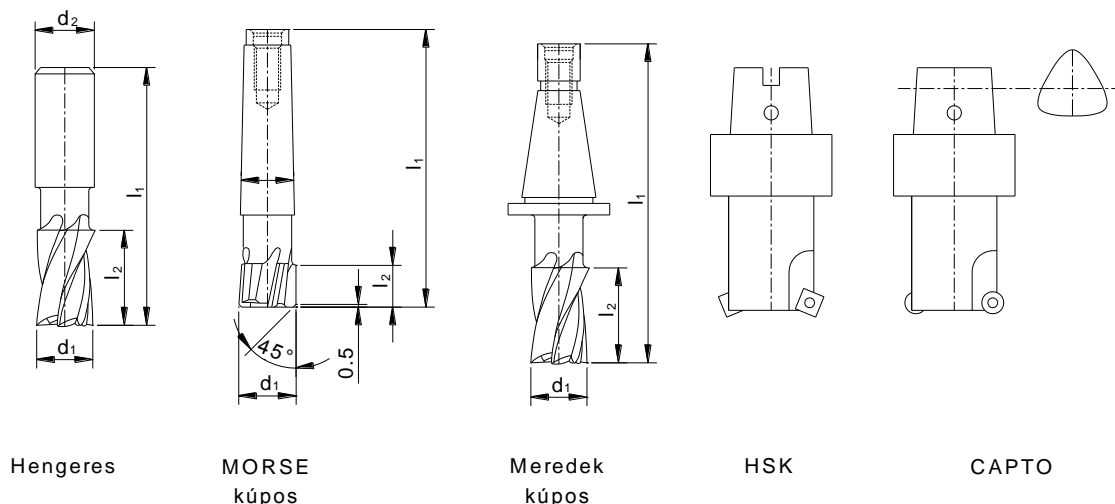
A szerszámok készülhetnek

- hengeres szárral, szerszámbe fogón keresztül csatlakoztathatók a géphez (fúrók, szármarók)
- morse kúpos
- meredek kúpos (ISO)
- rövid kúpos (HSK)
- kúpos poligon (Coromont CAPTO)

kialakítással, (1.51 ábra) mely biztosítja a központosítást közvetlenül vagy szerszám tartón keresztül csatlakoztathatók a géphez.

A szerszám szár ill. befogás kialakítása során figyelembe kell venni a szerszám cserelő- behúzó- (rögzítő) és a hűtő – kenő berendezés (pl. belső hűtés) sajátosságait.

A nagysebességű forgácsolás esetén biztosítani kell a szerszám kiegyensúlyozhatóságát is.



1.51. ábra Szerszám szár kialakítások

1.5 Forgácsképződés, forgácstörés

A szerszám főele – forgácsoló él – behatolva a munkadarabra anyagrészecskéket, forgácsokat választ le. Szívós anyag esetén a forgácsképződés egy képlékeny alakítási folyamat, mely az anyag szakadásával zárul. Rideg anyag esetén a behatoló szerszám képlékeny alakítás nélkül repesztéssel hozza létre a forgácsot.

A forgácsképződés különleges viszonyok között

- magas hőmérsékleten (700-1700 C°)
- nagy alakváltozási sebességgel (10^4 1/s)

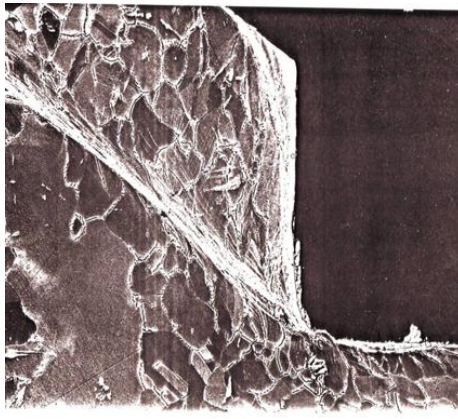
történi.

A forgácsképződés módjáról, a forgácstörésben történő képlékeny alakváltozásról, a nyírási sík helyzetéről a

- forgácsolás megszakítás
- nagy sebességű mikroszkópos felvételek (mikrokinematográfia)
- véges elemes szimuláció

módszerével végrehajtott vizsgálatok útján kapunk információkat, az egyszerűbb síkbeli viszonyok is a jó láthatóság végett szabad ortogonális forgácsolással végzett kísérletekkel.

A forgácsolás megszakítás során a szerszám és munkadarab megmunkálás közben való nagy sebességű szétválasztása történik, mely megvalósítható szerszám ill. munkadarab oldalról. A megszakítással a forgácsképződés – képlékeny alakítás – egy pillanatát tudjuk kimelevíteni, rögzíteni és a forgácstörés csiszolatán elemezni. (1.52, 1.53 ábrák.)



1.52. ábra Forgácstű csiszolat $\gamma=0$ [4]



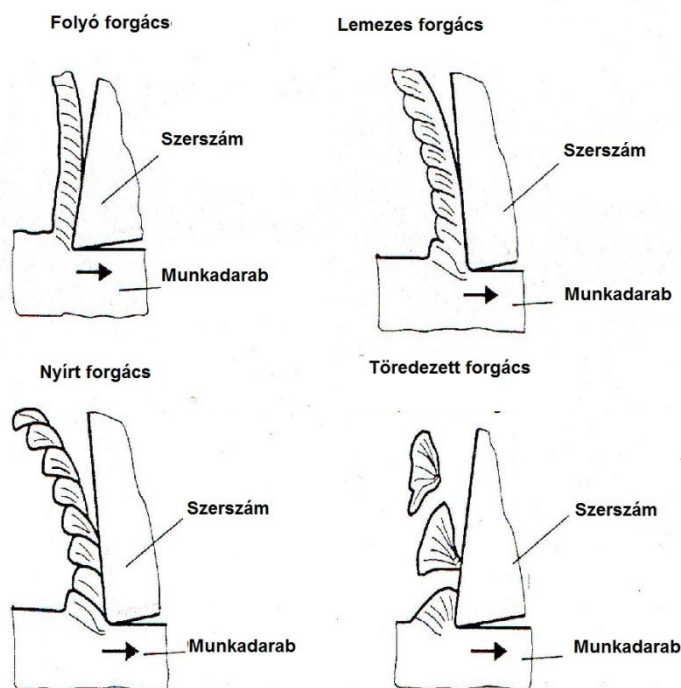
1.53. ábra Forgácstű csiszolat $\gamma \neq 0$ [4]

Forgácsképződés

A forgácsképződés módja szerint négy esetet

- folyó
- lemezes
- nyírt
- töredezett

a forgács keletkezését különböztetjük meg.



1.54. ábra A forgács képződés módjai

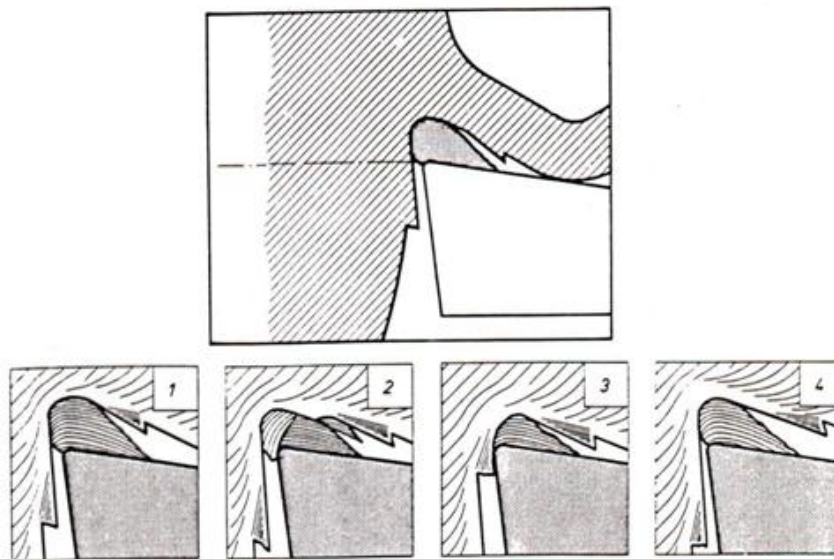
Folyóforgács képződés – forgács kialakulása folyamatos, a forgács egyenletes sebességgel fut le a homlok felületén. Egyenletesen finom szemcséjű, képlékenyen jól alakítható anyagoknál nagy sebesség, kis forgács vastagság esetén keletkezik pozitív homlok szög, kis homlok súrlódás mellett.

Lemezesforgács képződés – egyenletes, de periódikus a forgácsképződési folyamat. Alakváltozás ingadozás jön létre az egyenetlen szövet szerkezet, ill. rezgés miatti forgács vastagság változásból. A forgács hátoldalán a lemezes szerkezet felismerhető. Jól alakítható, nagy szilárdságú anyagok nagy sebességű forgácsolásánál fordul elő. A forgács hátoldalán jól látható a lemezes szerkezet, homlok oldalán nem, ott sima a felület a megfolyás miatt.

Nyírtforgács képződés – nem folyamatos a leválás. A nyírás során levált forgács elemek újra összehegednek, a forgács homlok oldalán is látható a nyírt, lemezes szerkezet, a forgács könnyen eltörhető. Kis forgácsolási sebesség ($v = 1 - 3$ m/perc) nagy forgács vastagság, negatív homlok szög esetén fordul elő.

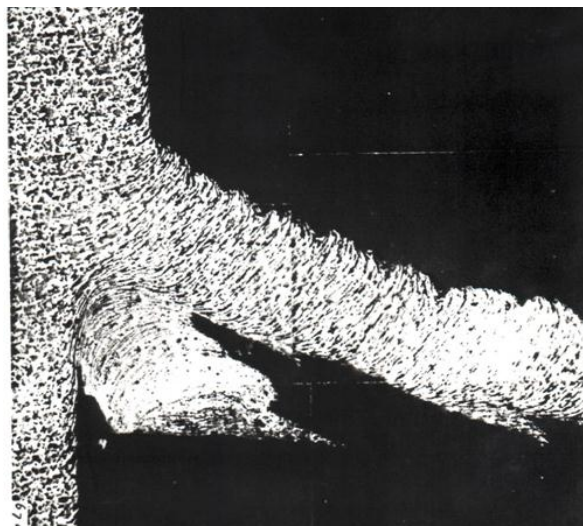
Töredezettforgács képződés – rideg anyagoknál nem egyenletes szövet szerkezet esetén fordul elő. A forgács képlékeny alakítás nélkül repedés mentén letörik, kitorpedezéseket hagyva a forgácsolt felületen is. Képlékenyen csak kismértékben alakítható anyagoknál jelentkezik.

Élratét - folyó forgács, alacsony forgácsolási sebesség és hőfok, hideg hegedésre hajlamos anyag forgácsolása esetén képződik az élratét, élsisak. (1.55 ábra)



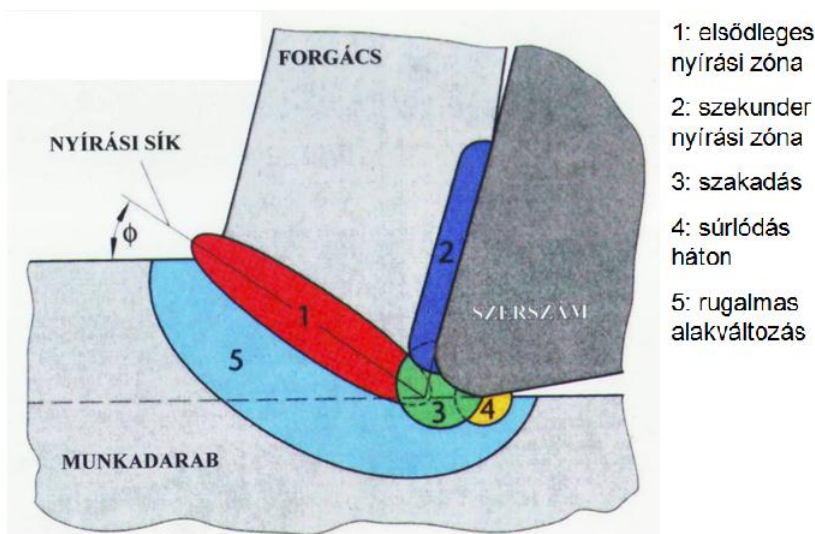
1.55. ábra Élrátét keletkezése [4]

A munkadarab részecskéi felhegednek a szerszám homlok felületére az él mentén egyre növekvő mértékben megváltoztatva az él geometriáját, pozitív jelleget erősítve. Az élrátét erősen deformálódott anyagrész és ezért keményebb, mint a munkadarab anyaga. Az erő növekedésével az élrátét leválik, magával ragadva a szerszám részecskéit – adhéziós kopás. A leváló élrátét a munkadarabra felhegedve növeli annak érdességét. A sebességet növelve az élrátét keletkezése megszüntethető. Az ábrán (1.56. ábra) egy élrátétes forgácstő csiszolat látható.



1.56. ábra Élrátét mikroszkopi képe [4]

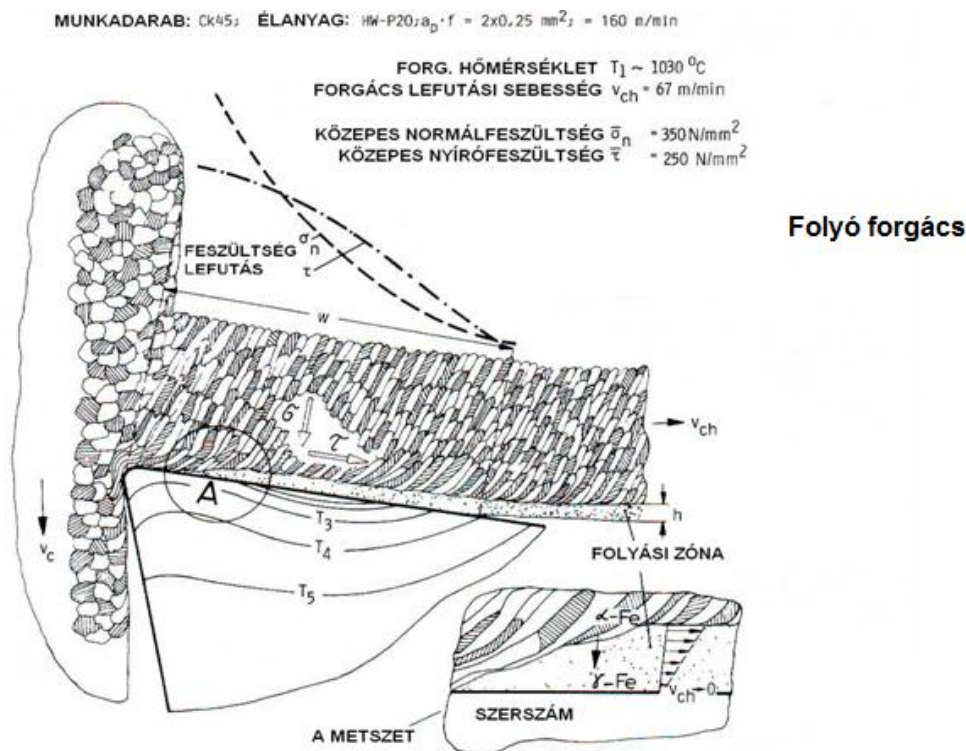
A forgácsképződés folyamatát szemlélteti a (1.57 ábra), mely a forgácstőben végbemenő folyamatot mutatja be.



1.57. ábra Forgácsképződés [7]

A behatoló szerszám rugalmas alakváltozást (5) hoz létre, tovább haladva a feszültség növekszik, elérve a nyírási határt az elsődleges nyírási zónában (1) megindul a nyírás, elcsúsznak az anyagrétegek egymáson a nyírási síkban, majd bekövetkezik a szakadás (3), létrejön a forgács, a homlok lapon való lefutás során a szekunder nyírási zónában megfolyik. A 4 zónában a szerszám súrlódik a munkadarabbal.

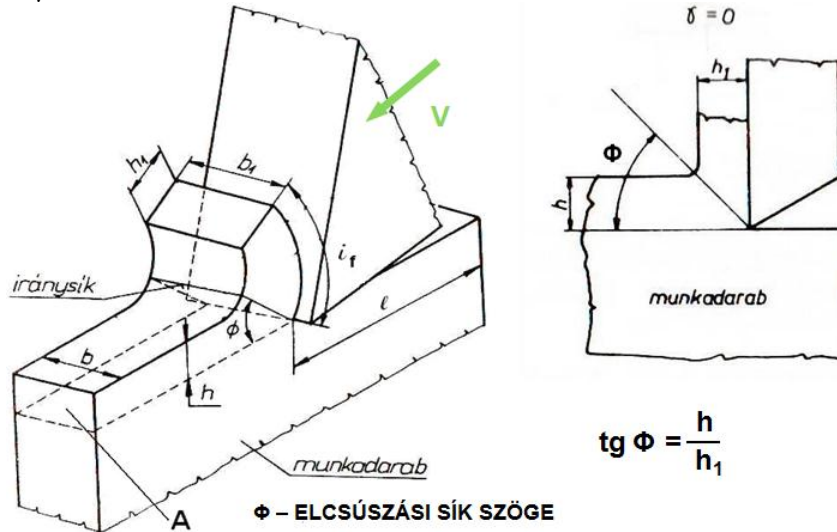
A 1.58 ábrán látható forgácstő csiszolat azt is szemlélteti, hogy a forgács képződés során az anyag szerkezete is megváltozik. [2]



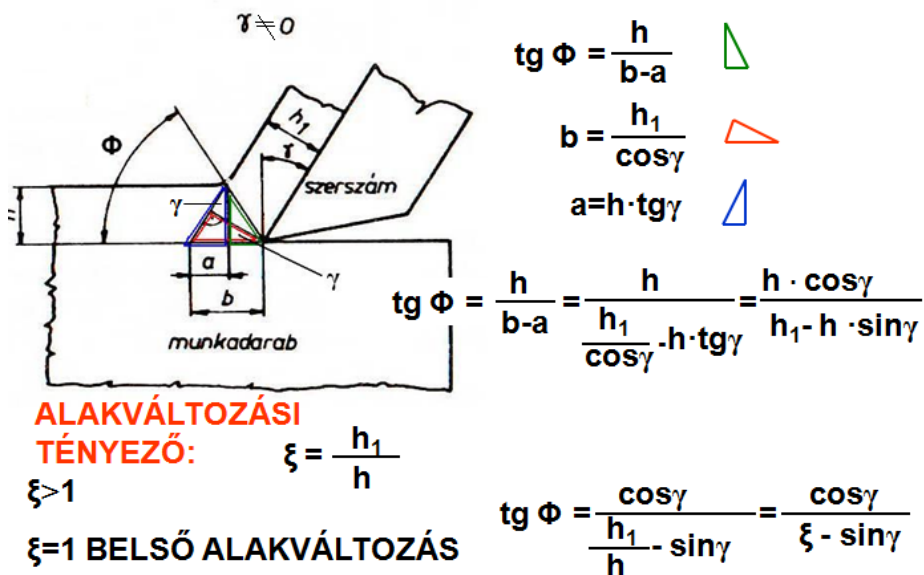
1.58. ábra Forgácstő csiszolat [4]

A forgácsképződés módját az elcsúszási sík (nyírási sík, irány sík) helyzetét megadó Φ szöggel jellemezhetjük.

Az egyszerűsége miatt szabad forgácsolás esetén határozzuk meg a Φ – szöget $\gamma = 0$ esetére. (1.59 ábrán) és $\gamma \neq 0$ esetén az 1.60 ábrán látható módon.



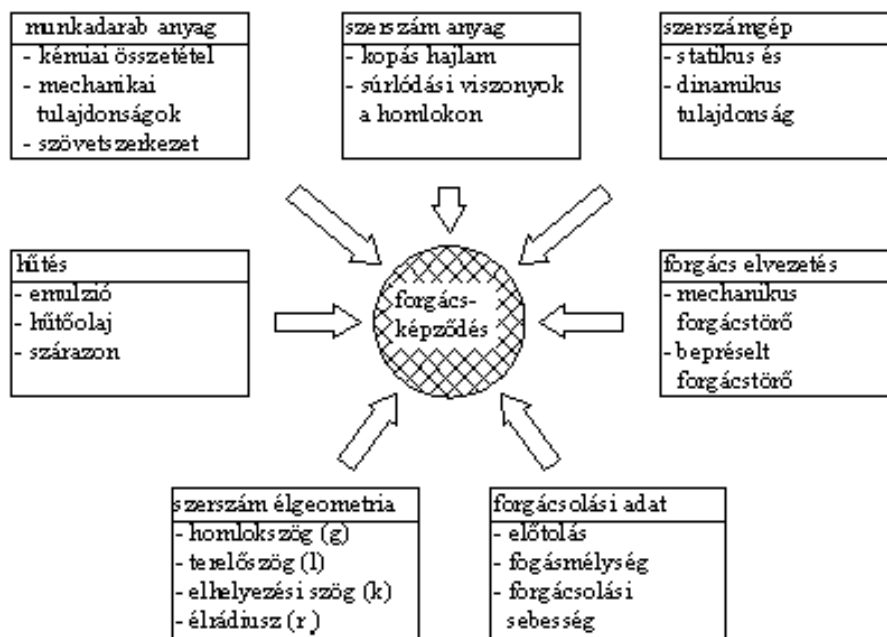
1.59. ábra Elcsúszási - irány sík $\gamma = 0$ esetén



1.60. ábra Elcsúszási sík szögének meghatározása $\gamma > 0$ esetén

A forgács tömörödés következtében az alakváltozási tényező $\xi > 1$, ha csak belső alakváltozás van $\xi = 1$. Kis nyírási szög esetén töredezett, nagy szög esetén folytonos a forgácsképződés.

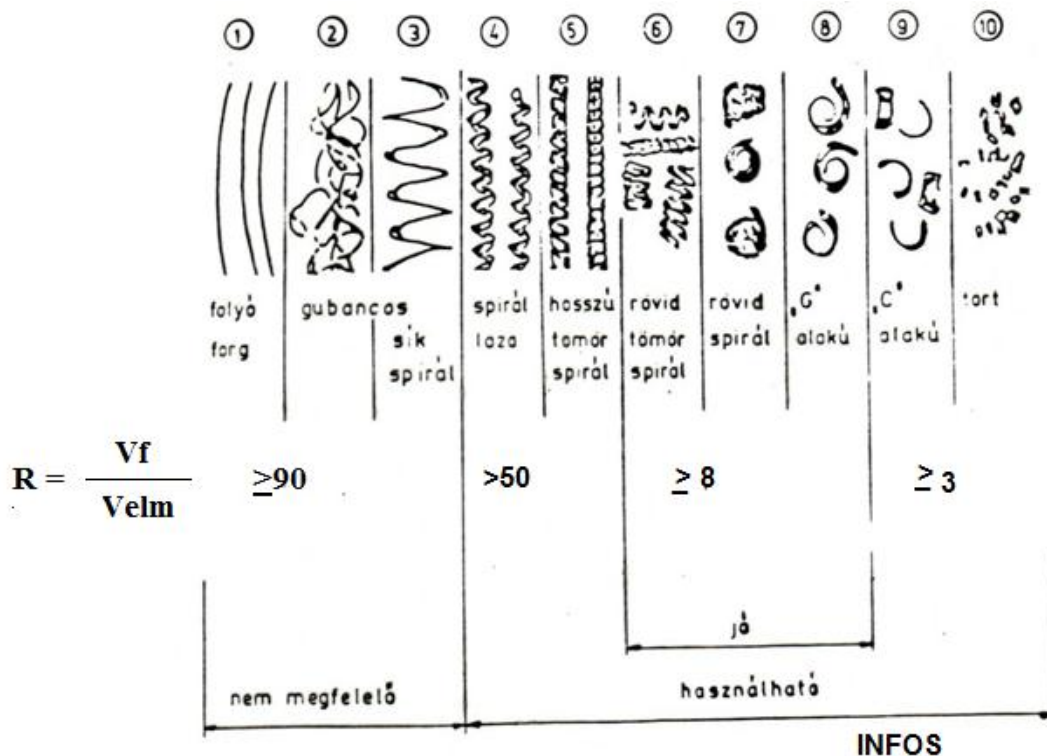
A forgácsképződést befolyásoló tényezőket a 1.61 ábrán foglaltuk össze.



A forgácsképződést befolyásoló tényezők

1.61. ábra A forgácsképződést befolyásoló tényezők

A leggyakrabban előforduló forgácsalakokat az 1.62 szemlélteti, a szabvány (MSZ 3904-82) szélesebb választékot ad meg, a szabvány alapján kódolni lehet nemcsak a forgács alakját, hanem a forgácsleválás irányát és a törés helyét is.



1.62. ábra forgács alakok [18]

A forgács alakokat

- kezelhetőségük
- balesetveszélyességük

alapján osztályozzuk, jó használható és nem megfelelő csoportokat képezve. Zárt munkatér esetén a „C” alakú és tört forgács is a „jó” csoportba tartozik.

A forgács fontos jellemzője a térkitöltési tényező, mely megmutatja, hogy a leválasztott forgács térfogánya hányszorosa az elméleti forgács térfogatnak

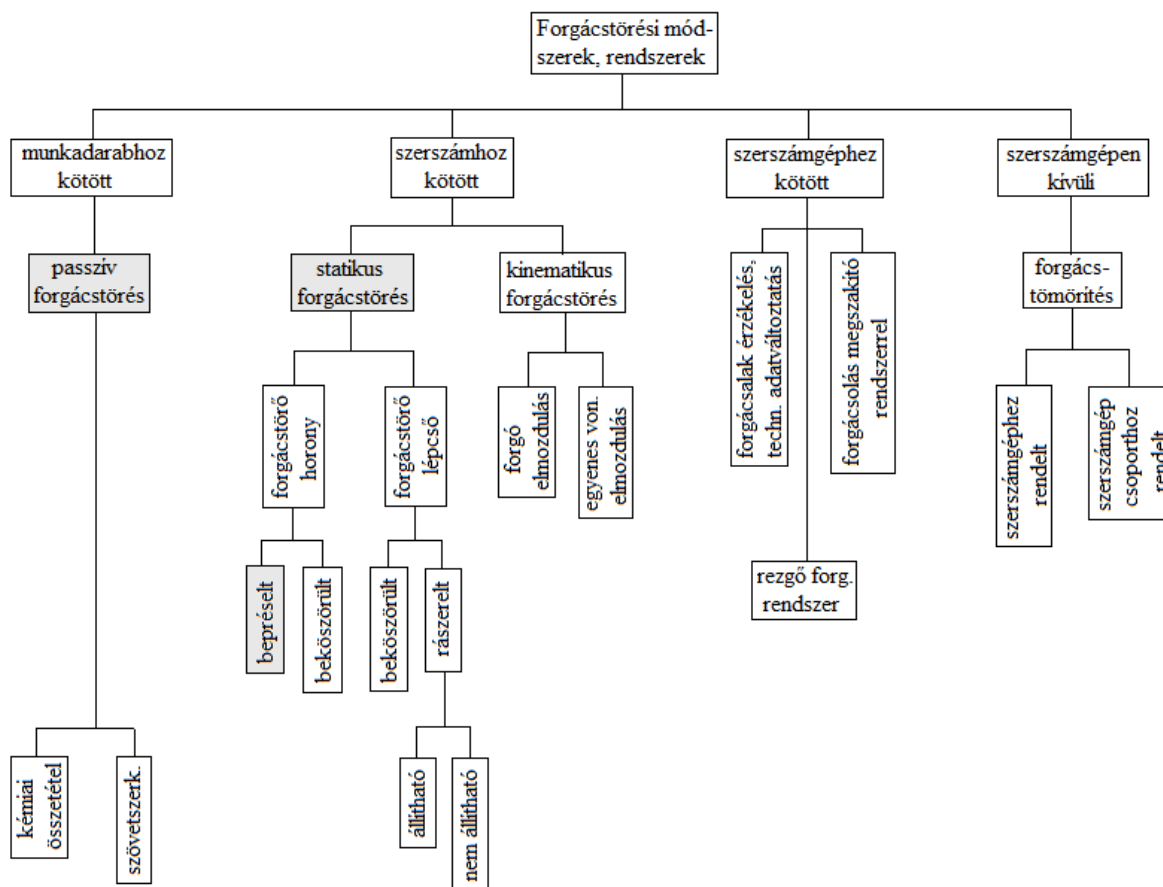
$$R = \frac{V_{forg}}{V_{elm}}$$

A gép munkaterének, forgácsszállító kapacitásnak, szerszám forgács terének számításához fontos a térkitöltési tényező ismerete.

A munkadarab anyagokat két nagy csoportba sorolhatjuk

- rövid forgácsot adó, rideg (öntöttvas, réz, nagy Si tartalmú alumínium stb. „K” anyag csoport
- hosszú forgácsot adó anyagok „P” és „M” csoport, melyeknél külön gondoskodni kell a forgácstörésről.

A forgácstörés lehetséges módszereit a 1.63 ábrán foglaltuk össze.

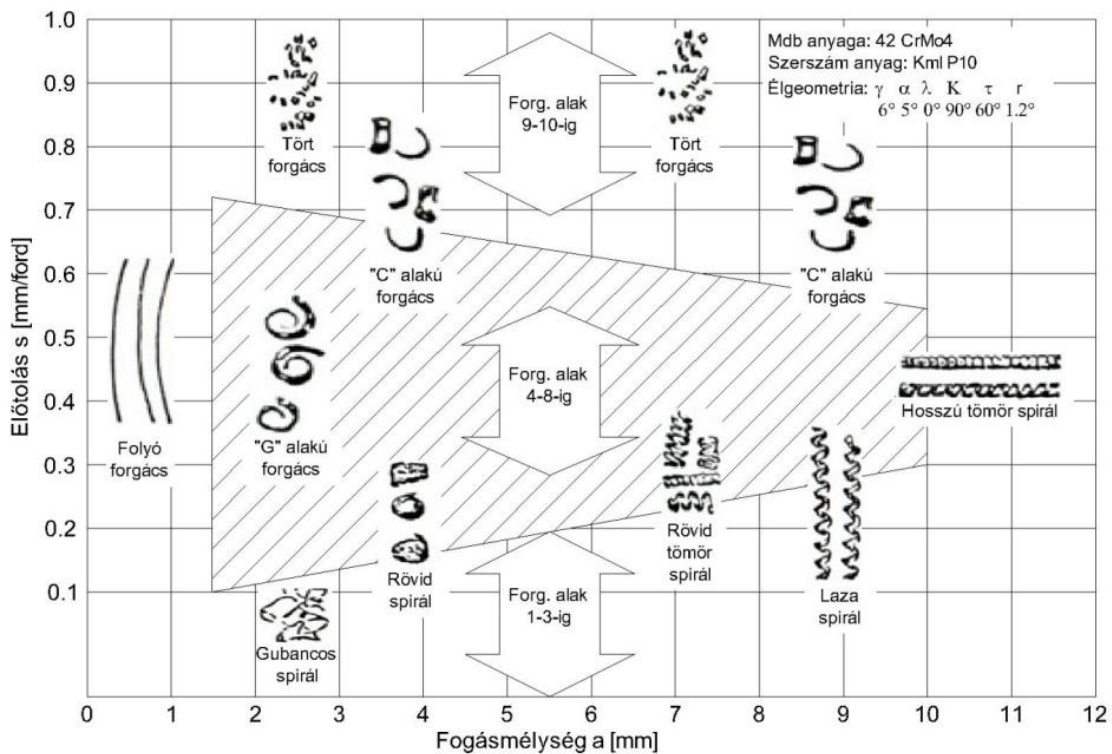


1.63. ábra Forgácstörés módszerei

A munkadarabhoz kötötten, passzív úton kén és foszfor ötvöztetésével (automata acélok) biztosítják a forgácstörést.

Szerszámhoz kötötten ma a leggyakrabban a bepréselt forgácstörőt alkalmazzák. A forgácstörő alkalmazhatósági tartományáról – ahol jól használható forgács keletkezik – a „forgácstörési diagram” ad felvilágosítást. Ennek kísérleti úton történő felvételét szemlélteti a 1.64 ábra.

Forgácstörési diagram

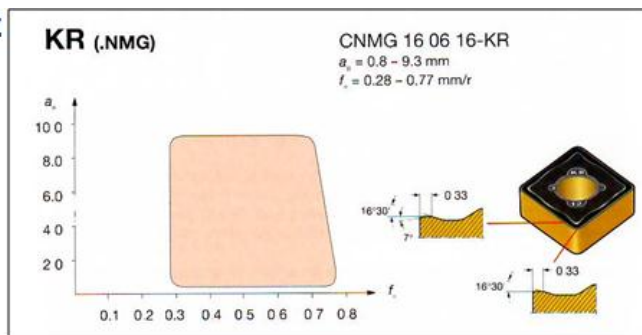


1.64. ábra forgácstörési diagram [18]

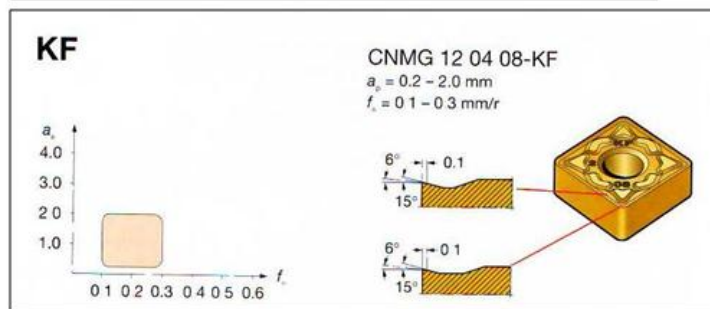
Adott munkadarab – élyanyag, élgeometria, forgácstörő geometria kombinációhoz az előtolás – forgásmélység síkon adott pontokban forgácsolva rögzítik a forgács alakját, majd lehatárolják az alkalmazható területet.

Az 1.65 ábra a gyakorlatban, szerszámkatalógusokban használt forgácstörési diagramot mutatja be nagyoló és simító geometria esetén.

NAGYOLÓ LAPKÁHOZ

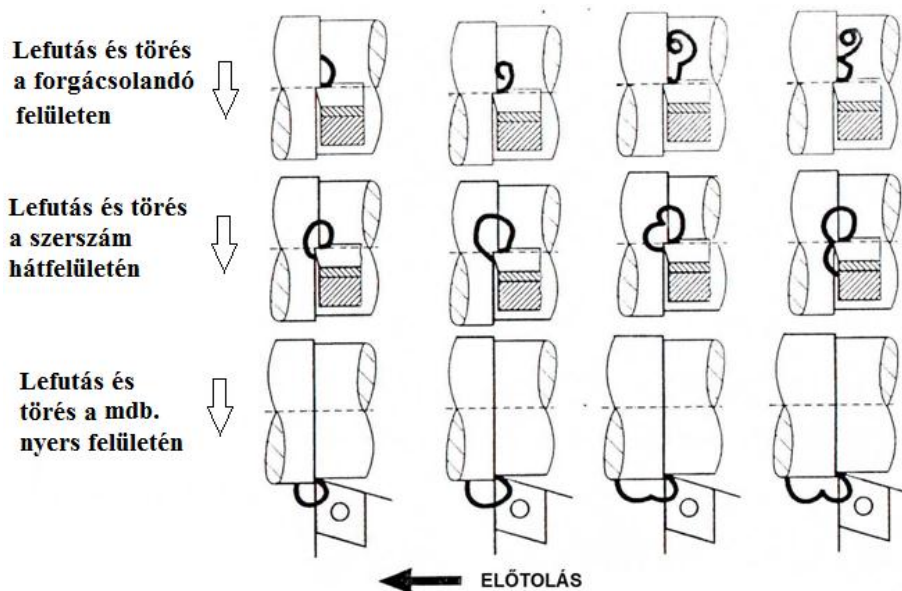


SIMÍTÓ LAPKÁHOZ



1.65. ábra forgácstörési diagram [14]

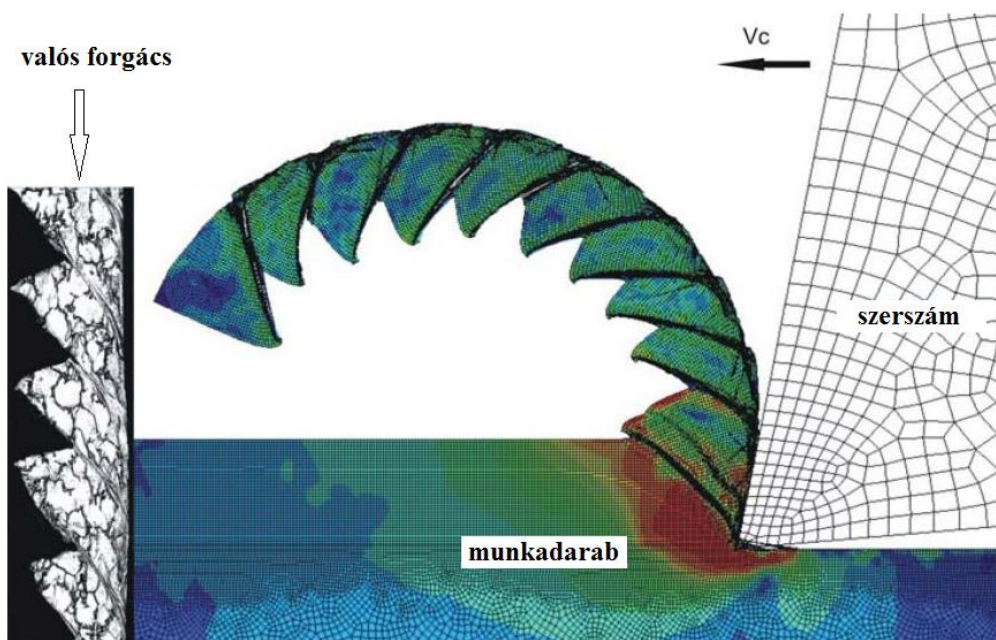
Az 1.66 ábra forgácstörés különböző eseteit mutatjuk be. A lefutó forgács a munkadarab vagy szerszám felületére felütkezve megtámaszkodik, mivel nem tud tovább haladni, be-feszül és eltörik. A szerszám hátoldalán, esetleg élén kiverődéseket okozhat a forgács.



1.66. ábra Forgács lefutás és törés esetei [7]

A váltó lapka homlok felületén kialakított hornyokkal, kiemelkedésekkel a forgácson bordákat hozhatunk létre, melyek növelik a forgács merevségét, elősegítve annak törését.

Az 1.67 ábrán nyírt forgácsképződés számítógépes szimulációja látható.



1.67. ábra Forgácsképződés számítógépes szimulációja [19]

1.6 Forgácsolóerő, nyomaték, teljesítmény

A forgácsolás legfontosabb folyamat jellemzője a forgácsolóerő.

Forgácsoló teljesítmény ill. erő szükséges a forgács leválasztásához - forgácstő alakváltozásához – a szerszám homloklapjának a forgáccsal, hátlapjának a munkadarabbal való súrlódásának legyőzéséhez.

A forgácsolóerő ismeretére a szerszámok, készülékek, gépek igénybevételének meghatározására és a forgácsolási folyamat teljesítmény igényének számításához van szükség.

Az 1.68 ábrán látható szabad (ortogonális) forgácsolásnál a szerszámra ható

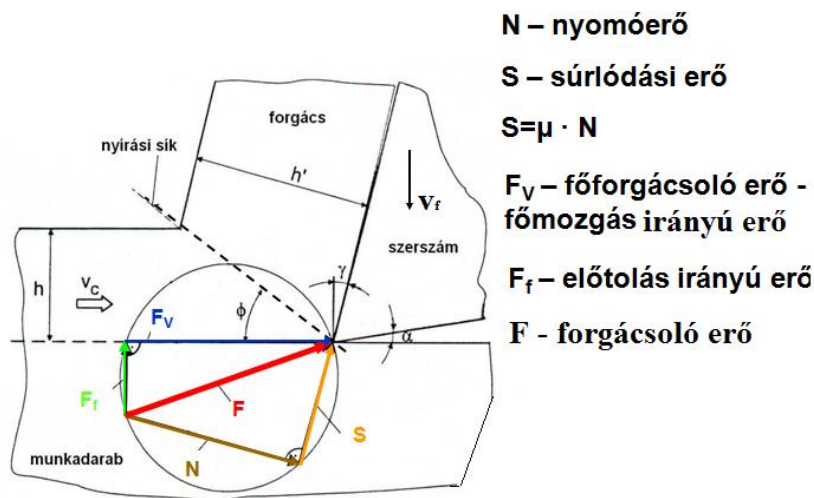
F - forgácsolóerő és annak összetevői

F_v - főforgácsolóerő, mely a forgácsoló főmozgás v – forgácsolási sebessége irányába esik

F_t - előtolás irányú erő, mely az előtolás irányába esik

S - a homloklapon ébredő súrlódóerő

N - nyomóerő, mely merőleges a homloklapra



N – nyomóerő

S – súrlódási erő

$S = \mu \cdot N$

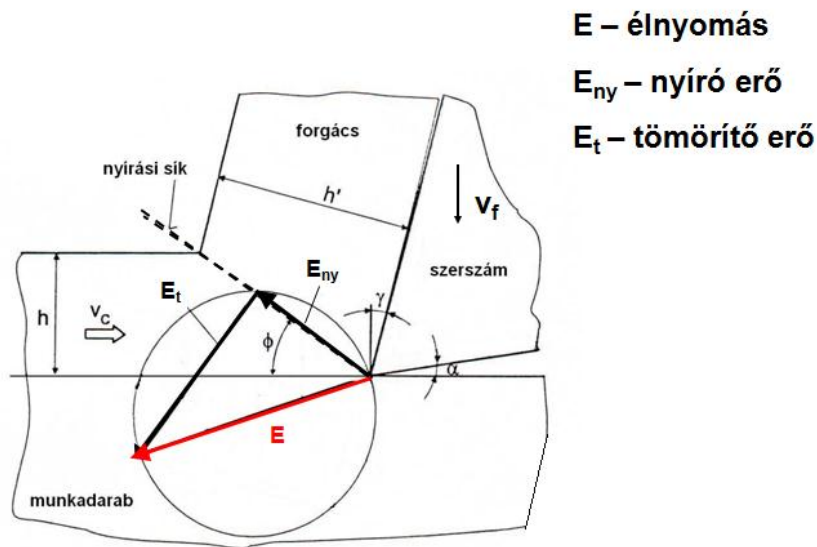
F_v – főforgácsoló erő -
főmozgás irányú erő

F_t – előtolás irányú erő

F - forgácsoló erő

1.68. ábra Forgácsolóerő és összetevői szabadforgácsolás esetén

A forgácsolóerő reakcióereje a munkadarabra ható \dot{E} – élnyomás, melynek nagysága azonos, de iránya ellentétes a forgácslóerővel (1.69 ábra).



1.69. ábra Élnyomás és összetevői

Az élnyomás felbontható összetevőire
 E_{ny} – nyíróerő, mely a forgács leválaszt biztosítja
 E_t – tömörítőerő, mely a forgács tömörítést végzi

A 1.70 ábrán a forgácsolóerő és komponensei láthatók, kötött forgácsolás, esztergálás esetén.

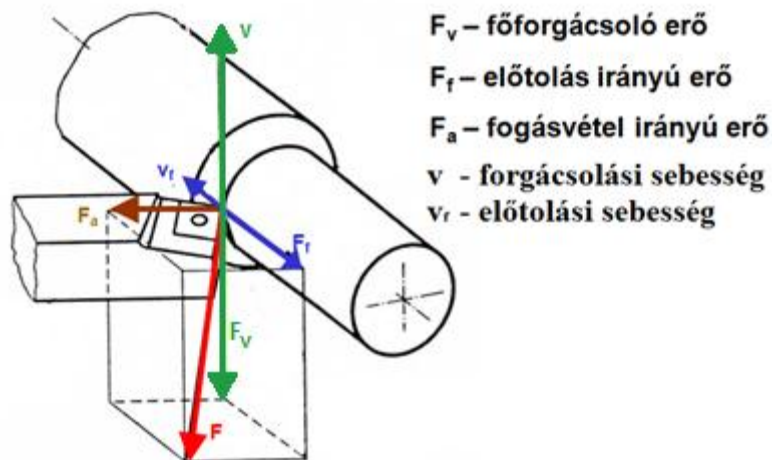
A térbeli F forgácsolóerőt felbonthatjuk

F_v - fő forgácsoló

F_f - előtolásirányú

F_a - fogásvétel irányú (passzív) összetevőkre.

Az egyes komponensek egymáshoz viszonyított aránya döntően az elhelyezési szögtől függ, általában $F_v \gg F_f > F_a$, mely csak konkrét körülményekre számszerűsíthető.



1.70. ábra Forgácsolóerő és összetevői esztergálásnál

A forgácsolóerőt befolyásoló tényezők:

- munkadarab

anyagösszetétele

mechanikai jellemzői (szívósság, szilárdság)

hőkezeltségi állapota (szövetszerkezet)

- szerszám

élanyaga, bevonat

élgeometria

homlokl felület érdessége

- technológiai adatok

forgács keresztmetszet (előtolás, fogásmélység)

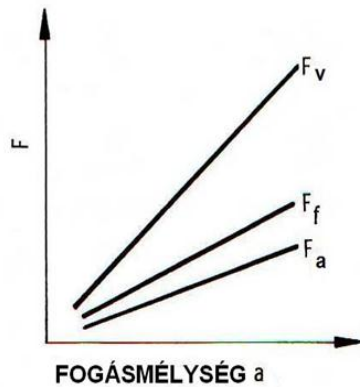
forgácsolósi sebesség

hűtés, kenés

-szerszám gép statikus, dinamikus merevsége

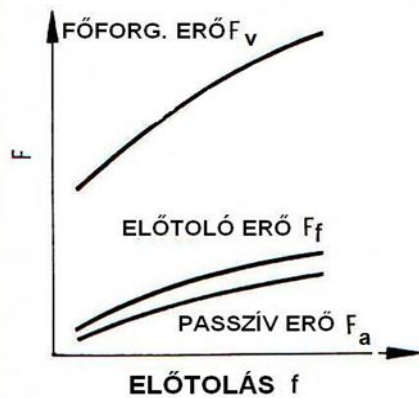
A munkadarab anyagösszetétele, hőkezeltségi állapota, szövetszerkezete, fizikai mechanikai jellemzői együttesen befolyásolják a forgácsoló erőt, mely hatást a fajlagos forgácsolóerő fejez ki.

A forgácsolóerőt befolyásoló tényezők hatása a következő elvi ábrákon látható:

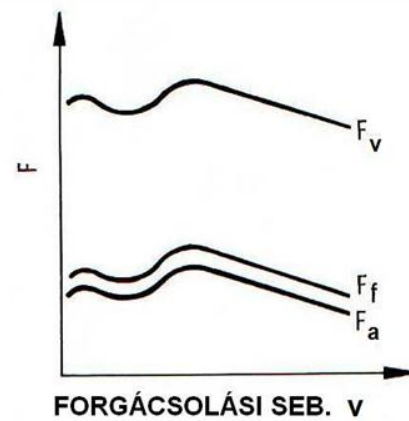


A fogásmélységgel lineárisan nő a forgácsolóerő, mert nő a forgács szélesség (b), fogásban lévő élhossz, nyírási sík területe

1.71. ábra A fogásmélység változás hatása az erőre [20]



1.73. ábra Előtolás változás hatása az erőre [20]



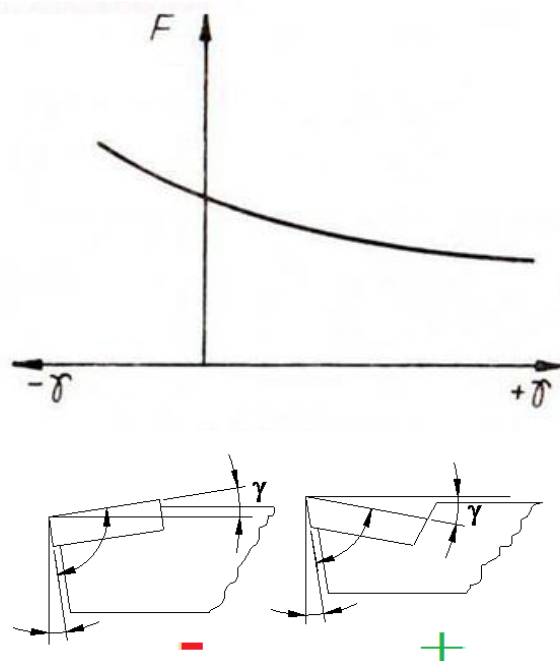
1.72. ábra Forgácsolási sebesség változás hatása az erőre [20]

A forgácsolási sebesség hatása az erőre az alacsony tartományban hullámzó az élrátét képződés miatt. Nagyobb sebesség tartományban a magasabb forgácsolási hőfok miatt növekszik az anyag forgácsolhatósága, csökken az erő.

A hűtés-kenés a súrlódási tényező csökkentésén keresztül hat a forgácsoló erőre.

A szerszám élanysága és bevonata a súrlódási tényezőn keresztül befolyásolja az erőt, elsősorban a bevonatnak van jelentős hatása.

A szerszám geometria döntően befolyásolja a forgácsolóerőt.

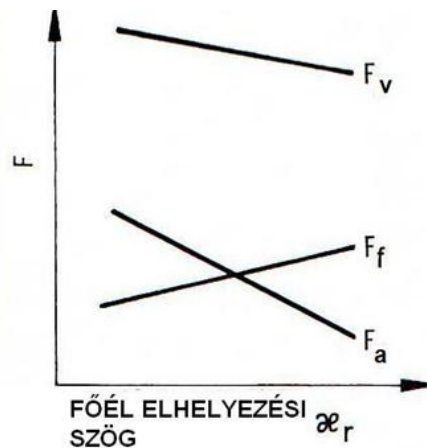


1.74. ábra A Homlokszög változásának hatása az erőre

A homlokszög értéke befolyásolja az ékhatást, pozitív γ -nál a nagyobb ékhatás kisebb az erőt eredményez.

A hátszög $3^\circ < \alpha \leq 12^\circ$ tartományban elhanyagolható befolyással bír az erőre.

Az elhelyezési szög növelésével a nyírt terület csökken, a fő forgácsoló erő csökken, az erő komponensek aránya megváltozik.



1.75. ábra az elhelyezkedési szög hatása az erőre [20]

Mint az 1.12 táblázatból látható a terelőszög (λ) változása az előtolásirányú ill. fogásvétel irányú erő összetevőket befolyásolja jelentős mértékben.

BEFOLYÁSOLÓ HATÁS	A FORGÁCSOLÁSI ERŐ ÖSSZETEVŐINEK VÁLTOZÁSA FOKONKÉNT		
	FŐFORG. ERŐ F_v	ELŐTOLÓ E. F_f	PASSZÍV E. F_a
↓ HOMLOKSZÖG ↓ TERELŐSZÖG CSÖKK.	↑ 1,5 %	↑ 5,0 %	↑ 4,0 %
	↑ 1,5 %	↑ 1,5 %	↑ 10,0 %
↑ HOMLOKSZÖG ↑ TERELŐSZÖG NÖVEKVŐ	↓ 1,5 %	↓ 5,0 %	↓ 4,0 %
	↓ 1,5 %	↓ 1,5 %	↓ 10,0 %

1.12. táblázat a homlok – és terelőszög egy foknyi változásának hatása ez erőkire [4]

A csúcs sugár (r_ϵ) növelése esetén szélesebb, vékonyabb a forgács, nagyobb a fogásban lévő élhossz, lineárisan nő az erő.

A forgácsolóerő számítása történhet

- tapasztalati összefüggések
- elméleti képletek alapján.

A kísérletek alapján kialakított tapasztalati összefüggések kielégítő pontosságát a gyakorlati alkalmazás igazolta, az első ilyen képletet Taylor dolgozta ki. [21]

A hazai gyakorlatban az úgynevezett kitevős erőegyenlet terjedt el, mely szerint a főforgácsolóerő:

$$F_v = c_v \cdot f^{x_F} \cdot a^{y_F} \cdot \prod K_i$$

ahol

C^f – állandó, anyagjellemző, b – forgács szélessége, h – forgács vastagság

x_f, y_f – kitevők

$K_{\text{össz}}$ – korrekciótényezők (K_γ – homlokszög, K_κ – elhelyezési szög, K_δ – kopás...korrekció) összessége

Az összefüggés alkalmazásához szükséges naprakész adatbázis ma már nem áll rendelkezésre, ezért nem alkalmazzák.

Jelenleg széles körben a Kienzle-Victor féle, fajlagos forgácsolóerőn alapuló összefüggést használják:

$$F_v = k_s \cdot A \quad [N] \qquad k_s = \frac{F}{A} \quad [N/mm^2] \qquad k_s \text{ – fajlagos forgácsolóerő}$$

A – forgácskeresztmetszet (mm^2)

$$b = \frac{a}{\sin \kappa} \qquad A = b \cdot h = a \cdot f$$

$$h = f \cdot \sin \kappa$$

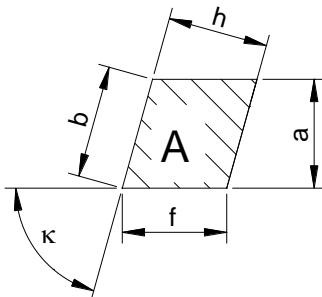
a – fogásmélység

f – előtolás

b – forgács szélesség

h – forgács vastagság

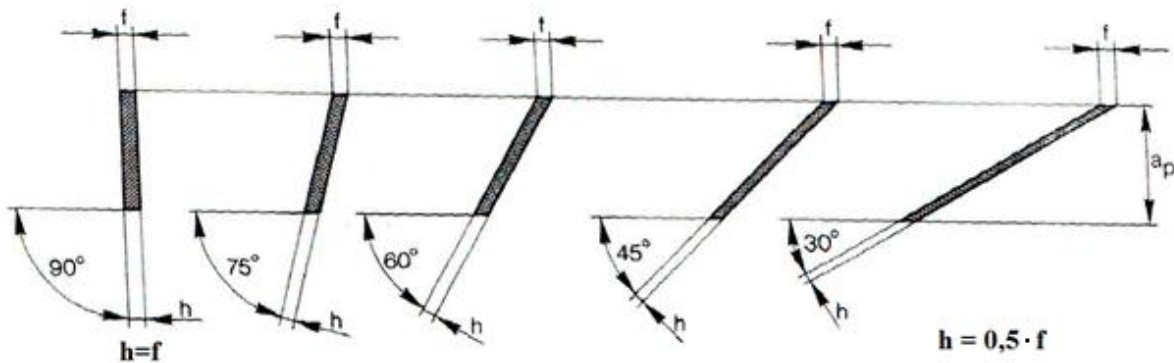
κ – elhelyezkedési szög



1.76. ábra Forgács keresztmetszet

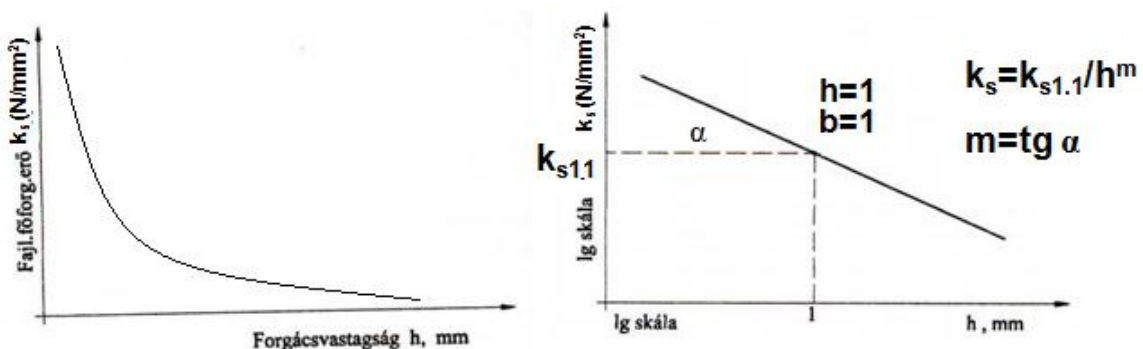
A fajlagos forgácsoló erő értéke csak megadott körülmények állandósága mellett:

- megmunkálási eljárás
 - munkadarab – élananyag
 - élgeometria
 - sebesség tartomány
- határozható meg illetve értelmezhető.



1.77. ábra Forgácsvastagság változása az elhelyezkedési szögtől függően

A 1.77 ábrából látható, a forgácskeresztmetszet, forgásmélység, előtolás azonos értéke mellett a forgácsvastagság értéke változik. A forgácsvastagság függvényében a fajlagos forgácsolóerő változik (1.78 ábra), mely kettős logaritmikus léptékben egy egyenesel ábrázolható:



1.78. ábra Fajlagos forgácsolóerő változása a forgácsvastagság függvényében

Az egyenes egy kitüntetett pontjához ($h_1 = 1\text{mm}$, $b = 1\text{mm}$) tartozik a fajlagos forgácsolóerő főértéke $k_{s1.1}$. Egy tetszőleges forgácsvastagsághoz, az adott anyaghoz kísérleti úton felvett $k_{s1.1}$ k_s és a meredekség ismeretében a k_s aktuális értéke számítható:

$$k_s = \frac{k_{s1.1}}{h^m}$$

ennek megfelelően

$$F_v = \frac{k_{s1.1} \cdot h \cdot b}{h^m}$$

Előfordul, hogy nem a $k_{s1.1}$ érték adott, hanem pl. $k_{s0.4.1}$, ekkor

$$k_s = k_{s0.4.1} \cdot \left(\frac{0,4}{h}\right)^m = k_{s0.4.1} \delta^m \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

δ – relatív forgácsvastagság, dimenzió nélküli szám.

A relatív forgácsvastagság bevezetésével, dimenzióhelyes Kienzle egyenletet kapunk

$$F_v = k_{s1.1} \cdot \delta^m \cdot h \cdot b \text{ [N]}$$

A fajlagos forgácsolóerő főértéke és kitevője meghatározható az előtoló ill. fogásvételirányú erőkre is.

A fajlagos forgácsolóerő főértékeit és kitevőit az egyes anyagminőségekhez kísérleti úton meghatározott táblázatokban adják meg (pl. König-Essel, szerszámgyártó cégek katalógusai). [22]

A forgácsolóerő a forgácskeresztmetszetre merőleges megoszló erőrendszer, az eredő erő a keresztmetszet súlypontjában hat. Ezt például a fűrés nyomaték számításánál figyelembe kell venni.

Esztergálásnál közelítéssel a támadáspontot a szerszám csúcsánál, ill. a fogásban lévő élhossz felénél vesszük fel.

A forgácsolás teljesítménye felírható:

$$P = \frac{F \cdot v}{1000} \text{ [kW]}$$

ahol F [N]

v [m/sec]

A forgácsoláshoz szükséges gép teljesítmény:

$$P = \frac{P}{\eta_{mech} \cdot \eta_{mot}} \text{ [kW]} \quad \eta_{mech} - \text{mechanikai hatásfok}$$

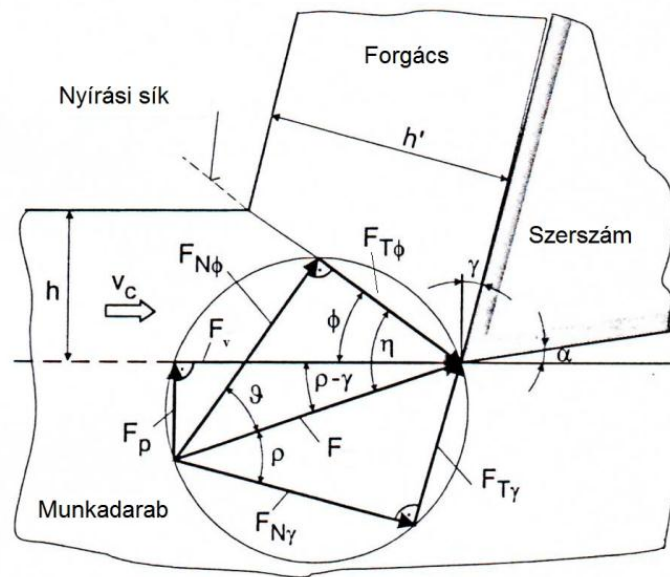
η_{mot} - motor hatásfok

Az elméleti forgácsolóerő számítások alapját minden esetben a forgácstőben lefolyó alakváltozások képezik.

A forgácsselemek a munkadarabról az elcsúszási – irány- síkban válnak le. A forgácsolóerőt befolyásoló összes jellemző az irány sík hajlásszögének alakulásában ismerhető fel.

Merchant [21] [23] ortogonál – szabad forgácsolásnál vizsgálta az elcsúszási sík, forgácsolóerő, feszültség viszonyát, feltételezve, hogy alakváltozás csak az elcsúszási síkban van, és itt a feszültség állapot állandó.

Az 1.79 ábrán látható az „erőgeometria”, mely alapján felírható a csúsztató feszültség:


 $F_{T\phi} = \text{nyíró erő}$

1.79. ábra Merchant – „erőgeometria”[23]

$$F_{T\phi} = F_Z \cdot \cos(\Phi + \rho - \gamma)$$

$$\tau_{\phi} = F_{T\phi} / A_{\phi}$$

$$A_{\phi} = \frac{b \cdot h}{\sin \Phi}$$

$$\tau_{\phi} = \frac{F_Z}{b \cdot h} \cdot \cos(\Phi + \rho - \gamma) \cdot \sin \Phi$$

az elcsúszási sík ott van ahol a τ_{ϕ} feszültség maximális, a szélsőérték számítást elvégezve

$$\Phi = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \cdot (\rho - \gamma)$$

összefüggés adatik.

A nyírási feszültség képlékenységi alap kísérletek segítségével meghatározható. Így számítható:

$$F_{T\phi} = \tau_{\max} \cdot b \cdot h$$

Illetve a forgácsoló erő

$$F_Z = F_{T\phi} \cdot \cos(\Phi + \rho - \gamma)$$

Az elméleti számítások és kísérleti eredmények eltérése miatt Hucks, Lee, Shaffer, Oxley és még sokan mások további vizsgálatokat végeztek finomítva az összefüggéseket.[7]

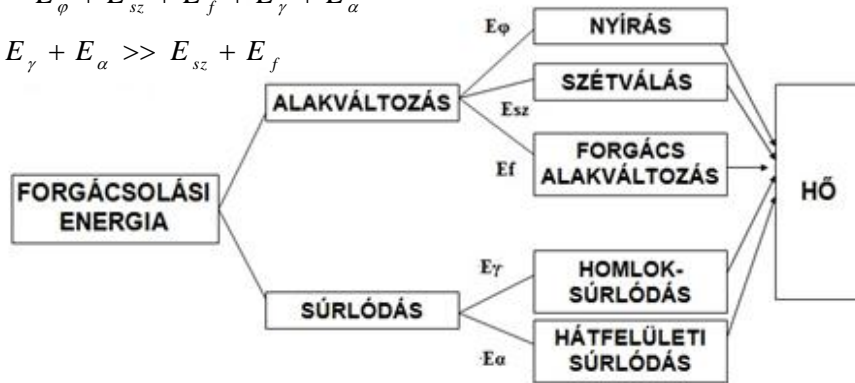
A forgácsolási folyamatok szimulálásához a véges elem technikán (FEM) alapuló feszültség, erő, hőmérséklet számításához fejlesztettek ki numerikus elméletet a komplex anyagtörvények figyelembe vételével (JOHNSON-COOK egyenletek).[7]

1.7 Forgácsolási hő

A forgácsolás során bevezetett energia (E) az alakváltozás létrehozására – forgács leválasztásra – és a súrlódás legyőzésére fordítódik, közel teljes egészében hőenergiává alakulva (1.80 ábra)

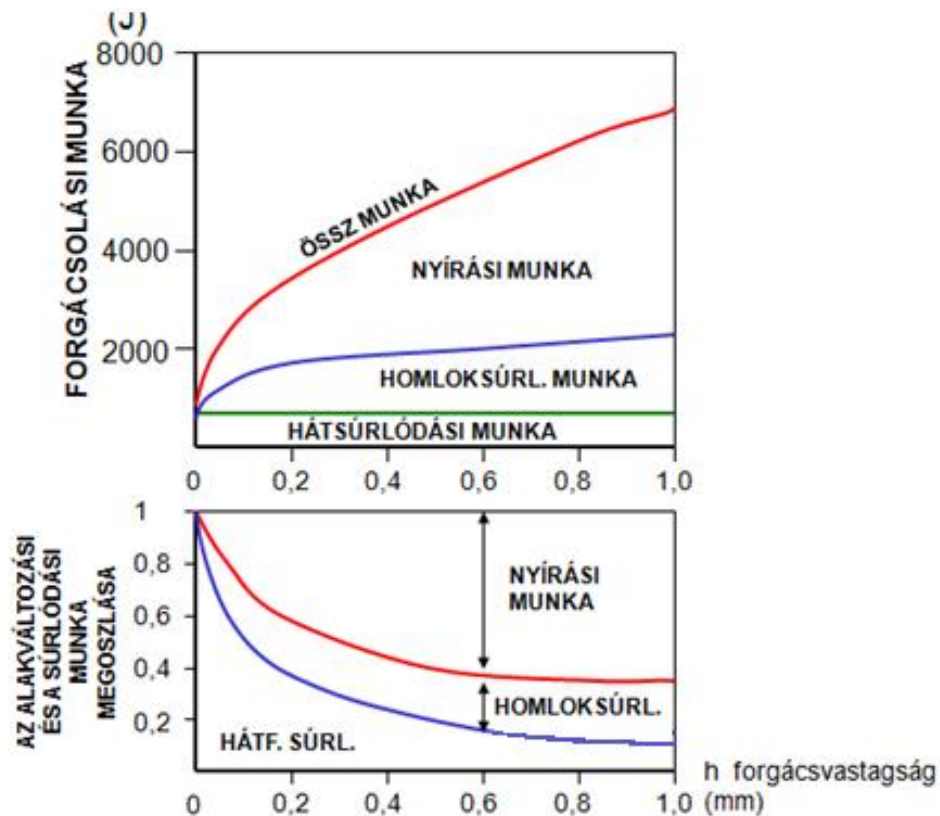
$$E_{\text{forg}} = E_{\varphi} + E_{sz} + E_f + E_{\gamma} + E_{\alpha}$$

$$E_{\varphi} + E_{\gamma} + E_{\alpha} \gg E_{sz} + E_f$$



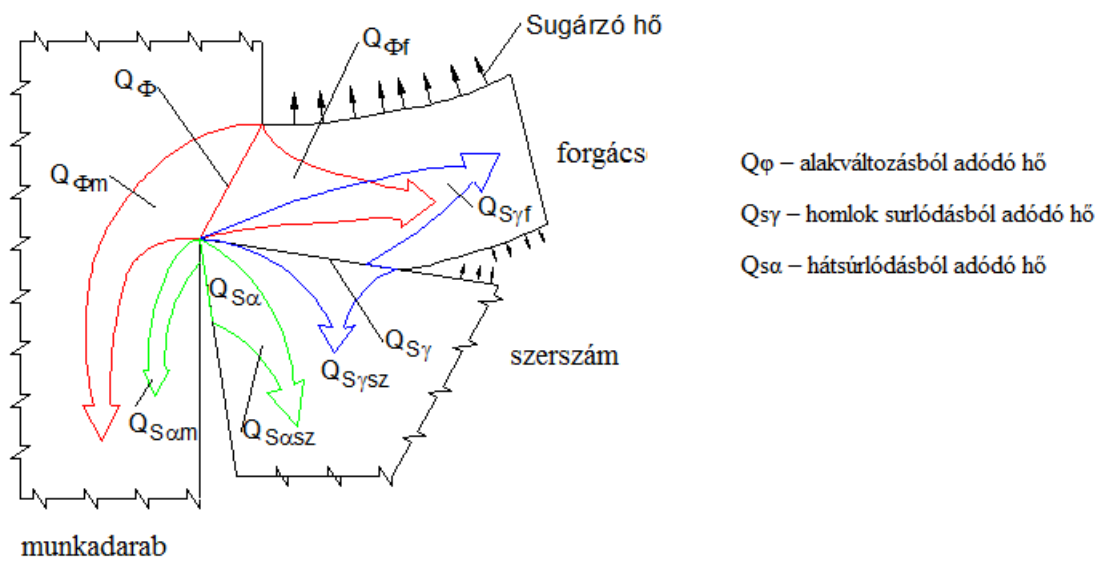
1.80. ábra Forgácsolási hő keletkezése

A forgácsolási energia megoszlását láthatjuk a 1.81 ábrán a forgácsvastagság függvényében acél megmunkálásánál.



1.81. ábra Forgácsolási munka megoszlása [4]

A keletkezett hő vezetés-, átadás, - sugárzás útján távozik a keletkezési helyéről, a munkadarabra, szerszámba és forgácsba. (1.82 ábra)



1.82. ábra A hő útja

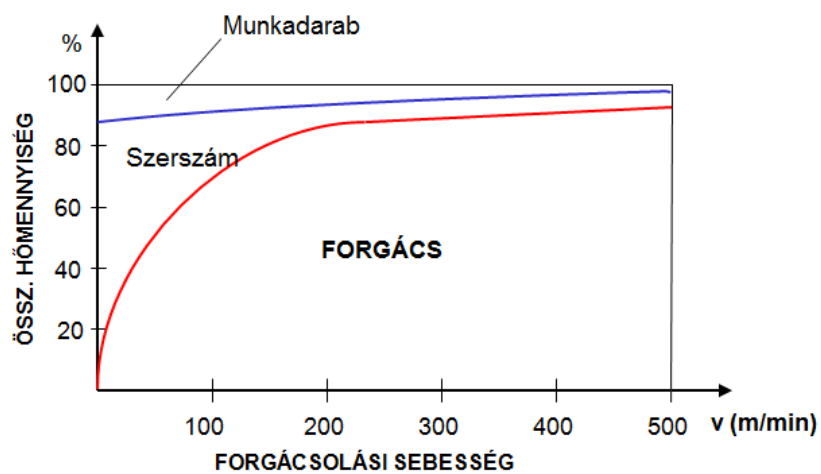
A hő hatására megváltozik

- a munkadarab mérete, alakja, felületi rétege
- szerszám keménysége, éltartama
- gép megmunkálási pontossága

A keletkezett hő eloszlása függ

- munkadarab hővezető képességétől
- élanagtól, bevonattól
- élgeometriától, homlok felület kialakításától, érdességétől
- kopástól
- technológia adatoktól, elsősorban forgácsolási sebességtől, forgácsvastagságtól
- forgács alakjától.

Az össz hőmennyiség megoszlását a munkadarab, szerszám és forgács között a sebesség függvényében az 1.83 ábra szemlélteti.



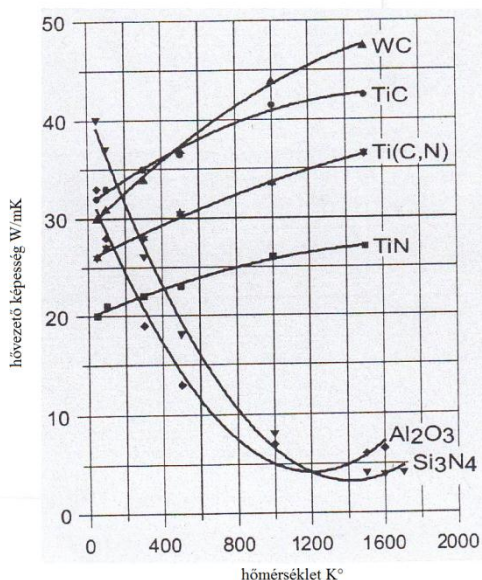
1.83. ábra A forgácsolási hő megoszlása a sebesség függvényében[7]

A nagy forgácsolási sebesség esetén (pl. HSC) a hő döntő része a forgáccsal távozik.

A szerszámba behatoló hő csökkenti a keménységét, rontja forgácsoló képességét.

A szerszámok felületére felvitt bevonatok egyrészt gátolják a hő behatolását, másrészt a keletkező súrlódási hő csökkenti kisebb súrlódási tényezőjükön keresztül.

A 1.84 ábrán néhány bevonat anyag hővezető képességének változása látható a hőfok függvényében.



1.84. ábra Bevonatok hővezető képességének változása a hőmérséklet függvényében [24]

Mint látható az Al₂O₃ bevonat hővezető képessége csökken – hőszigetelő képessége nő – a hő hatására. Nagy hőtermelésű forgácsolás - pl. nagyolás - e bevonat alkalmazása előnyös.

Az egyes bevonatok súrlódási tényezői acél esetén, szárazon az 1.13 táblázatban láthatók,

TiN	(Ti Al)N	TiCN	CrN
0,4	0,3	0,25	0,3

acélon szárazon

WC/C	MoS ₂
0,2	0,05

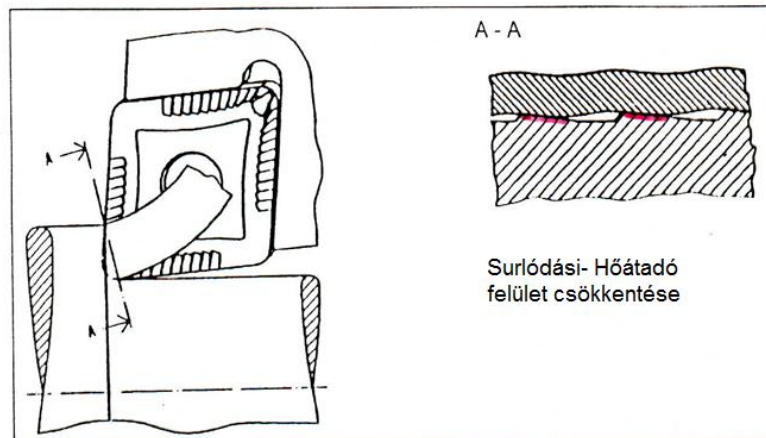
kenő bevonatokra vonatkozó értékek

CVD-DIA	DLC
0,08 – 0,1	0,2

AlSi forgácsolása szárazon

1.13. táblázat Bevonatok súrlódási tényezői (a gyártók adatai alapján)

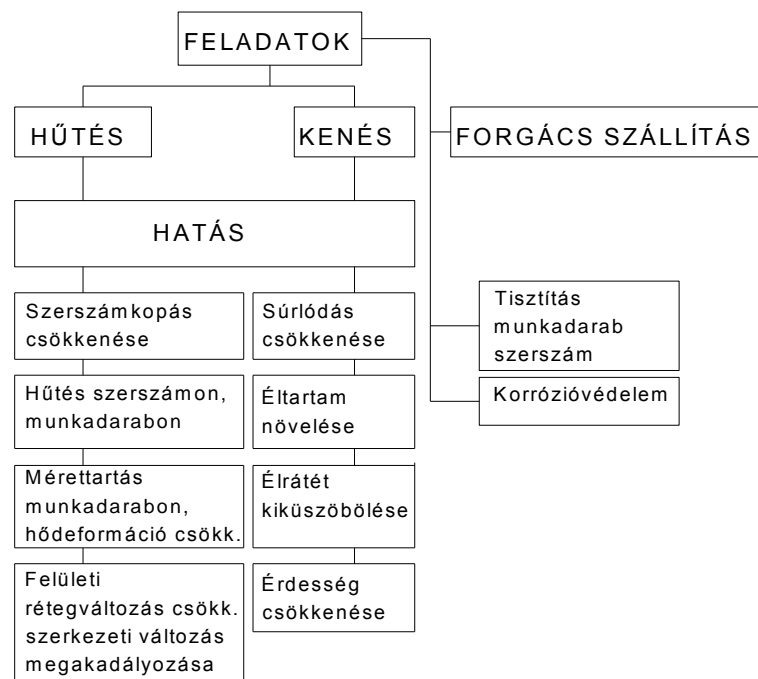
A homlok súrlódásból keletkező hőt csökkenthetjük az érintkezési, súrlódási felület csökkentésével *1.85 ábra*, a homlok felület érdességének javításával.



1.85. ábra Súrlódó -, hőátadó felület csökkentése (ISCAR) [25]

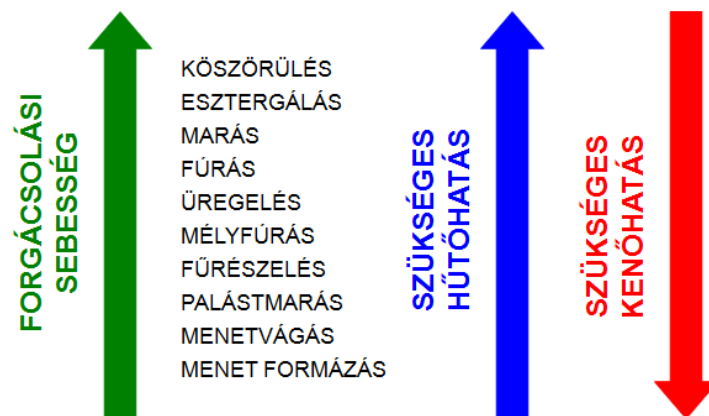
Hűtés – kenés

A hő hatását csökkenthetjük hűtés-kenés alkalmazásával, melynek feladatait és hatását az *1.86 ábra* foglalja össze.



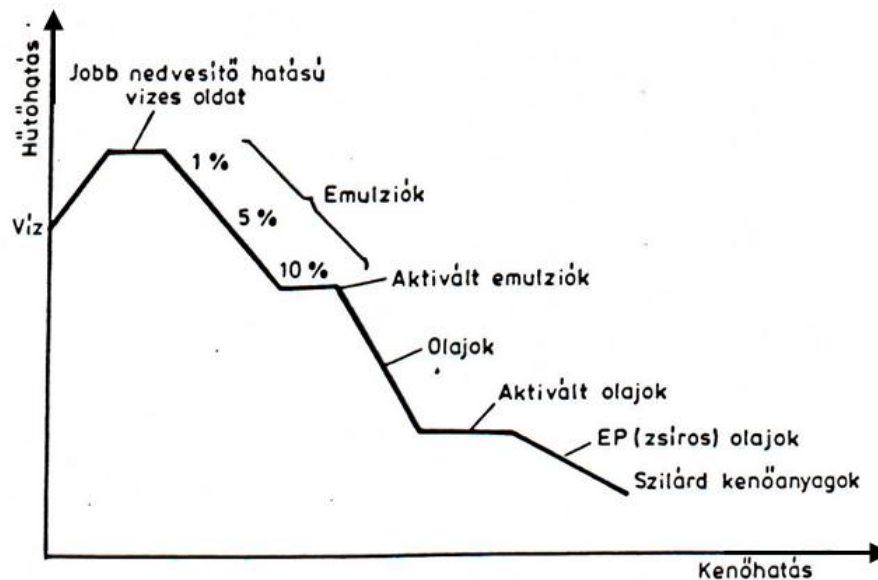
1.86. ábra Hűtés-kenés feladatai

Az egyes forgácsolási eljárások hűtés- kenés igényét szemlélteti az 1.87 ábra.



1.87. ábra Forgácsolási eljárások hűtés-kenés igénye

A hűtő, kenő hatás alakulását mutatja az 1.89 ábra a leggyakrabban használt anyagoknál.



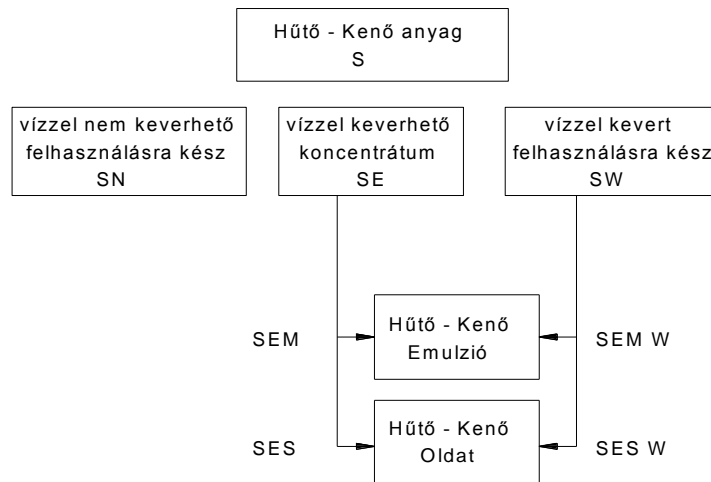
1.88. ábra Hűtő-, kenő hatás alakulása [26]

A hűtő hatást az alkalmazott anyagok hőelvonó képességével, hőkapacitásával jellemezhetjük:

Víz	$C_{P_{\text{víz}}} = 4,18$	[J/kgK]
Olaj	$C_{P_{\text{olaj}}} = 1,92$	
Levegő	$C_{P_{\text{lev}}} = 1,04$	

A kenő képesség a sűrűlási tényező változásán keresztül érzékelhető.

A forgácsolásnál használt hűtő-kenő folyadékok felosztása DIN 5185 szerint 1.89 ábrán látható.



1.89. ábra Hűtő – kenő anyagok csoportosítása [27]

A hűtő – kenő folyadékok másodlagos funkcióit

- hosszú élettartam, öregedés állóság
- enyhe habzási hajlam
- ragadás mentesség
- könnyű eltávolíthatóság
- szerkezeti anyagokkal való összeférhetőség
- baktériumok, gombák elleni védelem

adalékokkal biztosítják.

Adalékokkal növelik a kenő hatást és a nyomásállóságot (EP).

Külön problémát jelent a hűtő – kenő anyagok egészségkárosító hatásának (bőr – légúti megbetegedések kiküszöbölése és az elhasznált anyag (pl. kőszőrű iszap) megsemmisítése).

A hűtés – kenés hatékonysága annál nagyobb, minél közelebb történik a hőfejlődés – főél környezete – helyéhez. Ezt figyelembe véve fejlesztették ki belső hozzá vezető szerszámokat, melyeknél a hűtő – kenő anyagot a szerszám belsejében lévő furatokon keresztül vezetik a főélekhez.

A hűtés – kenés módszere szerint lehet

- elárasztásos (10-100 l/perc)
- nagynyomású (Jetstream tooling)
- minimál (MMKS, MQL)

Az elárasztásos hűtés esetén nagy mennyiségű (400 l/perc) folyadékot nyomnak a munkatérbe.

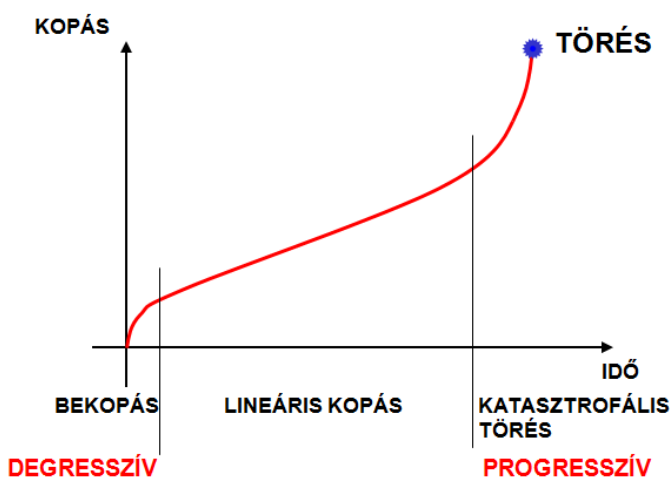
Nagynyomású (100–1000 bar) hűtés esetén a szerszámon keresztül a forgács és szerszám homlok felülete közé nagy nyomással hűtő folyadékot nyomnak – „hidraulikus ék” – mely segíti a forgács leválasztást különösen a nehezen megmunkálható hőálló anyagok esetén.

Minimál kenés esetén a lehető legkevesebb, de még elégséges kenő anyagot (30 – 50 ml/óra) használnak fel általában aerosol formájában.

Az utóbbi évtized fejlesztései a környezet-, egészség védelem, költségcsökkentés okán a hűtő – kenő anyag nélküli „száraz forgácsolás” irányába folynak. Száraz forgácsolás esetén a hűtés – kenés funkcióit más úton (pl. hő fejlődés csökkentése kenő bevonatokkal) kell biztosítani. Különösen fontossá válik a nagy hőtartalmú meleg forgács gyors, megbízható eltávolítása.

1.8 Kopás, élettartam

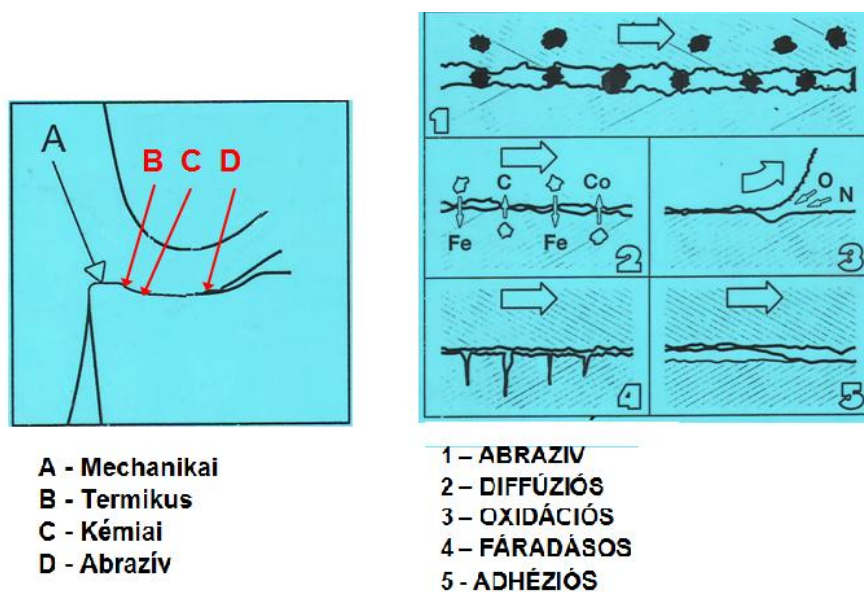
A kopást az idő függvényében vizsgálva az 1.90 ábrán láthatjuk általános jellegét, mely egy bekopási-, lineáris-, progresszív szakaszból áll és katasztrofális esetben töréssel végződik.



1.90. ábra A kopás általános jellege

A forgácsolás során az érintkező felületek nagy nyomás, magas hőmérséklet és nagy sebesség mellett kopnak.

A szerszámok elhasználódását okozó kopásmechanizmusokat az 1.91 ábrán mutatjuk be bejelölve működési helyüket.



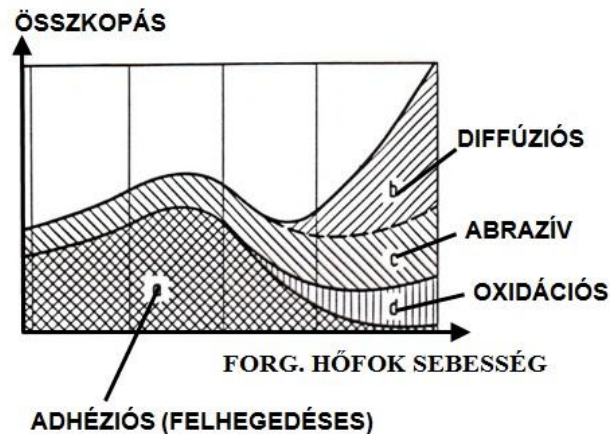
1.91. ábra kopás fajták[3]

Kopásfajták:

- abrázív kopás: leggyakrabban fordul elő, a két súrlódó felület között az érdességi csúcsok, vagy a már levált kemény részecskék benyomódnak a felületbe mikro forgácsot képezve barázdát húznak abba a köszörüléshez hasonlóan.
- diffúziós kopás: kémiai folyamat, mely nagy hőmérsékleten és nyomáson megy végbe, a munkadarab ill. szerszám alkotói kölcsönösen átdiffundálnak megváltoztatva az anyagkopás jellemzőit. Acél keményfém szerszámmal történő forgácsolása esetén a szerszámba és a munkadarabba kobalt atomok diffundálnak elsődlegesen.
- oxidációs kopás: magas hőmérsékleten a környezet levegőjével a legtöbb fém oxidálódik, a keletkező oxidok tulajdonságai igen különbözőek. A wolfram és a kobalt porozus könnyen leváló réteget alkot, melyet a forgács visz magával.
- fáradásos kopás: a váltakozó hő- és mechanikai terhelés következtében jön létre, elsősorban marásnál
- adhéziós kopás: a határ felületek között kialakult kötés- mikro felhegedés - következtében jön létre, amikor a kötés a tangenciális mozgás következtében megszűnik a szerszám felületéről apró részecskék válnak le. Alacsony hőfok, sebesség tartományra jellemző ez kopásforma elsősorban ferrites, austenites, acélok nál.

Az élrátét képződés is a felhegedés- leválás folyamatán alapul, de nagyobb méretekben.

Az egyes kopás fajták előfordulását az 1.92 ábrán mutatjuk be a forgácsolási hőfok (sebesség) függvényében.

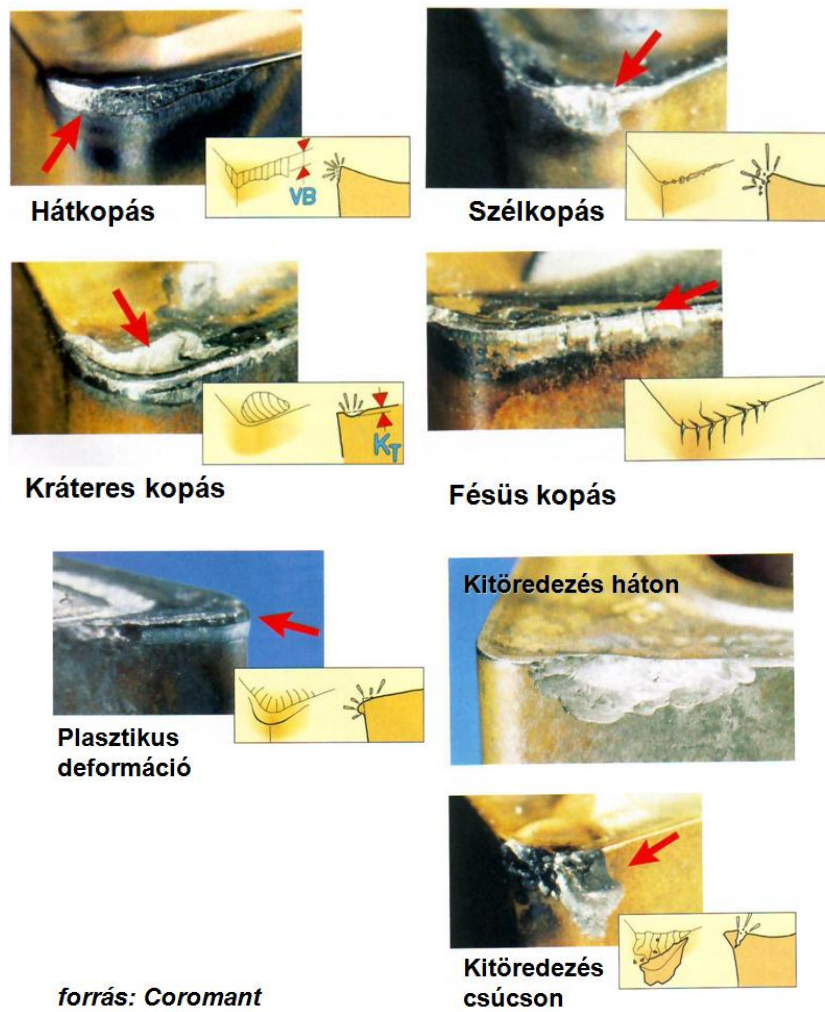
KOPÁSFAJTÁK

1.92. ábra kopás fajták előfordulása a sebesség függvényében [4]

A forgácsolás során a következő tényezők befolyásolják a kopást:

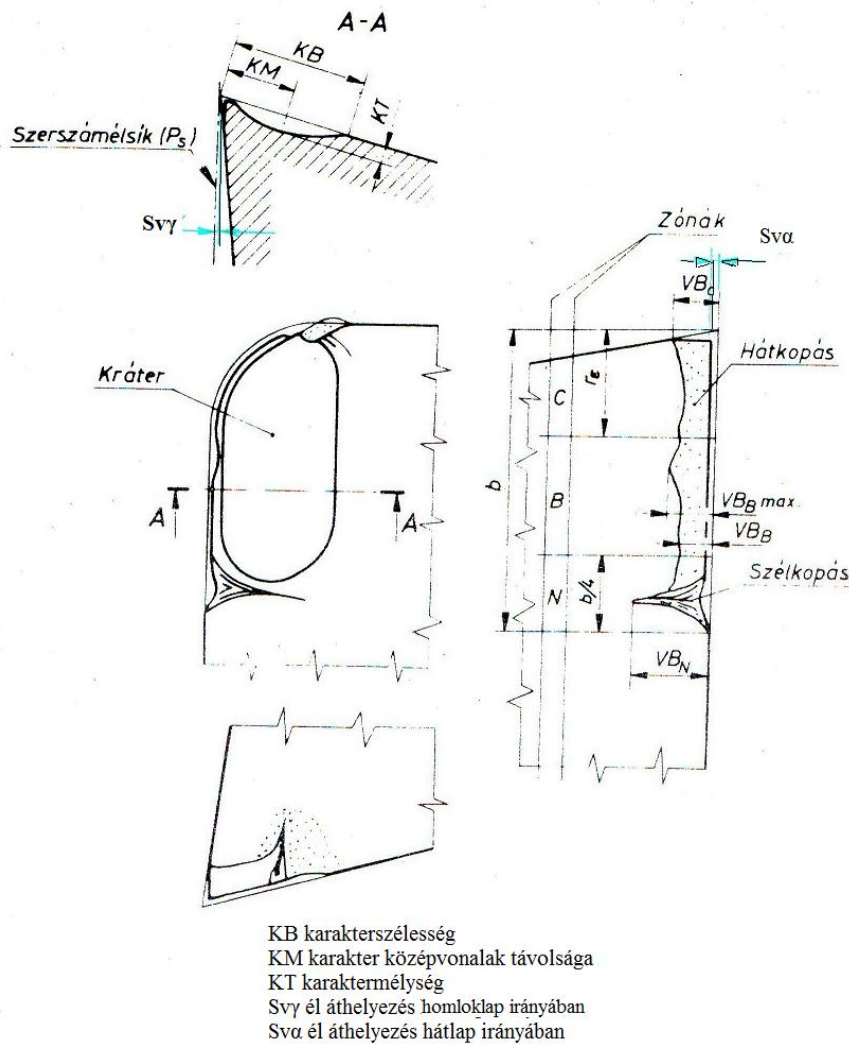
- munkadarab anyaga
- él anyaga
- élgeometriája
- technológiai adatok (sebesség, előtolás,...)
- hűtés – kenés
- A forgácsolás során előforduló kopásformák:
- hátkopás, a fő - és mellék hátoldalon
- kráteres kopás a homloklapon
- szél kopás, homlok és hát felület irányába
- nem kopás jellegű, de a szerszám elhasználódása szempontjából idetartozók
- repedések, főélre merőleges fésűs repedések
- kimorzsolódás
- kitöredezés
- törés
- plasztikus deformáció, a túlterhelés következtében létrejövő maradó alakváltozás
- élrátét

A felsorolt kopásformákat az 1.93 ábra szemlélteti:



1.93. ábra Kopásformák [3]

A kopásokat és azok méret jellemzőit az 1.94 ábrán (DIN ISO 3685) láthatjuk esztergákés esetén.



1.94. ábra Forgácsoló él kopás jellemzői (ISO)

A kopásformák egyszerre de különböző mértékben fordulnak elő a forgácsolás során, ezért a domináns kopást meg kell határozni.

A szerszám használhatóságát figyelembe véve keményfém esetén esztergálásnál a megengedett hátkopás $VB=0,2-0,8$ mm lehet.

A közvetlen mérhető kopás értékek mellett a kopás közvetett úton

- a munkadarab oldaláról, méret, alak, érdesség változás, sorja képződés
- folyamat jellemzők oldaláról, erő, teljesítmény, hőmérséklet, rezgés, hang (akusztikus emisszió) mérésével is meghatározható.

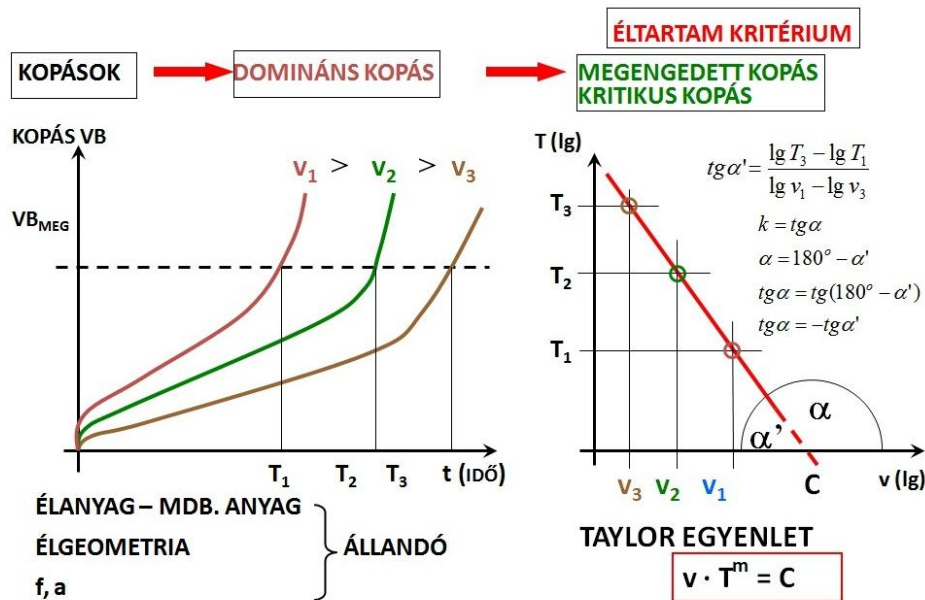
Élettartam, az a forgácsolásban megadott feltételek között (v, f, a, \dots) eltöltött idő mely alatt a kopás az előre rögzített értéket – élettartam kritériumot – eléri.

Az élettartam idő kifejezhető más jellemző mértékben is, pl. élettartam út, megmunkált darabszám, kiválasztott forgácstérfogat.

Az élettartam kritérium kifejezhető a kopáson kívül más jellemzővel pl. munkadarab méret-, érdesség változása, erő-, teljesítmény növekedésével.

Az élettartam meghatározása mindig kísérleti mérések alapján történik, melynek módszerét szabvány rögzíti, pl. esztergálásra MSZ. 3904, ISO 3685.

Előkísérletek alapján kell meghatározni a jellemző kopást és annak megengedett nagyságát.



1.95. ábra Élettartam egyenlet (Taylor egy.) meghatározása

Az 1.90 ábrán különböző sebességen ($v_1 > v_2 > v_3$) állandó előtolás és fogás mellett felvett kopásgörbék láthatók, a jellemző kopás a hátkopás (VB) volt, megengedett értéke VB_{MEG} . A különböző görbékhez, különböző élettartamidők ($T_1 < T_2 < T_3$) tartoznak.

Az élettartam időket (T) a sebesség (v) függvényében kettős logaritmusos rendszerben ábrázolva egy egyenest kapunk, ez a „Taylor-egyenes”, valójában a Taylor görbe. Az összefüggést F. W. Taylor 1907-ben írta fel.

$$v_c \cdot T^{-\frac{1}{k}} = C \quad \text{formában, ahol } C = \text{állandó } k = \text{kitevő}$$

más formában felírva is használják az összefüggést

$$v_c \cdot T^m = C \quad , \text{ ahol } m = -\frac{1}{k}$$

$$v_c^n \cdot T = C \quad , \text{ ahol } n = k$$

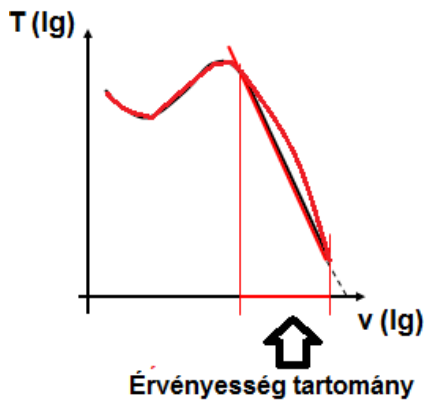
$$v_c = C \cdot T^{\frac{1}{k}}$$

$$k = \operatorname{tg} \alpha, \quad \alpha = 180 - \alpha', \quad \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg}(180 - \alpha') \quad \operatorname{tg} \alpha = -\operatorname{tg} \alpha'$$

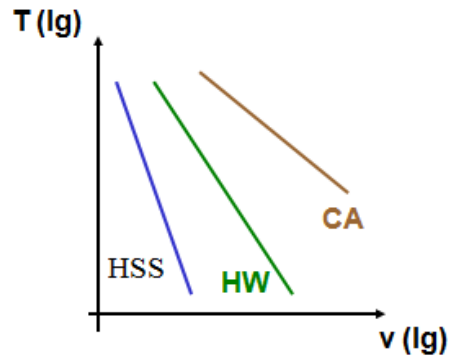
az ábrából felírható:

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{\lg T_3 - \lg T_1}{\lg v_1 - \lg v_3}$$

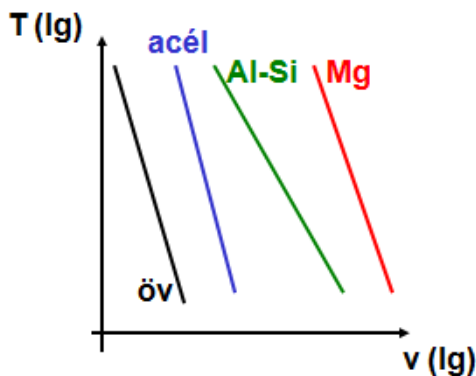
Az élettartam, sebesség összefüggés részletes vizsgálata során a 1.96 ábrán látható eredményt kapták, mely görbe egy részének jó közelítése a Taylor egyenes.



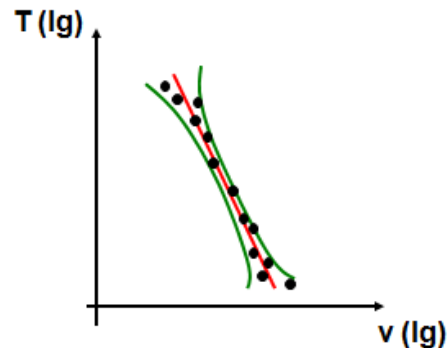
1.97. ábra Valós élettartam – sebesség görbe [20]



1.96. ábra Különböző élműanyagok élettartam egyenesei [20]



1.99. ábra néhány munkadarab anyag élettartam egyenese [20]



1.98. ábra Élettartam mérési pontjai és jellegzetes szórásképe [20]

Az 1.97 ábrán különböző élműanyagok élettartam egyenesei láthatók, a legnagyobb sebesség érzékenysége a gyorsacélnak van, kis sebesség változáshoz jelentős élettartam változás tartozik.

Az 1.98 ábrán néhány jellegzetes munkadarabot anyaghoz tartozó élettartam egyenes látható.

1.99 ábrán az élettartam mérési pontjai és jellegzetes szórásképe látható.

Az 1.14 táblázat néhány, gyakran előforduló munkadarab- élműanyag párhoz tartozó Taylor kitévőket és állandókat tartalmazza.

ADATOK A TAYLOR EGYENLETHEZ feltétel mellett
 $a=1 \text{ mm}$ $f=1 \text{ mm}$ $VB_{MEG}=0,4$

v.T ^{1/k} = C	BEVONAT NÉLKÜLI KEMÉNYFÉM		BEVONATOS KEMÉNYFÉM		OXIDKERÁMIA NITRIDKERÁMIA	
	C	k	C	k	C	k
St 50 - 2	299	-3,85	385	-4,55	1210	-2,27
St70 - 2	226	-4,55	306	-5,26	1040	-2,27
Ck 45 N	299	-3,85	385	-4,55	1210	-2,27
16 MnCr S 5 BG	478	-3,13	588	-3,57	1780	-2,13
20 MnCr S 5 BG	478	-3,13	588	-3,57	1780	-2,13
42 CrMo S 4 V	177	-5,26	234	-6,25	830	-2,44
X 155 Cr V Mo V 5 1 G	110	-7,69	163	-8,33	570	-2,63
X 40 CrMo V 5 1 G	177	-5,26	234	-6,25	830	-2,44
GG - 30	97	-6,25	184	-6,25	2120	-2,50
GG - 40	53	-10,0	102	-10,0	1275	-2,78

1.14. táblázat Adatok a Taylor egyenlethez [4]

A valós éltartam görbét jobban közelítő összefüggéseket dolgoztak ki kutatók (pl. König-Depiereux), ezek bonyolultak, nagy kísérleti ráfordítást igényelnek, ezért a gyakorlatban nem terjedtek el.

A Taylor összefüggést az f-előtolás („h”- forgács vastagság) és a- fogás mélység (b-forgács szélesség) figyelembe vételével az alábbi formában felírva kapjuk a bővített Taylor egyenletet.

$$v = \frac{c_v}{b^{x_v} \cdot h^{y_v} \cdot T^m} \quad \text{vagy} \quad v = C \cdot a^f \cdot f^e \cdot T^{\frac{1}{k}}$$

Az éltartam egyenlet kitevőit, állandóit adott körülmények (mdb- éanyag, élgeometria, hűtés, stb.) között határozták meg, ettől eltérő esetekben a korrekciót kell alkalmazni, pl. munkadarabok anyagára vonatkozóan:

Rm 500-600 700-800 800-900 N/mm²

a korrekció 1,69 1 0,81

kérges, revés felület esetén a korrekció: 0,7

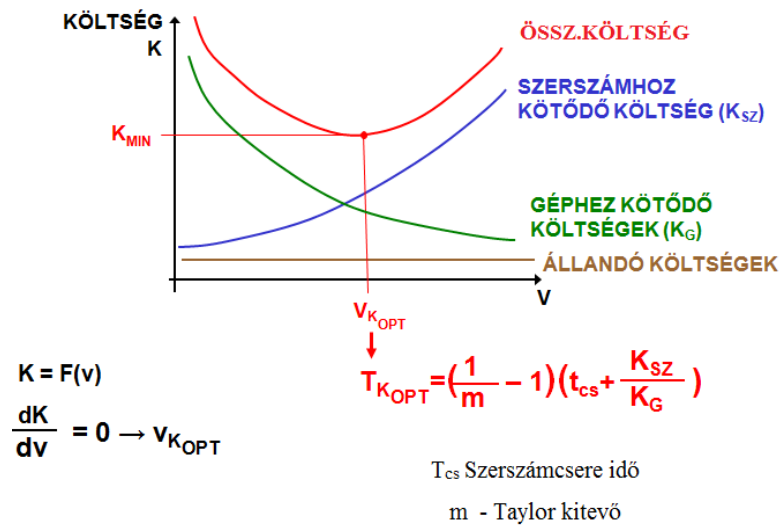
A forgácsolási sebességet, éltartamot optimalizálni lehet, az optimalás célja

- költség minimum
- termelékenység maximuma lehet.

A költség összefüggést a sebesség függvényében felírva $K=f(v)$ és elvégezve a szélsőérték számítás

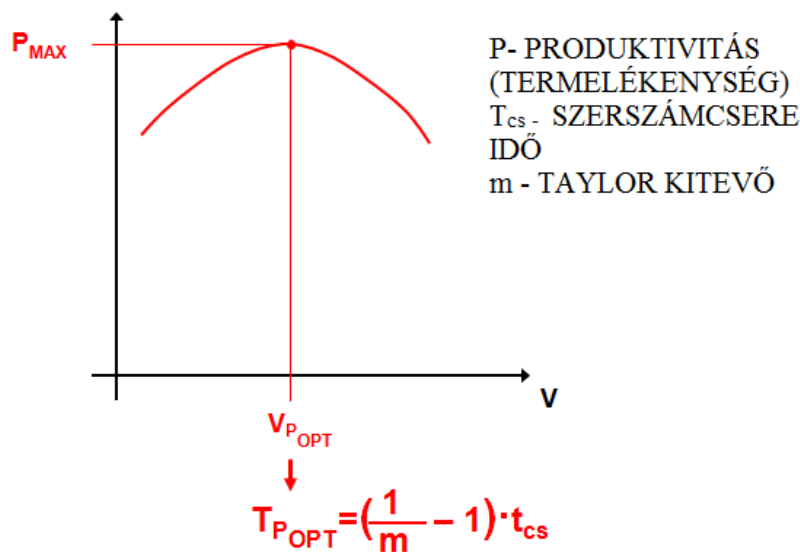
$$\frac{dK}{dv} = 0 \quad v_{\text{költs.opt}} \text{ megkapjuk.}$$

A költség optimális forgácsolási sebesség meghatározását a 1.100 ábra szemlélteti.



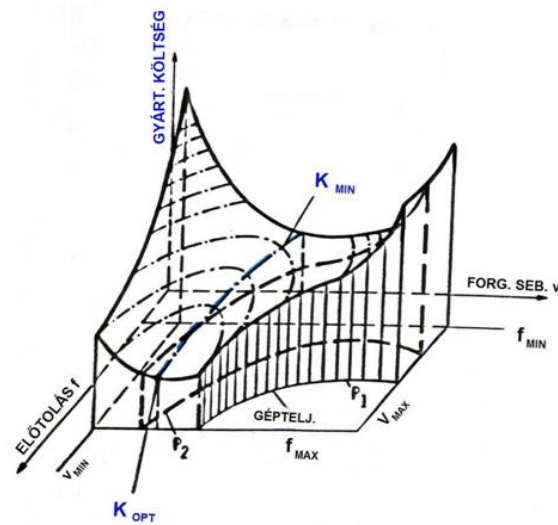
1.100. ábra Költség optimális forgácsolási sebesség

A termelékenység a sebesség növelésével növekszik, de megnő a kopás is gyakrabban kell cserélni a szerszámot. Egy sebesség határ felett a gyakoribb csere miatt már csökken a termelékenység (1.101 ábra).



1.101. ábra Termelékenység a sebesség függvényében

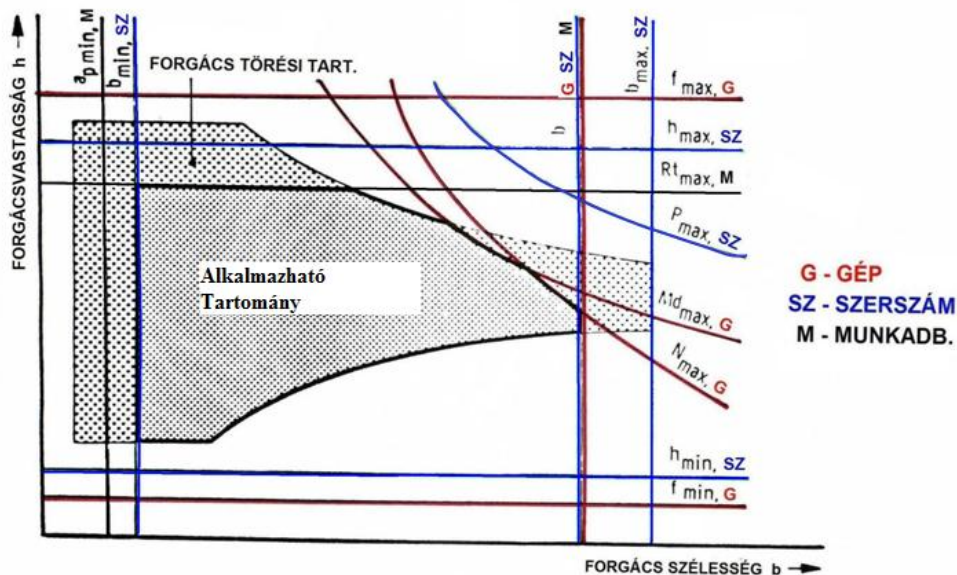
A gyártási költségeket a forgácsolási sebesség és előtolás függvényében ábrázolva (1.102 ábrán) látható, egy költség felületet képez.



1.102. ábra Költségminimum [18]

A költségminimumot a felület legmélyebb pontja ($v_{költs.opt.}$, f_{max}) jelenti.

A költségminimumot az optimális sebesség mellett a megengedett legnagyobb előtolás és forgásmélység biztosítja, melynek nagyságát a munkadarab-, gép-, szerszám - oldali korlátok határozzák meg. Az 1.103 ábra esztergálás esetére mutatja be a korlátokat kijelölve az alkalmazható tartományt.



1.103. ábra Korlátok esztergálás esetén [18]

Az optimális pont a tartomány határai található meghatározásával részletesen a [19] foglalkozik.

A tehológiai adatok – forgácsolási sebesség, előtolás, forgásmélység meghatározása szükséges a

- művelet tervezéshez
- norma idő képzéshez
- gazdasági számításokhoz
- NC/CNC programozáshoz
- folyamat optimaláshoz

A technológiai adatok meghatározását végezheti a

- gépkezelő
- gépkezelő és technológus
- technológus

Az adatok meghatározása történhet

- saját tapasztalat
- szerszámgyártók irányérték ajánlásai (táblázat, célszámítógép, internet)
- számítás, számítógépes optimalás

alapján, a ráfordítást a technológiai adat pontosabb meghatározásából adódó nyereségnek fedezni kell.

Felhasznált irodalom az 1. fejezethez:

1. *FALK D., GOCKEL H. K., LANDSKNECHT v. F., ...: Metalltechnik Fachbildung*
Westermann Verlag, Braunschweig 1993 ISBN: 314-2211-209
2. *Dr. KÁLDOS E., Dr. NAGY Ö., TAKÁCS J.: Forgácsolás és szerszámai,*
Gyakorlati jegyzet
Tankönyvkiadó, Budapest 1984
3. *SANDVIK COROMANT: Handbuch der Zerspaltung, 1996*
ISBN: 91-972299-4-6
4. *F. KLOCKE, w. KÖNIG: Fertigungsverfahren, Drehen, Fräsen, Bohren*
Springer Verlag, 2008 ISBN: 978-3-540-23458-6
5. *MAYKESTAG Zerspaltungshandbuch*
6. *Emuge FRANKEN: Handbuch der Gewindetechnik und Frästechnik*
Erlangen, 2004 ISBN: 3-89578-232-7
7. *H. K. TÖNSHOFF, B. DENKENA: Spanen*
Springer Verlag, 2003 ISBN: 3-540-00588-9
8. *Industrielle Fertigung, Fertigungsverfahren*
Europa Lehrmittel, 3. kiadás, 2008 ISBN: 978-3-8085-5353-4
9. *B. ARNOLD: Anforderungen an Schneidstoffe: www.materialmagazin.com*
10. *HSS-FORUM: www.hssforum.com*
11. *K. J. A. BROOKES: Hardmetals and other hard materials*
International Carbide Data, 1992 ISBN: 0-95-08995-3-4
12. *TYROLIT Schleifmittelwerke, SWAROVSKI K.G.: Grindology Boxes, Allgemeine*
Grundlagen 2, 1998
13. *SECO – Secomax PCBN Technical Guide 2006*
14. *SANDVIK COROMANT: Forgácsolási műszaki kézikönyv, 2010*
15. *ISCAR: New Generation Milling Tools 2009*
16. *KENNAMETAL Drehwerkzeuge, Katalog 4010 D*
17. *SECO Crownloc: More precision at a lower cost, 2003*

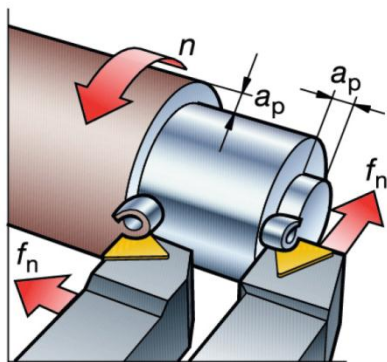
18. *W. KÖNIG, D. PFAU, H. H. WINKLER: Informationszentrum für Schnittweste Beuth-Vertrieb, 1973 ISBN: 3-410-37921-5*
19. *Simulation von spanenden Fertigungsverfahren am IWF: IWF Portal 2009/11*
20. *W. DEGNER, H. LUTZE, E. SMEJKAL: Spanande Formung, 16. Auflage Hanser Verlag ISBN: 978-3-446-41713-7*
21. *Dr. KAZINCZY L.: A forgácsolóerő számítása – helyzetkép Műszaki tudomány 49, 1974*
22. *W. KÖNIG, K. ESSEL: Spezifische Schnittkraftwerte für die Zerspannung metallischer Werkstoffe Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1979 ISBN: 3-514-00129-4*
23. *M. E. MERCHANT: Mechanics of the Metal Cutting Process Journal of Applied Physics, vol. 16 267-275, 1945*
24. *W. GREZESIK, P. NIESLONY: Prediction of friction and heat flow in machining incorporating thermophysical properties of the coating-chip interface Wear 256 (2004), 108-117*
25. www.ISCAR.hu
26. *dr. KALÁSZI I.: Fémmegmunkáló hűtő-kenőanyagok alkalmazásának alapismeretei Tankönyvkiadó, Budapest 1970*
27. www.bs-wiki.de
28. *Dr. HORVÁTH M., Dr. SOMLÓ J.: A forgácsoló megmunkálások optimalása és adaptív irányítása Műszaki Kiadó, 1979 ISBN: 963-10-2748-1*

2 Forgácsolási eljárások

2.1 Esztergálás és esztergák

2.1.1 Mozcásviszonyok esztergálásnál

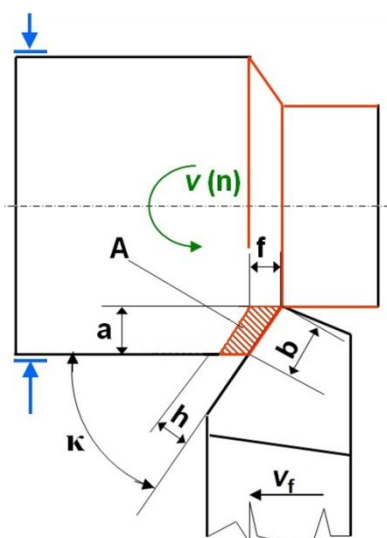
Az esztergálás határozott élgeometriával és forgó főmozgással végzett forgácsolási eljárás, a célja forgástestek előállítás. A főmozgást rendszerint a munkadarab végzi, iránya a forgácsleválasztás helyén az érintő iránya. A mellémozgás (előtolás) haladó, rendszerint az esztergaszerszám végzi. A megmunkálási feladattól függően az előtolás lehet a munkadarab tengelyével párhuzamos-, tengelyre merőleges-, vagy egyszerre mindkét irányú.



v_c – forgácsolási sebesség (m/min)
 (a forgácsleválasztás helyén érvényes átmérő és a fordulatszám (n) alapján)
 f_n - előtolás (mm/fordulat)
 a_p - fogásmélység (mm)

2.1. ábra Hosszesztergálás mozgásviszonyai és a technológiai adatok értelmezése [Sandvik] [5]

A mozgásviszonyok és a munkadarab-szerszám egymáshoz képesti elhelyezkedése alapján értelmezhető a forgácskeresztmetszet. (2. ábra).



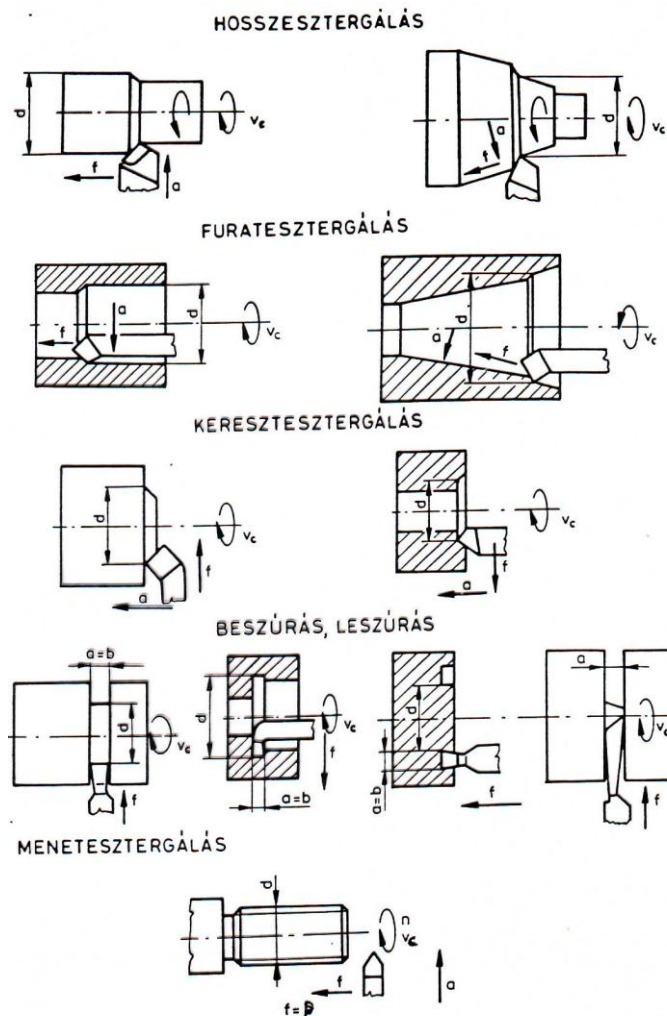
b - forgács szélesség
 h - forgács vastagság
 A - névleges forgácskeresztmetszet (mm^2)
 v_f - előtolás sebessége (mm/min)
 a - fogásmélység (mm)
 f - előtolás (mm/ford)
 $b = \frac{a}{\sin \kappa}$
 $h = f \cdot \sin \kappa$
 $A = b \cdot h = a \cdot f$

2.2. ábra A forgácskeresztmetszet esztergálásnál

2.1.2 Az esztergálási eljárások

Az egyik alapvető csoportosítási szempont a megmunkálás helye. Külső felületekre értelmezzük a palátesztergálást, belső felületek esetében furatesztergálásról beszélünk. Az előállítandó felület lehet hengeres, kúpos, sík, gömb, menet, egyéb profilos forgástest; különleges esztergagépeken megmunkálhatók poligon- és hátraesztergált spirális felületek (pl. marószerszámok esetében). E csoportosítások szempontjai felfedezhetők a fő esztergálási eljárásokat bemutató 3. ábrán. A munkadarab alakja a legtöbb eljárásnál a szerszám pálya által definiált, de alakos szerszámokkal bonyolult profilok is létrehozhatók egyszerű beszúró mozgás mellett is.

Hosszesztergálással külső forgásszimmetrikus alakokat (hengeres, kúpos, profilos) készítenek. A furatesztergálás lényegében a hosszesztergálás belső felületekre értelmezett megfelelője. Figyelembe kell azonban venni, hogy a furatok esetében az átmérő és a hossz viszonya korlátozza az alkalmazható szerszám hosszát, így a furat megmunkálható mélységét.



2.3. ábra Esztergálási eljárások

Keresztesztergálással homloklfelületek, külső és belső vállak alakíthatók ki, tehát a forgástengelyre merőleges sík felületek állíthatók elő. Furatban végzett keresztesztergáláshoz furatkés szükséges.

A beszúrás hornyok kialakítására alkalmas technológia. Külső hornyok esetében a szerszám előtolása sugárirányban a munkadarab középpontja felé mutat. Furatokban elhelyezett hornyok esztergálásakor a szerszám sugárirányban a középponttól távolodva halad. Több korszerű beszúrókés alkalmas korlátozottan hosszesztergálásra is, így a szerszámváltás vagy többszörös beszúrás elkerülésével lehet az él szélességénél szélesebb beszúrásokat készíteni.

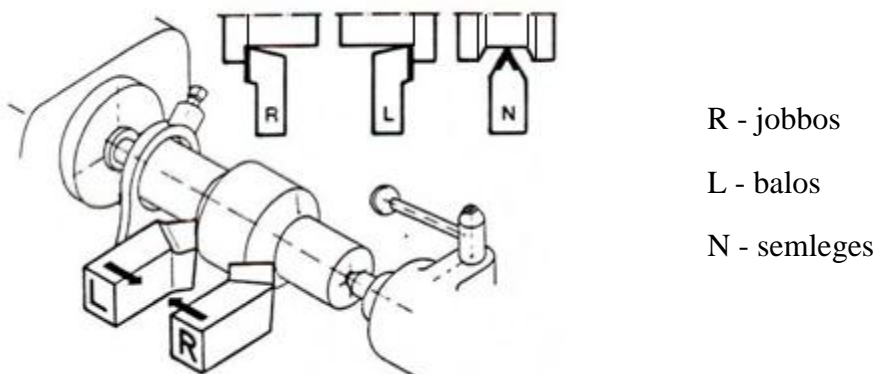
Homlokfelület hornyának kialakítását homlokbeszúrásnak nevezzük, ekkor a szerszám előtolása tengelyirányú. Az ún. alászúrás esetében az előtolás iránya hegyesszöget zár be a tengellyel. Alakos szerszámmal beszúró eljárás során a szerszámél profilja másolódik rá a munkadarabra.

Leszúrás esetében az úgynevezett leszúrókést a külső alkotótól egészen a középpontig tolják elő így a munkadarabot két részre osztják. A leszúrókést rendszerint nullánál nagyobb főél elhelyezési szögűre alakítják ki, hogy a munkadarab szétválasztása biztosan kézben tartható legyen, de ezzel az egyik darabon egy kis csúcs („pucni”) marad vissza. A technológia egyik fő alkalmazási területe a rúdanyagból esztergált alkatrészek (egyik oldalról történt) megmunkálása utáni darabolás.

A menetesztergálás mozgásviszonyait tekintve a hosszesztergálással, vagy a furatesztergálással egyezik meg, de a menetprofilnak megfelelő alakos kés előtolása pontosan meg kell egyezzen a kialakítandó menet emelkedésével.

2.1.3 Az esztergálás szerszámjai

Az esztergálás szerszáma egyéltű esztergakés. Attól függően, hogy külső felületeknél-, vagy furatban használható, beszélünk külső késről, vagy belső késről. A szerszámmal végezhető forgácsolás iránya szerint megkülönböztetünk jobbos, balos és semleges kést. A jobbos kés egy hagyományos egytetemes esztergagépbe befogva jobbról balra esztergál (2.4. ábra). Semleges késsel mindkét irányban lehet forgácsolni.



2.4. ábra A forgácsolás irányának értelmezése [1]

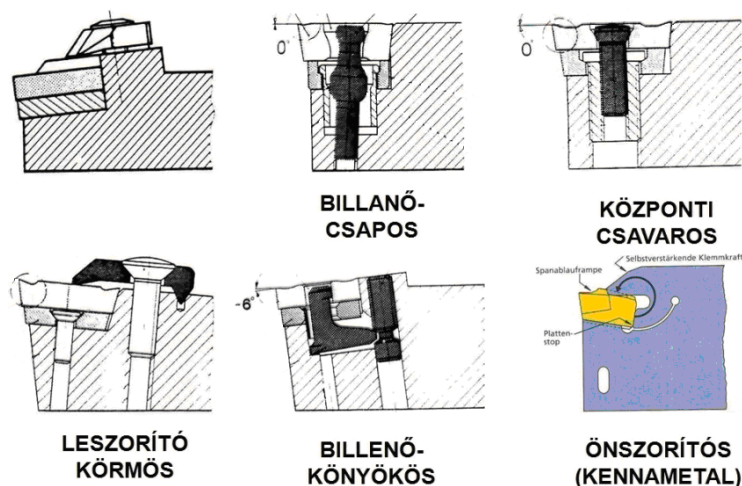
Az esztergakés a dolgozó rész alapján lehet

- tömör
- forrasztott lapkás
- váltólapkás

A tömör késeknél a befogó rész és a dolgozó rész azonos anyagból készül, leggyakrabban gyorsacélból. A lapkás szerszámoknál a forgácsleválasztást végző dolgozó részt külön erősítik fel forrasztással, vagy mechanikusan (2.5. ábra). Alapkövetelmény a lapka rögzítésé-

vel szemben, hogy a szorítóerő a fészekbe szorítsa a lapkát. Az oldható rögzítések elve erőzáró, a rögzítés és oldás csavarkötéssel működik, de a lapkát beszorító elem nem feltétlenül maga a csavar, hanem leszorító köröm, vagy billenő könyök is lehet. A billenő csapos kivitelnél és a központi csavaros megoldásnál is a becsavarás során a csavar excentricitás okozta rugalmas alakváltozása szorítja be a lapkát a fészekbe. Nehéz megmunkálási körülmények esetében a lapka még stabilabban, a forgácsolóerő kedvezőbb megoszlása mellett rögzíthető ún. tangenciális befogással, mely eljárás a marószerszámoknál is terjed.

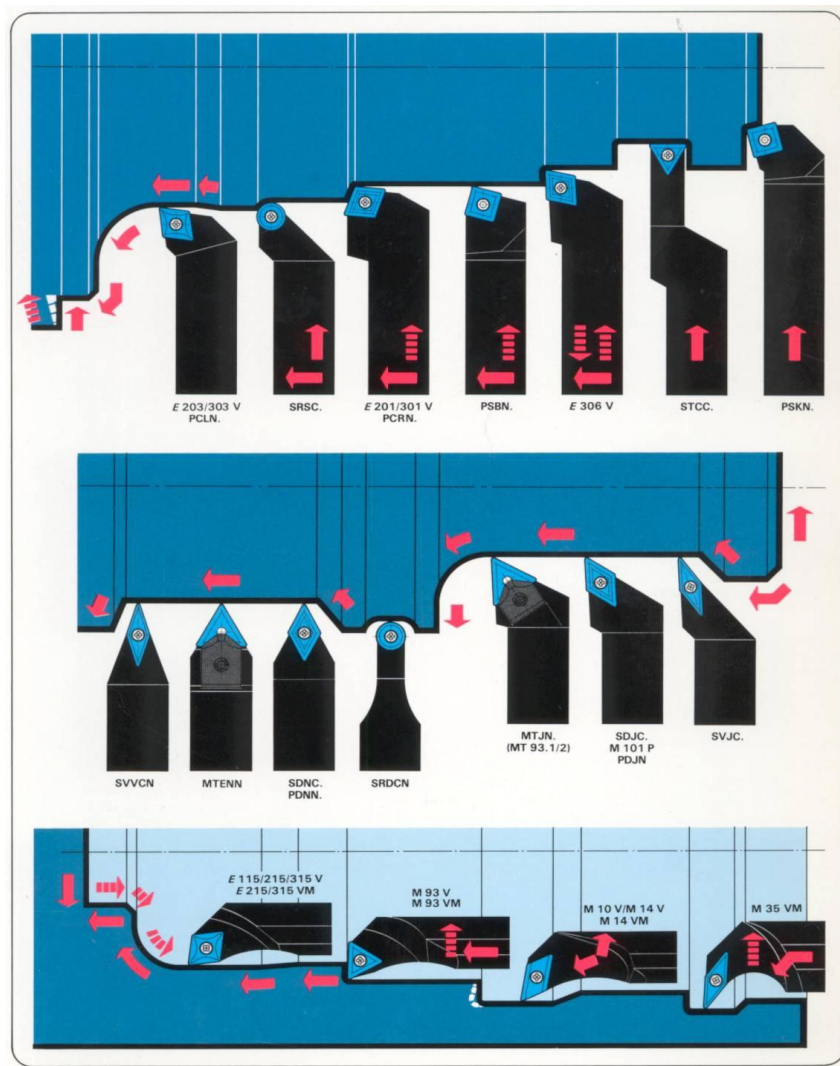
A mai kereskedelmi esztergaszerszámok jelentős része mechanikus rögzítésű váltólapkás kivitelben készül.



2.5. ábra Mechanikus lapkarögzítés lehetőségei [3,4,5]

A váltólapkák anyagából igen széles választék áll rendelkezésre. A munkadarab anyagtól és a forgácsolási feladattól függően lehet gyorsacél, keményfém bevonat nélküli, bevonatolt keményfém, cermet, oxid, vagy nitridkerámia, bevonatolt kerámia, szálerősített kerámia, polikristályos gyémánt, köbös bórnitrid.

Az esztergakéseknek számos kivitele létezik az egyes forgácsolási eljárásokhoz illetően, az elkészíthető felületek, vállak elsősorban a főél elhelyezési szögtől függenek. Váltólapkás szerszámoknál a főél elhelyezkedési szöget a váltólapka alakja és a készárban kialakított fészek elhelyezkedése határozza meg, ahogy ezt az élgeometria fejezetben kifejtettük. Bizonyos szerszámok csak egy irányban használhatók, de bizonyos szerszámokkal akár mindkét irányban is dolgozhatunk. Néhány jellegzetes példát mutat be a 2.6. ábra, ahol a nyilak mutatják a lehetséges forgácsolási irányokat hossz- illetve keresztesztergálás esetében. Érdeemes megfigyelni, hogy minél hegyesebb szögű rombuszlapkával esztergálunk, annál bonyolultabb kontúrok hozhatók létre a szerszám pálya által, úgy külső felületen, mint furatban. Az ilyen szerszámok azonban viszonylag kis élszilárdsággal és hőelvezető képességgel rendelkeznek, ezért jellemzően a profilok simító esztergálásához használják, amivel már kis szerszámterhelés jár együtt.



2.6. ábra Kialakítható felületek és forgácsolási irányok váltólapkás késeknél [STELLRAM]

A beszúró és leszúró szerszámok fontos csoportot képviselnek az esztergálás szerszámai között. A beszúráshoz, jellegéből fakadóan, különleges penge-szerű késkialakítás szükséges. Váltólapkás kivitelnél a lapkát rögzítő erő a forgácsolóerő növekedésével növekszik, ez az önszorítás. Az oldalirányú kifordulás ellen a lapka és a készár közötti alakzáró kapcsolat véd.

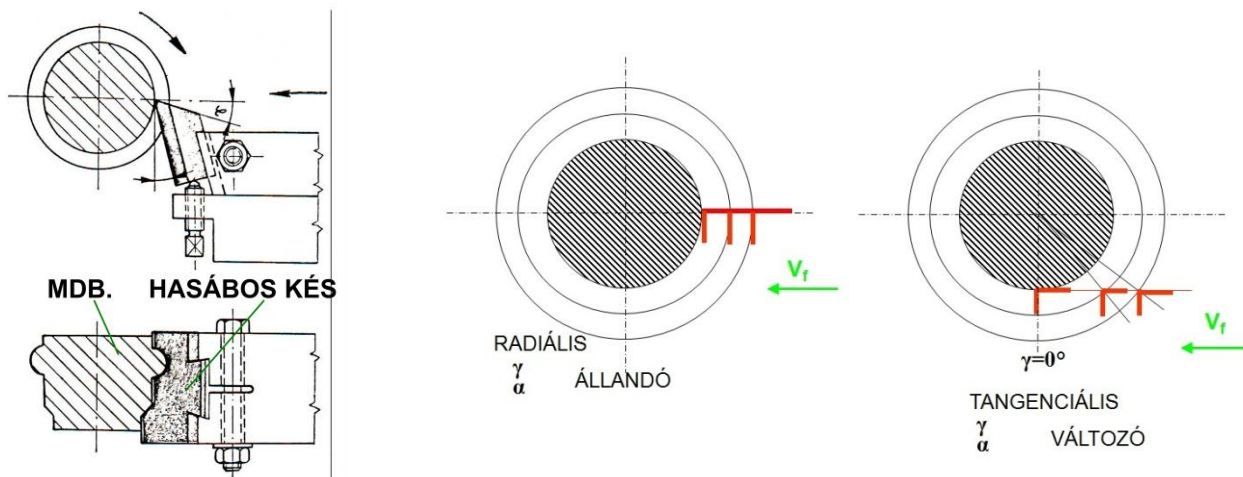
A homlokoldali beszúráshoz a készárat a beszúrási átmérőnek megfelelő görbülettel kell elkészíteni, hogy a kialakított horonyban a szerszám elférjen. Az ilyen szerszámokat tehát viszonylag szűk átmérőtartományban használhatók.

Bizonyos váltólapkás típusok korlátozottan oldalirányú megmunkálásra (hosszesztergálásra, vagy keresztesztergálásra) is alkalmasak. Körívű lapkakialakítás esetén pedig alakos felületek is készíthetők (2.7. ábra).



2.7. ábra Beszúrás és leszúrás módszerei [Taegutec] [23]

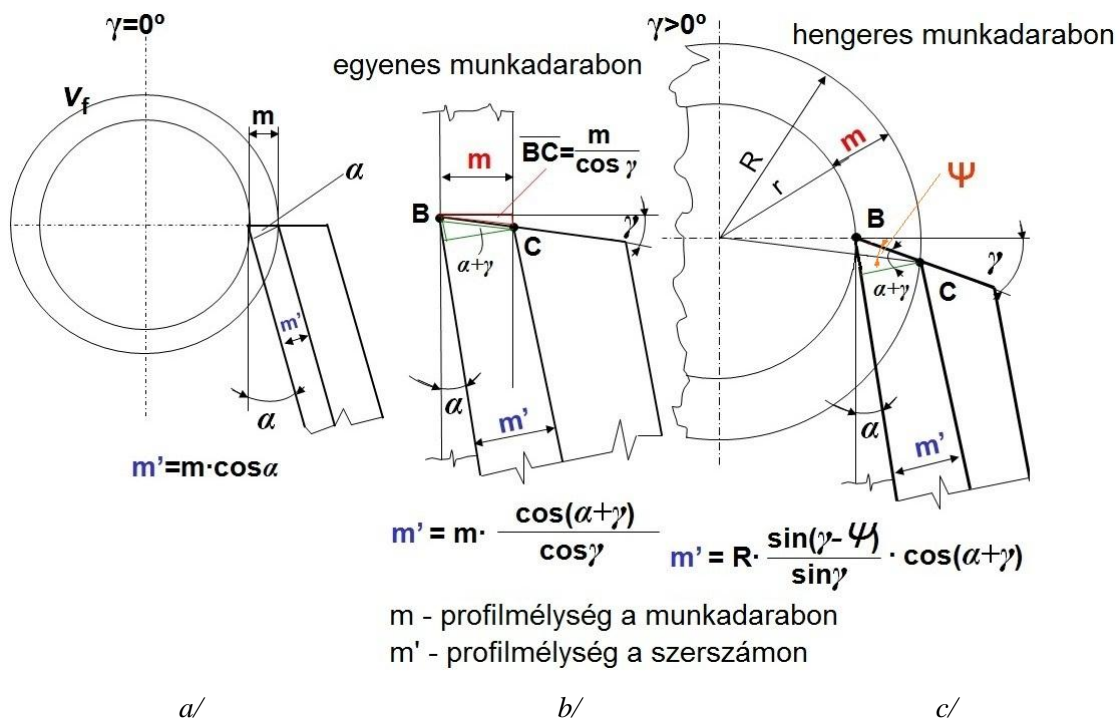
Az alagos, vagy idomkések olyan szerszámok, amelyeknél a főélet az elkészítendő munkadarab ellenprofiljaként készítik el. A legelterjedtebb ilyen alkalmazás a menetesztergálás, de korlátozott élvonalhossz mellett sokféle konvex profil kialakítható. Az alakos késeknek két fajtája terjedt el: az érintős kés, (másképpen tangenciális, vagy hasábkés) valamint a körkés. A szerszám profilja a munkadarab tengelyvonalára merőleges beszúró előtolás során másolódik rá a munkadarabra, az átmérőt az előtolás mélysége határozza meg. A szerszám kialakítható élvonalhosszát a növekvő forgácsolóerő és a rezgési hajlam korlátozza.



2.8. ábra Érintős kés kialakítása és előtolási lehetőségei

Az érintős kés hasáb alakú szerszám, készülhet tömör (2.8. ábra) és váltólapkás kivitelben is. A szerszám profiljának gyártásánál a hátfelületre merőleges metszet az irányadó. Mivel a hátszög mindig nagyobb nullánál, a szerszámprofil adott pontban vett mélysége (m') még nulla homlokszögnél sem egyezik meg a munkadarab profilmélységével (m), ezt a profiltorzulást a gyártásnál figyelembe kell venni. A profiltorzulás számítását a 8. ábra mutatja be különféle homlokszögekre és megmunkálási esetekre.

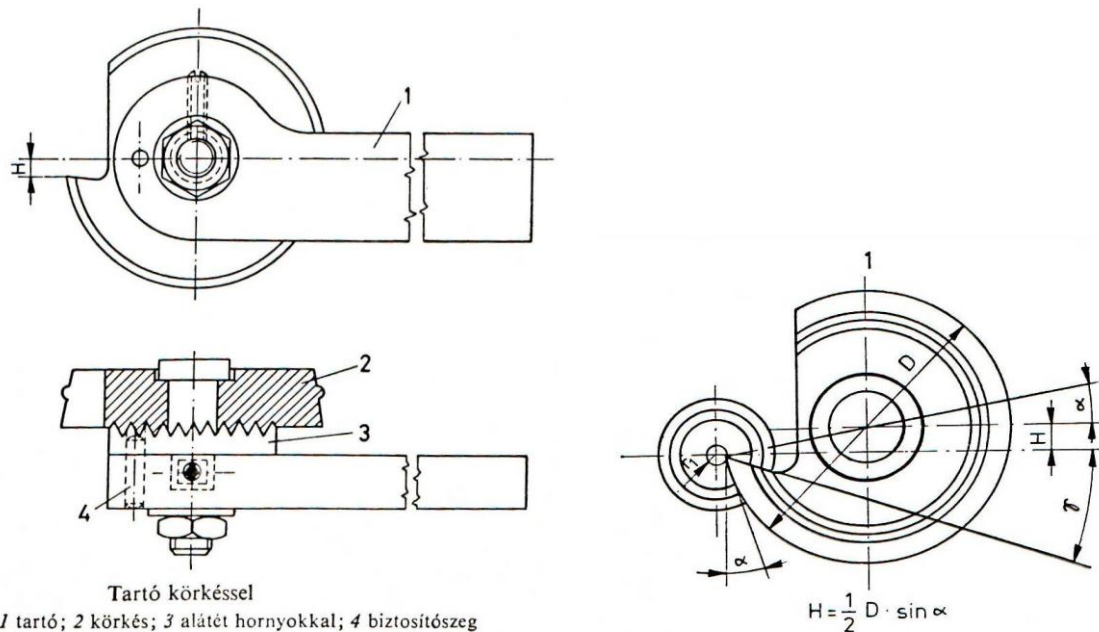
A 2.9./a ábrán hengeres munkadarab és $\gamma=0^\circ$ homlokszögű kés esete látható. Ekkor a profiltorzulás egyszerűen számítható. A 2.9./b ábrán a munkadarab sík (végtelen sugarú hengeres munkadarab) és $\gamma>0^\circ$. A levezetés elhagyásával a szerszám profilmélysége a munkadarab profilmélységéből és az α , γ szögekből számítható ki. Legösszetettebb esetben $\gamma>0^\circ$ és a munkadarab sugarát sem hanyagoljuk el, ezt mutatja be a 2.9./c ábra.



2.9. ábra Érintős kés profiltorzulásának számítása

A körkések szerszámprofilját a hasábos késekkel ellentétben nem egy hasáb oldallapján alakítják ki, hanem körkörösén a szerszám hengerfelületén. A hátszög biztosításához a kés középpontját a munkadarab középpontjához képest az *2.10. ábra* jelölése szerint H értékkel magasabbra kell beállítani. Az előtolás során tehát a hátszög értéke változik, mivel az a sugártól függ.

Az alakos kések egyedi gyártású szerszámok, újraélezésük a homlokfelületen történik, így a profil eredeti állapotában marad.



2.10. ábra Körkés kialakítása és a késkiemelés számítása

2.1.4 Az esztergálásnál alkalmazott munkadarab befogások

A befogás feladata, hogy a munkadarab elkészítendő forgásszimmetrikus felületének szimmetriatengelyét a gép főorsójával egy tengelybe hozzuk, továbbá biztosítsuk a munkadarab forgatásához szükséges nyomaték átvitelét. Tengelyszerű alkatrészeknél emellett biztosítani kell a munkadarab forgácsolóerő okozta rugalmas alakváltozásának szükséges mértékű csökkentését.

Befogás tokmányba

A tokmány olyan készülék, amelynek szorítópofái az átfogási tartományban mindig azonos távolságot tartanak a forgási középponttól, biztosítják a munkadarab központosítását és a menesztést (nyomatékátvitelt) egyaránt. A pofák három, a szorítás történhet külső és belső felületeken.

A tokmány önmagában mechanikailag konzolos befogásnak tekinthető, a konzol szabad végének támasztásához csúcsot alkalmaznak.

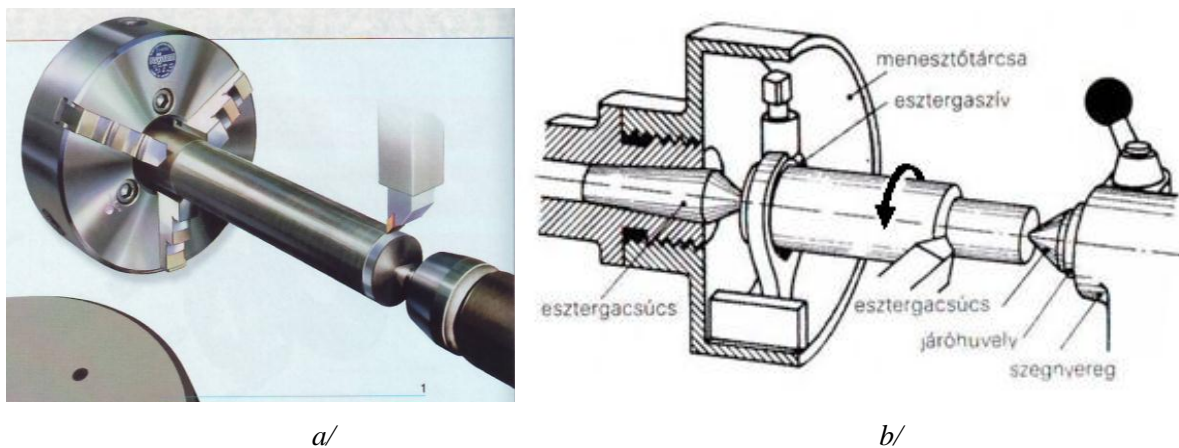
Befogás csúcsok közé

A csúcsot párban, vagy tokmánnyal szemben használják. A csúcsok közötti megtámasztás biztosabb központosítást ad, mint a tokmány. Az alkalmazásához a munkadarab homlokfelületén csúcsfészket kell kialakítani, de megfelelő letéréssel rendelkező furat is alkalmas lehet a csúccsal történő támasztásra. A csúcsfészkek kialakítása szabványosított, 60° -os kúpot

használnak kisebb és könnyebb daraboknál, 90°-os kúp használatos a nehéz munkadaraboknál. A csúcsfészek kiegészülhet 120°-os védőkúppal is. Kis átmérőjű munkadaraboknál, ahol nincs lehetőség központfurat létrehozására a munkadarab végződése is lehet csúcsos kialakítású, ekkor a befogás belső kúppal történik.

Két csúcs közötti befogásnál a munkadarab menesztéséről külön kell gondoskodni, ami megoldható esztergaszívvel, vagy menesztőcsúccsal. Az esztergaszív a paláston szorít, a menesztőcsúcs a homlokfelületen, mindkét megoldás nyoma meglátszik a munkadarabon (2.11./b ábra).

A csúcs kivitele szerint lehet álló-, vagy forgócsúcs. Az állócsúcs nem forog együtt a munkadarabbal, tehát kenésről gondoskodni kell, a forgócsúcs csapágyazott és megfelelő szorítóerő esetén együtt forog a munkadarabbal.

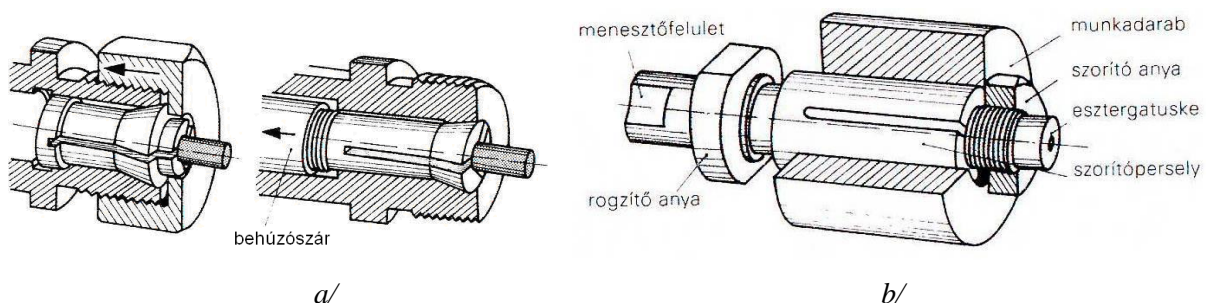


2.11. ábra a/ Befogás tokmányban csúccsal megtámasztva b/ Befogás csúcsok közé, menesztés esztergaszívvel [1]

Befogás patronban és expanziós tüskén (2.12. ábra)

A patronok kis átfogási tartománnyal rendelkező befogókészülékek. A munkadarabot a több helyen felhasított patronhüvely szorítja és központosítja a speciális patronkulcs meghúzásával. Jó központosítást adnak, de a munkadarab átmérotűrése is megfelelően kicsi kell legyen (0,1-0,15 mm), elsősorban húzott rudak befogására alkalmas. Ennek megfelelően széles átmérotartomány lefedéséhez nagy méretsorozatot biztosító patronkészlet szükséges.

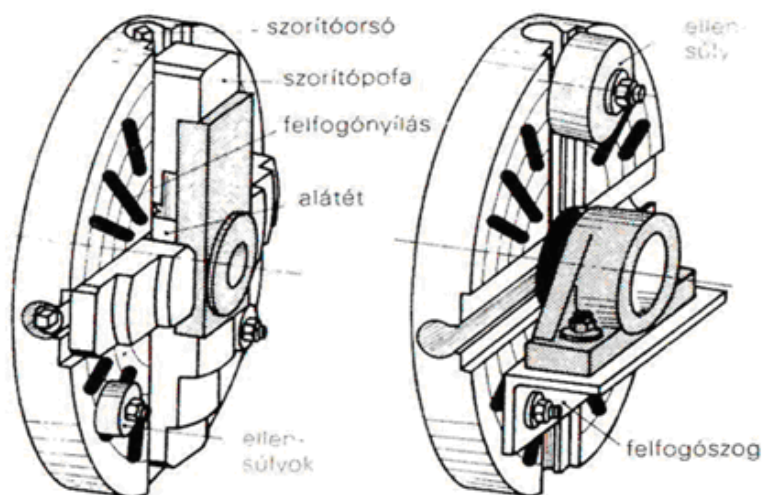
Belső hengeres felületen expanziós tüskével is lehet a munkadarabot központosítani és meneszteni. Az expanziós tüske átfogási tartománya a patronokhoz hasonlóan szűk.



2.12. ábra a/ Patronos befogás b/ Befogás expanziós tüskén [1]

Befogás síktárcsán (2.13. ábra)

A szabálytalan alakú munkadarabokat síktárcsára fogják fel, ahol a szorítást külön-külön állítható pofák, vagy egyéb a síktárcsához rögzített szorítóelemek biztosítják. A munkadarab beállítása hosszadalmas és szükség lehet kiegyensúlyozó tömegek alkalmazására is.



2.13. ábra Nem forgásszimmetrikus munkadarab befogása síktárcsán [1]

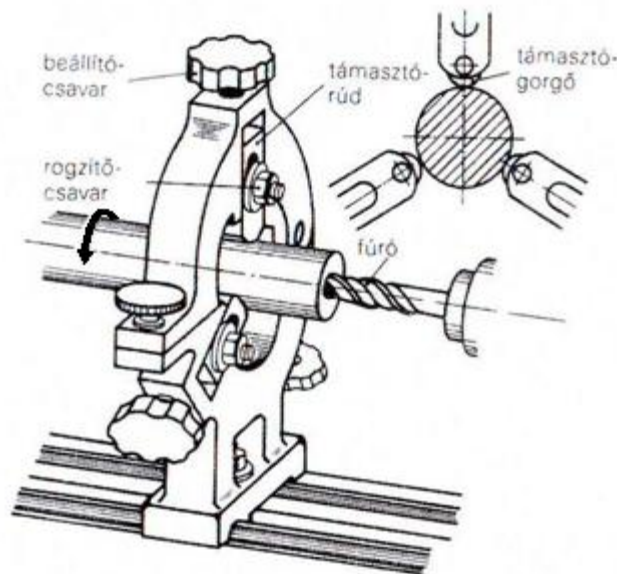
Megtámasztás bábbal

A forgácsolás során fellépő erők deformálják a munkadarabot, ami méret- és alakhibához vezet. A forgácsoló erő felvételét és a munkadarab tehermentesítését szolgálják a különféle bábok, amelyek megmunkálás közben támasztják a munkadarabot. A munkadarab hossz és átmérő viszonya meghatározza annak karcsúságát, ami alapján eldönthető, hogy milyen megtámasztás lehet szükséges az adott megmunkálás során:

$$\frac{l}{d} < 3 \quad \text{befogás csak tokmányba}$$

$$3 < \frac{l}{d} < 12 \quad \text{tokmány + csúccsal támasztva}$$

$$\frac{l}{d} > 12 \quad \text{tokmány + csúcs + bábbal támasztva}$$



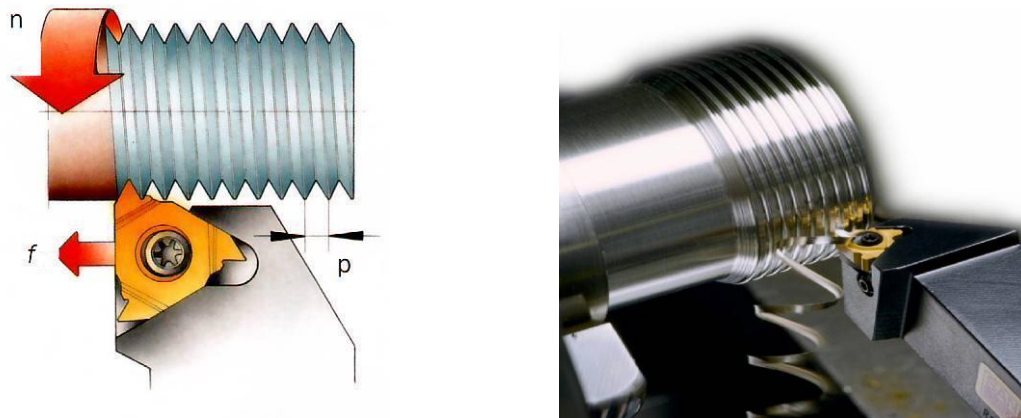
2.14 ábra. Támasztás álló bábbal [1]

A munkadarabot a báb csúszó, vagy görgős kapcsolaton keresztül támasztja. Megkülönböztetünk álló és mozgó bábokat. Az álló báb a megmunkálás során nem mozdul el, míg a mozgó báb a szerszámmal együtt mozog és folyamatosan az erővel szemben támaszt. A báb alkalmazásával kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy csak megmunkált felületen szabad használni, tehát a bábhely előzetes esztergálása szükséges. Az automata gépeken a bábok a szerszámhoz hasonlóan program alapján mozognak és zárnak rá az aktuális támasztott felületre.

2.1.5 Menetesztorgálás

A menetesztorgálás szerszáma a menetprofilnak megfelelő alakos kés. A kés lehet tömör, forrasztott lapkás vagy váltólapkás. A menetesztorgáló váltólapkából a szerszámgyártók különösen széles élananyag- és bevonatválasztékot biztosítanak. Használják erre a célra érintőkést és körkést is. Mindkét kivitelben készülhet fésűs kés, ami a teljes menethossznak megfelelő profilt tartalmazza és a menet egy fogással kialakítható vele.

A menetesztorgálás alapelve, hogy a kés fordulatonkénti előtolása (f) pontosan meg egyezik a menetemelkedéssel (p). Több bekezdésű menethnél természetesen az egy bekezdésre érvényes menetemelkedést kell alkalmazni. A hagyományos esztergagépeken menetesztorgáláskor, ha a gáp nem rendelkezik megfelelő előtolással, akkor a kést tartó hossz szánt a vezérorsóról cserekerék közvetítésével hajtják, így gyakorlatilag tetszőleges emelkedésű menet alakítható ki. A menet profilját a szerszám alakja biztosítja. (2.15. ábra)



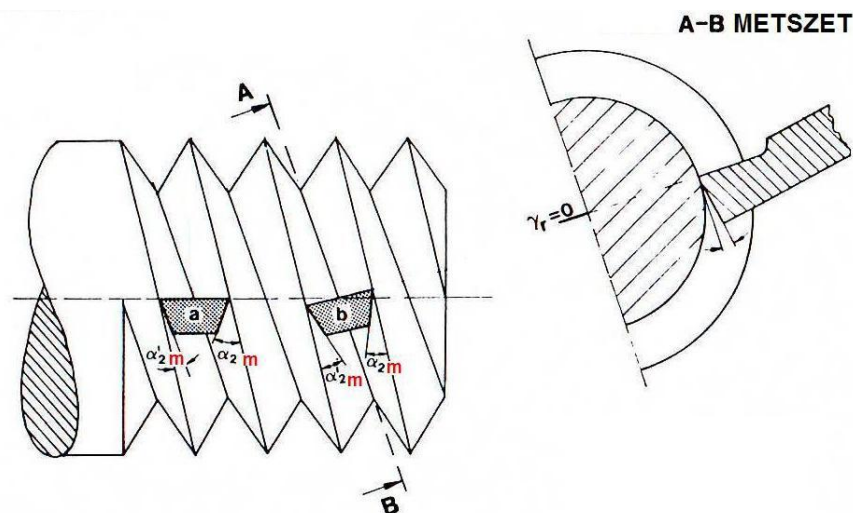
2.15. ábra Külső menet esztergálása [Sandvik] [5]

Attól függően, hogy a teljes profilt tartalmazza-e a szerszám, megkülönböztetünk teljes profilú és részprofilú lapkákat. A részprofilú lapkák előnye, hogy a profiljuknak megfelelő mélységig gyakorlatilag bármilyen menetárok-mélység kialakítható, de a menetprofil külső átmérője nem biztosított. A teljes profilú lapkák (új állapotukban) az adott menetprofil összes geometriai információját hordozzák, így alakhű profil készíthető. A fésűs kialakítás a teljes profilú váltólapkák olyan változatai, melyek a teljes profilt adó rész előtt csonka, vagy kisebb fogásmélységet elérő profilt is tartalmaznak, amelyek 1-2 menettel előrébb forgácsolnak. Ilyen módon fogásfelosztás valósítható meg és kevesebb fogásvételből elvégezhető a megmunkálás, mint az egyetlen profilt tartalmazó lapkáknál.



2.16. ábra Menetesztorgáló lapkák kialakítási lehetőségei [Sandvik] [5]

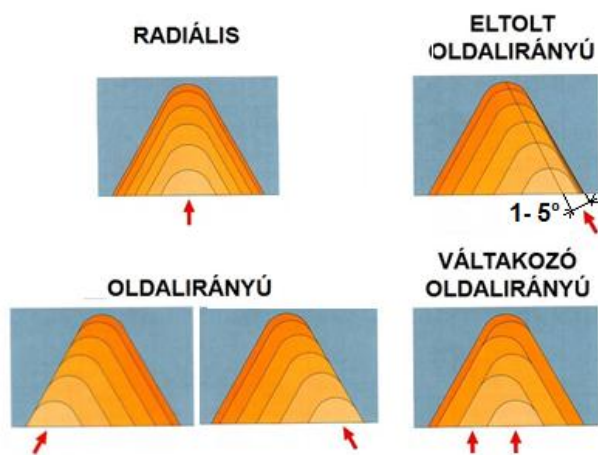
Mivel a menetesztorgálás során a menetemelkedés miatt gyors az előtolási sebesség, figyelembe kell venni, hogy a működő meghatározó rendszerben értelmezett hátszög a menetárok két oldalánál eltérő lesz. Ennek eredménye eltérő kopás a szerszámon és eltérő felületi minőség a menetárok két oldalán. Megoldást az jelent, ha a lapkát a menetemelkedés szögének megfelelő mértékben megdöntik, így azonos működő hátszög alakul ki. Hogy ne kelljen minden menetemelkedéshez külön lapkát gyártani, különféle döntést biztosító alátét lapkával szokás a szögöt beállítani, amiből egyetlen készlet elegendő.



2.17. ábra Működő hátszög azonosságának biztosítása a lapka megdöntésével

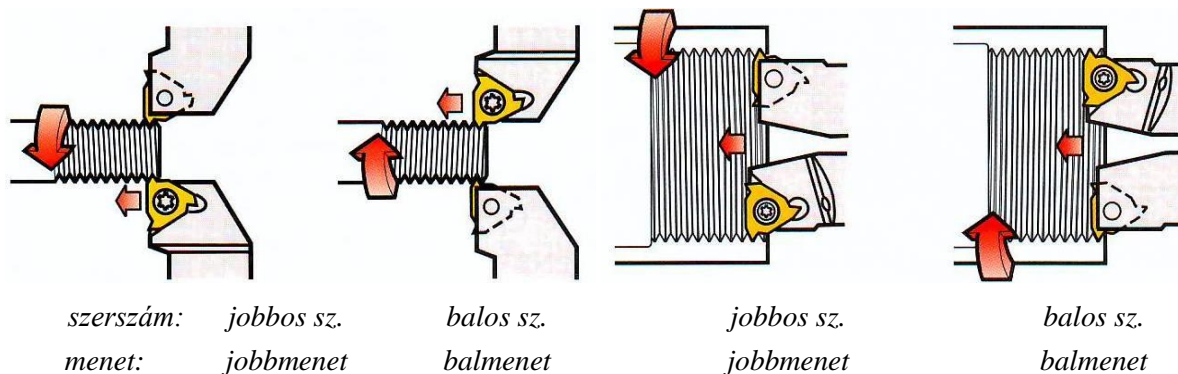
A szerszám túlterhelésének veszélye miatt a menetárkot általában nem lehet egy fogásból kialakítani, ezért fogásfelosztást kell alkalmazni, vagyis a kését többször kell ugyanabban a menetárokban végigvezetni, a fogásmélységnek megfelelően mindig újabb anyagrészt távolítva el a kialakítandó árokból. Az élnek tehát, mindig ugyanabban a munkadarab tengelyhelyzetben kell a forgácsolást megkezdenie. Hagyományos gépek esetében ezt a követelményt csak úgy lehet biztosítani, hogy a vezérorsó és a munkadarabot is hajtó főhajtás kinematikai láncát a visszafutásnál sem szabad megszakítani. A számvezérlésű gépek az út- és elfordulás jeladóik segítségével a vezérlés alapján kezdik újra a menetet, ezért a visszafutás nagy sebességgel történhet. A fogásfelosztást négy módon végezzük el, amelyeket a 2.18. ábra mutat be. A radiális módszernél a menetárok szimmetriavonala mentén haladunk a menetárok legalsó pontjáig, ez klasszikus eljárás. Az elméleti forgácskeresztmetszet V alakú, emiatt kedvezőtlen lehet a forgácstörés, nagy menetároknál vibráció léphet fel a hosszú dolgozó élvonal miatt. Hagyományos gépeken jobbra csak ezt a módszert alkalmazzák.

Az oldalirányú módszernél minden fogást tengelyirányban is eltolva kezdenek meg. A forgács alakja így már kedvezőbb lesz, de a menetárok két oldala eltérő felületi érdességű és csak a kés egyik éle kopik. Attól függően, hogy melyik oldalról végzik a mélyítést befolyásolható a forgács terelése. Az eltoló oldalirányú eljárásnál a kés csúcsát némileg eltolják a készítenő menetárokhoz képest, tehát a fogásvételi irány szöge $3-5^\circ$ -kal kisebb a menetprofil szögénél, az utolsó fogásban a kés mindkét oldala dolgozik, ezzel a menetárok két oldala azonos felületi érdességűre készül. A váltakozó oldalirányú módszerrel biztosítható, hogy a kés mindkét éle azonosan kopik és a menetárok is homogén minőségű lesz.



2.18 ábra. Fogásfelosztási módszerek menetesztergálásnál [5]

A külső és belső menetek esztergálásának módszere alapvetően megegyező, de figyelembe kell venni a kés irányítottágát (jobbos vagy balos) illetve a menetemelkedés irányát is. A meneteket rendszerint a szabad vég oldaláról munkálják meg, az alapelehetőségeket a 2.19. ábra mutatja be. Furatban történő menetesztergálásnál a forgács kihordása fontos tényező a megmunkálás biztonsága szempontjából. Ebben az esetben a megfelelő oldalról történő mélyítéssel végzett oldalirányú fogásfelosztás kedvező eredményt ad.



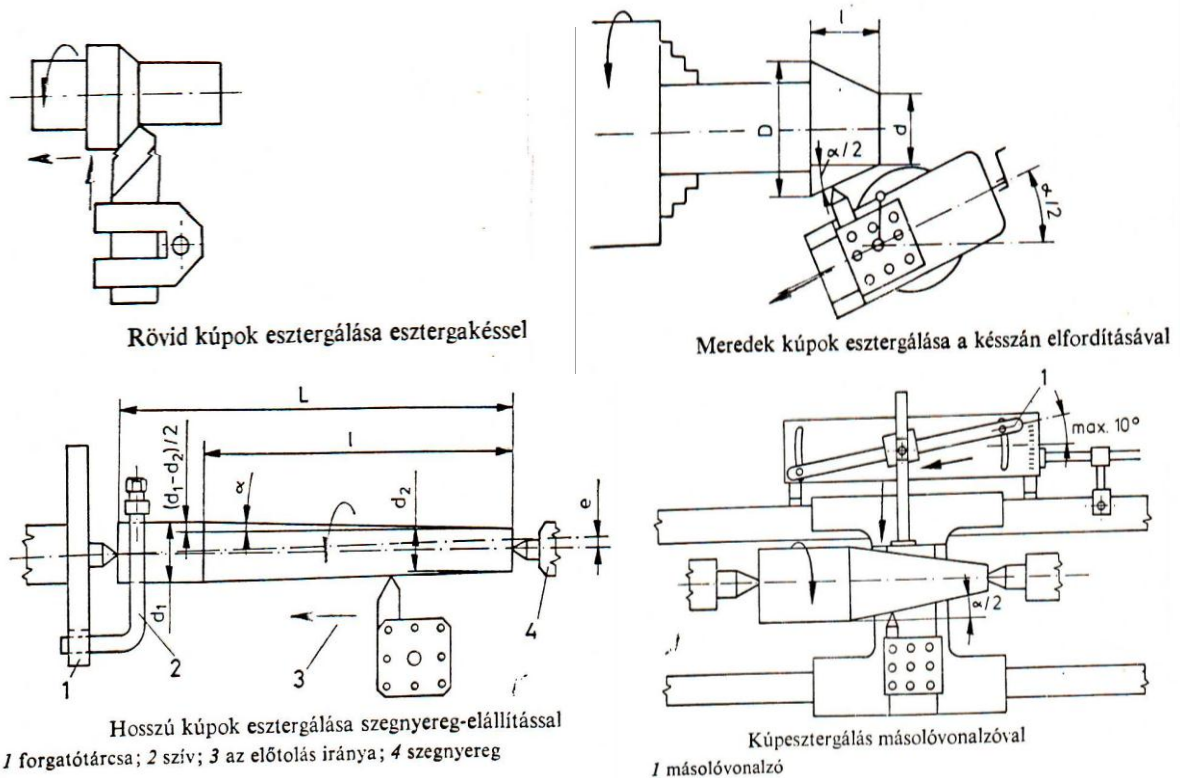
2.19. ábra Menetesztérálás módszerei [Sandvik] [5]

2.1.6 Különleges esztergálási módok

A kúpos-, gömb- és összetett alakos felületek esztergálása a CNC esztergagépekkel a hossz szán és a keresztzán összehangolt mozgásával, megfelelő szerszámgeometriával programozottan elkészíthető. A következőkben néhány olyan jellegzetes eljárást mutatunk be, amelyek hagyományos (számvezérlés nélküli) gépeken alkalmasak az adott felületek elkészítésére.

Kúpfelület esztergálása

Letörések és rövid kúpfelületek esztergálása a kúp szögének megfelelő elhelyezkedési szögű szerszámmal is lehetséges (15. ábra).



2.20. ábra Kúpfelület esztergálás hagyományos esztergagépen [13]

A készsán elfordításával kézi előtolással hosszabb kúpok esztergálhatók. A szükséges elfordítási szög:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{D - d}{2 \cdot l}$$

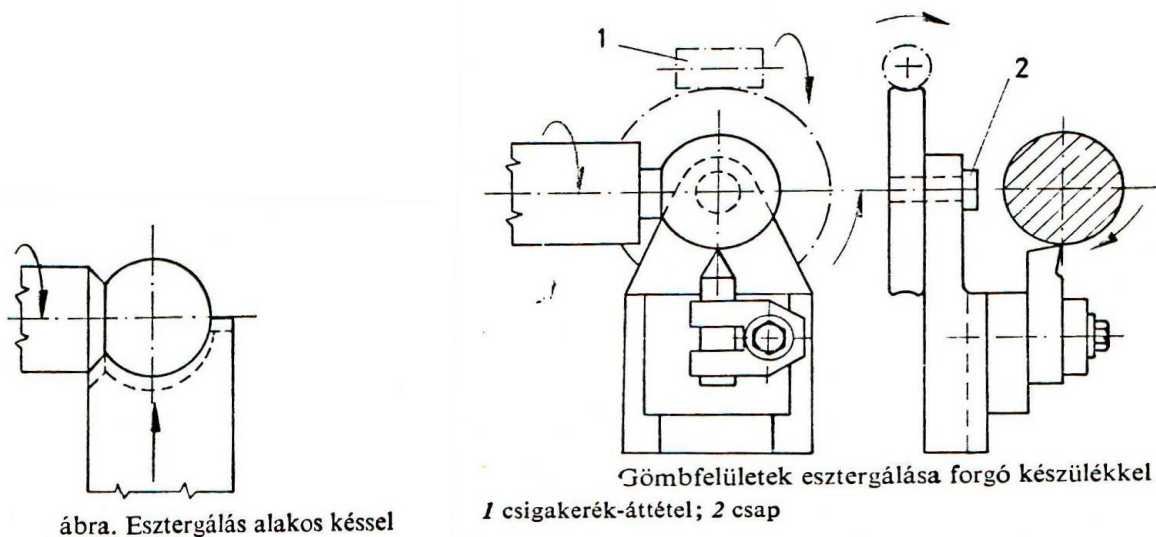
$\alpha = 1..2^\circ$ kúposág esetében végezhető az esztergálás a szegnyereg eltolásával (2.20. ábra). A szegnyereg eltolásának mértéke:

$$\frac{e}{l} = \sin \frac{\alpha}{2}; e = l \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = l \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = l \cdot \frac{D - d}{2 \cdot l} = \frac{D - d}{2}$$

Végezhető a kúpfelület esztergálása kúpvonalzóval (másolóvonalzó), amit az esztergagép ágyára szerelnek és a kívánt szögnek megfelelően állítják be. A keresztorsó kikapcsolásával a keresztcsán-kúpvonalzó kényszerkapcsolata miatt a keresztcsánon befogott esztergálás a kúpvonalzó által megadott egyenes vonalú mozgást végzi. Ez lényegében másoló eljárás, mivel a mechanikai kapcsolatból eredően a másolóvonalzó (ez esetben egyenes) profilját követi le a kés éle.

Gömbfelület esztergálása

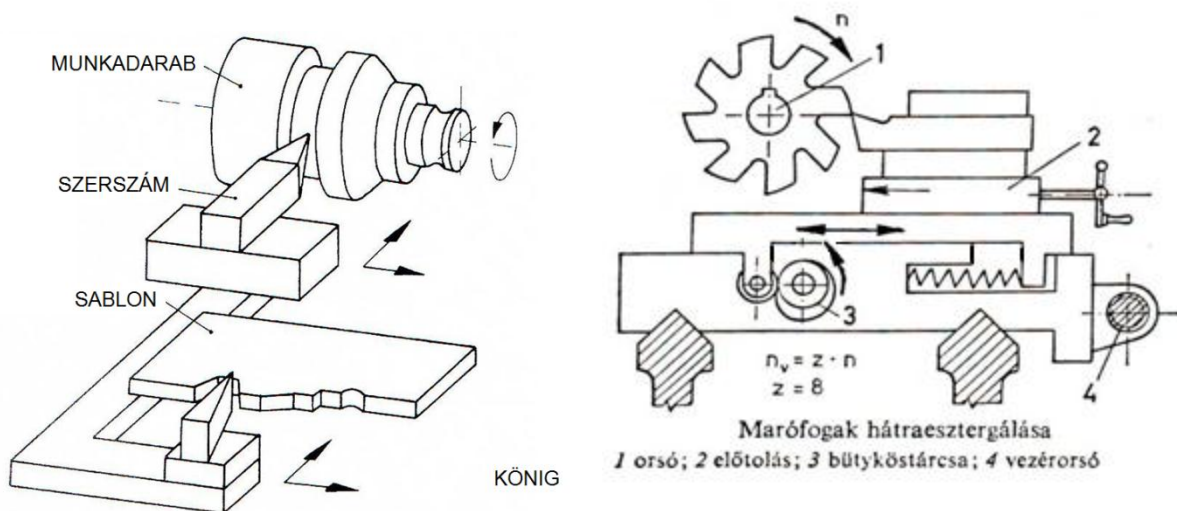
Kis átmérőjű gömbfelületek esztergálhatók alakos szerszámmal, vagy forgó készülékkel. Ez utóbbi a kést az alkotó menti íven mozgatja.



2.21. ábra Gömbfelület esztergálása hagyományos esztergagépen [13]

Másoló esztergálás

A másoló eljárást a tömeggyártásban lehet gazdaságosan használni. A másoló szerkezet elvét mutatja be a 2.22. ábra. A sablon letapogatása és a mozgásátvitel a nagyteljesítményű gépeken hidraulikus vagy elektromos, illetve ezek kombinációja valósítja meg.



2.22. ábra Másoló esztergálás elve [2]

2.23. ábra Hátraesztergálás [13]

A másoló esztergálás elvén működik a dugattyú eszterga is. A belső égésű motorokban az egyenetlen hőtágulás miatt a dugattyút enyhén kúposra és egyben ovális alakúra kell megmunkálni, hogy az üzemi hőmérsékleten a szükséges hengeres alakot vegye fel.

Hasonló elvet testesít meg a hátraesztergálás is, amivel marószerszámok hátfelületét munkálják meg spirális alakúra (2.23. ábra). A marófogak számának megfelelően egy fordulaton belül a kést sugárirányban ki-be kell mozgatni. A kést egy olyan vezértengellyel hozzák kényszerkapcsolatba, ami a fogak számának megfelelően a munkadarab fordulat-

számának többszörösével forog. Elvében hasonló a bütökstengelyek megmunkálása is, de ott egy fordulaton belül a kés is csak egy sugárirányú ciklust jár be.

2.1.7 Esztergagépek

Az esztergagépeket vízszintes, vagy függőleges tengelyelrendezés jellemzi. A hagyományos esztergák fő csoportjait a 2.1. táblázat foglalja össze.

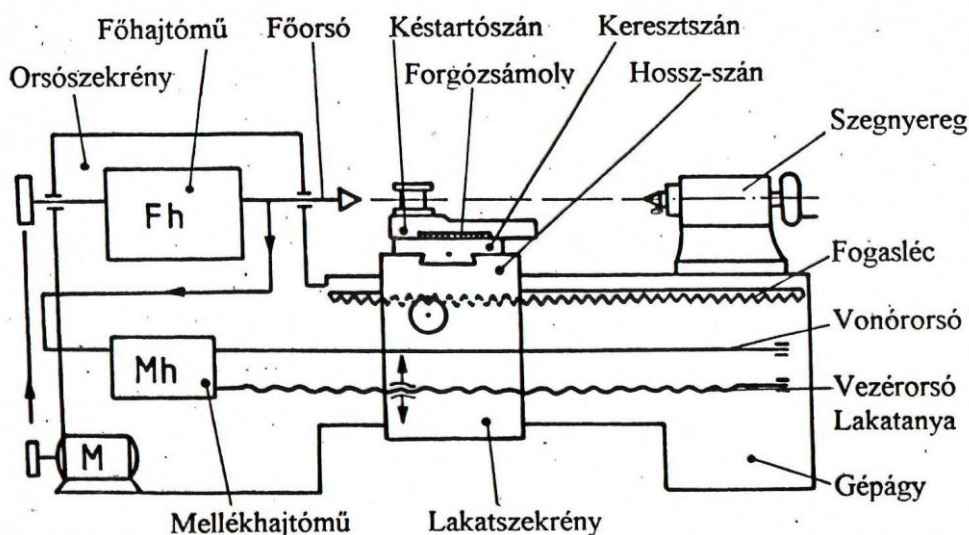
Esztergák csoportosító áttekintése

Fajta	Típus	Jellemző
Csúcsesztergák	Egyetemes esztergák: a) Kiseszterga b) Közepes eszterga c) Nehézeszterga	Vezérsóval. Legnagyobb elforgó átmérő: $D = 250$ mm $D = 250-500$ mm $D > 500$ mm
	Műszerész eszterga Utáneszterga	Kisméretű, leegyszerűsített szerkezetű, vagy egyetemes eszterga
	Finomeszterga	Nagy munkapontosság
	Teljesítményeszterga	Vezérsó nélkül
	Többkéses eszterga	Több kés befogására alkalmas szánokkal
	Különleges csúcsesztergák a) Másolóeszterga b) Hátraeszterga c) Hengereszterga d) Kohászati hántoló- eszterga e) Forgattyústengely eszterga f) Vasúti kerékpár- eszterga	Meghatározott feladatra, különleges szer- számmozgatással és szerkezeti felépítés- sel
Síkesztergák	Fejeszterga	Vízszintes főorsóval, nagy átmérőkkel
	Karusszeleszterga	Függőleges tengelyű, több késtartószán- nal
Revolversztergák	Toronyrevolvereszterga	Függőleges, vagy közel függőleges ten- gelyű revolverfej
	Dobrevolvereszterga	A revolverfej forgási tengelye vízszintes
Automaták	Egyorsós automaták a) Revolverautomata b) Hosszesztergáló auto- mata c) Alakbeszűrő automata	Vízszintes főorsó Revolverfejjel A munkadarab hosszirányú eltolást vé- gez Idomkésekkel dolgozik
	Többorsós automaták	Vízszintes vagy függőleges orsókkal
Különleges esztergák	Csúcsnélküli hántológép	A szerszám forgó főmozgást, a munka- darab eltoló mozgást végez
	Sokszögeszterga	A szerszám kettős forgómozgást végez

2.1. táblázat Esztergák csoportosítása [18]

A csúcsesztergákba a munkadarab két csúc közé is felfogható. A síkesztergák tárcsa-szerű (nagy átmérő-hossz) viszonyú munkadarabok megmunkálására használatosak. A munkadarab tengelyelhelyezésétől függően fejesztergának, vagy karusszesztergának hívják. A revolveresztergák elnevezése a késtartó (revolverfej) különleges kialakításából ered. A revolverfejbe több szerszám helyezhető el, és a szerszámcsere helyett a van, a mellékidő csökken.

Az eszterga működési alapelvét a hagyományos egytetemes csúcseszterga példáján szemléltetjük (2.24. ábra).



2.24. ábra Hagyományos esztergagép fő részei

A gép alapeleme a gépágy, erre illetve ebbe építik be a kés illetve a munkadarab mozgatóhoz, rögzítéséhez szükséges elemeket. Ezen esztergagépek méreteit a csúcs távolság, a csúcs magasság és a megmunkálható legnagyobb átmérő jellemzi. A munkadarabot a főorsó tengelyvonalában helyezik el. A rögzítés a már ismertetett módokon történhet, a csúccsal végzett támasztásnál a szegnyeregben elhelyezett csúcsot használják. A munkadarab forgatását az M jelű motor a főhajtóművön keresztül végzi. A hajtómű lehet fogaskerekekkel biztosított többfokozatú, mechanikus fokozat nélküli, esetleg fokozat nélküli elektromos, de ez utóbbi különösen a CNC gépek jellemzője.

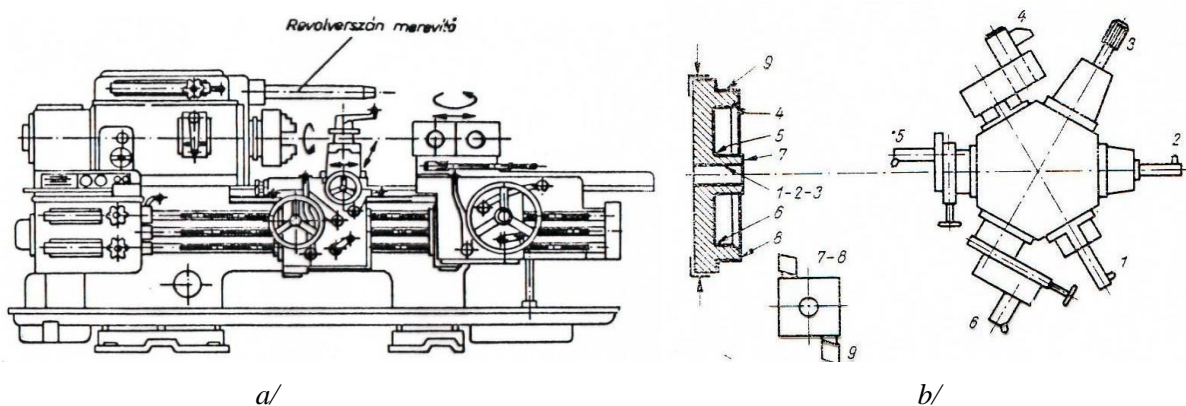
A szerszámot rögzítő késtartót a tengelyvonalra merőlegesen elmozduló keresztszánra rögzítik, amin az egész késtartó szögben elfordítható a tengelyvonalhoz képest. A keresztszán a hossz-szánon foglal helyet. A hossz-szánt a főhajtásról leágaztatva a mellék hajtóművön keresztül lehet mozgatni. A szán mozgatása lehet kézi (a fogaslécen keresztül kézikerekkel) vagy gépi. A gépi mozgatáshoz hosszsztergáláskor a vonóorsót használják, keresztesztergálás esetében a hossz-szánon belül lehetőség van a mozgást a keresztszánra átszarmaztatni. Menesztergálásnál a vezérorsót használják a hossz-szán előtolásához, ezt a lakatánya zárásával lehet kapcsolni.

Revolveresztergák

A revolveresztergák a nagysorozat és tömeggyártás gépei. A revolverfejben a szerszámok a megmunkálás sorrendjében helyezkednek el, és a fejet elforgatva kerülnek munkahelyzetbe. A szerszámtartó kialakítása szempontjából kétféle revolveresztergát különböztetünk meg: a függőleges tengelyű késtartós toronyrevolvért és a vízszintes tengelyű dobrevolvért.

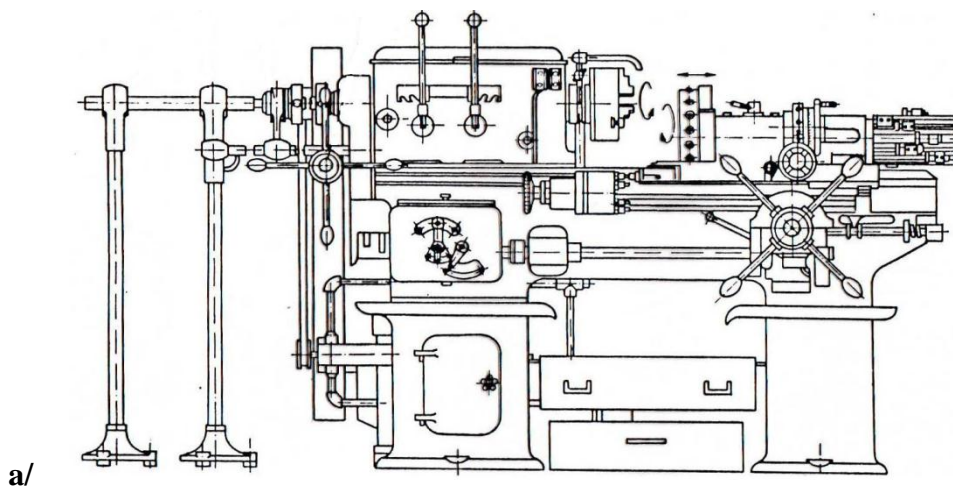
Toronyrevolvernél a szerszámok a sokszög alakú henger palástján, dobrevolver esetén a hengeres dob homloklapján helyezkednek el. A munkadarabok átmérőméreteit a szerszámok (állandó méretű és beállítható) biztosítják.

A hagyományos revolvereszterga egy munkadarab teljes esztergálási műveletsorát és központi furatok elkészítési műveleteit képes elvégezni, amennyiben a revolverfejbe befogható szerszámok erre elegendőek. A szán hosszmozgásait ütközőkkel szabályozzák, így az elmozdulást nem kell a kezelőnek folyamatosan figyelemmel kísérni. Az előtolás lehet kézi, vagy gépi, a visszatérés rendszerint kézi, ezalatt a revolverfejjel beváltható a következő szerszám. Az automatizáltság szintje erre alkalmas gépeken nagy sorozat esetében tovább növelhető azzal, hogy a szánmozgást és a revolverfej váltását vezértárcsa irányítja (revolverautomaták). Toronyrevolver esztergákon a leszúrást külön késtartóban elhelyezett szerszámmal kell elvégezni.

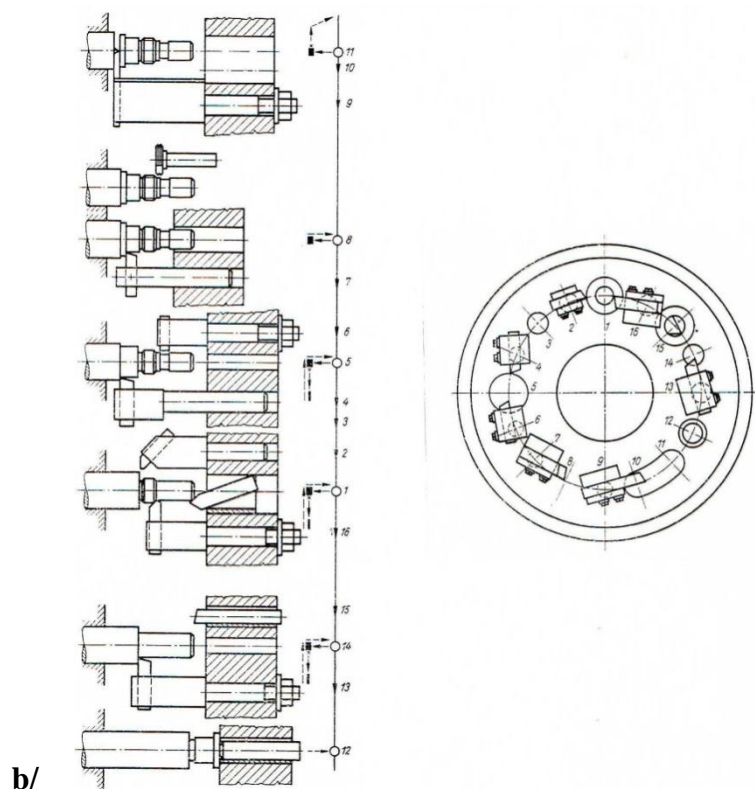


2.25. ábra a/ Toronyrevolver eszterga b/ megmunkálási példa toronyrevolverre

A dobrevolver esztergán a revolverfej elhelyezése miatt a besúrást és leszúrást is elvégezhető a revolverfejbe fogott szerszámokkal.

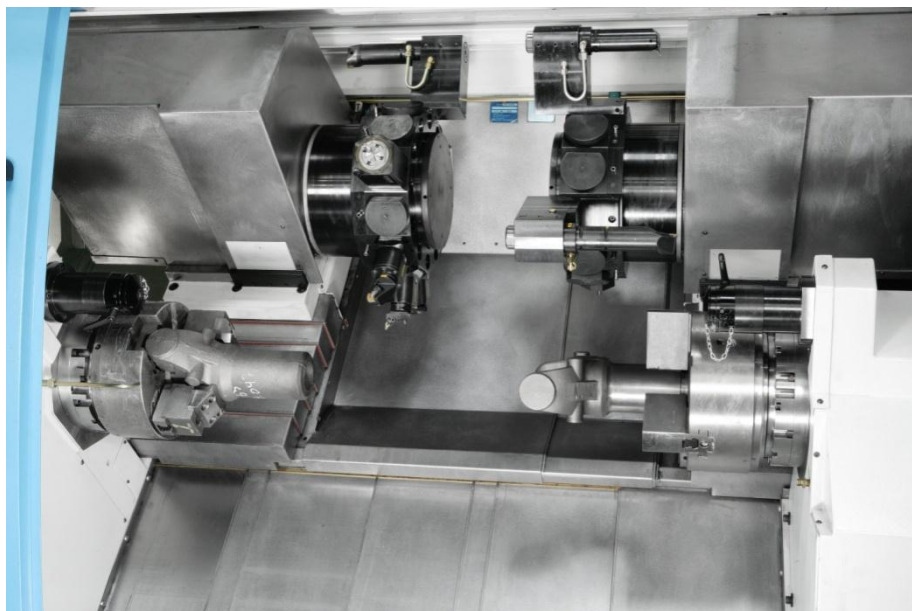


2.26. ábra Dobrevolver eszterga



2.27.b/ ábra Megmunkálási példa dobrevolverre

Az NC/CNC esztergagépek szerszámozását is rendszerint revolverfejes késtartóval oldják meg. A nagyobb termelékenységet szolgálják az ellenorsós gépek, így ugyanannak a munkadarabnak a két oldalát egy gépen belül lehet megmunkálni (2.26. ábra). A munkadarabot az egyik oldal elkészülte után a szemben elhelyezett orsó automatikusan veszi át.

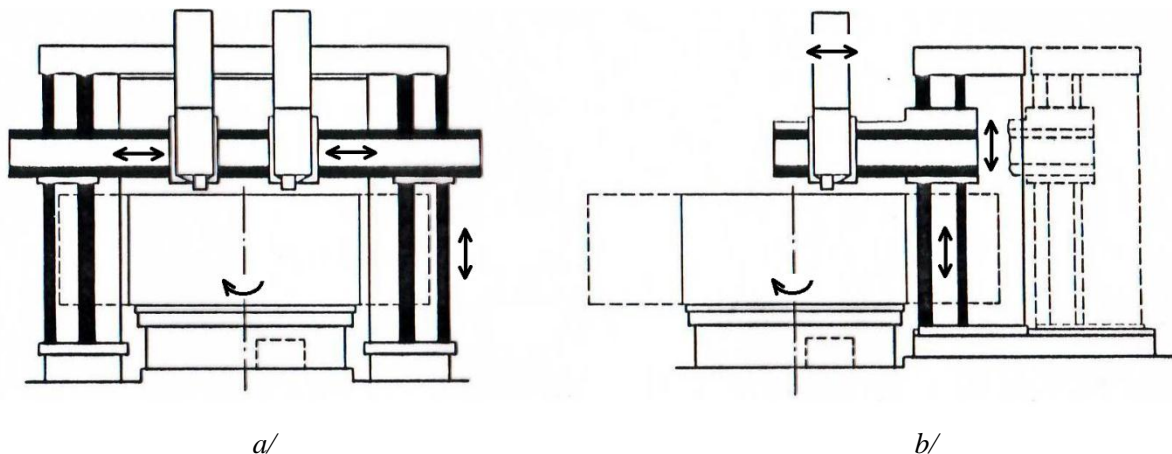


2.28. ábra Ellenorsós CNC eszterga munkatere

Síkesztergák: karusszeleszterga és fejeszterga

Nagyméretű, nagy átmérőjű és viszonylag rövid munkadarabok megmunkálására alakították ki a karusszelesztergákat és a fejesztergákat. Az átmérő jellemzően legalább a hosszal egyezik meg, vagy annak akár többszöröse: $l/d < 1$. A síkesztergák két fő csoportja a karusszeleszterga és a fejeszterga. A fejeszterga vízszintes tengelyelrendezésű, a karusszeleszterga függőleges.

A karusszelesztergák felépítésük szerint lehetnek egyállványosak, vagy kétállványosak. Az állvány függőleges vezetékére mellgerendát szerelnek, ami a szánt tartja. A korszerű gépeken revolverfej is elhelyezhető, tehát többféle szerszámmal bővíthető az egy beállítással elvégezhető műveletek köre. A 2.28. ábrán nem jelöltük, de az állványokra oldalszán is elhelyezhető, amely függőleges irányban mozgatható.



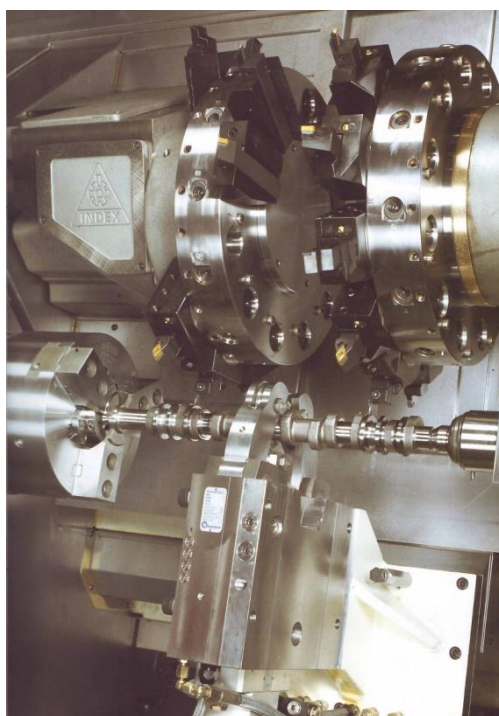
2.29. ábra Karusszelesztergák a/ kétállványos b/egyállványos

A kétállványos karusszeleszterga nagyobb merevségű és pontosabb megmunkálást biztosít. Emellett nagyobb méretűre építhető, mint az egyállványos, így akár több méteres átmérőjű asztallal ellátott kivitelek is léteznek.

A bemutatott gépeken kívül az esztergagépek számos típusát alakították ki az ipar története során, amelyeket terjedelmi korlátok miatt nem mutatunk be. Külön csoportot képviselnek a másoló esztergák, a hátraesztergák, amelyek működési alapelvét a 2.1.6 pontban ismertettük. Az eddig bemutatott gépeknél a munkadarab rendszerint csak a forgómozgást végzte. Nagyméretű kiegyensúlyozatlan tengelyek (pl. hajógépek) esetében célszerűbb a szerszámot mozgatni a munkadarab körül. A gyűrűs esztergáknál a munkadarab áll és az azt körbeölelő gyűrűben forogva a szerszám végzi a főmozgást. Ezzel szemben a hosszeszterga automatákban a munkadarab a forgó főmozgáson kívül a hosszirányú eltoló mozgást is elvégzi, a szerszám csak fogásvétel irányú beállítást kap.

2.1.8 Jellegetes járműipari megmunkálások esztergagépen

A belső égésű motorok tengelyszerű alkatrészeinek előállításánál szinte mindig szükség van esztergálási műveletre. Tipikus példaként említhetők a forgattyústengelyek és a vezérműtengelyek. Mindkét esetben viszonylag karcsú tengelyek, egymástól elkülönülő csapágyhelyeit, főtengelyek esetében excentrikus forgócsapjait is meg kell munkálni. A korszerű gépeken automata bábok mindig az aktuálisan megmunkált csapágyhely melletti már megmunkált csapágyhelyen támasztanak, így biztosított a szigorú egytengelyűségi és mérettűrések betartása.



2.30. ábra Vezérműtengely esztergálása NC vezérlésű esztergagépen [Index]

A forgattyús tengelyek megmunkálásánál a sonkák miatt viszonylag nagy szerszámki-nyúlásra lehet szükség. A szerszám merevségének növelése emiatt úgy is megoldható, hogy egy merev tárcsa kerülete mentén helyezik el a különféle feladatokra szánt váltólapkákat (2.30./b ábra). Ilyen módon a szerszámcsere is tovább gyorsítható a revolverfejes megoldás-hoz képest.



2.31. ábra Forgattyús tengely esztergálása a/ hagyományos szerszámokkal [Niles] b/ különleges tárcsa alakú szerszámmal [Sandvik]

Különleges feladatot jelent a vasúti kerekek, illetve kerékpárok esztergálása. A kerekek egyrészt kopásállóak, nehezen megmunkálhatók, másrészt egyedi profillal rendelkeznek. A használt, elkopott kerekek esetében a felújítási technológia része az újraesztergálás. A szerszámhoz jellemzően nagy kopásállóságú keményfém minőséget és nagy terhelhetőségű, kis kinyúlású készírárt használnak. Egy kereket önmagában karusszelesztergán munkálnak

meg, de elterjedt technológia a tengelyen, párban történő esztergálás. Ilyen esetben a tengelyre szerelt féktárca is felújítható. Az esztergálás történhet kiszerelt kerékpáron (2.32. ábra), vagy akár, javítás esetében, magán a vasúti járművön (2.33. ábra). A főmozgást végző kereket dörzshajtással forgatják meg.



vasúti kerékpár
esztergálása

vasúti
féktárca
esztergálása

2.32. ábra Vasúti kerékpár és féktárca esztergálása [Hegenscheidt MFD]



2.33. ábra Vasúti kerékpár felújítása kiszerelés nélkül [Hegenscheidt MFD]

2.2 Furás, furatbővítés

2.2.1 Mozgásviszonyok fúrásnál

A fúrás forgó főmozgással végzett forgácsolási eljárás belső forgásfelületek létrehozására. A főmozgást végezheti a fúrószerszám, a munkadarab, vagy mindkettő egyszerre. Az elkészítendő furat tengelyének irányába eső egyenes vonalú mellékmozgást rendszerint a szerszám végzi.

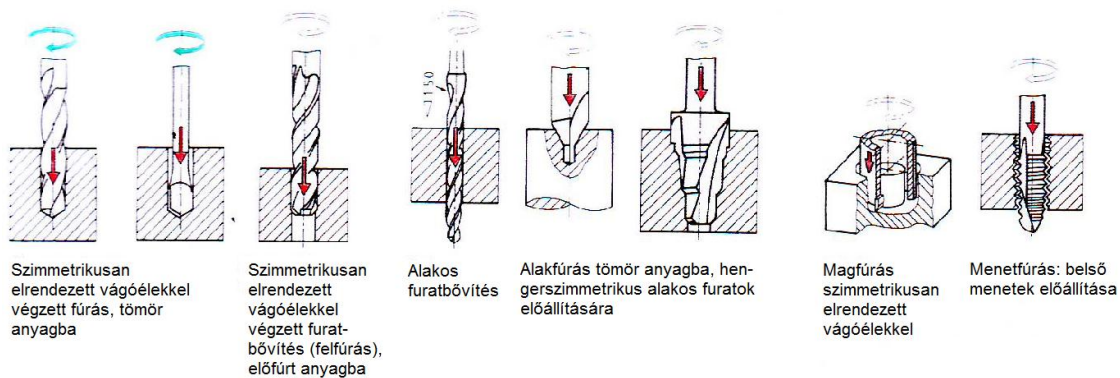
2.2.2 A fúrési eljárások

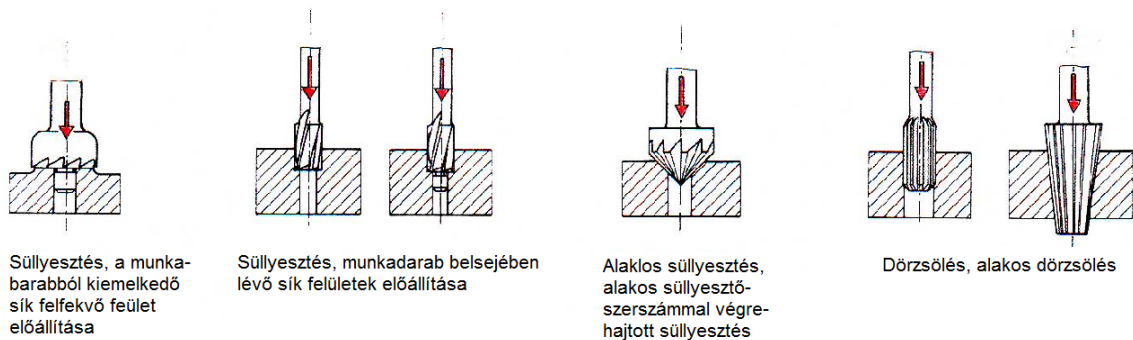
A létrehozandó furatok méretviszonya, alakja, felületi érdessége, tűrése, átmérőjének nagysága változatos, ezért ennek megfelelően kell a fúrési eljárást megválasztani illetve kialakítani. A furatok alapvető jellemzője, hogy átmenő vagy zsákfuratról van-e szó, valamint mekkora a hossz (l) és az átmérő (d) viszonya. Az l/d aránya szerint az alábbi csoportosítást tehetjük:

- rövid furat: $l/d \leq 0,5$
- normál furat: $0,5 \leq l/d \leq 3$
- hosszú furat: $3 \leq l/d \leq 10$
- mélyfurat: $l/d \geq 10$

Az előállítandó felület lehet:

- hengeres
- kúpos
- sík (forgástengelyre merőleges lépcső, homlokfelület)
- menet
- különleges





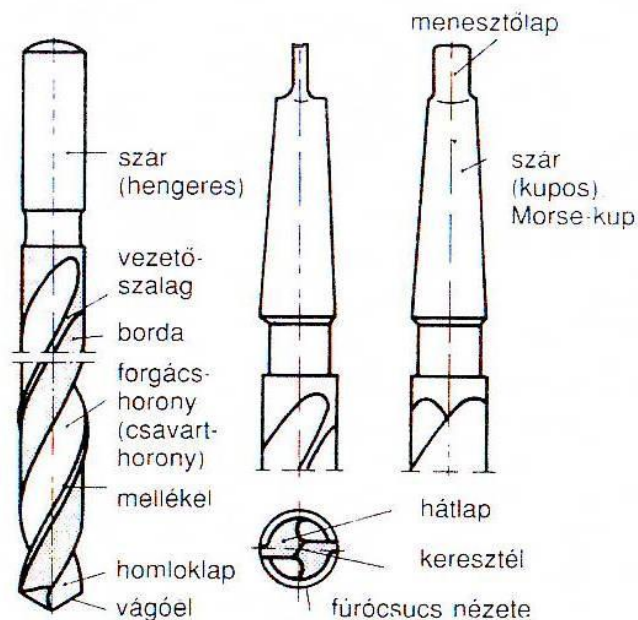
2.34. ábra A fúrás és furatbővítés fő eljárásai [1]

A 2.34. ábrának megfelelően a technológia értelmezhető, mint fúrás tömör anyagba (telibe fúrás, magfúrás) vagy meglévő furat bővítéseként (felfúrás, menetfúrás, süllyesztés, kiesztergálás, dörzsölés). A két lehetőség – mint látható – eltérő szerszámkialakításokat igényel. A telibe fúrás egyedi jellemzője a középpontban nullára csökkenő forgácsolási sebesség. Általános jellemző a félig zárt forgácstér, ami a nehezíti a forgácskihordást.

2.2.3 A telibe fúrás szerszámai

Csigafúró

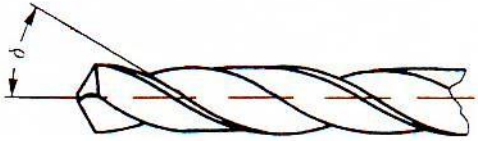
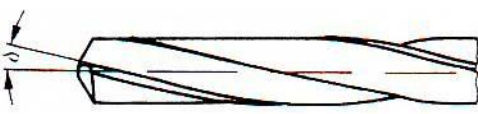

A mai forgácsolási gyakorlatban a legtöbbet használt és legnagyobb darabszámban előállított szerszám a csigafúró [2]. A csigafúró hengeres furatot készít, a használatos átmérőtartomány 0,05..80 mm közötti. Használható rövid, normál és korlátozottan hosszú furatok kialakításához. A csigafúró általában tömör szerszám, összetett kialakítását a 2.35. ábra mutatja be, illetve visszautalunk az 1.2 fejezetre, ami az élgeometriát részletesen tárgyalja.



2.35. ábra Csigafúró [1]

A fúró hegye kúphoz hasonló hátraköszörült felület, a főélek és a keresztél kialakításának száznál is több változatát fejlesztették már ki, a 2.34. ábra hagyományosnak tekinthető kivitelét szemléltet. Túlnyomóan a kétélű fúrók terjedtek el, de kínálnak háromélű szerszámokat is. A fúró gerincvastagsága, másképpen lélekvastagsága a teljes átmérő 0,15..0,25-öd része. A keresztél negatív homlokszöge és a közepén jellemző nulla forgácsoló sebesség nagyon kedvezőtlen forgácsolási körülményeket okoz. A munkadarab anyagát itt gyakorlatilag forgácsképződés helyett csak képlékeny alakváltozásra bírja a szerszám, ezért nagy lesz az előtolóerő. Nagyobb furatátméreinél (kb. Ø10 mm felett) célszerű a keresztél hatásának csökkentése érdekében kisebb átmérőjű szerszámmal (kisebb átmérő = kisebb keresztél) előfúrni a munkadarabot. A csúcshög növelésével növekszik az előtolóerő és a forgácsvastagság, viszont ez utóbbi miatt csökken a fajlagos forgácsolóerő.

A forgácshorony hossza és menetemelkedése függ a kialakítandó furathossztól és a munkadarab anyagától. A horony mellett egy keskeny élszalag fut végig, ami az elkészített furatban vezeti a fúrót és bizonyos mértékig hántolja a felületet. Előfordul, hogy az élszalagot a fúró szárának irányában enyhén kúposra köszörülik a beszorulás elkerülése érdekében. A kis menetemelkedés kedvez a forgácskihordásnak, de így igen nagy homlokszög alakul ki, ezért csak kisebb szilárdságú munkadarab anyagokhoz használják. A jellemző kialakításokat a 2.36. ábra mutatja be. A hatékony hűtés-kenést és forgácskihordást a szerszámon belüli spirális csatornán bevezetett hűtő-kenő anyag biztosítja. Az alapkivitelű fúrókban nem alakítható ki belső csatornát a hűtő-kenő anyag élhez juttatására, itt a kevésbé hatékony külső hozzáfűzés lehetséges.

típus	felhasználás	csúcshög (2κ)
 N	szerkezeti acélok $\delta=18^\circ..30^\circ$	118°
 H	kemény, rideg anyagok pl. öntöttvas $\delta=10^\circ..15^\circ$	118°
 W	lágább anyagok pl. alumíniumötvözetek $\delta=18^\circ..30^\circ$	$130^\circ-140^\circ$

2.36. ábra Csigaűró fűróhegy és horonykialakításai [2]

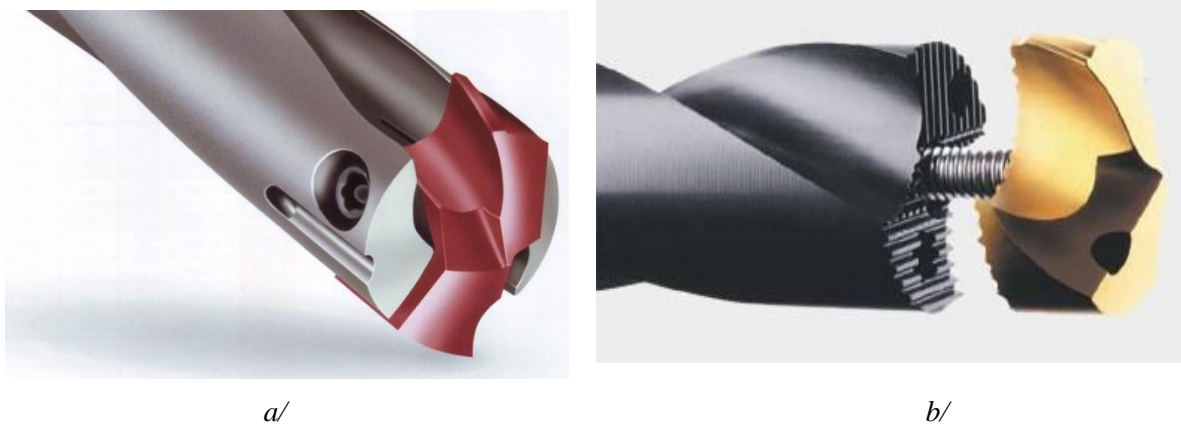
A csigaűró kivitele lehet:

- tömör (HSS, HW, CN)
- forrasztott lapkás (HW, PKD, CBN)
- cserélhető élű
- cserélhető fejű

A monolit keményfém vagy kerámia csigafúrókat csak nagy futáspontosságú gépen szabad használni, emellett fontos a nagy gépteljesítmény is, hogy a szerszámanyagban rejlő termelékenység-növelést ki lehessen használni.

A váltó élű és a váltó hegyű fúrók közötti különbséget a 2.36. ábra szemlélteti. A váltó élű csigafúróknál csak az éleket lehet cserélni, a váltó hegyű konstrukciónál a teljes fúróhegyet.

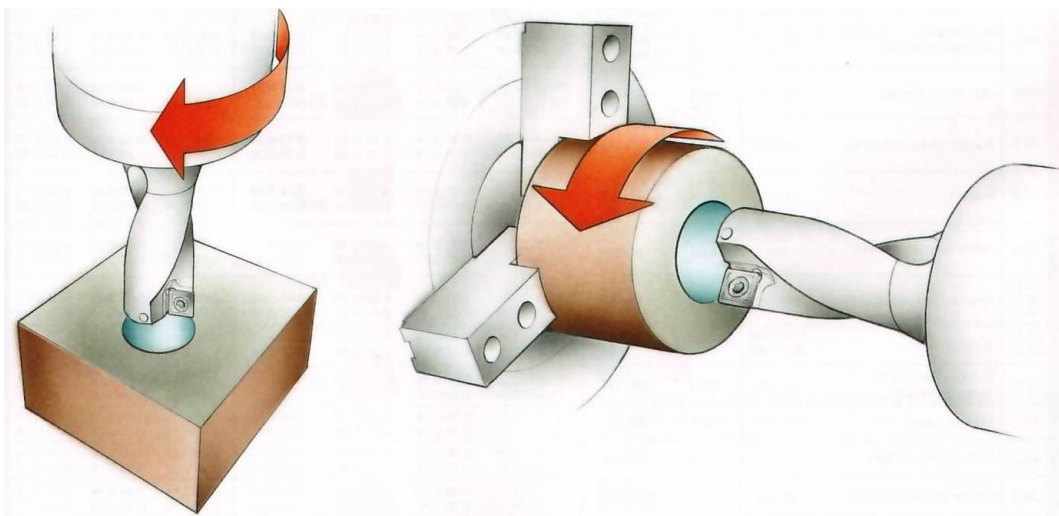
A cserélhető él gazdaságossági előnye a gyorsabb szerszámcsere és az így megnövelhető termelékenység. Az orsóból nem kell kifogni a szerszámot és újraélezéssel sem kell foglalkozni. A konstrukció összetettsége miatt az ilyen szerszámok viszont drágábbak, tehát nagy kihasználtság esetében rentábilis az alkalmazásuk. A cserélhető él/hegy célszerűen keményfém-ből készül, míg a szerszám többi része szerszámacélból. Egy szerszámtesthez többféle elgeometriával, vagy eltérő élananyagból készült fúróhegy / fúróél csatlakoztatható, ezzel a szerszám felhasználási területe bővül a termelési folyamatban.



2.37. ábra a/ Cserélhető élű [Kennametal] [3] és b/ cserélhető hegyű [Seco] [4] csigafúrók

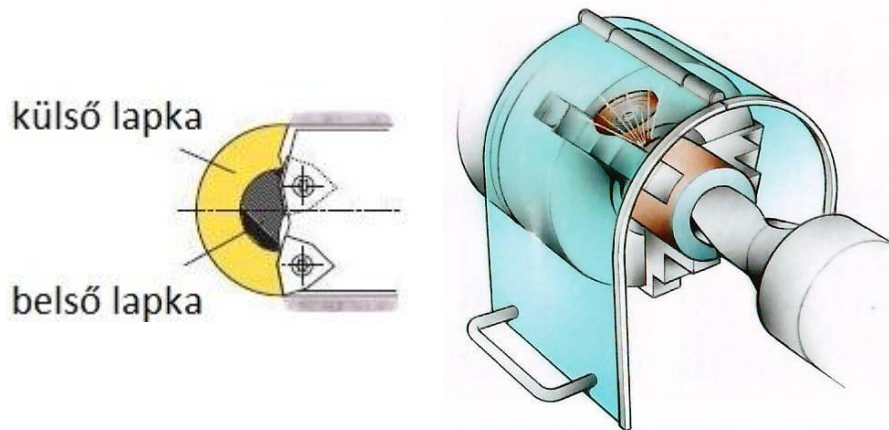
Váltólapkás fúrók

Az előzőekben tárgyalt csigafúrókhoz képest nagy forgácsolóteljesítményt és szélesebb felhasználási lehetőségeket biztosítanak a váltólapkás telibe fúrók. Kb. 10..100 mm átmérő-tartományban, rövid furatok készítésére alkalmazhatók. Használhatók forgó szerszámként, de esztergagépeken is ahol a munkadarab végzi a forgó főmozgást.



2.38. ábra Váltólapkás fúró [5]

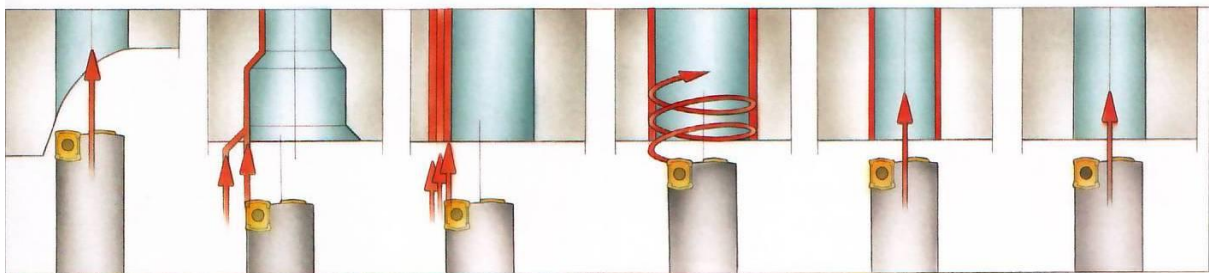
A lapkákat központi csavaros szorítással rögzítik a fészekbe. A váltólapkák főél elhelyezkedési szöge 90° -hoz közeli, de a létrehozott furat alja nem teljesen sík. Kisebb átmérőknél két-, nagyobbaknál négy lapkát használnak. Ha két lapka van, azok a középvonal átellenes oldalán kapnak helyet és a fogást megosztják. A külső lapka tengelyirányban előrébb forgácsol, így a kilépésnél egy éles korong keletkezik, ami ellen nyitott munkaterű gépeknél külön védelemről kell gondoskodni (2.38. ábra).



2.39. ábra Fogásmegosztás váltólapkás fúrónál [5]

A forgács alakja és szélessége a lapkától függ. A félig zárt forgácstér és a nagy forgácsteljesítmény miatt a hűtő-kenőanyag élhez juttatásához szerszámon belüli csatornákat használnak. Az intenzív hűtés érdekében a szokásos folyadékcsatlakozás az átmérő mm-ben adott mérőszámának megfelelő l/min!

A nagyobb átmérőjű váltólapkás fúrószerszámok merevségüknek köszönhetően egyetlen furatbekezdésnél is használhatók. Akár nagyobb átmérőjű furatok is megmunkálhatók, mint maga a szerszám, úgy, hogy gyakorlatilag furatesztergakésként használják. (2.40. ábra)



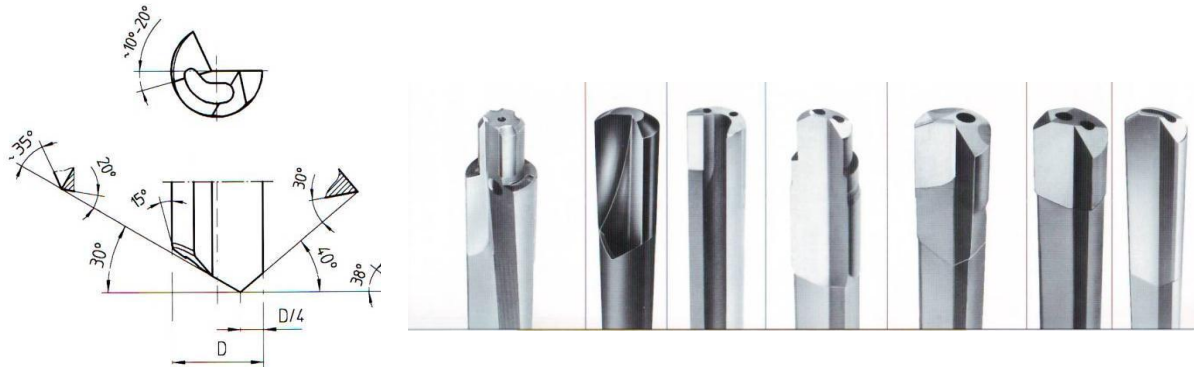
2.40. ábra Váltólapkás fúrókkal végezhető műveletek [5]

Mélyfuratok elkészítésének szerszámai és technológiája

A csigafúró nem alkalmas mélyfuratok elkészítéséhez a forgácshorony eltömődése és a szerszám rugalmas alakváltozása miatti elhajlás eredményeként jelentőssé váló alakhiba miatt. Megfelelően hosszú csigafúróval a forgácshorony eltömődése nélkül legfeljebb 20..30-szoros átmérőnek megfelelő furathossz érhető el, de ekkor már rendszeres fúrókiemelést kell alkalmazni. Hosszú furatokat, tehát már nem lehet minden esetben gazdaságosan előállítani csigafúróval. Hosszú- és mélyfuratokhoz csőfúrót (másnéven hosszlyukfúrót), ágyúfúrót, vagy koronás fúrót (BTA vagy ejektoros eljárással) kell használni. A szerszámok különleges

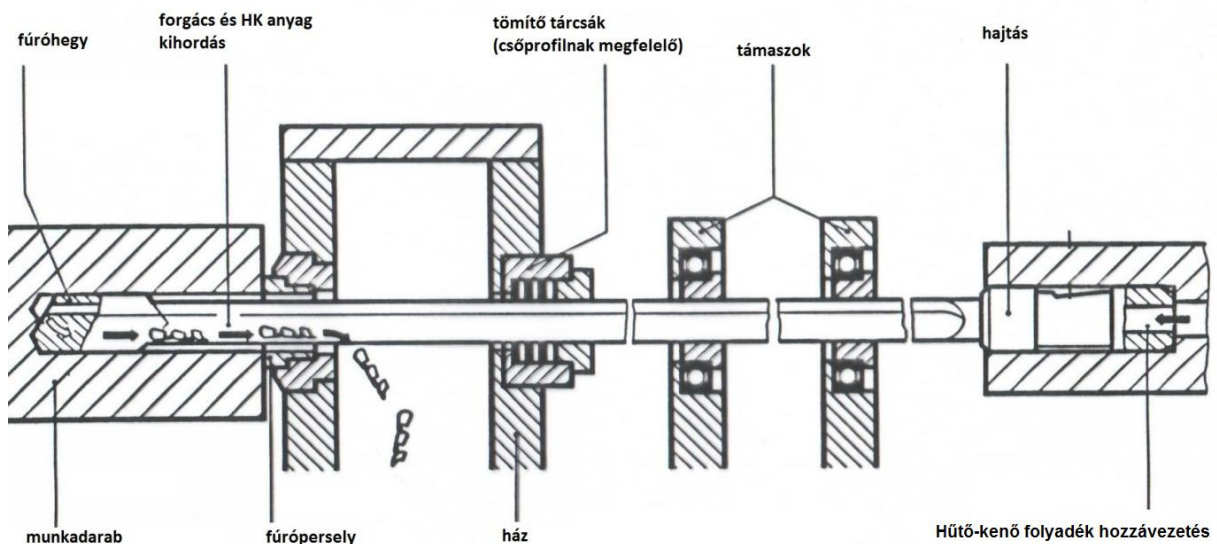
kialakításúak annak érdekében, hogy biztos legyen a forgácskihordás és lehetőleg ne ébredjenek oldalirányú forgácsoló erők. A gépek is rendszerint egyedi megoldásokat igényelnek.

Az ágyúfúrónál a főél merőleges a hossz tengelyre, ezért nem ébred oldalirányú erő. A szerszám iránytartása jó. A hosszlyukfúró keményfém fejrészből, csőből kialakított "v" alakú, benyomott forgácselvezető horonnyal rendelkező szárból és befogórészből áll. Az élek asszimmetrikusan helyezkednek el, a csúcs $D/4$ -nél van. A szerszámपालáston kialakított vezetőfelületek a megvezetés mellett a passzív erő felvételére is szolgálnak. A 2.41. ábra különféle szerszámkialakításokat szemléltet. A telibe fúrás mellett felfúrás, lépcsős fúrás is lehetséges.



2.41. ábra Csőfúró kialakítások [21]

A szokásos átmérettartomány 0,8..40 mm és akár 250-szeres hossz méret is elérhető. A cső fala roppantott, így belül a tiszta hűtő-kenő anyag, kívül a forgács távozik az elhasznált folyadék közreműködésével a megmunkálás helyéről. A szerszámot kezdetben a kihajlás ellen készülékekkel kell biztosítani (2.42 ábra). A furat bekezdésének biztosításához előfuratot, vagy fúróperselyt használnak.



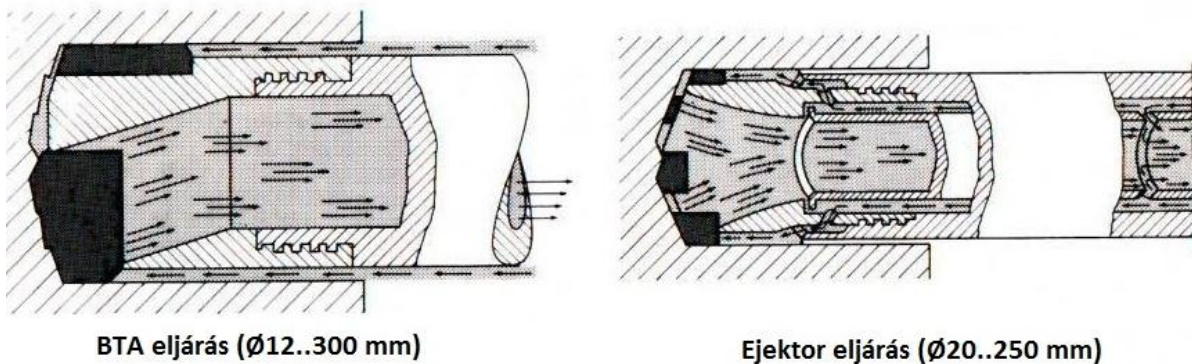
2.42. ábra Mélyfúrási eljárás hosszlyukfúróval [22]

A csőfúrókkal nem elkészíthető átmérettartományban koronás fúrókat használnak. Az ún. BTA (Boring and Trepanning Association – BTA) eljárást az 1930-as évek végén fejlesztették ki (2.41. ábra). Lényege, hogy a csőből készült szerszámtest belsejében történik a forgácskihordás a hűtő-kenő folyadékkal szállítva. A HK folyadékot a cső külső oldala és az

elkészült furat fala között vezetik a forgácsleválasztás helyére. Így elkerülhető, hogy a kifelé áramló forgács károsítsa a furat felületét és rontsa a felületi minőséget. A HK folyadék hozzávezetéshez viszont különleges egység szükséges.

A cső szükséges minimális belső átmérője 6 mm, de az eljárás inkább a nagyobb méretekhez használatos. Telibe fúrásnál $\text{Ø}300$ mm, felfúrásnál $\text{Ø}1000$ mm is megvalósítható (elégseges gépteljesítmény esetében).

Az ejektoros eljárásnál a fúró csőve duplafalú, tehát a hűtő-kenő anyag bevezetése a szerszámba egyszerűbben megoldható, mint a BTA eljárásnál. A külső hengergyűrűben áramlik a friss hűtő-kenő folyadék, belül a történik a kiáramlás és a forgács elszállítása. A friss folyadék egy kis részét fűvókákon keresztül a belső csőbe vezetik, az így lecsökkenő nyomás ún. ejektor-hatást hoz létre a belső csőben, ami a forgács hatékonyabb szállítását segíti elő. Az élék ilyen elhelyezésénél a passzív forgácsolóerők kiegyenlítésére törekszenek. A támasztófelületek vezetik a szerszámot. A fúrófej forrasztott- vagy váltólapkás kialakítású.



2.43. ábra BTA és ejektor eljárás [5]

A mélyfúrási technológia fontos jellemzői:

- Különleges geometriájú keményfém fúrófej, aszimmetrikus élelhelyezés
- Önvezetés
- Fúrópersely, vagy előfurat szükséges a bevezetéshez
- Folyamatos hűtő-kenő folyadék hozzávezetés nagy mennyiségben

A mélyfúró technológiák számos olyan előnnyel rendelkeznek, amelynek köszönhetően már hatszoros hossz-átmérő aránytól ezek az első számú választási lehetőségek. Megemlíthető a nagy forgácseljesítmény, rövid fűdők, kedvező hűtési és kenési körülmények, nehezen forgácsolható anyagok megmunkálhatósága, jó felületi minőség, kis méret- és alakhiba, felfúrás és magfúrás is lehetséges. Az elérhető mérettűrés IT9-IT6, a felületi érdesség Ra 3,2..0,2 μm .

Magfúrás

Nagy átmérőjű furatok fúrásakor harangfűrőt célszerű használni, mert így csökkenthető az elforgácsolandó anyagmennyiség és töredékére csökken a szükséges gépteljesítmény. A visszamaradó mag is felhasználható egyéb célokra. Jellemző harangfűrőket ábrázol a 2.44. ábra.



2.44. ábra Harangfúrók [Zinner] [6]

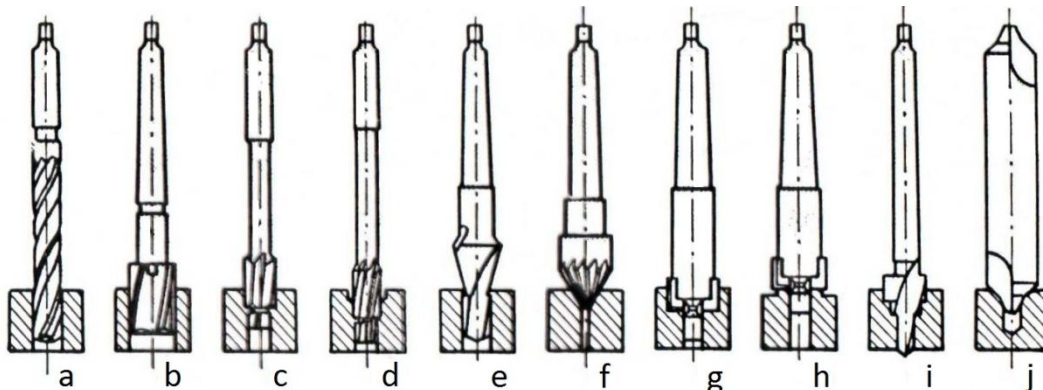
A szerszám a kerület mentén egyenletesen elosztott, két-három darab gyorsacél, vagy keményfém váltólapkával forgácsol. A lapkák rögzítése forrasztott, központi csavaros, vagy önszorító lehet. A szokásos furatátmérő kb. 30..100 mm.

2.2.4 A furatbővítés szerszámai és eljárásai

Ha a telibe fúrással létrehozott hengeres furat átmérője, alakja, felületi érdessége, méretpontossága nem kielégítő, a furat előírt minőségének biztosításához különféle furatbővítési technológiák állnak rendelkezésre.

Süllyesztők

A süllyesztők 200..220 mm furatátmérőig használatos szerszámok. A süllyesztés célja mindig a már meglévő furat méretének bővítése, vagy alakjának megváltoztatása. Tipikus süllyesztési feladat a belső kulcsnyílású csavarok csavarfej-fészkeinek kialakítása, furatok bekezdésének letörése. A 2.45. ábra néhány jellegzetes süllyesztőszerszámot szemléltet.



a) csigasüllyesztő; b) feltűzhető süllyesztő feltűzőszárral; c) fejsüllyesztő; d) nyaksüllyesztő
e) 30°-os süllyesztő; f) csúcssüllyesztő; g) síksüllyesztő; h) lapos süllyesztő; i) lépcsős süllyesztő; j) központfurat s.

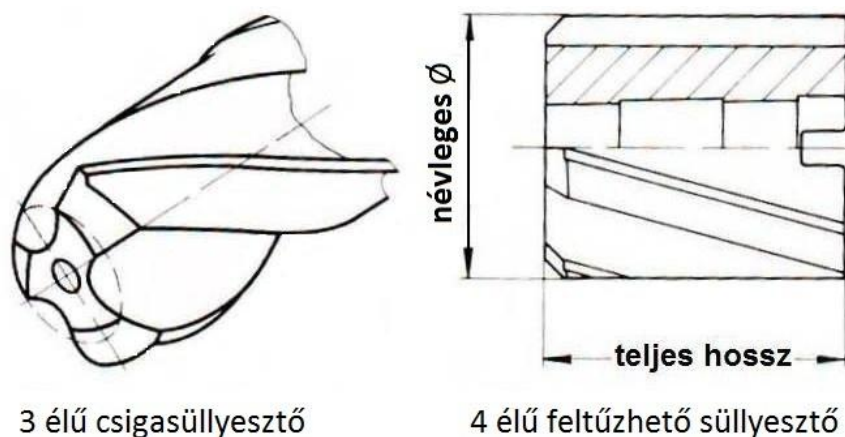
2.45. ábra Süllyesztőszerszámok [1]

A süllyesztők az előfurat megléte miatt a hasonló méretű telibe fúráshoz használt szerszámoknál merevebbek lehetnek. Ennek köszönhetően kisebb a szerszám alakváltozása a megmunkálás során és nagyobb megmunkálási pontosság érhető el. Felfúrás természetesen megoldható csigafúróval is, de a használatos előfurat átmérők különbözőek csigafúróknál és süllyesztőknél:

Szerszám	Előfurat
csigafúró	$0,30 \times d$
süllyesztő	$0,75 \times d$
feltűzhető süllyesztő	$0,80 \times d$

2.2. táblázat

A süllyesztők általában legalább három éllel rendelkeznek. Az élek a kúpos süllyesztőtől eltekintve nem futnak be a középvonalig (2.46. ábra) a megmunkálható átmérő és a teljes szerszám átmérő viszonya a 2.2. táblázatnak megfelelő. A nagyobb átmérőkhöz (220 mm-ig) feltűzhető süllyesztő használatos, mert gazdaságosabb az ilyen szerszám gyártása.



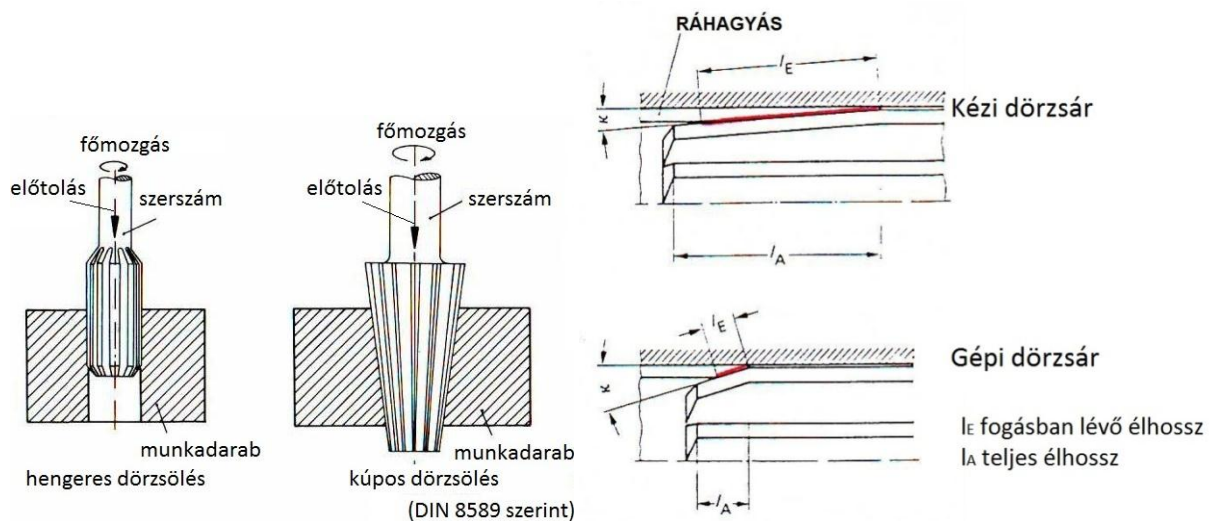
2.46. ábra Süllyesztő éleinek kialakítása [8]

Az élananyag szokásosan gyorsacél, esetleg keményfém. A csapos süllyesztők elején elhelyezett csap az előfurathoz illeszkedve vezeti a szerszámot (2.44./g és 2.44./h ábra).

A nagysorozatú gyártásban előállítandó egyedi alakú furatokat gyakran egyedi süllyesztőkkel állítják elő. Az ilyen süllyesztők éleinek alakja és egymáshoz képesti helyzete kifejezetten az adott megmunkáláshoz illetően kerül kialakításra. Az ilyen szerszámokat programszerszámnak nevezzük, az alakos furatbővítés egy menetben, termelékenyen megoldható. Nagyobb átmérőknél váltólapkás, vagy forrasztott lapkás kivitelekkel célszerű használni, ekkor a lapkák is lehetnek egyedi alakúak a követelményeknek megfelelően. Számos süllyesztési feladattal találkozunk sebességváltó házak, vagy hengerfejek esetében. A szelepvezető és szelepülék megmunkálásánál több süllyesztési feladat is adódik, amíg a nyers öntvénytől eljutnak a készre munkált szelepülékhez.

Dörzsölés

Dörzsölés, vagy dörzsárazás furatok befejező megmunkálására szolgál. A furat méret-tűrése IT7..IT5, a felületi érdesség Rz 3..15 μm . A dörzsár csak legfeljebb néhány tized mm-rel kisebb átmérőjű a kész furatnál, tehát a ráhagyás illetve a leválasztott forgács igen vékony. Az előállítható felület hengeres, vagy kúpos. A főmozgást a szerszám végzi kézi vagy gépi meghajtással, az előtolás tengelyirányú, amit a szerszám végez (2.46. ábra). A forgó főmozgás irányától függően a dörzsár lehet jobbra vágó (2.47. ábra), illetve balra vágó.

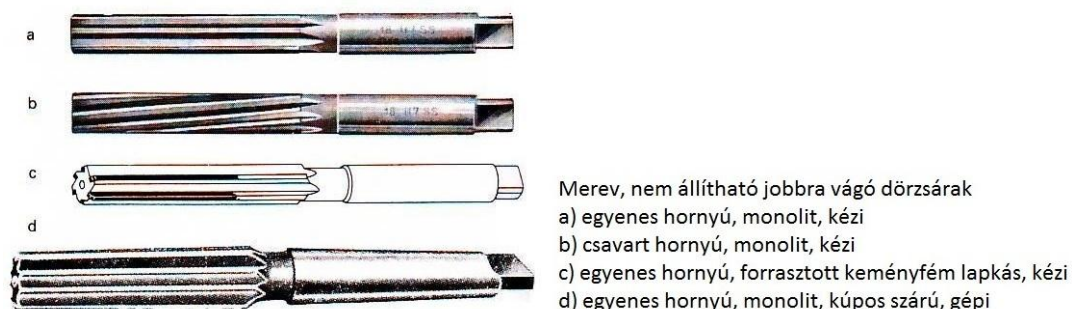


2.47. ábra Dörzsár éleinek kialakítása [1, 2]

A szerszám kúpos metszőélű, ez a bekezdő rész választja le a ráhagyás döntő részét. A kézi dörzsárnál kisebb a kúpszög, mint a gépi kivitelekénél. A kúpos szakaszt követően az élek az alkotó mentén viszonylag hosszan folytatódnak, de itt már nincs érdemi forgácsleválasztás, csak hántolás. A dörzsár élei lehetnek egyenesek, vagy spirálisak (2.48. ábra). A dörzsárat a furat vezeti az alkotó menti élszakaszokon keresztül, tehát az előfurat tengelyvonalának helyzete már nem korrigálható vele. Az önvezetés miatt gépi hajtás esetén úszó-lengő befogás szükséges, hogy a beállítási pontatlanságból eredő eltérés a szerszám- és az előfurat tengelyvonala között ne terhelje túl a szerszámot és ne rontsa a megmunkálás minőségét.

Az élek száma páros, hogy a szemben lévő éleken a forgácsolóerő kiegyenlítődjön. A berezgések elkerülése érdekében a fogak nem egyenlő osztásközzel készülnek. Léteznek egyélű dörzsár is, ennél az élhez képest 120° - 120° -ra támasztófelületeket helyeznek el.

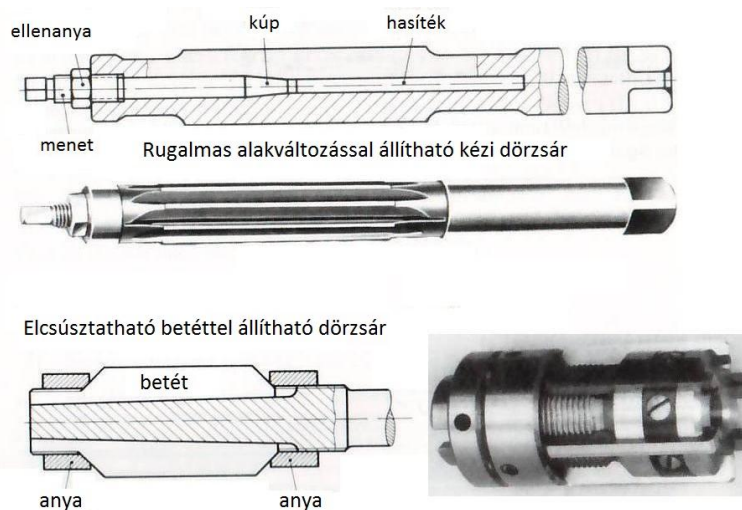
A dörzsár készülhet szárral együtt tömör kivitelben, vagy feltűzhető változatban. A kis forgácsvastagság miatt az élradiusz kicsi (éles él), tehát finomszemcsés éanyag szükséges. Az él anyaga monolit szerszámoknál túlnyomórészt gyorsacél, amin vékony bevonat (PVD) lehet. Készülnek dörzsárok keményfém éllel, ami testbe forrasztott, csavaros, vagy leszorító körmös rögzítésű.



2.48. ábra Fix (nem állítható) dörzsárok [1, 2]

A fix dörzsár (a legtöbb eddig tárgyalt furatmegmunkáló szerszámhoz hasonlóan) kizárólag egyetlen méret megmunkálásra alkalmas, tehát ugyanazon névleges méret különböző tűrésmezőihez más-más szerszám szükséges. Léteznek állítható kivitelű szerszámok is, ame-

lyekkel legfeljebb néhány mm mérettartományban bármilyen méret beállítható. Az állítás történhet deformációs elven vagy kúpon elcsúsztatott él elmozdításával (2.49. ábra).

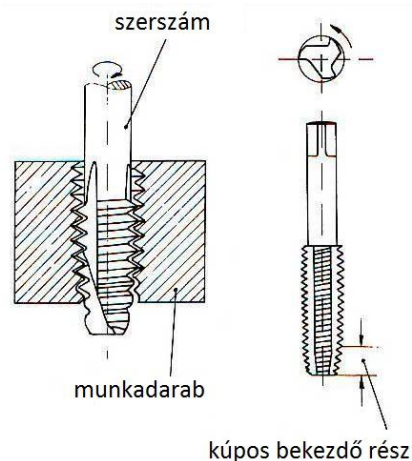


2.49. ábra Állítható dörzsárak [8]

Menetfúrás

A belső menetek egyik lehetséges előállítási technológiája a menetfúrás. A menetfúrás furatbővítésnek tekinthető, mert a magfurat átmérőnek megfelelő előfuratból kiindulva készül el a menet.

A menetfúró szerszám menetes dolgozó részből és a szárból áll. A dolgozó részen egyenes, vagy csavart horony van kialakítva, így jönnek létre a forgácsoló élek és a forgácskihordó horony. A bekezdő részen a kúpos kialakításból következően az élek csonka profilúak, hogy a menetérek kiforgácsolása fokozatosan menjen végbe. Az élek hátfelülete a hátszög biztosítása érdekében spirálisan hátraköszörült. A forgácskivezetés a horonytól függően az előtolással ellentétes (zsákfurat esetében), vagy előtolás irányú (célszerű az átmenő furatoknál).



2.50. ábra Menetfúró

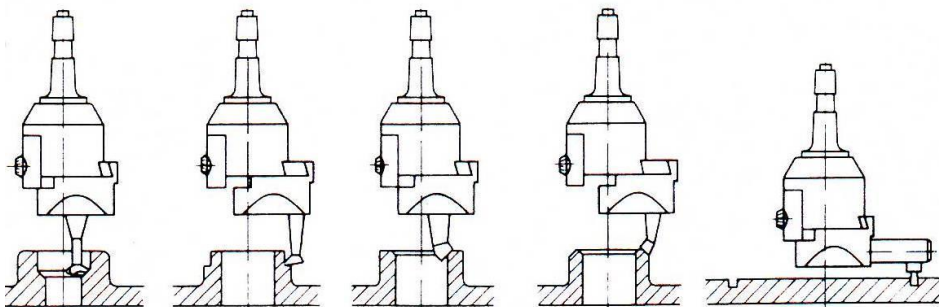
A spirális horony hosszú forgácsot adó anyagoknál a forgács könnyebb kivezetését is szolgálja.

A menetfúró szerszámoknak a dörzsárakhoz hasonlóan van kézi és gépi kivitele. A kézi menetfúrókból nagyobb átmérőknél általában 2-3 db-os készletet kell használni, hogy a menetérek a szerszám túlterhelése és törés veszélye nélkül, fokozatosan alakuljon ki. Kézi hajtás esetén a szerszám önmaga biztosítja az előtolást. Merev gépi hajtásnál a fordulatszámnak (n) és a menetemelkedésnek (p) pontosan megfelelő előtolási sebesség (v_f) szükséges ($v_f = p \times n$). Ha a szerszámgépen ilyen (szinkron) hajtás nem valósítható meg, akkor hossz-kiegyenlítő szerszámbe fogásra van szükség. Ezzel a főorsó csak a nyomatékot adja át, a szerszám a (kézi vagy gépi) előtolástól bizonyos mértékig függetlenül a menetemelkedésnek pontosan megfelelő sebességgel halad előre.

A menetfűrők monolit szerszámok, anyaguk gyorsacél, porkohászati gyorsacél, bevonatos vagy bevonat nélküli HW keményfém.

Kiesztergálás

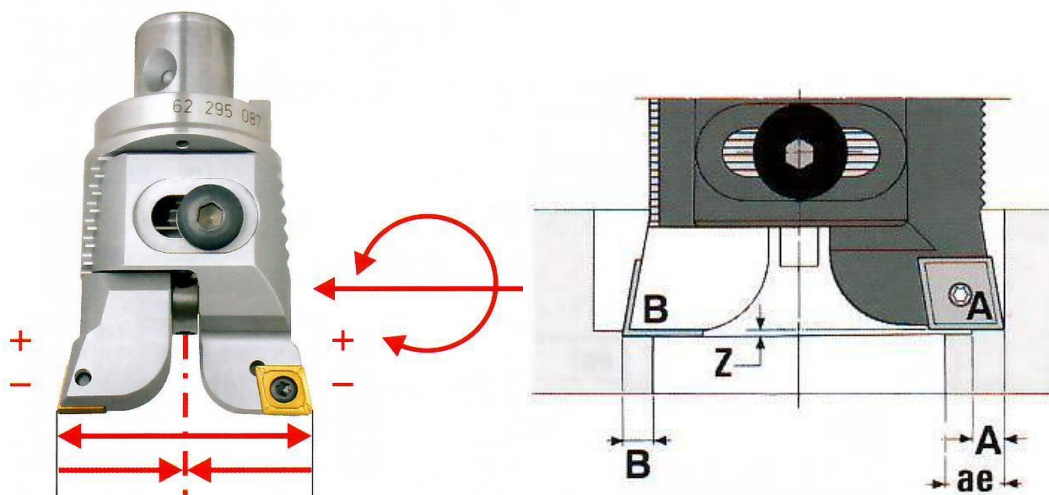
Nagy furatátmérők bővítésére szolgál a kiesztergálás. A kiesztergáló szerszámot kiesztergáló fejnek, fűrórúdnak vagy fűrőblokknak hívják. A fűrórúdba egy vagy két egyélű szerszámot rögzítenek, ami leginkább az egyélű esztergakéshez hasonlítható, innen ered az eljárás elnevezése. A szerszámtest moduláris felépítésű és az él(ek) középponttól való távolsága viszonylag tág határok között fokozatmentesen állítható.



2.51. ábra Kiesztergálással végezhető műveletek [8]

A kiesztergáló fej végzi a forgácsoló főmozgást. A kinematikai viszonyok, a forgácsolóerő és a forgácsképződés a furatesztergáláshoz hasonlítható. A fogásszélesség (dolgozó élvonalhossz) és az átmérő az él eltolásával állítható be. A forgácsolási viszonyok a nyitott forgácstér miatt kedvezőek. A szerszám manapság leginkább váltólapkás, gyakorlatilag bármilyen élananyag használható, ami a forgácsolási feladathoz megfelel és rendelkezésre áll.

Ha a kiesztergáló fej két éllel rendelkezik, eltérő sugárirányú beállítással a fogás (a_e) megosztható az élek között (2.52. ábra, $A+B=a_e$). Ehhez a belső íven forgácsoló élt tengelyirányban néhány tízed mm-rel előrébb is kell állítani (Z).



2.52. ábra Kiesztergáló fej fogásmegosztással [WNT] [7]

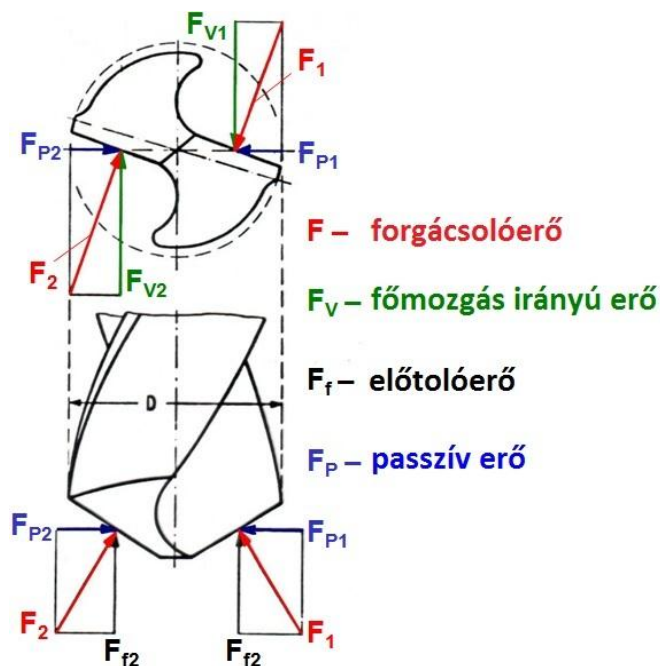
2.2.5 A fúrás technológiája

A forgácsolási sebesség a fúró sugara mentén változik, emellett a félig zárt forgácstér egyedi körülményeket teremt a technológiai adatok és a várható éltartam meghatározásánál. A fúrók esetében az időben kifejezett éltartam helyett gyakran használják a fúrható furathosszt. Jellemzően 2..5 m az elvárt éltartam.

Erőhatások és a fúrási nyomaték

Gyakran szükség lehet a forgácsolóerők és az ebből származó fúrési nyomaték meghatározására. Fúráskor jellemző az él teljes hosszon történő terhelése, tehát a forgácsolóerőt megoszló erőként kell értelmezni. Ez a megoszló erő fúró sugara mentén változó forgácsolási körülmények miatt nem is egyenletes. Az egyszerűbb tárgyalásmód szerint e megoszló erőnek az eredőjét úgy vesszük figyelembe, hogy az a működő élvonal felezőpontján hat. A kétélű csigafúró esetében a 2.53 ábra szemlélteti a forgácsolóerő eredőjének értelmezését és felbontását. Az indexek az egyes, illetve a kettes élen jelentkező erőket jelölik, de szimmetrikus élgeometria esetén az összetevők elvileg azonos nagyságúak. Ebből a szempontból a passzív erő különös fontosságú, mert egyenlőtlenesség esetén a fúrót kitéríteti és romlik a furat alakpontossága. Eltérő passzív erők oka lehet, ha a főélek eltérő hosszúságúak, különböznek a főél elhelyezkedési szögek vagy a hátszögek.

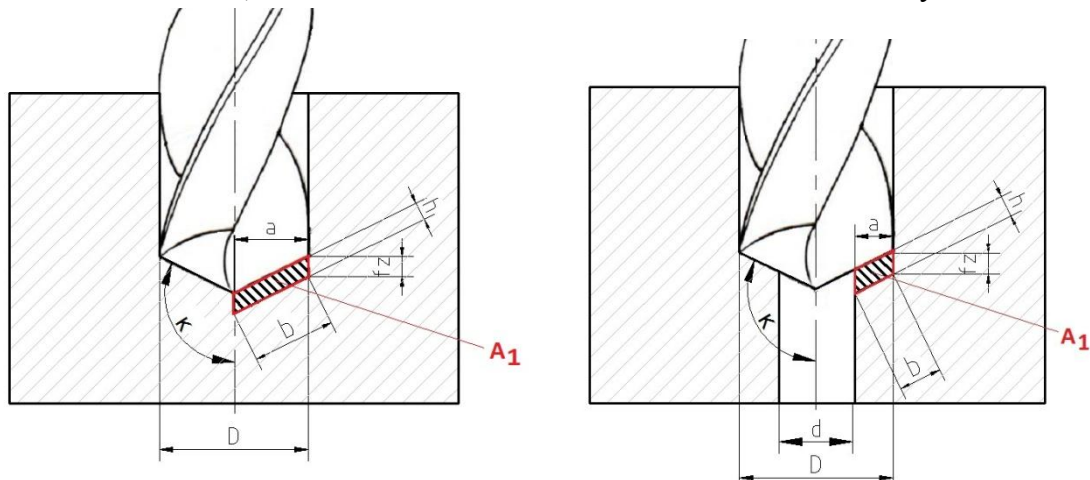
A sugár mentén változó forgácsolási körülmények a fajlagos forgácsolóerő értelmezését is módosítják. Az él mentén egyrészt nem állandó a fajlagos forgácsolóerő, emiatt csak egy közepes értéket ($k_{sköz}$) lehet meghatározni. Emellett a keresztél és a élszalag hatása, továbbá a forgácskihordáshoz szükséges energia miatt a fúrásnál azonos forgácsvastagságra vonatkozóan általában 10..20%-kal nagyobb a közepes fajlagos forgácsolóerő, mint azt más technológiánál, pl. esztergálásnál tapasztaljuk.



2.53. ábra Forgácsolóerők eredője kétélű csigafúróon telibe fúráskor

A többélű szerszámok esetén mindig az egy élen ébredő erőt tudjuk az ismert számítási modellekkel meghatározni. A Kienzle-Victor egyenlet használatához az elméletileg leválasztott rétegkeresztmetszetet kell először meghatározni egy élre vonatkoztatva (A_1). A telibe

fúrás és a felfúrás ebből a szempontból megkülönböztetendő a 2.54 ábra szerint. Az f_z jelentése élenkénti előtolás, értéke a fordulatonkénti előtolás és a élszám viszonya.



2.54. ábra Elméletileg leválasztott forgácskeresztmetszet csigafúró egy élén értelmezve telibe fúráskor és felfúráskor

A fúrási nyomaték telibe fúráskor, kétélű fúróval ($z=2$):

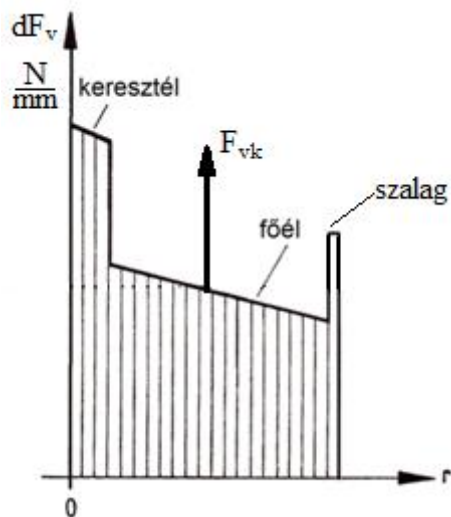
Az egy él által leválasztott elméleti forgácskeresztmetszet:

$$A_1 = f_z \cdot a = \frac{f}{z} \cdot \frac{D}{2} = \frac{D \cdot f}{4}$$

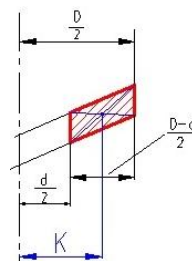
Egy élen ébredő forgácsolóerő a Kienzle-Victor egyenlet szerint:

$$F_{v1} = k_{s \text{ köz}} \cdot A_1 = k_{s \text{ köz}} \cdot \frac{D \cdot f}{4}$$

A fúró éle mentén a változó homlok- és hátszög következtében opnról pontra más az erő értéke (2.55 ábra). A keresztélen a nagy negatív homlokszög miatt nagy erő keletkezik, a főélen a növekvő homlokszög miatt az erő csökken, a szalag súrlódása miatt ismét megnő.



2.55. ábra Forgácsolóerő változása a sugár mentén [24]



K - erőkar:

$$\frac{d}{2} + \frac{D-d}{4} = \frac{D+d}{4}$$

2.56. ábra Az erőkar értelmezése

A változó viszonyok miatt a forgácsolóerő középértékével számolunk.

Egyenlőnek tekintve a két élen ébredő erőket, a fúrási nyomaték ($M_{\bar{o}}$) az egyes fogakon ébredő forgácsolóerők forgástengelyre vonatkoztatott nyomatékának összege (az egyes fogakon ébredő nyomatékok z -szerese):

$$M_{\bar{o}} = F_{v1} \cdot \frac{D}{4} \cdot z = k_{sköz} \cdot \frac{D \cdot f}{4} \cdot \frac{D}{4} \cdot z = \frac{k_{sköz} \cdot D^2 \cdot f}{8}$$

A fúrási nyomaték felfúraskor, kétélű fúróval ($z=2$):

Az egy él által leválasztott elméleti rétegkeresztmetszet:

$$A_1 = f_z \cdot a = \frac{f}{z} \cdot \frac{D-d}{2} = \frac{D-d}{4} \cdot f$$

Egy élen ébredő forgácsolóerő a Kienzle-Victor egyenlet szerint:

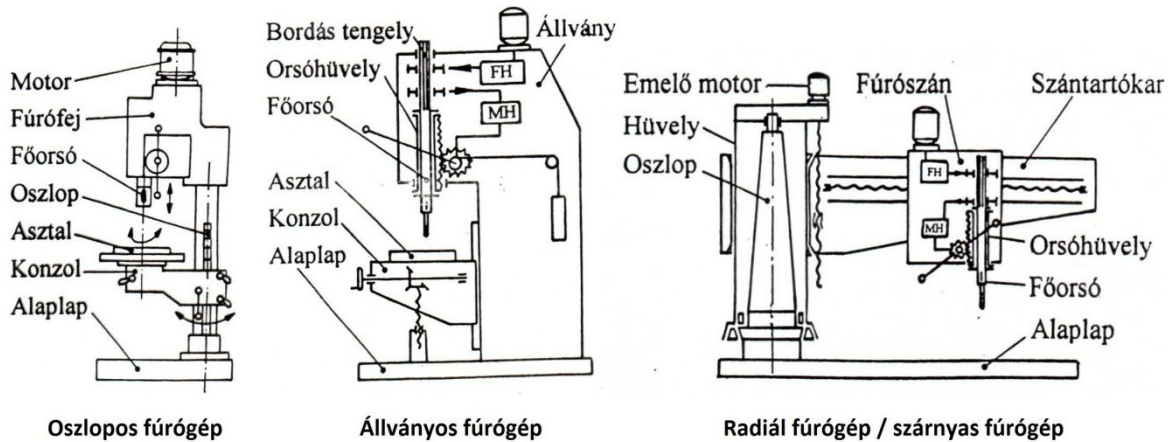
$$F_{v1} = k_{s\ kö z} \cdot A_1 = k_{s\ kö z} \cdot \frac{D-d}{4} \cdot f$$

A teljes fúrási nyomaték az előző feltételek mellett:

$$M_{\bar{o}} = F_{v1} \cdot er\acute{o}kar \cdot z = k_{sköz} \cdot \frac{D-d}{4} \cdot f \cdot \frac{D+d}{4} \cdot z = k_{sköz} \cdot f \cdot \frac{D^2 \cdot d^2}{8}$$

2.2.6 Fúrógépek

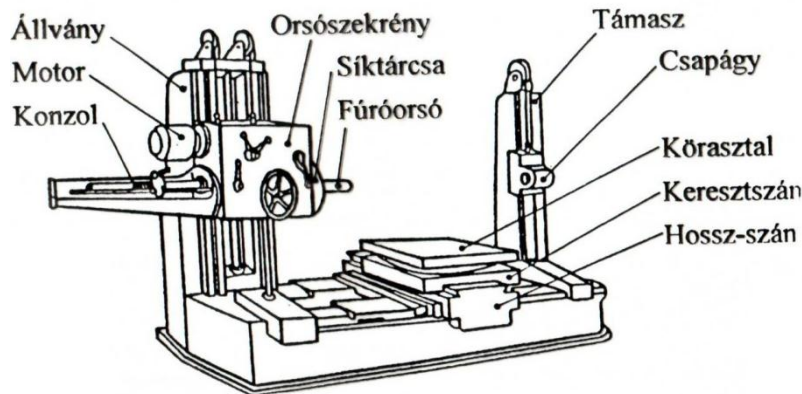
A fúrógépek biztosítják a fúrószerszám forgó főmozgását és egyidejűleg az előtoló mozgást is. A hagyományos gépek főhajtása (FH) fokozatnélküli, vagy lépcsős tárcsás szíjhajtás, nagyobb gépeken fogaskerékes váltóművön keresztül történik. A fúrógépek főorsója függőleges, a fúró-maróművek orsója vízszintes. Az oszlopos és az állványos fúrógép előtoló hajtását (MH) a főhajtásról ágaztatják le, illetve egy tengelykapcsolóval az előtolás leválasztható és így lehetőség van egy karon keresztül kézi előtolásra. Ahogy a 2.55. ábrán látható a főorsó tengelye talpcsapágyas így képes felvenni a nagy előtoló erőket is.



2.57. ábra Hagyományos függőleges orsójú fúrógépek

A gépiparban használatos legkisebb gépek az oszlopos asztali fúrógépek. A nagyobb méretű oszlopos fúrógépek (2.56. ábra) külön mozgatható és az oszlopon elfordítható asztallal rendelkeznek. Hasonló elrendezésű, de merevebb kialakítású az állványos fúrógép. A radiál fúrógéppel az előzőekkel szemben több különböző furat is elkészíthető a munkadarab elmozdítása nélkül, mert a fúrószer eltolható és az oszlop körül körbe fordítható. Bizonyos kivitelekben a főorsó a vízszintes tengely körül is elfordítható.

A vízszintes fúró-marómű (2.57. ábra) gépágyán hossz- és keresztirányban mozgatható a tárgyasztal, ami a függőleges tengely körül elfordítható. A fúróorsó egy tartóoszlopban kapott helyet, ezzel az orsó függőlegesen állítható. Különösen jól alkalmazhatók az ilyen gépek forgattyúházak, hajtóműházak különböző átmérőjű, de egy tengelybe eső furatainak megmunkálására. Ilyenkor a fúrószerszámot az asztal átellenes oldalán megtámasztják.



2.58. ábra Vízszintes fúró-marómű

A hosszú szerszámok miatt a mélyfuratokhoz is rendszerint vízszintes elrendezésű gépeket alakítanak ki.

Léteznek többsörös fúrógépek, amelyek adott furatkiosztást egyszerre készítenek el. Az ilyen többsörös gépek főhajtását kardántengelyekkel, vagy fogaskerekekkel osztják szét a szerszámok között.

A korszerű közepes és nagysorozatú gyártórendszerekben a fúrási műveleteket általában az NC marógépeken (ld. később) a marási műveletekkel együtt végzik, mivel ezek a gépek kinematikailag teljesen megfelelnek a fúrási technológiának is. Emellett nagy a merevségük, az NC hajtás nagy beállási pontosságot biztosít, tehát megfelelő szerszámozással és készülékezéssel nagy megmunkálási pontosság érhető el. Az esztergaközpontokban az önálló hajtással rendelkező szerszámhelyeken kisebb teljesítményű fúrószerszámok használhatók. Kevésbé rugalmasan alkalmazhatók, viszont olcsóbbak a fúróaggregátokból összeállítható célgépek, amelyek a nagysorozat-gyártás gépei. Ezek a gépek rendszerint a munkadarab minden furatához tartozik egy fúróorsó, saját hajtással. A megmunkálás a munkadarab befogása után teljesen automatizáltan, a beprogramozott sorrendben zajlik le.

2.3 Marás

A marás forgó főmozgással végzett megmunkálás. A forgó főmozgást a határozott élgeometriájú, többélű szerszám végzi. A megmunkálásban egyidejűleg több fog vesz részt, de az egyes fogakon, illetve élszakaszokon eltérőek a forgácsolási körülmények.

2.3.1 Mozgásviszonyok marásnál

A főmozgást minden esetben a forgó szerszám végzi. A mellékmozgás egyenes vonalú, körmozgás vagy síkban és térben pályamenti. Végezheti a szerszám, a munkadarab, vagy mindkettő egyszerre.

A megmunkált felület és a maró forgástengelyének viszonya alapján két alapesetet kell megkülönböztetni:

- palástmarás- a marótengely párhuzamos a megmunkált felülettel
- homlokmarás- a marótengely merőleges a megmunkált felületre

E két alapeset közötti jellegzetes átmenet a sarokmarás (palást-homlokmarás) amikor a munkadarabon a forgástengelyre merőleges és azzal párhuzamos felület is előáll. Minden marási technológiánál értelmezhető az előtolás sebességvektorának és a szerszám kerületi sebességvektorának viszonya alapján az egyenirányú és az ellenirányú marás. A megkülönböztetést a vonatkozó fejezetpontoknál tárgyaljuk.

2.3.2 Marószerszámok és létrehozható felületek

A maró forgástest alakú szerszám, a kerülete mentén a kiviteltől függően a homlokfelületen és/vagy a paláston helyezkednek el az élek. A szerszámot az előállítandó felület alapján és a rendelkezésre álló gép lehetőségeit figyelembe véve kell megválasztani.

Az előállítandó felület lehet:

- sík
- hengeres
- csavar
- fogazat (fogaskerék, csigakerék, lánckerék, bordástengely)
- alakos (a szerszám profiljának munkadarabra másolása)
- szabad 3D felület (másolással vagy NC gépen)

A marók alak szerinti osztályozása:

- palástmarók (egyenes és ferde élű, jobbos, balos)
- homlokmaró
- sarokmaró (ujjmaró, hosszlyukmaró)
- szögmaró
- tárcsamaró
- szármaró (gömbvégű, tórusz, T-horony, fecskefarok stb.)
- alakos marók
- menetmarók
- lefejtőmarók

A maró élei geometriailag tűrésértéken belül azonosak, vagy csak a fogásmegosztásnak megfelelően különböznek. Egy marófog élgeometriája visszavezethető az egyélű forgácsolószerszám geometriájára. A mozgási irányokat figyelembe véve ugyanazokat az élsíkokat, metszeteket és élszögeket, rádiuszokat definiálhatjuk.

A kisebb átmérőjű marók (Ø20..30 mm-ig) rendszerint saját befogószárral rendelkeznek. Nagyobb átmérőknél jellemző, hogy a szerszám feltűzhető, tehát külön felfogó túsze szükséges.

A marószerszám kialakítása szerint lehet

- tömör (monolit)
- forrasztott lapkás

- váltólapkás
- cserélhető fejű.

A monolit szerszámok általában kisebb méretűek, vagy a bonyolult alakú változatok. Anyaguk gyorsacél, porkohászati gyorsacél, keményfém (HW, HT, HC).

A forrasztott lapkás és váltólapkás illetve cserélhető fejű kiviteleknel a maró teste szerszámacél, gyorsacél, újabban a tömegcsökkentés érdekében kopásálló bevonattal ellátott alumínium-, vagy magnéziumötvözet. A lapkák anyaga lehet:

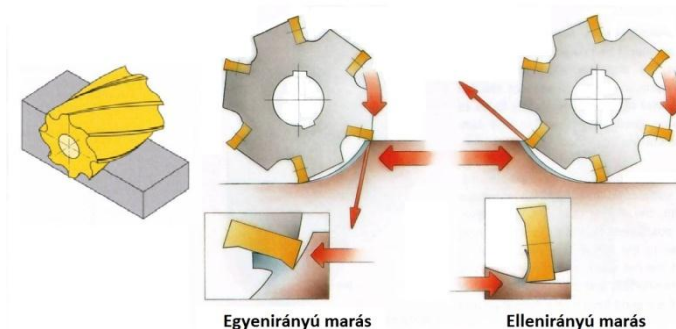
- HSS-PM (nagy átmérőjű alakos marók kis átmérőjű részein, ahol a v_c kicsi)
- HW, HT, HC
- CA, CN
- PKD
- CBN

Amint a továbbiakban látni fogjuk, a maró éle mechanikailag és termikusan folyamatosan változó igénybevételnek van kitéve ezért szívós és hősokk-álló élananyag változatokat alkalmaznak.

A váltólapkák befogása történhet közvetlenül a testben kiképzett fészekbe, vagy külön kazettába. A kazettás kivitelek főként homlokmaróknál fordulnak elő. A lapka rögzítése központi csavarral, vagy leszorító körömmel vagy csavarszorítású ékkel történik. A beszorítás konstrukciós kialakításánál nem csak a forgácsolóerőt, hanem a centrifugális erő hatását is figyelembe veszik.

2.3.3 Palástmarás

A palástmarásnál a maró forgástengelye párhuzamos a megmunkált felülettel, az élek a hengeres marótest palástfelületén helyezkednek el. Palástmarásnál a 2.58. ábra alapján két egyértelműen elkülöníthető eset lehetséges. Az egyenirányú marásnál a munkadarab és a szerszám érintkezési pontjában az él kerületi sebességének vektora az előtolás vektorával egy irányba mutat. Ellenirányú megmunkálásnál a két vektor ellentétes irányú.



2.59. ábra Egyenirányú és ellenirányú palástmarás [5]

A tárgyalás szempontjából természetesen mindegy, hogy a szerszám, vagy a munkadarab végzi az előtolást, a relatív elmozdulás alapján lehet az esetet eldönteni.

Az egyenirányú marásnál a szerszám a megmunkálatlan felületen lép be a munkadarabra maximális forgácsvastagsággal és egyre vékonyabb forgácsot választ le. A megmunkált felület egyenletesen matt. Kilépéskor az él nem csúszik, hosszabb éltartam érhető el. A forgácsolóerő egyik komponense a darabot a marógép asztalához nyomja, az előtolással egyező

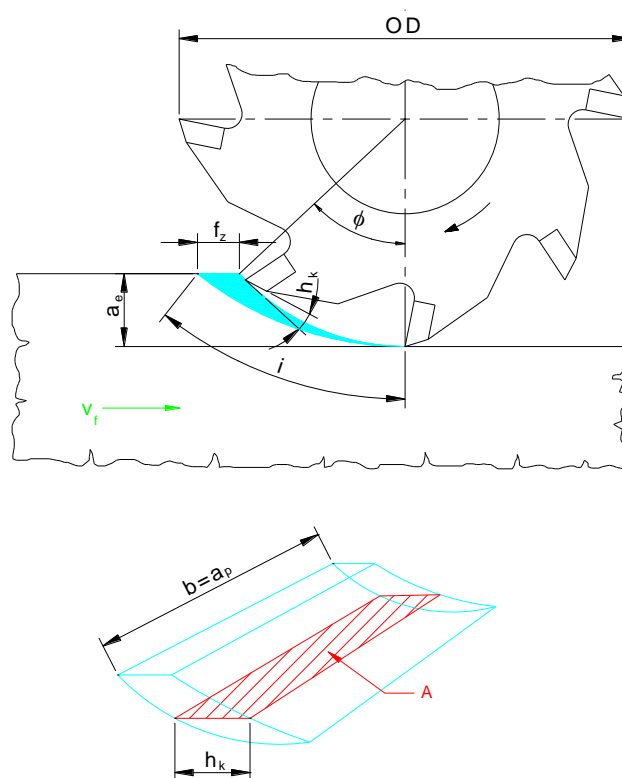
másik komponense a szerszám alá nyomja a munkadarabot. Így a megnövekvő forgácskeresztmetszet túlterhelést okozhat, ezért ezzel az eljárással csak holtjátékmentes előtolóművel szerelt gépen szabad dolgozni.

Ellenirányú marásnál a forgácsolóerő és az előtolóerő egymás ellen hat, ezért a holtjáték nem okoz problémát. A szerszám éle először a megmunkált felülettel kerül érintkezésbe, de a gyakorlatilag nulla forgácsvastagság miatt a forgácsképződés megindulása bizonytalan. Emiatt az él egy rövid szakaszon csak csúszik a felületen és ez rövidíti az éltartamot, rontja a felület minőségét. Az él egyre vastagabb forgácsot választ le, emiatt a kilépésig folyamatosan nő a terhelése.

Forgácsleválasztás viszonyai és forgácsoló erő palástmarásnál

A forgácsolási viszonyokat egyenes élű maró esetére mutatjuk be. Az ilyen szerszámokon az élek párhuzamosak az alkotó mentén és párhuzamosak a forgástengellyel. A változó forgácskeresztmetszet miatt a forgácsolóerő és a fajlagos forgácsolóerő is változik a fogás során egy élre vonatkoztatva. A szerszám méretezéséhez a legnagyobb forgácsolóerőt, a technológia tervezéséhez a közepes forgácsolóerőt használjuk. Az erők meghatározását egy élen végezzük el, ezért az egy él által leválasztott forgács elméleti keresztmetszetét vizsgáljuk. Ellenirányú marás esetében a 2.59. ábra szerint járunk el.

A forgácsolás fontos körülménye a munkadarab szélessége (b), ami az elméletileg leválasztott réteg keresztmetszet téglalap alakjának állandó oldala, másképpen fogalmazva a fogásszélesség (a_p).



2.60. ábra Forgácskeresztmetszet alakulása ellenirányú palástmarás esetén

Értelmezni kell a fűrésznél megismert fogankénti előtolást, amit f_z -vel jelöltünk. A fogankénti előtolást a fogszám (z), a fordulatszám (n) és az előtolási sebesség (v_f) alapján a következőképpen számítjuk ki:

$$f_z = \frac{v_f}{n} \cdot \frac{1}{z}$$

A legnagyobb forgácskeresztmetszet:

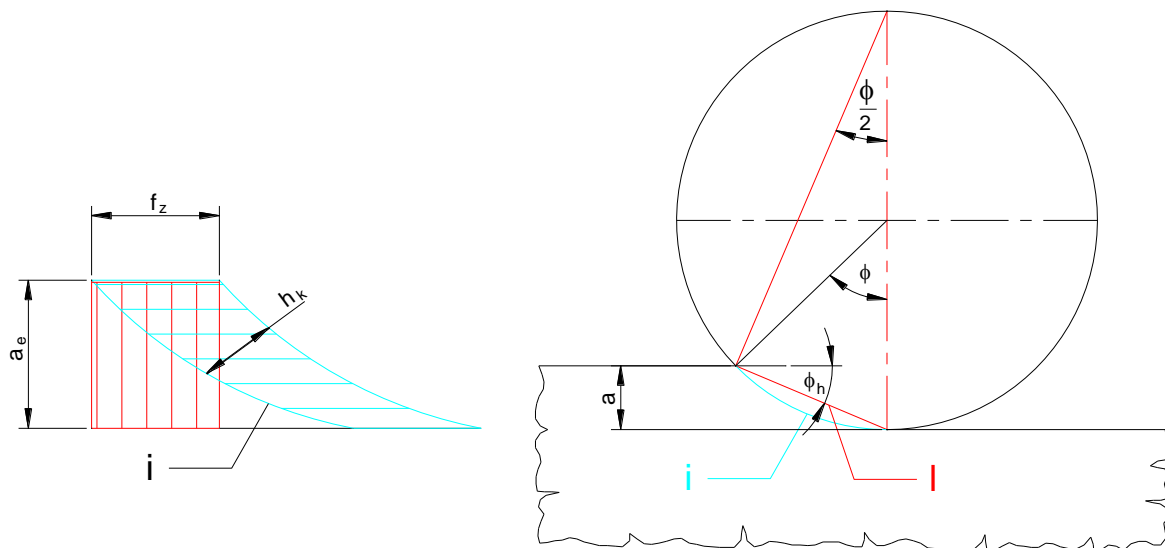
$$A_{1max} = f_z \cdot a_p$$

Az egy fogon ébredő közepes forgácsolóerő meghatározását a közepes forgácsvastagság (h_k) és a fogásszélesség (a_p) által meghatározott közepes forgácskeresztmetszet ($A_{1köz}$) alapján végezzük a Kienzle-Victor összefüggést felhasználva.

Az egy fogon ébredő közepes forgácsolóerő:

$$F_{v1} = k_s \cdot A_{1köz} = k_s \cdot h_k \cdot a_p$$

A közepes forgácsvastagság meghatározását a keresztmetszeti viszonyokból a következőképp végezzük. (2.61. ábra).



2.61. ábra Közepes forgácsvastagság meghatározása

A Cavalieri-tétel alapján a marófog által leírt ciklois ívek (i) és a fogankénti előtolás által bezárt (kékkel jelölt) terület, valamint az f_z és a fogásmélység (a_e) által meghatározott (pirossal jelölt) területek megegyeznek.

$$f_z \cdot a_e = h_k \cdot i, \text{ ebből } h_k = \frac{f_z \cdot a_e}{i}$$

Az ívhossz pontos kiszámítása helyett megfelelő közelítést jelent, ha azt az l -el jelölt húrral helyettesítjük. A húr hosszát a fogásmélység és a maróátmérő (d_s) alapján számíthatjuk ki. Ezzel kapcsolatban értelmezzük az átfogási szöveget, vagy forgácsívszöveget (φ), amit a 2.60. és a 2.61. ábra is bemutat. A 2.61. ábrán jelölt zöld és piros derékszögű háromszögeket felhasználva:

$$\frac{a_e}{l} = \frac{l}{D} = \sin \frac{\varphi}{2}$$

$$l^2 = a_e \cdot D, \text{ ebből } l = \sqrt{a_e \cdot d_s}$$

A húr hosszára kapott összefüggést a közepes forgácsvastagság képletébe behelyettesítve $l \approx i$:

$$h_k = \frac{f_z \cdot a_e}{\sqrt{a_e \cdot d_s}} = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{d_s}}$$

Innen a közepes forgácskeresztmetszet már meghatározható:

$$A_{1köz} = a_p \cdot h_k = a_p \cdot f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{d_s}}$$

Az egy fogon ébredő közepes forgácsolóerő, képletébe behelyettesítve:

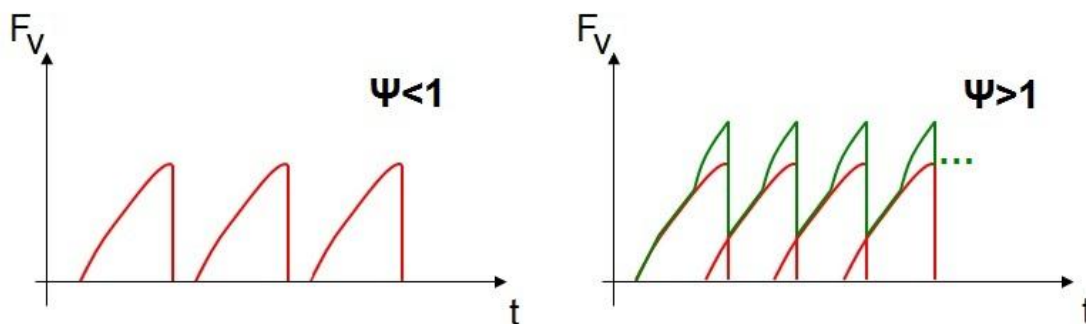
$$F_{v1} = k_s \cdot A_{1köz} = k_s \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{d_s}}$$

A változó forgácskeresztmetszet okozta forgácsolóerő nulla kezdésű lüktető igénybevételt jelent a marófogra nézve. Ez az erőhullámzás továbbadódik a munkadarabra és a szerzőgépre. Az egyszerre fogásban lévő élek számát kapcsolószámnak (Ψ) nevezik, amit az átfogási szög és a maró fogainak osztásszöge (δ) alapján könnyen meghatározhatunk:

$$\Psi = \frac{\varphi}{\delta} = \frac{\varphi}{360/z}$$

A marón fellépő összes kerületi erő és az ebből származó nyomaték az egy fogon érvényes közepes forgácsolóerő és a kapcsolószám szorzatával közelíthető.

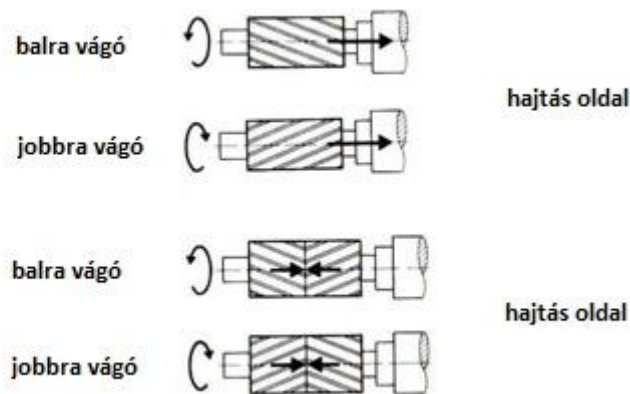
Az erőhullámzást ellenirányra értelmezve a 2.62. ábra mutatja be. A vízszintes tengelyen az időt (t) célszerű ábrázolni. Egyenirányban dolgozva az erőhullámzás ellentétes módon a legnagyobb erőértékről csökken nullára.



2.62. ábra Forgácsolóerő hullámzása ellenirányú palástmaráskor

Az egyenletesebb járás érdekében célszerű úgy alakítani ki a technológiát, hogy egyszerre több fog forgácsoljon. Az erőhullámzás lényeges csökkentése a fogak számának szaporításával nem oldható meg, ehelyett ferde élekkel készítik a marófejet. Ferde fogakkal az erőhullámzás mindenképpen csökkenthető. A fogferdeség alapján megkülönböztetünk jobbra vágó és balra vágó marófejet.

A ferde fogakon azonban a forgácsolóerőnek jelentős tengelyirányú komponense ébred, ezért a marót olyan irányban kell használni, hogy az axiális erő a hajtás felé mutasson. A hatás semlegesíthető, ha két ellentétes ferdeségű marót egymás mellett használnak, hogy a tengelyirányú erő a szerszámon belül kiegyenlítődjék.



2.63. ábra Tengelyirányú erő keletkezése palástmarón [8]

A fogferdeség legfeljebb 45° -ig növelhető.

A palástmarók újraélezése hosszadalmas, ezért rendszerint kis forgácsolási sebességet alkalmaznak, ami több száz perc éltartamot biztosít. Emellett a termelékenység érdekében viszonylag nagy előtolás jellemző. Acélokhoz bőséges hűtő-kenő folyadékot kell használni.

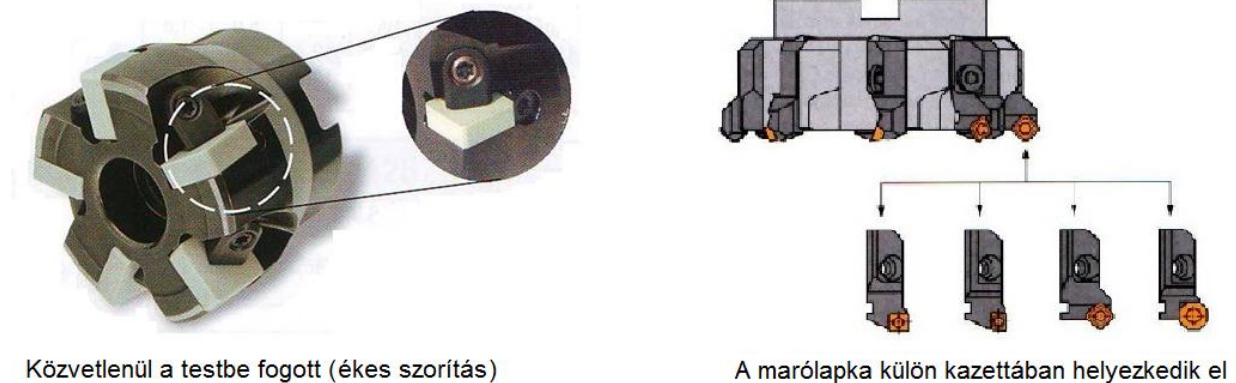
A palástmarás különleges esete a tárcsamaróval végzett megmunkálás, ahol a maró átmérője viszonylag nagy a szélességéhez képest. Tárcsamarókkal hosszabb-rövidebb hornyok megmunkálása (pl. íves reteszhorony), vagy darabolás végezhető gazdaságosan. A korszerű tárcsamarók rendszerint váltólapkásak. Az alakos felületek létrehozásához használt profilos tárcsamarók kisebb átmérők esetén tömörök (pl. HSS), nagyobb átmérőknél váltólapkásak. Profilos tárcsamarókat használnak például fogaskerekék evolvens oldalfelületű fogárkainak kimunkálásához.

2.3.4 Homlokmarás

A homlokmarásnál a maró forgástengelye merőleges a megmunkált felületre. A marófogak a palástfelületen, a homlokfelület és a palástfelület találkozásánál egy aránylag rövid szakaszon helyezkednek el.

Homlokmarásnál az egyenirányú és ellenirányú mozgásviszonyok egy marófordulaton belül együttesen is előfordulhatnak. A forgácsolási körülmények akkor kedvezőek, ha a maró átmérője nagyobb, mint a megmunkált felület szélessége. A kapcsolószám rendszerint nagyobb, mint 1. A homlokmaráshoz változatos kivitelű szerszámok használatosak. A főél elhelyezési szög egyenes élű lapkánál rendszerint $\kappa_r = 45^\circ$, $\kappa_r = 75^\circ$ vagy $\kappa_r = 60^\circ$, speciális esetben (sarokmaróknál) $\kappa_r = 90^\circ$. A marólapkák általában fazettával illetve simító éllel vannak ellátva az axiális elhelyezkedés eltéréseinek érdességre gyakorolt káros hatásának kiküszöbölése érdekében.

A nagy teljesítményű homlokmarók rendszerint váltólapkás kivitelűek. A lapka közvetlenül a testben kialakított fészekbe forrasztott (pl. PKD élananyag) vagy szerelt, illetve kazettás (2.64. ábra).



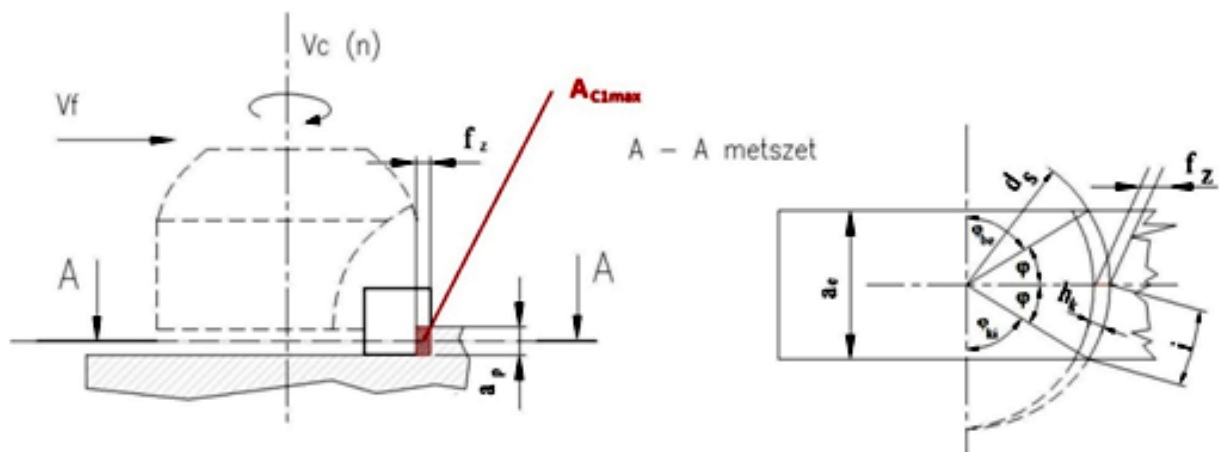
2.64. ábra Marólapka befogás lehetőségei [WNT] [7], [EMUGE] [9]

A kazettás kivitelek előnye, hogy egy marófejjel többféle lapkageometria is használható. Rendszerint nagyobb átmérőjű szerszámok készülnek ilyen kivitelben. A betétek általában radiálisan és axiálisan is állíthatók annak érdekében, hogy a lapkák terhelése azonos legyen.

Homlokmarást végeznek még a hosszlyukmarók és ujjmarók, melyek például hornyok kimunkálására használatosak.

Forgácsleválasztás viszonyai és forgácsoló erő homlokmarásnál

A forgács ív, vagy sarló alakú az átfogási viszonyoktól függően. A maró átfogását az átmérő (d_s) és a fogásszélesség (a_e) határozza meg. A leválasztott forgács keresztmetszete nem változik olyan nagy mértékben az ív mentén, mint a palástmarásnál. A legnagyobb keresztmetszet (A_{C1max}) a maró szimmetriatengelyének vonalában alakul ki. (2.64. ábra)



2.65. ábra Homlokmarással leválasztott rétegkeresztmetszet, szimmetrikus elhelyezés esetében, $\kappa=90^\circ$

A forgácsleválasztás körülményeit, a palástmarásnál ismertekkel analóg módon, egy fogra vonatkoztatva végezzük el. A legnagyobb leválasztott keresztmetszet:

$$A_{C1max} = f_z \cdot a_p$$

Az egy fogon ébredő legnagyobb forgácsolóerőt ezúttal is a Kienzle-Victor összefüggés segítségével határozzuk meg, a legnagyobb keresztmetszet és az f_z -nek megfelelő k_s érték

szorzataként számíthatjuk ki. Az egy fogon ébredő közepes forgácsolóerő (F_{v1}) számításánál a közepes forgácsvastagsággal számolunk:

$$F_{v1} = k_s \cdot A_{1k\ddot{o}z} = k_s \cdot h_k \cdot a_p$$

A közepes forgácsvastagság meghatározását a keresztmetszeti viszonyokból a következőképp végezzük, ismét a Cavalieri-tételt alkalmazva:

$$h_k \cdot i = f_z \cdot \frac{a_e}{2}, \quad \text{amiből} \quad h_k = f_z \cdot \frac{a_e}{2 \cdot i}$$

Ha a (fél) forgácsívszöget (φ) fokban határozzuk meg, az ívhossz az alábbi módon adódik:

$$i = \frac{d_s \cdot \pi \cdot \varphi}{360}$$

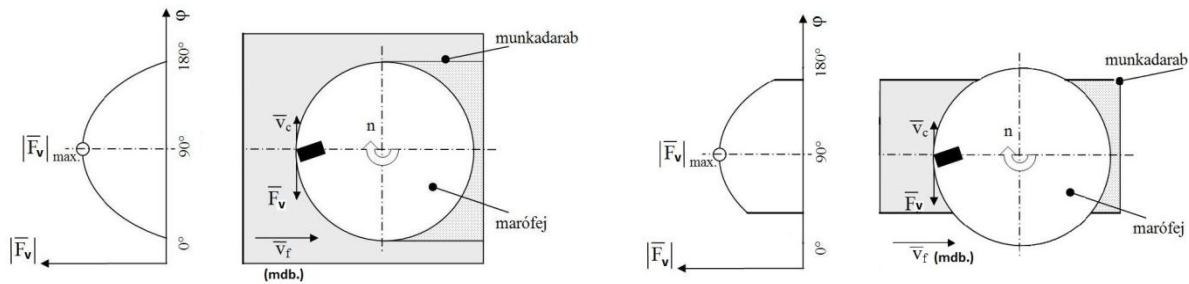
ezt behelyettesítve:

$$h_k = \frac{f_z \cdot a_e \cdot 360}{2 \cdot d_s \cdot \pi \cdot \varphi}$$

Az egy fogat terhelő közepes forgácsolóerő képletébe behelyettesítve:

$$F_{v1} = k_s \cdot \frac{f_z \cdot a_e \cdot 360}{2 \cdot d_s \cdot \pi \cdot \varphi} \cdot a_p$$

Az egy fogon ébredő forgácsolóerő (F_v) nagyobb átfogási szögeknél már jelentősen változik, teljes átfogásnál a zérus belépő és kilépő forgácsvastagság miatt nulláról fokozatosan emelkedik a maximális értékre, majd ismét fokozatosan csökken nullára. Ebben az esetben tehát az élgeometria megválasztásánál nem kell az erő lökészerű fellépésének kedvezőtlen hatásaival számolni. Gyakoribb eset azonban a részleges átfogás, tehát nagy forgácsolóerő hirtelen lép fel az élen. A belépés történhet az él sarkán, pontszerűen a homloklapon, vonal mentén, vagy felület mentén, ahogy ezt az élgeometria fejezetben tárgyaltuk. A 2.65 ábra a teljes átfogás esetét és egy általános átfogást mutat be.



2.66. ábra Egy fogat terhelő kerületi erő (F_v) alakulása a fogási ív mentén

A maró kerülete mentén ható átlagos erő ($F_{V\ddot{o}ssz}$), az egy időben fogásban lévő fogak száma, a kapcsolószám (Ψ) alapján határozható meg. A kapcsolószám a teljes forgácsív ($2i$) és a marófogak osztása (t , mm-ben) hányadosaként adódik:

$$F_{V\ddot{o}ssz} = \Psi \cdot F_{v1}; \quad \Psi = \frac{2i}{t}; \quad t = \frac{d_s \cdot \pi}{360}$$

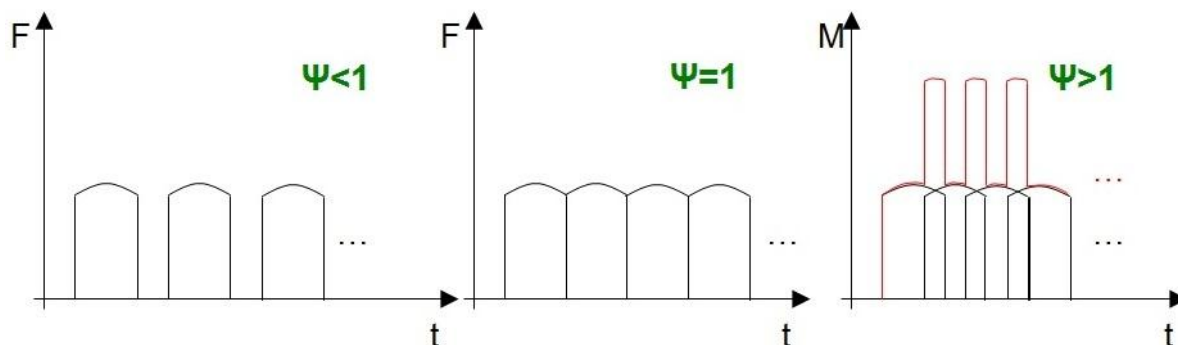
Az i értékére kapott korábbi összefüggés behelyettesítésével:

$$\Psi = \frac{2 \cdot d_s \cdot \pi \cdot \varphi}{360 \cdot d_s \cdot \pi} = \frac{2 \cdot z \cdot \varphi}{360}$$

$$F_{Vössz} = \frac{k_s \cdot a_p \cdot f_z \cdot a_e \cdot 360}{2 \cdot d_s \cdot \pi \cdot \varphi} \cdot \frac{2 \cdot z \cdot \varphi}{360} = \frac{k_s \cdot a_p \cdot a_e \cdot f_z \cdot z}{d_s \cdot \pi}$$

Ez az összefüggés az átfogástól és a szimmetriaviszonyoktól függetlenül használható, csupán a közepes forgácskeresztmetszetet kell kiszámítani.

A forgácsolóerő hullámzása tehát a kapcsolószámától és az átfogástól függ. Szimmetrikus részleges átfogás esetében az erőhullámzás a 2.66. ábra szerint alakul három féle kapcsolószámmal. (A forgácsolóerő helyett feltüntethetnénk a marófejen fellépő nyomatékot is.)



2.67. ábra Erő változása homlokmaráskor

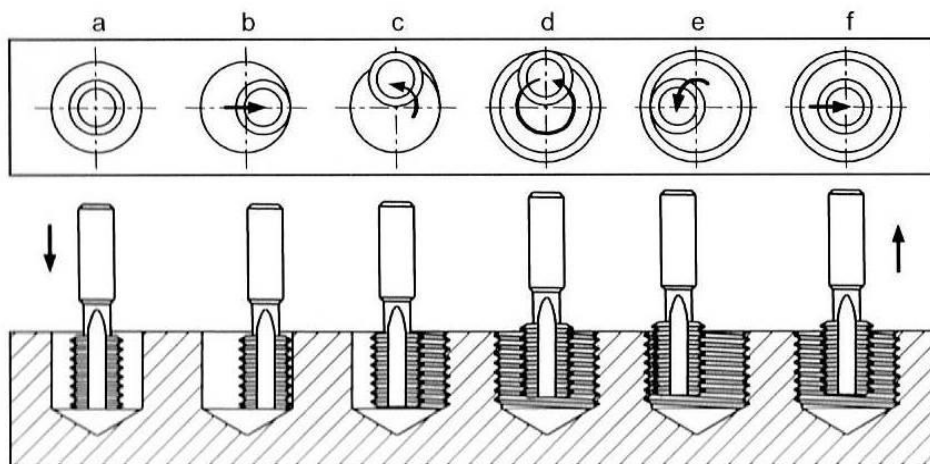
2.3.5 Menetmarás

Külső és belső menetek egyaránt előállíthatók marással. A menetmaró fogprofilja megegyezik a készítendő menet profiljával. A menetek hagyományosan gyárthatók

- egyprofilú tárcsamarával
- többprofilú menetmaróval
- örvénylő menetmarással

Az NC/CNC technika lehetővé teszi a cirkuláris menetmarást külső és belső menetek esetén is. A szerszám forog saját tengelye körül – forgácsoló főmozgás, cirkuláris mozgást végez a menet tengelye körül, miközben tengelyirányba is mozog egy menetemelkedésnyit (2.67 ábra).

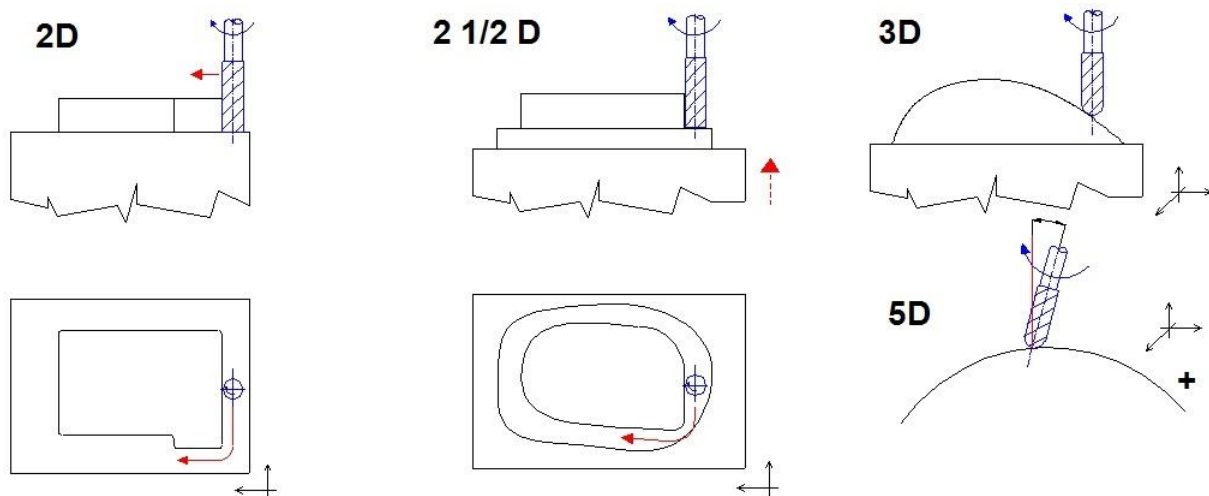
Az eljárás NC/CNC gépekre jellemző, mert egyidejűleg három tengely mentén kell mozogni. A 2.67. ábra furatban végzett cirkuláris menetmarás ciklusát ábrázolja lépésről-lépésre. A forgó maró „b”-ben érinti a furatot, tengelyirányú előtolás mellett egy negyed körív alatt eléri a menet mélységét (c), majd egy és negyed ív alatt (c→e) elkészül a menet. Az eljárás külső orsómenetek forgácsolására is alkalmas.



2.68. ábra Cirkuláris menetmarási ciklus [2]

2.3.6 Alakos felületek marása

A marás technológiája a gép és a szerszám megfelelő kombinációjával igen bonyolult 3 dimenziós felületek elkészítésére alkalmas lehet. A létrehozható felület bonyolultsága a maró alakjától és attól függ, hogy mely irányokban lehet egyszerre mozgatni a forgó marót, illetve a munkadarabot megmunkálás közben (2.69. ábra).



2.69. ábra Alakos felületek marása

2D marás: A megmunkálást végző marófej a munkadarabhoz képest csak a maró tengelyére merőleges sík két irányában mozog egyszerre. Szerszám: váltólapkás homlokmaró, tömör / váltólapkás hengeres szármaró.

2 ½ D marás: A marófej csak a tengelyére merőleges síkban végez megmunkálást, tengelyirányú elmozduláskor nincs forgácsleválasztás. Szerszám: váltólapkás homlokmaró, tömör / váltólapkás hengeres szármaró.

3D marás: a marófej a tengelyére merőleges irányokban és tengelyirányban is elmozdul a megmunkálás során. A létrehozható felület görbületét a maró (félgömb alakú) végződésének sugara korlátozhatja. Szerszám: gömbvégű tömör, vagy váltó fejű, váltólapkás szármaró.

5D marás: Annak érdekében, hogy a maró mindig nullától nagyobb forgácsolósebességgel dolgozzon, a maró tengelyét folyamatos állítással a felület normálisához képest 10-15°-kal megdöntik. Ehhez két további tengely mentén kell a gépnek egyidejűleg mozgást végeznie. Szerszám: gömbvégű szármaró tömör, vagy váltó fejű váltólapkás kivitelben.



2.70. ábra Keményfém szármarók hengeres és gömbvégű kivitelben [7]

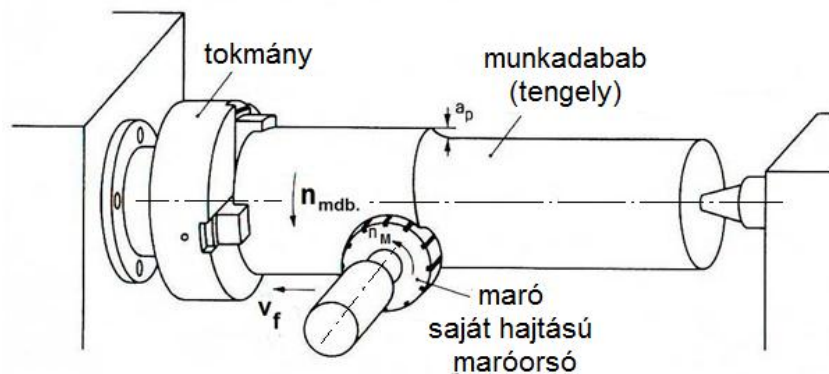
A 2.70. ábrán bemutatott tömör hengeres szármaró nagyobb átmérőknél inkább váltólapkával készül. Az ilyen szerszámokba való lapkák élvonala követi a spirál ívét. (2.71. ábra)



2.71. ábra Váltólapkás spirálmárók [Walter] [11]

Esztergáló marás

Az esztergáló marással egyszerű és alakos felületek készíthetők forgástesteken. A megmunkálás elvi elrendezése a 2.72 ábrán látható.



2.72. ábra Esztergáló marás [2]

Az eljárás alapfeltétele, hogy a munkadarab központosítható és teljesen körbeforgatható legyen, mialatt a maróorsó tengelyirányú mozgást végez. A maróorsó tengelye lehet merőleges vagy párhuzamos a munkadarab tengelyével. A marófej sugárirányú elmozdításával alakos felület is előállítható (bütykök és egyéb excentrikus elemek a tengelyen). Az esztergáló marás fő jellemzői:

- lassú munkadarab-forgás
- nagy fordulátú maróorsó (forgácsoló főmozgás)
- nagy forgácsteljesítmény
- biztos forgácstörés
- nagy méretű és kiegyensúlyozatlan munkadarabnál is használható
- központos, vagy excentrikus maróhelyzet

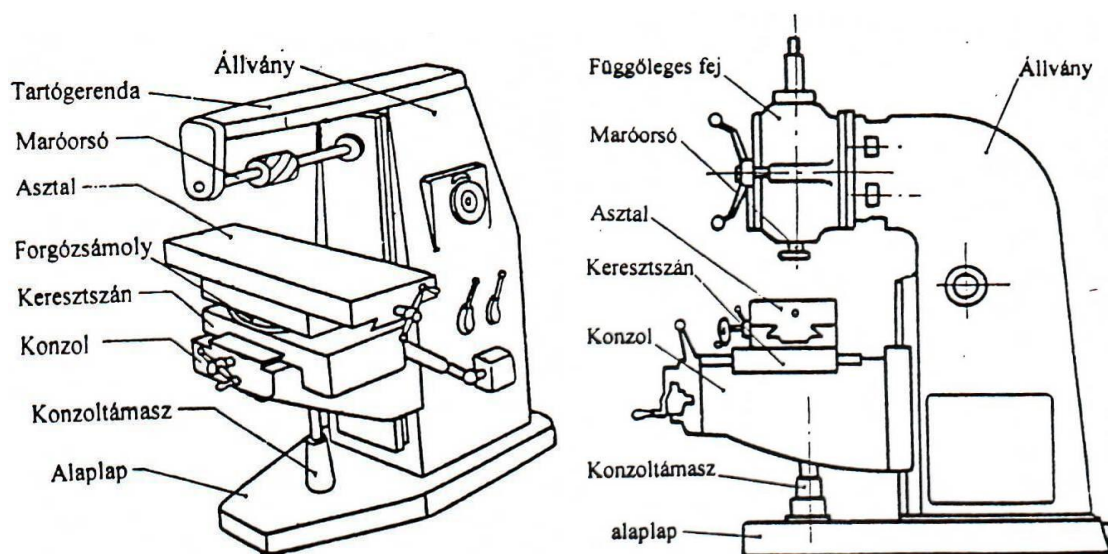
2.3.7 Marógépek

A marógépeknek számos változata létezik. A gép fő funkciói a forgó főmozgás és a mellékmovgások megvalósítása, valamint a munkadarab befogadása. A mozgások megvalósítása a hagyományos gépeken mechanikus (fokozatos, vagy fokozat nélküli) hajtóműveken keresztül, kézi fokozatválasztással történik. A gépek rendeltetésétől és fejlettségi színvonalától függően különbség van abban, hogy megmunkálás közben egyszerre mely koordinátatengelyek mentén képes a gép (egyenes vonalú, vagy forgó) mellékmovgást biztosítani. Az egyes tengelyek menti mellékmovgásokat végezheti a munkadarab, a szerszám, vagy lehet a mozgás megosztott. A gépek fontos tulajdonsága az asztal mérete és a mozgástartomány (munkatér). A marógépek a főorsó elrendezése szerint csoportosíthatóak. Megkülönböztetünk vízszintes (horizontális) és függőleges (vertikális) tengelyelrendezésű gépeket.

Egyetemes marógépek

Az egyetemes marógép szerkezete alkalmas vízszintes tengelyelrendezéssel palástmarók használatára; függőleges elrendezéssel homlokmarók használatára. A munkadarab asztala $\pm 45^\circ$ -ban elfordítható így hengeres felületeken spirális hornyok készíthetők. Spirálfelületek megmunkálásakor az asztal mozgatása mellett a munkadarabnak forgó pótmovgást is biztosítani kell. Hagyományos gépeken az asztal előtolás hajtásáról leágaztatva hajtják meg a munkadarabot forgató osztófejet, amivel egy-egy horony elkészülte után a munkadarab pontosan a következő horonyhoz fordítható. (Lásd még a Fogaskerékgyártás alapjai fejezetet.)

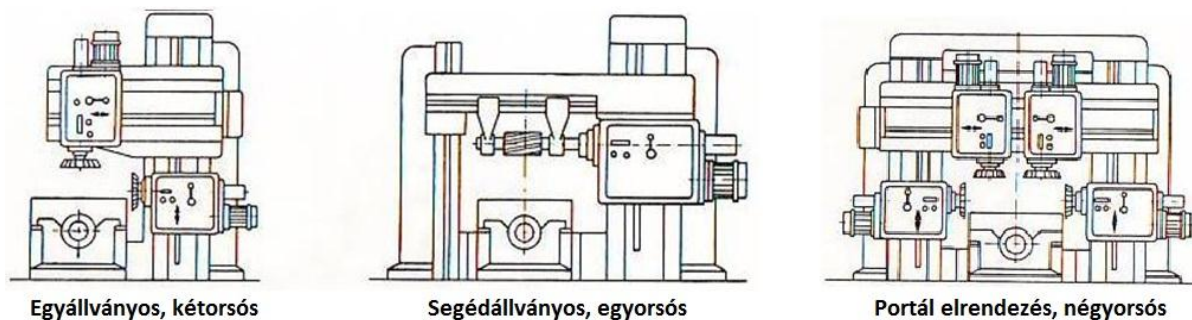
Az egytetemes marógépek függőleges változata működés szempontjából nagyon hasonlít a vízszintes kivitelhez. A függőleges orsófej az alaphelyzettől kívánt szögben elfordítható.



2.73. ábra Egytetemes marógépek

Hosszmarógépek

Nagy kiterjedésű síkfelületek megmunkálására különösen a hosszmarógépek alkalmasak. Síkmarógép elnevezés is használatos. A mérettől és az elvárt merevségtől függően készül egyállványos, egyállványos + segédállvány, valamint portál kivitelben. A hosszmarógépek egy- és többsós kivitelben készülnek. Vannak gépek, amelyek a termelékenység növelése érdekében akár négy maróorsóval fel vannak szerelve, így egyszerre a munkadarab három oldala munkálható meg. A 2.74. ábra a hosszmarógépek számos kivitele közül három elvi változatot mutat be.



2.74. ábra Hosszmarógépek

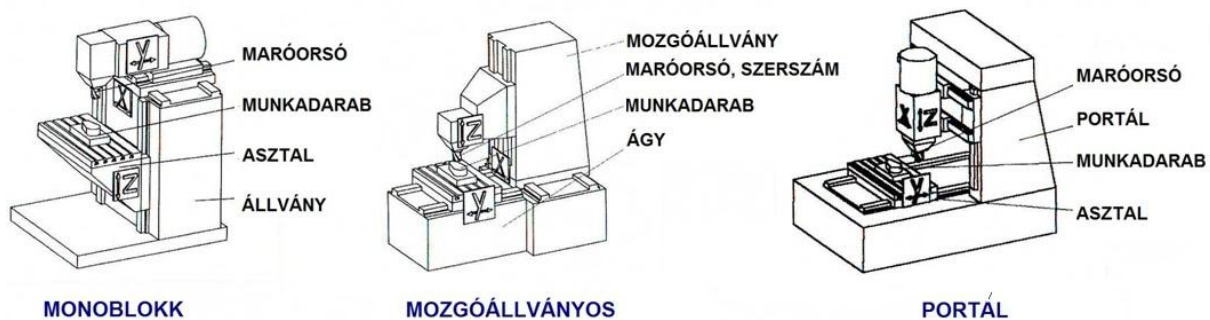
Az orsók egyedi hajtással rendelkeznek, az orsók házak függőlegesen, vagy vízszintesen állíthatók. Ha a gépen van vízszintes mellgerenda (pl. portál elrendezésnél), akkor a mellgerenda is állítható függőlegesen. A 2.74. ábrán bemutatott gépeknél az asztal végzi a munkadarab hosszirányú előtolását. Ha az orsók közötti hosszasztal helyére körasztalt helyeznek karusszal marógépről beszélünk.

Másoló marógépek

Bonyolultabb síkbeli alakok, vagy térbeli felületek minta szerinti gyártása végezhető másoló marógépekkel. A gép a minta alakját tapintóval követi le, amit mechanikusan (pantográf elven), elektronikusan, vagy villamos elven származtat át a maró mellékmozgást biztosító hajtására. A másoló marás a nagysorozatú, vagy tömeggyártás technológiája volt.

NC/CNC marógépek és megmunkáló központok

Az NC/CNC megmunkálás alapelveit a későbbiekben tárgyaljuk részletesen, ebben a fejezetben a gépek felépítésének vázlatos áttekintése a cél. Az NC/CNC marógépek egyidőben rendszerint 2-5 tengely menti elmozdulást képesek elvégezni, a vezérlést pedig számítógép látja el. Minden egyes tengely saját fokozatmentes hajtással rendelkezik, tehát egymástól függetlenül mozgathatók.



2.75. ábra NC/CNC marógépek felépítési lehetőségei [12]

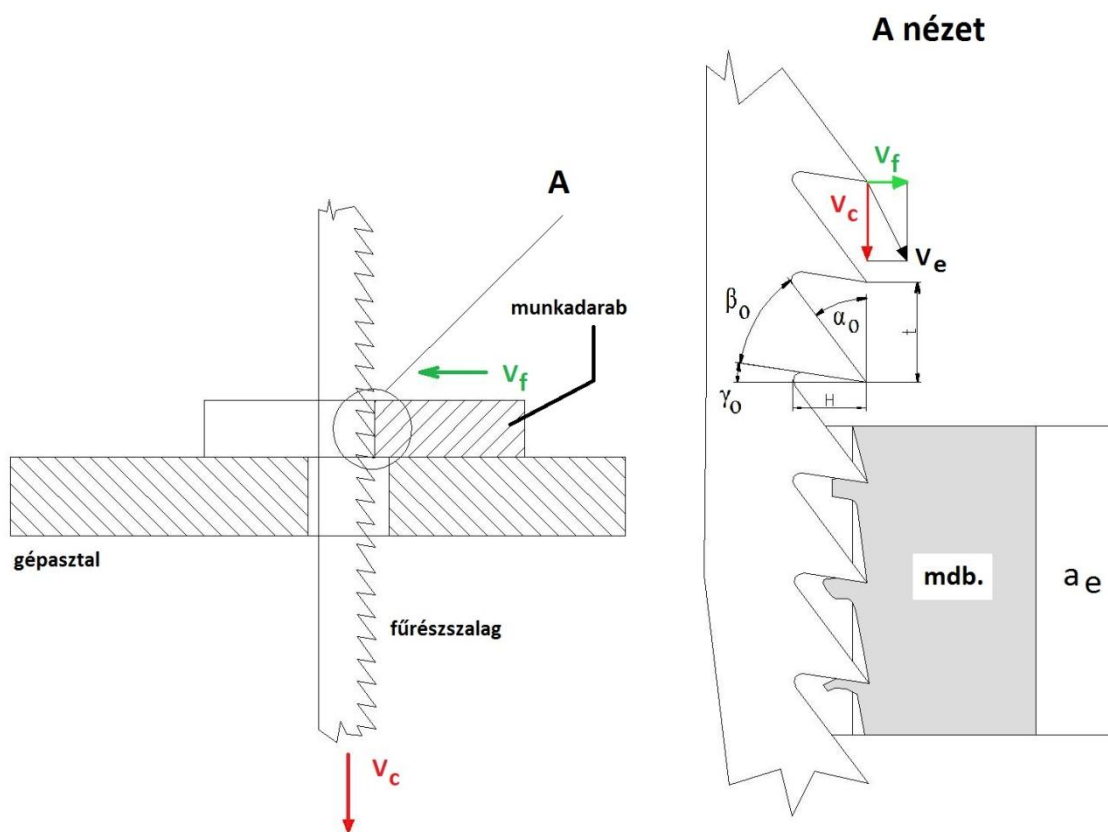
A megmunkáló központok olyan összetett gépek, amelyek egy felfogásban történő kézsre gyártás filozófiája szerint működnek. Jellemzően marást és más forgó szerszám megmunkálást végeznek: marás, fúrás, menetfúrás, dörzsölés stb. A szerszámcsere automatikusan történik a gépben elhelyezett szerszámtrájból. A munkadarab felfogásához körasztalt, vagy bölcsőt használnak, hogy a (lefogási felületet kivéve) a munkadarab minden oldala egy felfogásban megmunkálható legyen. A munkadarab(ok) váltása rendszerint palettán automatikusan, vagy félautomatikusan megy végbe. A befogáshoz a termelékeny gyártás érdekében célkészülékeket alkalmaznak. A gép környezetének tisztán tartása érdekében a munkatér megmunkálás közben le van zárva.

2.4 Fűrészelés

A fűrészelés egyenes vonalú- vagy forgó főmozgással végezhető. A szerszám többélű és viszonylag kicsi a forgácsszélesség. A fűrészelés célja darabolás vagy vékony bevágás készítése. A fűrészelés forgácsolási viszonyai nagyon hasonlóak a maráshoz, vagy az üregeléshez. A forgácstér zárt.

2.4.1 Szalagfűrészelés

A szalagfűrész egyenes vonalú, folyamatos főmozgást (v_c) végző szerszám. A fűrészszalag végtelenített, két végét átlapolva keményforrasztással egyesítik. Az előtolást (v_f) a munkadarab végzi. Az előtolás történhet gépi úton, vízszintes gépeknél a keret saját súlyából eredően (hidraulikusan szabályozva), vagy kézzel. A 2.76. ábra az eljárás elrendezési vázlatát és a fűrészfog élgeometriáját mutatja be [2].



2.76. ábra Szalagfűrészelés

A fűrészlap többélű szerszám. A munkadarabba vágott rés miatt a fűrészelés zárt forgácsterű eljárás. A forgácstér térfogata a fogtő sugarától, a fogosztástól (t) és a fogmagasságtól (H) függ. Minél nagyobb a munkadarab vastagsága (a_e) annál nagyobb forgácsterűre van szükség (azonos fogankénti előtolás esetében). A fogak számát rendszerint a fűrészlap 1 hüvelyknyi (coll) hosszára vonatkozóan adják meg. Mivel a fűrészlap viszonylag vékony és keskeny a munkadarab előtolási iránya megmunkálás alatt elfordítható a gépasztalon, így külső és belső idomok is kivághatók.

Annak érdekében, hogy a szalag ne szoruljon meg a vágási részben, a fogakat oldalirányban kiterpesztik. A terpesztés lehet jobb és bal irányú felváltva, vagy úgy, hogy a köztes fog nem terpesztett. A fogakat szokás még kettesével is terpesztetni, vagy hullámszerűen.

A fűrészszalagot a gépben elhelyezett két szemben álló tárcsára feszítik meg. Az egyik tárcsát hajtja a villanymotor. A szalag ilyen módon történő meghajlítása miatt csak elegendően rugalmas szerkezetű szalagot lehet használni. A fűrészszalag anyaga szerszámacél, bimetal, vagy szerszámacél szalagba forrasztott keményfém lapkás. A bimetal szalagok szélesebb hordozó része szerszámacél szalag, amit elektronsugaras hegesztéssel kötik össze a fogakat tartalmazó vékony gyorsacél szalaggal.

A használhatóság végét a megnövekedett előtolóerőt okozó élkopás vagy egyes fogak kitöredezése jelzi. A fűrészelő szerszám éltartamát rendszerint nem az időben, hanem a megmunkálható felületben fejezik ki.

2.4.2 Löketes fűrészelés

A löketes fűrészelésnél a főmozgás a szalagfűrészeléshez hasonlóan egyenes vonalú, de mivel az itt használt fűrészlap nem végtelenített, a mozgás alternáló. A forgácsolási viszonyok és az élgeometria megegyezik a szalagfűrészeléssel. A fűrészlap csak az egyik irányban forgácsol, a visszafutás alatt a szerszámot kissé kiemeli a gép. Ezzel a módszerrel hosszabb éltartam érhető el. A löketes fűrészelés emiatt kisebb termelékenységgű. A gépi fűrészlapok anyaga döntően gyorsacél.

2.4.3 Körfűrészelés

A körfűrészelés folyamatos forgó főmozgással végzett megmunkálás. A szerszám keskeny tárcsa alakú, az élek a kerület mentén helyezkednek el. A körfűrészelés forgácsolási viszonyai levezethetők úgy, mintha egy szalagfűrész szerszámot a lap hosszabbik oldala mentén egy körre hajlítanánk rá.



2.77. ábra Forrasztott keményfém lapkás körfűrészlap (www.szerszamvilag.hu)

A gépipari alkalmazású körfűrészlapok anyaga tömör kivitelben szerszámacél vagy gyorsacél. Nagy tárcsaátmérőknél gazdaságos megoldással a tárcsát normál szerkezeti acélból készítik és a gyorsacél éleket szegmensenként erősítik fel. Nagy termelékenységgűek a forrasztott keményfém lapkás kivitelek. A tárcsa vastagsága a súrlódás csökkentése érdekében kisebb a fogszélességnél.

A körfűrész fontos jellemzője a fogosztás. Lágy anyagokhoz ritka fogazás, kemény anyagokhoz sűrű fogazás a kedvező. A körfűrészek fogait nem terpesztik. Annak érdekében, hogy a forgácsszélesség mégis kisebb legyen a vágási résnél, az egymás után következő élek eltérő kialakításúak és a fogás megosztásra kerül.

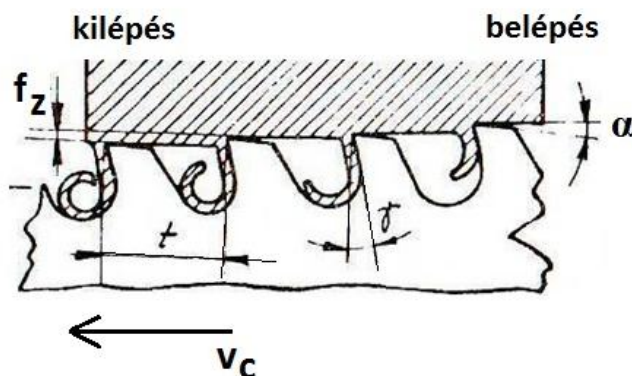
2.5 Üregelés

Az üregelés, másnéven húzómarás, belső és külső felületek megmunkálására alkalmas eljárás. Létezik forgó-, és egyenes vonalú és csavarvonalú főmozgással végzett változata is. A főmozgást a szerszám végzi. Előtoló mozgásra nincs szüksége, mert azt a szerszámon kialakított fogak lépcsőzetes kialakítása biztosítja. A szerszám kialakítása a gyártani kívánt

munkadarab alakjához és méretéhez illeszkedik, tehát elsősorban a tömeggyártásban használatos a technológia.

2.5.1 Az üregelés jellegzetes forgácsleválasztási viszonyai és mozgások

Az üregelő jellegzetes többélű szerszám. Kialakítása szerint túske alakú, vagy tárcsa. A forgácsleválasztás lényege, hogy az élék egymás után lépnek fogásba és eltérő a „magasságuk”. A kialakítás ún. szerkezeti előtolást biztosít, tehát nincs szükség előtoló mozgásra. A magasságkülönbség egyben a fogankénti előtolást (f_z) jelenti és meghatározza az egy fog által leválasztott forgácsvastagságot. Az összes fog a belépés és a kilépés között azonos hosszúságban van fogásban, amit a munkadarab méretei határoznak meg. A fogak olyan osztásközzel (t) készülnek, hogy a teljes fogásban töltött út alatt leválasztott forgács elférjen a fogközben.



2.78. ábra Forgácsleválasztás, homlokszög és hátszög üregeléskor

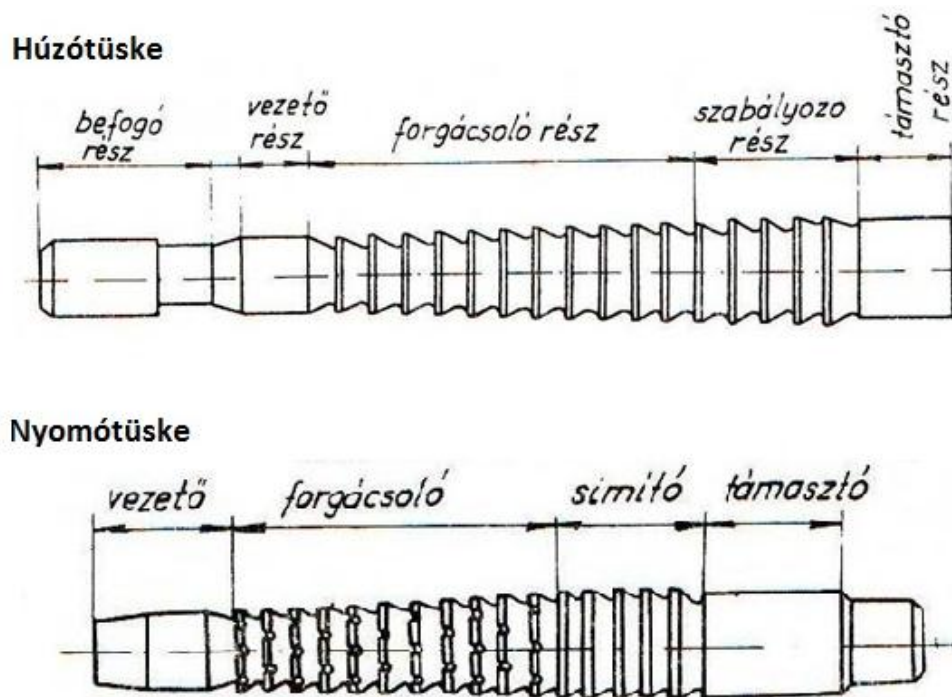
A fogankénti előtolás értéke az anyagminőségtől függ, de 0,02 mm-nél kisebbet nem szoktak választani a bizonytalanra váló forgácsleválasztás miatt. Legnagyobb értéke 0,2 mm. A forgácsolóerő a munkadarab fajlagos forgácsolási ellenállásától és a forgácskeresztmetszettől függ. Az erő értelmezhető foganként és a teljes szerszámmra vonatkoztatott összes forgácsolóerő. Az összes erő az egy élt terhelő erő és a kapcsolási szám szorzataként áll elő.

A forgácsolási sebesség a munkadarab és a szerszám anyagminőségétől is függ, de a mozgásviszonyok miatt túske alakú szerszámoknál nem nagyobb 10 m/min értéknél.

A zárt forgácstér és a gyakran bonyolult forgácsalak miatt üregeléshez bőséges hűtőkenő anyag (többnyire olaj) használatos. Az üregeléssel akár IT6-os tűrés és jó felületi érdesség érhető el. A megmunkálás elvégezhető egyetlen szerszámlökettel, ami igen rövid műveleti időt tesz elérhetővé.

2.5.2 Az üregelés jellegzetes szerszámai és a kialakítható felületek

Az üregelés klasszikus technológiai változata meglévő hengeres furatok alakjának és méretének megváltoztatását szolgálja. A szerszám hosszú túske alakú, aminek palástfelületén meghatározott osztásközzel egyre nagyobb átmérőn forgácsoló élket alakítanak ki. Attól függően, hogy a szerszámot áthúzzák, vagy átnyomják az előfuraton, beszélhetünk húzótüskéről, vagy nyomótüskéről. Az üregelő szerszámon különböző szakaszok szolgálnak a befogásra, megvezetésre, fogácsolásra, szabályozásra és a támasztásra (2.79. ábra). A forgácsoló részen belül is megkülönböztetünk nagyoló és simító szakaszokat.



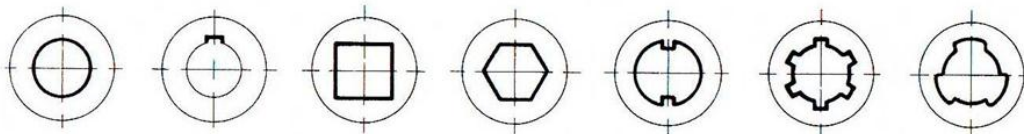
2.79. ábra Üregelő szerszámok [13]

A húzótüskét a szerszám elején befogva húzzák át az előfuraton, erre külön befogó rész szolgál. A nyomótüskét a támasztó résznél nyomva nyomják át a furaton. A nyomótüske hossza az átmérőhöz képest a kihajlási veszély miatt korlátozottabb, de egyszerűbb a szerszám és a munkadarab befogása. A fogak profiljának kialakítása a létrehozandó felülettől függ. Az egymást követő éleken gyakran fogásmegosztást alkalmaznak. A fogak egyenes kialakítás helyett lehetnek ferde elhelyezésűek is, ami az erőhullámzás szempontjából kedvezőbb. Külső sík és alakos felületek is előállíthatók üregeléssel, ehhez hasonló fogkialakítású szerszámok használatosak.

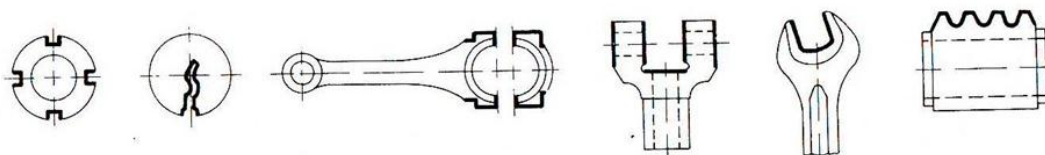
Az üregelőszerszámok bonyolult alakok esetében általában monolit kivitelben gyorsacélból, vagy porkohászati gyorsacélból készülnek. A szerszám a kedvezőbb súrlódási viszonyok érdekében bevonattal is ellátható. Egyszerűbb élgeometria esetében forrasztott, vagy szerelt lapkák (HW) is használhatók.

A 2.80. ábra néhány jellegzetes furat és külső felület üregelését mutatja be.

Belső üregelés



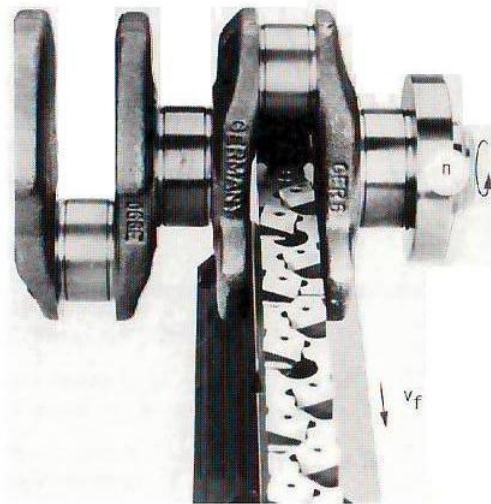
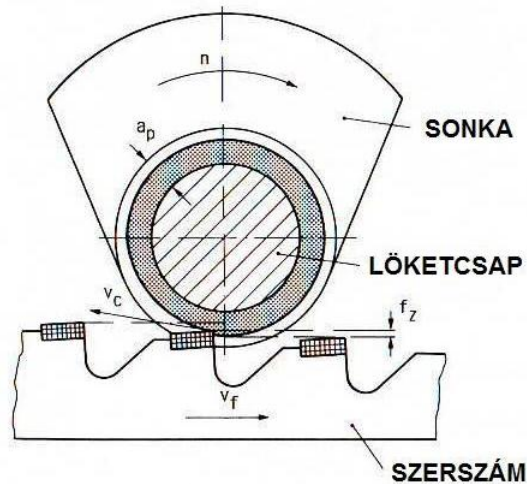
Külső üregelés



2.80. ábra Üregeléssel előállítható üregek és külső felületek [1]

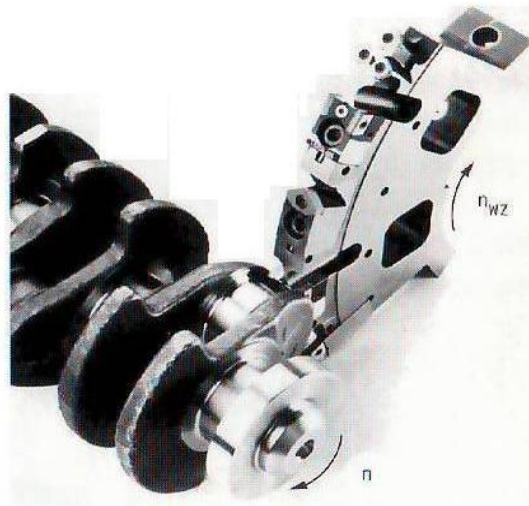
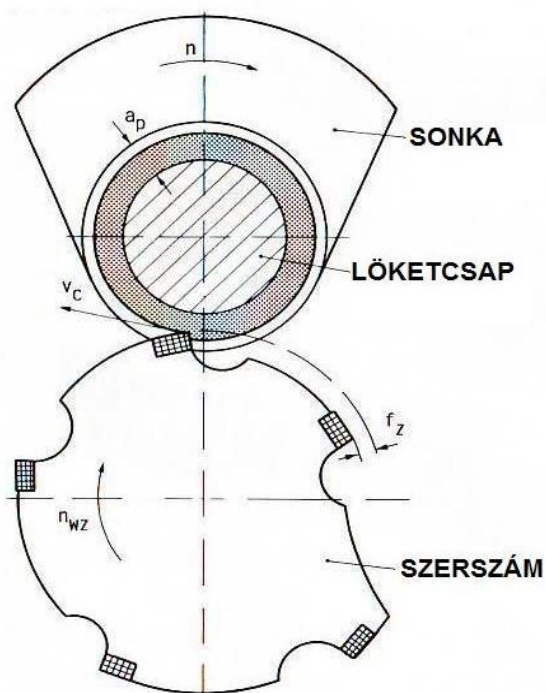
Forgó üregelés

A munkadarab vagy a szerszám forgatásával körkörös felületek munkálthatók meg, pl. forgattyús tengelyek. Egyenes szerszám esetében a forgó munkadarab végzi a főmozgást. A szerszám viszont ebben az esetben érintő irányban előtoló mozgást végez annak érdekében, hogy fokozatosan az egyre magasabban álló élek kerüljenek fogásba.



2.81. ábra Forgattyús tengely forgó üregelése egyenes szerszámmal [2]

Forgó szerszámmal is végezhető a főmozgás, ekkor a munkadarab lassú forgó előtolómozgást végez. A szerszám és a munkadarab középpontja egymáshoz képest nem mozdul. A fogak közötti legnagyobb sugárirányú különbség a teljes leválasztandó rétegvastagsággal azonos.



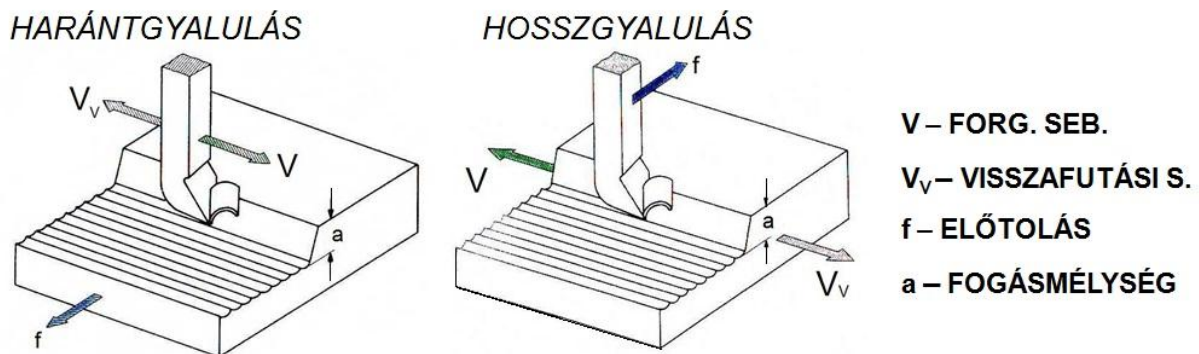
2.82. ábra Forgattyús tengely forgó üregelése forgó szerszámmal [2]

2.6 Gyalulás és vésés

A gyalulást és vésést alternáló, haladó (legtöbbször egyenes vonalú) főmozgás jellemzi. A két eljárás közötti fő különbség, hogy a gyalulást vízszintes irányban végzik, míg a vésést függőlegesen. E két technológia hagyományosan síkfelületek, hornyok és fogaskerekek előállítására használatos.

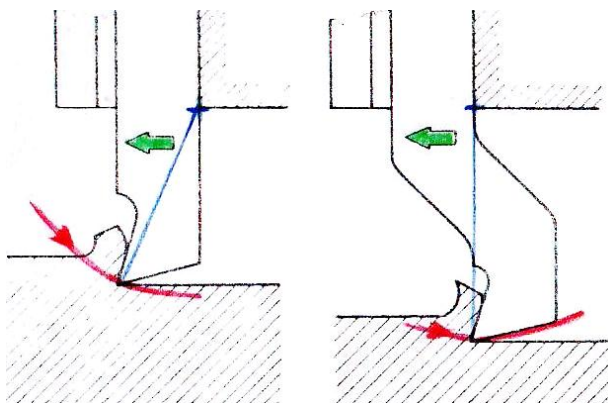
2.6.1 A gyalulás jellegzetes technológiai viszonyai és szerszámai

A gyalulás szerszáma egyélű gyalukés. A kés szára merőleges a megmunkálandó felületre. A főmozgást végezheti a szerszám, vagy a munkadarab. A főmozgás alternáló, megkülönböztetjük a munkalöketet és a visszafutást (holtlököt). Annak érdekében, hogy visszafutásnál ne súroljon az él hátfelülete a késtartó úgy van kialakítva, hogy ilyenkor kissé elemelkedjen a megmunkált felülettől. A visszafutás alatt csak különleges gépeken, nagyméretű munkadaraboknál van forgácsleválasztás. A mellékmozgás merőleges a főmozgás irányára, végezheti a munkadarab vagy a szerszám. A mellékmozgást mm/lököt formában fejezik ki. Két alapesetet lehet megkülönböztetni a főmozgás és a mellékmozgás végrehajtása szempontjából (2.82. ábra).



2.83. ábra Harántgyalulás és hosszgyalulás [2]

Harántgyalulásnál a szerszám végzi a főmozgást, a munkadarab a mellékmozgást. Hosszgyalulás során a munkadarab végzi az alternáló főmozgást és a szerszám végzi a mellékmozgást. A technológia jellegéből fakadóan alapesetben az előtolás is szakaszosan történik. Az előtolás meghatározza a kés által hagyott barázdák távolságát. Az elméletileg várható felületi érdesség a kinematikai viszonyok alapján az esztergáláshoz hasonlóan számítható. Az előtolást a holtlököt végén végzi el a gép, tehát a kés túlfutása nem lehet nagyon kicsi. A gyalukés szára lehet egyenes, vagy hajlított (könyökös). Egyenes szár esetében a rugalmas alakváltozási tartományban az él még mélyebb fogást vesz a deformáció hatására (2.82. ábra). Ez berezgésekhez és a felületi érdesség romlásához vezet, így csak kis gépeknél használnak egyenes kés, ahol kicsi forgácsolási erők lépnek fel. A könyökös szár úgy van kialakítva, hogy az él elméleti forgáspontja attól kissé előrébb helyezkedjék el (2.83. ábra). A hajlított száron a forgácsolóerő olyan alakváltozást okoz, ami a fogásmélységet csökkenti, tehát a kés kitér a túlterhelés elől.

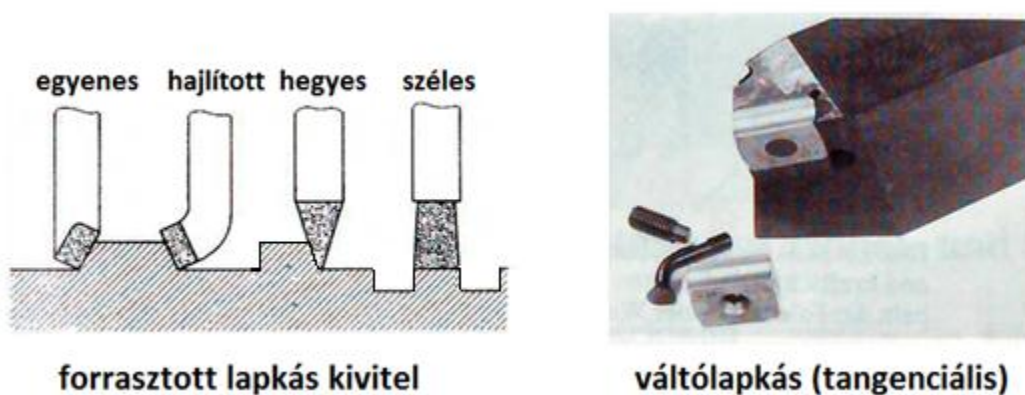


2.84. ábra Fogásmélység változása egyenes és könyökös gyalukésnél

Gyalulással a fent bemutatott módon sík felület állítható elő, de összetettebb mellékmozgással és élgeometria használatával a síknál jóval bonyolultabb geometriai idomok is előállíthatók:

- sík
- kör
- csavar
- profilozó (alakos szerszám)
- alakos felületek másoló eljárással

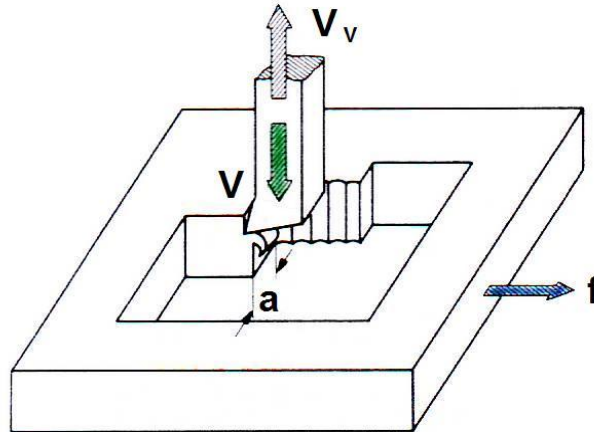
A szerszám anyagaként gyakran elegendő a gyorsacél (ill. porkohászati gyorsacél), mivel a gyorsulások és lassulások megengedhető mértéke nem teszi lehetővé túl nagy sebességet elérését (max. 60..100 m/min). A gyorsacél mellett még forrasztott vagy váltólapkás kivitelben keményfém is használatos élananyag. A kis sebesség és a holtlököt alatti visszahűlés miatt egyszerű leválasztási viszonyok mellett hűtőfolyadék használata sem indokolt. Előnye a technológiának, hogy a munkadarab sem hevül fel. A forgácsteljesítmény elsődlegesen az előtolás és a fogásmélység növelésével javítható, de alapvetően így is messze elmarad a marással elérhető termelékenységtől. Néhány lehetséges késkialakítást mutat be a 2.84. ábra. A széles késeket kis fogásmélységgel és nagy előtolással (10..20 mm/lököt) simításra használják (finomgyalulás).



2.85. ábra Gyalukés kialakítások

2.6.2 A vésés technológiája

A vésés elsősorban abban különbözik a gyalulástól, hogy a szerszám függőleges alternáló főmozgást végez. A visszafutás (v_v) során nincs késkiemelés.



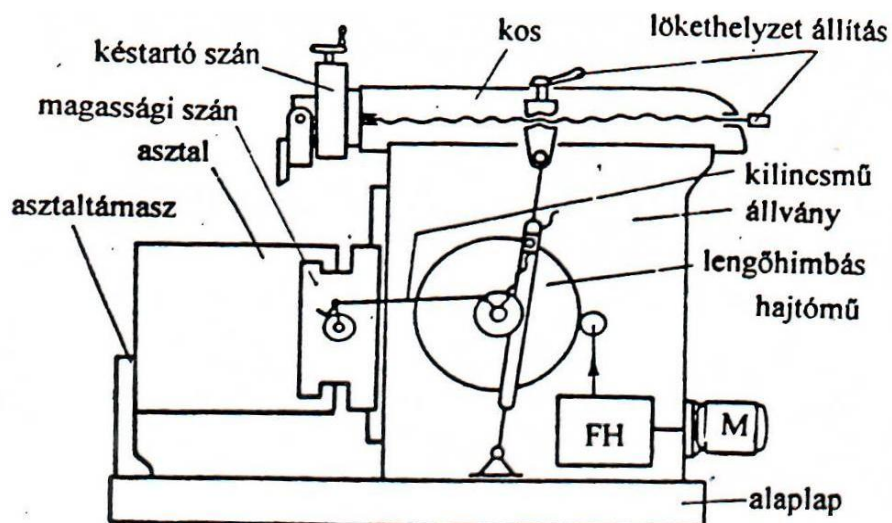
2.86. ábra A vésési eljárás elvi elrendezése és a szerszámszögek [2]

Az előtoló mozgást a munkadarab végzi. A véső szerszám általában gyorsacélból készül tömör, vagy betétkéses kivitelben. A technológia jellegzetességei gyakorlatilag megegyeznek a gyalulással. Fontos alkalmazási terület a belső reteszhornyok előállítása, valamint speciális fogaskerégyártó gépeken a külső és belső fogazat előállítása lefejtéssel (lásd még a 2.7 fejezetet).

2.6.3 Gyalugépek

A gyalugépek a végzett mozgások szerint csoportosíthatók. A harántgyalukon (2.86. ábra) az alternáló mozgást lengőkulisszás hajtóművel hozzák létre. A hajtómű a kost mozgatja, amihez a késtartó egységet erősítik.

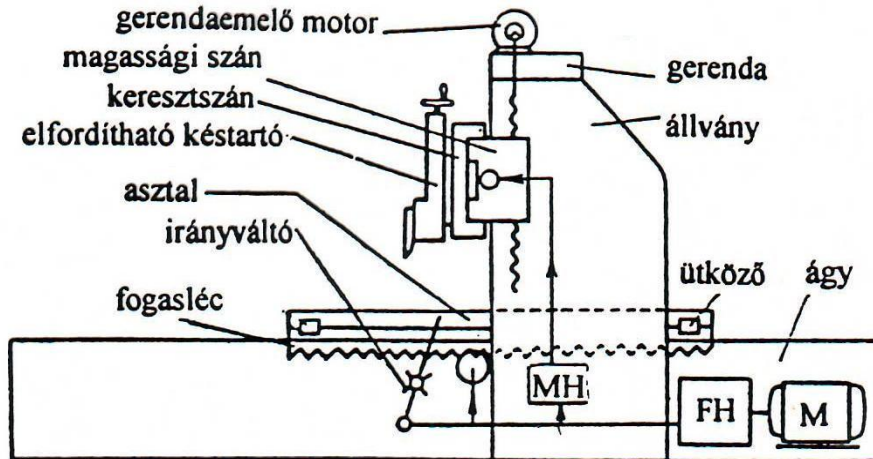
A lengőkulisszás hajtással a forgómozgás alternáló egyenes vonalú mozgássá alakítható.



2.87. ábra Harántgyalu szerkezeti vázlatja

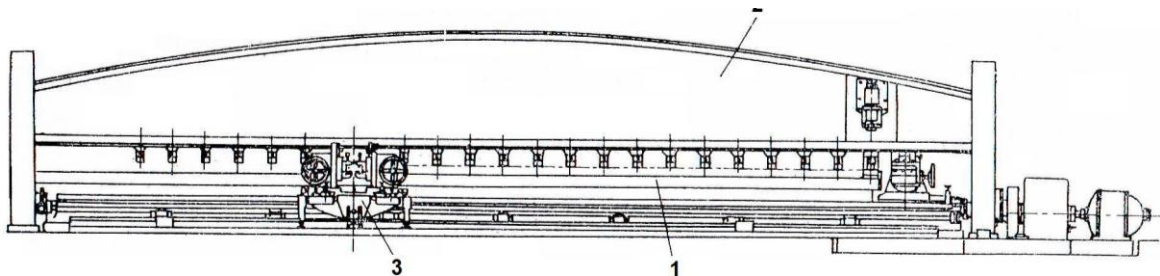
A harántgyalut lökethosszával, az asztal méretével és a motor teljesítményével jellemzik. Rövid alakos felületek, kisebb darabok ferde és vízszintes felületei, belső hornyai alakíthatók ki.

A hosszgyaluk váza merev, prizmatikus vezetőkein a munkadarab felfogó asztal végzi a főmozgást. Az asztal mozgatása hidraulikus vagy fogaskerék-fogasléc kapcsolattal történik. Az irányváltás reverzálható villamos motorral vagy mágneses tengelykapcsolókkal végzik.



2.88. ábra Harántgyalú szerkezeti vázlata

Nagyméretű lemezszerű alkatrészeket (pl. hajók lemezeit) lemezgyalúval munkálják meg, ahol a munkadarab rögzített és minden forgácsoló mozgást a szerszám végez. A löket akár több méter is lehet, ezért a szerszám mindkét irányban haladva forgácsol. Különösen nagyméretű házszerű alkatrészek sík felületei munkálthatók meg az ún. veremgyaluban.

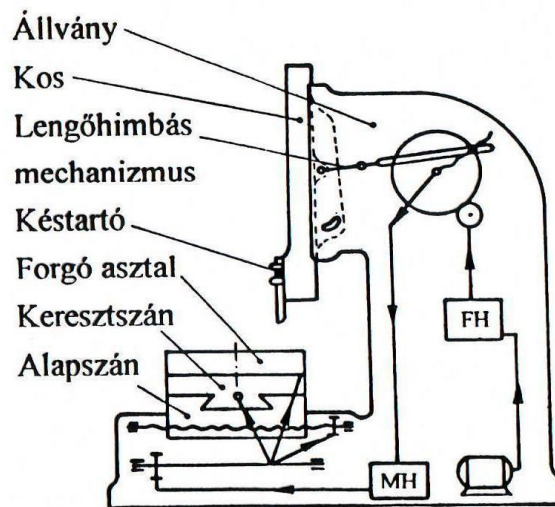


LEMEZGYALU, 1 ASZTAL, 2 LEMEZLEFOGÓ GERENDA, 3 MOZGÓ KÉSSZÁN MINDKÉT IRÁNYBAN GYALUL

2.89 ábra. Lemezgyalú [19]

2.6.4 Vésőgépek

A vésőgépek hajtási elve hasonló a harántgyalúhoz, azzal a már tárgyalt fő különbséggel, hogy a szerszámot függőlegesen mozgatja a kos.



2.90. ábra Vésőgép szerkezeti vázlata

2.7 A fogaskerékgyártás alapjai

Fogaskereket túlnyomórészt forgácsolással gyártanak. A technológia alapjait a már ismertetett marásra, húzómarásra vagy a vésésre lehet visszavezetni. A megmunkálás célja a fogaskerék evolvens oldalfelületekkel határolt fogárkának kimunkálása. Ebben a fejezetben külső és belső fogazású homlokkerek és kúpogaskerek megmunkálásának technológiai alapjait, továbbá szerszámaikat tekintjük át.

A forgácsolás jellege szerint két alapeset különíthető el. Profílozó eljárás során a fogároknak megfelelő alakú szerszámmal egyenként munkálják ki a fogárkokat. A lefejtő eljárásnál a szerszám alakja megfelel a készítendő fogaskerék ellenkerékének és a forgácsoló gép által megvalósított összegördítés alatt az egymás után következő fogak folyamatosan készülnek el. A homlokkerek készülhetnek profílozó vagy lefejtő eljárással egyaránt. A kúpkerék a változó fogárok-szélesség miatt, csak lefejtő-jellegű eljárással készíthetők.

Homlokfogaskerék gyártása

Profílozó eljárás

- marás
- vésés

Lefejtő eljárás

- lefejtő vésés:
 - metszőkerek
 - fésűskés
- lefejtő marás
- csigamarós

Kúpkerék gyártása

Egyenes fogazat

- egykéses eljárás
- kétkéses eljárás

Ívelt fogazat

- köríves eljárás
- spiráltárcsás elj.
- csigamarós elj.

Fogaskerek befűző, finommegmunkálási:

- foglekerekítés, fogsarkítás
- foghántolás
- fogköszörülés
- dörzsköszörülés
- bejártás

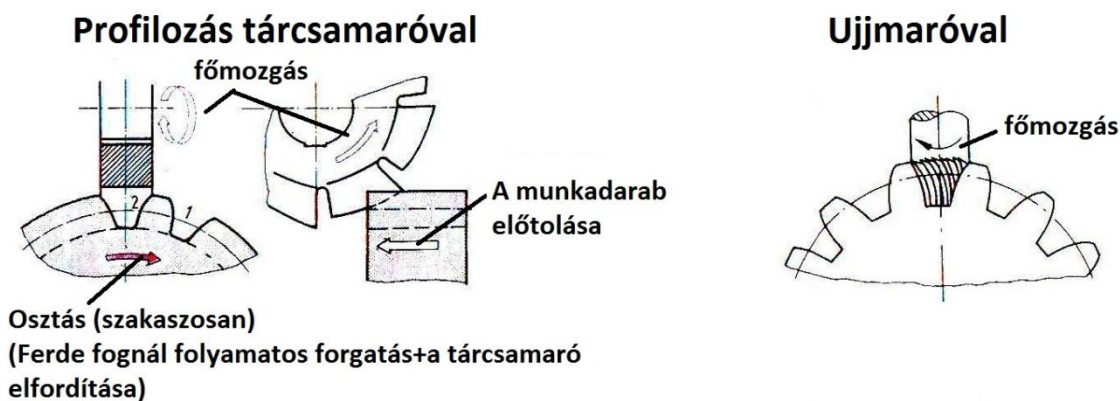
2.7.1 Fogaskerékgyártás profilozó marással

A kimunkálendő fogárok profilját a marószerszám hordozza. Az eljárás során a szerszám profilja rámásolódik a munkadarabra. Profilozó marással egyenes-, ferdefogú és nyílfogazatú homlokkerekek gyárthatók. Emellett lánckerekek, fogaslécgyártása is megvalósítható. A fogak osztása és a fogprofil alakja viszonylag pontatlan, ezért az ilyen technológiával gyártott alkatrészek csak alárendeltebb feladatra használhatók, illetve a különösen nagyméretű (akár több méter átmérőjű) fogaskerekek gyártása valósítható meg profilozó marással.

A profilozáshoz használt szerszámnak két típusa ismert:

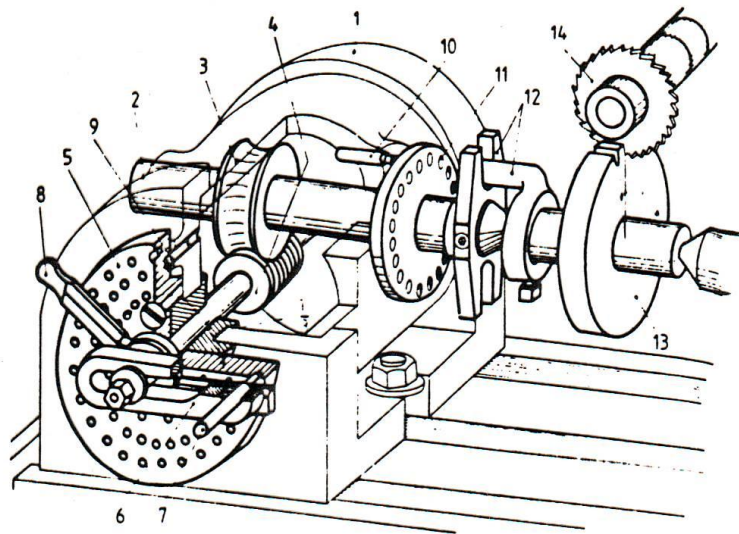
- tárcsamaró (modulmaró)
- profilos ujjmaró

Az eljárás lényegét a 2.91. ábra mutatja be. Anyaga gyorsacél, porkohászati gyorsacél, vagy nagy modulú szerszámnál előfordul a keményfém váltólapkás kivitel.



2.91. ábra Fogárok kimunkálása

A megmunkálás mozgásviszonyai egyenes fogazat esetében viszonylag egyszerűek. A forgó főmozgást végző marószerszám a munkadarab hengerének alkotó irányában végez relatív elmozdulást (előtolás). A marógép felépítéséből adódóan, rendszerint a munkadarab végzi ezt a mellékmozgást. Ferde fogazat forgácsolásakor a nyers munkadarab hengerfelületén csavarvonal mentén alakítják ki a foghézagot. Ehhez a munkadarab tengelyét el kell fordítani a fog menetemelkedési szögének megfelelően és a forgácsolás közben az egyenes vonalú előtoló mozgás mellett a munkadarabot forgatni is kell, hogy a szerszám a csavarvonal mentén haladjon végig (2.92. ábra). Tárcsamarás esetében a tárcsa alakú szerszám természetesen nem tudja lekövetni az ívelt foghézagot és egy kis anyagrészt elhord az ideális fogalakkból, a profil torzulni fog.



Egyetemes osztókészülék (egyszerűsített ábrázolás)

1 ház, 2 főtárcsa, 3 csigakerék 40 foggal, 4 egybekezdésű csiga, 5 cserélhető lyuktárcsa, 6 hajtókar, 7 osztócsap, 8 olló, 9 reteszcsap a lyuktárcsa rögzítésére, 10 osztócsap a közvetlen osztáshoz, 11 osztótárcsa a közvetlen osztáshoz, 12 menesztő, 13 munkadarab, 14 maró

2.92. ábra Egyetemes osztókészülék

Egy-egy fogárok kimunkálása után a munkadarabot a következő fogárokhoz tovább kell forgatni a munkadarabot, ezt a mozgást osztásnak nevezzük. Az osztás pontos elvégzését osztókészülékkel végzik. A hagyományos mechanikus osztókészülék nem csak az osztást, hanem a ferde fogazású kerekeknél a megmunkálás közbeni forgatást is elvégzi. Az osztókészülék a maró asztalmozgató orsójáról kapja a hajtást.

A két eljárás közül a tárcsamaró gazdaságosabb, ezért általában ezt használják. Az ujjmaró különösen nagyméretű és nyíl fogazású kerekeknél használatos, ahol csak ez a fajta szerszám alkalmazható. A marás kisebb kerekeknél egy, nagyobbaknál több lépésben történik elő- és készremarással. A foghézag alakja nem csak a modulszámtól és a fog méretétől függ, hanem a fogszámától is, így különböző fogszámú fogaskerekekhez azonos modul esetében is más-más profilú szerszám szükséges. Kb. 7-es modulig az eltérés nem túl jelentős, ezért nyolcféle modulmaróval minden fogszámú fogaskerék kisebb hibával előállítható. Nagyobb modulnál egy-egy modulhoz 15 ill. 26 darabból álló marósorozat szükséges. A szerszám hátfelülete mindig hátraesztergált, illetve hátraköszörült oly módon, hogy újraélezéskor a profil ne torzuljon.

2.7.2 Fogaskerékgyártás másoló gyalulással és üregeléssel

Nagymodulú fogaskerekek gyalulással is készíthetők. A szerszám alternáló főmozgást végez és a fogprofilnak megfelelő mellémozgást etalonprofillal biztosítják. Nyíl fogazatú fogaskerekek is készíthetők.

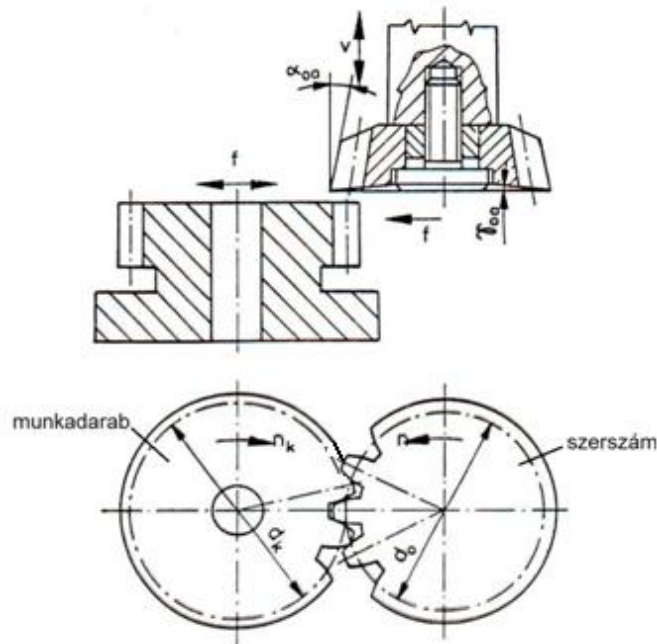
Sorozatgyártásban üregeléssel is készíthetők fogaskerekek, elsősorban. belső fogazat gyártható így.

2.7.3 Homlokfogaskerék gyártás lefejtő véséssel

A lefejtő eljárások jellegzetessége, hogy a szerszám kialakítása megfelel az elkészítendő fogazat valamilyen ellenkerékének illetve ellen fogaslécének. A fogazógép úgy mozgatja egymáshoz képest a szerszámot és a munkadarabot, mintha azok egymáson gördülneek le mialatt a szerszám alternáló véső mozgást is végez a forgács leválasztása érdekében.

Lefejtés metszőkerekes eljárással (Fellow)

A metszőkerekes módszernél a fogarok-profil kimunkálása a 2.93. ábra szerint történik.



2.93. ábra Metszőkerekes eljárás

Mozgások a 2.93. ábra jelöléseivel:

1. A szerszám és a munkadarab a d_k/d_0 áttételnek megfelelő forgómozgást végez (n_k és n)
2. A szerszám tengelyirányban egyenes vonalú alternáló mozgást végez forgácsoló főmozgás (v)
3. Radiális mélyítés (f), amíg a szerszám fejele a fogazat lábához ér.

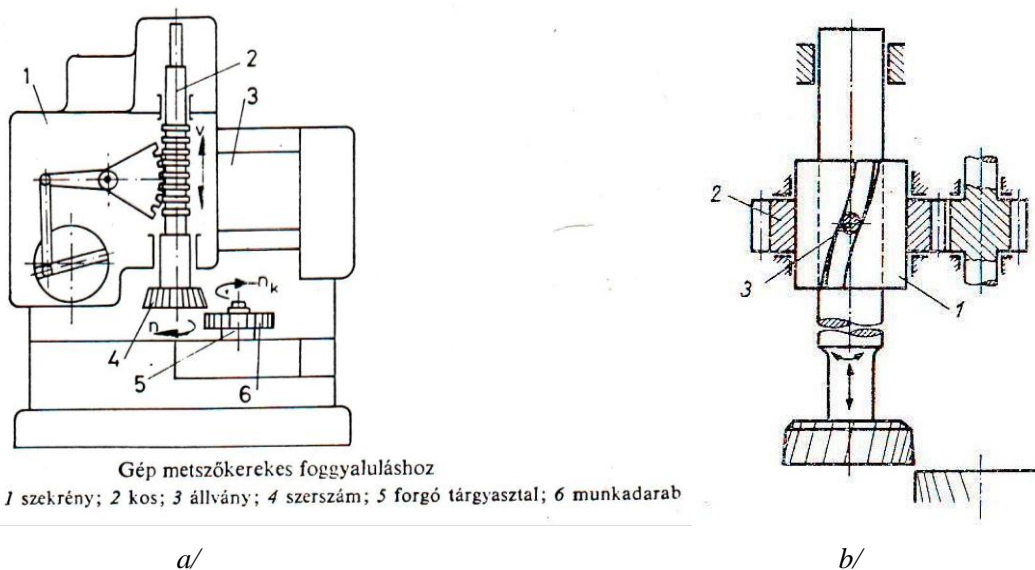
A megmunkálási ciklus:

1. Radiális mélyítés $\frac{1}{4}$ fordulat alatt, (egyidejűleg megindul az összegördülés és a forgácsoló főmozgás is)
2. További 1 teljes munkadarab fordulat alatt az összes fog elkészül.
3. Radiális kiemelés

Vésésről lévén szó a metszőkerék holtlöketete alatt a hátsúrlódás elkerülése érdekében a munkadarabot a szerszámtól kissé elmozdítják.

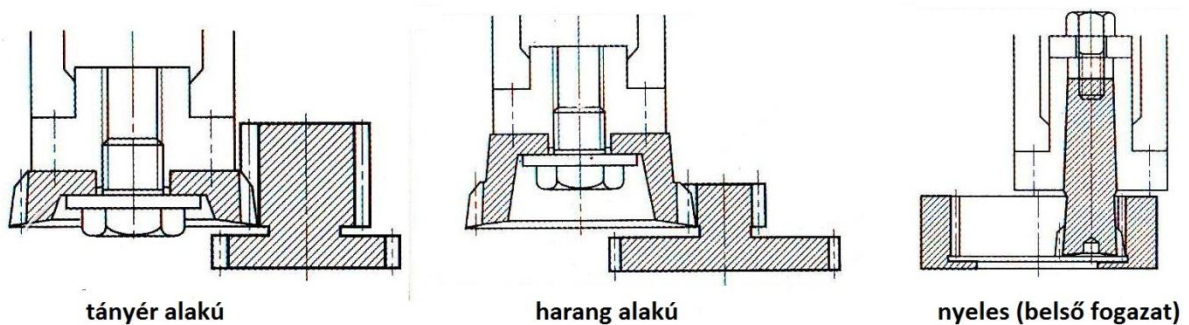
Ferde fogazat készítéséhez természetesen a szerszámot is ferde fogazattal kell elkészíteni és az összegördítés alatt a függőleges főmozgás mellett körmozgásra is szükség van. Ilyenkor tehát a szerszám egy-egy pontja csavarvonal alakú mozgást végez és ferde fogazat alakul ki a munkadarabon. A metszőkerék elmozdítását cserélhető csavarvezeték végzi, aminek emelke-

dési szögét az aktuális fogferdeség és szerszám átmérő alapján kell megválasztani (2.94. b/ ábra).



2.94. ábra Metszőkeres fogaskerék gyártó gép (a/) [18], a ferde fogazás egyszerűsített kinematikai vázlata (b/)

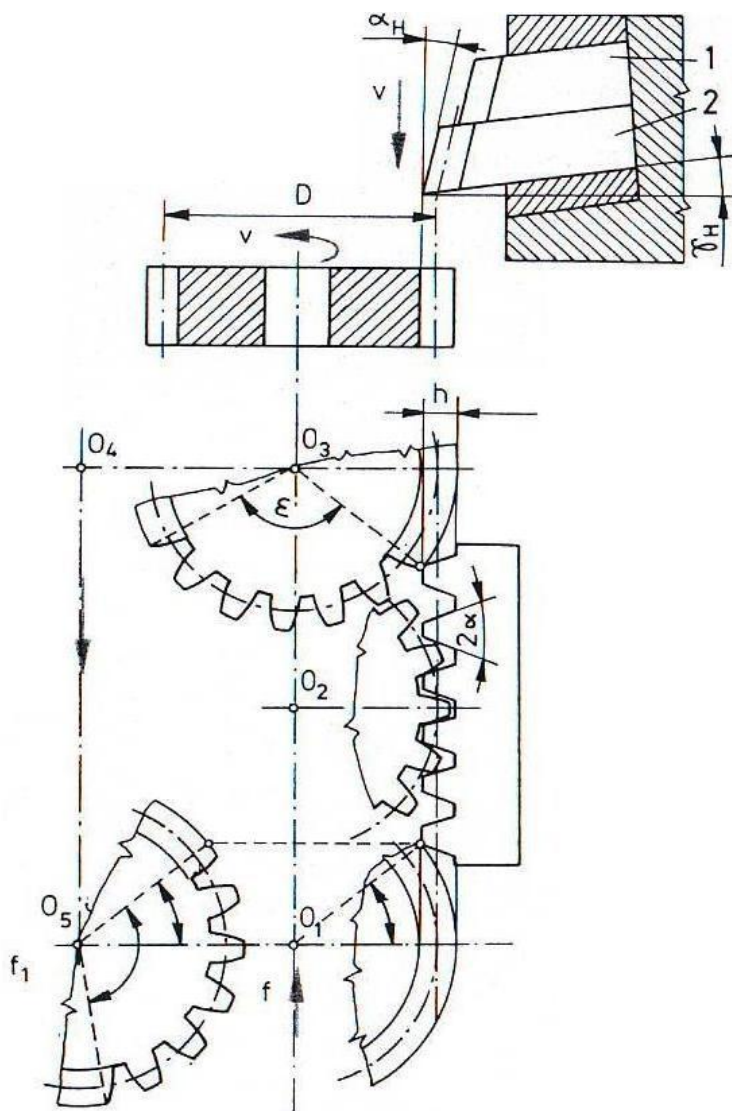
Ahol kicsi a szerszámkifutás (lépcsős tengely), vagy belső fogazat elkészítése a feladat a metszőkeres eljárás számít elsődleges gyártási lehetőségnek. A szerszám kialakítása lehet tányér, harang, vagy nyeles (5. ábra). Anyaga HSS, HSS-E (5..8% Co), HSS-PM. A szerszám általában bevonatolt: TiN, TiAlN, TiCN, és kenő bevonatok: Mo-S₂, WC-C.



2.95. ábra Metszőkeres megmunkálások [16]

Lefejtés fésűskéses eljárással (Maag)

Az eljárás elve nagyon hasonlít a Fellows eljáráséhoz, csak a szerszám görbületi sugarát végtelennek kell tekinteni, tehát nem fogaskerék-fogaskerék kapcsolódás szerint történik a lefejtés, hanem fogasléc-fogaskerék kapcsolódás szerint. A technológia mozgásviszonyait és működési elvét a 2.95. ábra mutatja be.



2.96. ábra Fésűs késes eljárás [18]

Mozgások (a 2.96. ábra jelöléseivel):

1. Vésőfej alternáló mozgása (v)
2. Munkadarab gördülő forgómozgása
3. Munkadarab forgómozgás közbeni haladó mozgása (f) (legördülés O_1 - O_3 pontok között)
4. Munkadarab visszafutása (f_1) és szakaszos osztása (O_4 - O_5 pontok között)

A szerszámot nem készítik olyan hosszúra, hogy megfeleljen a készítendő kerék teljes osztókör területének, tehát egy legördülési ciklus alatt csak néhány fog munkálható ki. A ciklus elején a munkadarab O_1 pontból kezdi a legördülést, az O_3 pontba érve a szerszám már nem választ le forgácsot. A munkadarab legördülő és haladó mozgása szakaszos és a szerszám holtlökete alatt megy végbe. Az O_3 pontból vissza kell térni a kiindulási helyzetbe és az elkészült fogaknak megfelelő középponti szöggel tovább kell osztani a munkadarabot, ezért a fogásból ki is kell mozdítani a munkadarabot (O_4 - O_5 pontokon keresztül). A holtjátékok kikü-

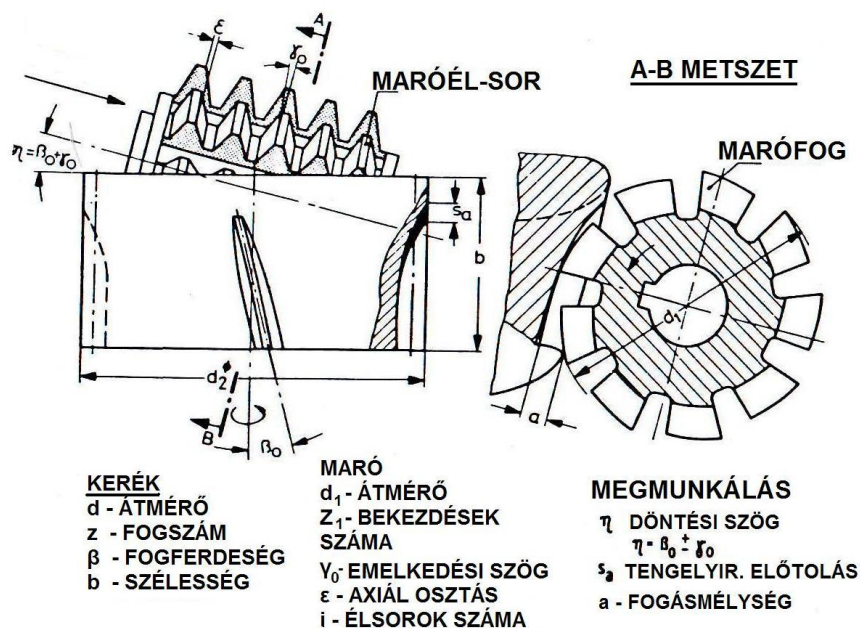
szöbölés érdekében a visszafutás kissé hosszabb, mint a tényleges munkahelyzet kezdete azt igényelné. A ciklust addig folytatják, amíg minden fog elkészül.

Fésüs késes eljárással egyenes és ferde fogú külső fogazású kerek is gyárthatóak. Ferde fogazásnál a szerszámot a fogferdeségnek megfelelően el kell fordítani.

2.7.4 Homlokfogaskerék gyártás lefejtő marással

A járműipar egyik gyakran alkalmazott termelékeny fogazási technológiája a lefejtőmarós eljárás, (Pfauder eljárás). A lefejtés folyamata csigakerék (szerszám) és fogaskerék (munkadarab) egymásba kapcsolódásán és legördülésén alapszik.

A csigamaró és a munkadarab egymáshoz képesti helyzetét és mozgásait mutatja be a 2.97. ábra.

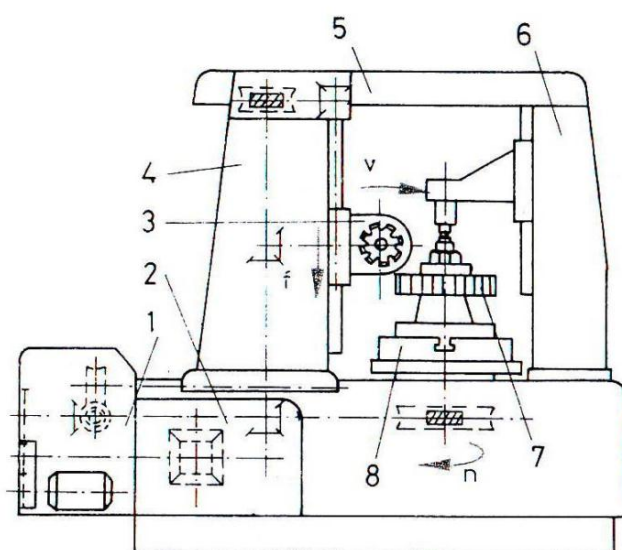


2.97. ábra Ferde fogú fogaskerék gyártása csigamaróval

Az eljárással egyenes és ferde fogazatú homlokkerek, globoid csigák, csigakerek, bordástengelyek, lánckerek, kilinskerekek is gyárthatók. Ferde fogazat készítése esetében e következő mozgásokat kell a szerszámnak ill. a munkadarabnak elvégeznie:

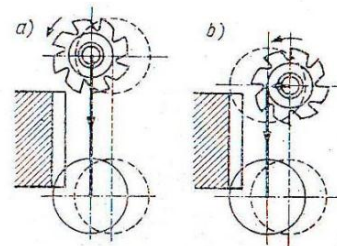
1. A marószerszám forgó főmozgása
2. A munkadarab forgómozgása (folyamatos osztás)
3. A munkadarab forgó pótmozgása (csak ferde fogazatnál)
4. A marónak a fogak irányával párhuzamos irányú előtölása
5. Sugárirányú előtöló mozgás

A forgácsolás alatt a szabatos legördülés érdekében a maró és a munkadarab egymáshoz képest kényszerkapcsolattal fordul el a munkának megfelelő áttételezéssel. A maró tengelyét a fogferdeségnek megfelelően meg kell dönteni. A marás lehet egyenirányú vagy ellenirányú. A gép egyszerűsített kinematikai vázlatát és a lehetséges előtöló mozgásokat a 2.97 ábra foglalja össze.



Lefejtőmarógép

1 motor és cserekerékszékény; 2 hajtómechanizmus; 3 marószán; 4 állvány; 5 gerenda; 6 támasztóbak; 7 munkadarab; 8 forgó tárgyasztal



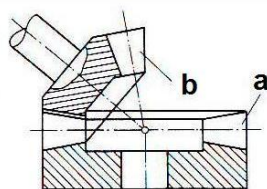
a - tengelyirányú bekezdő marás

b - sugárirányú bekezdő marás

2.98. ábra Pfauter lefejtőmarógép és az előtoló mozgás lehetőségei [18]

2.7.5 Egyenes fogazású kúpogaskerek gyártása

Egyenes fogazású kúpkeréket lefejtő eljárással készítenek. A lefejtés alapja, hogy a kúpkerék kiegészítő kúpja csúszásmentesen (szabatosan) gördül le egy olyan síkkeréken, amelynek csúcspontja és a kiegészítő kúp csúcspontja egy pontba esik (2.99. ábra).



a - tányérkerék
b - kúpkerék

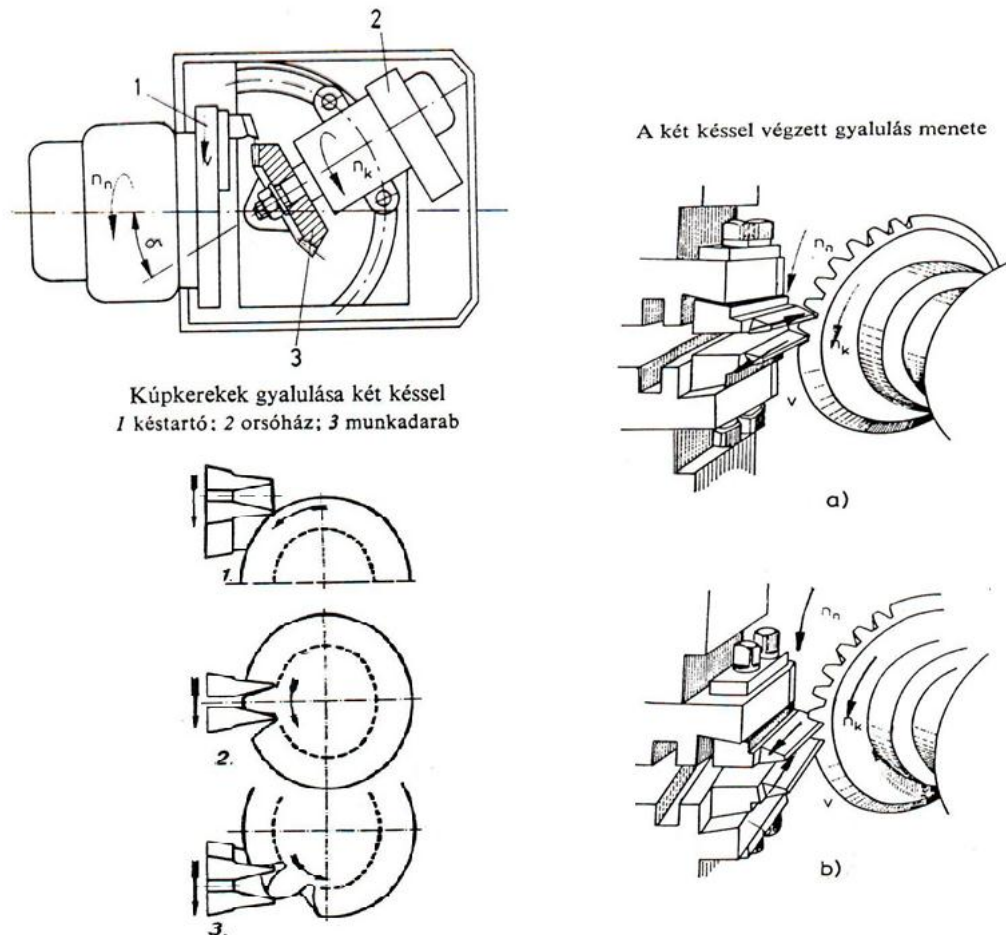
2.99. ábra Kúpkerék legördülése

A szerszám élét a képzeletbeli síkkerék fogának egyik oldala helyett kell elképzelni, mely fog mentén a síktárcsák középpontja felé váltakozó irányú haladó forgácsoló főmozgást végez és kimunkálja a foghézagot. A mozgás során a képzeletbeli síkkerék és a készítendő kúpkerék egymáson folyamatosan legördül. A szerszám lehet egykéses, de termelékenyebb az ún. kétkéses eljárás, ahol forgácsoló élek a síkkerék két szomszédos fogának oldalát helyettesítik (Heidenreich-Harbeck rendszerű gépek).

A szerszám fogai egyenes oldalfelületűek, hasonló megfontolásokból, mint a Maag eljárás szerszáma. A sugár mentén csökkenő foghézag miatt a forgácsoló élek vastagsága természetesen kisebb, mint a legkisebb foghézag. A kétkéses eljárásnál továbbá a két kés fel-

váltva munkálja meg a hozzá tartozó legkisebb foghézagot úgy, hogy ugyanannak a készíten-dő fognak a két oldalán (szomszédos fogárkokban) dolgoznak. A forgácsoló élek egy forgó dobon vannak elhelyezve, amely a megmunkálás alatt a munkadarabbal az áttételnek megfelelő kényszerkapcsolatban van.

A kétkéses fogazási technológiát a 2.100. ábra szemlélteti.



2.100. ábra Kétkéses kúpfogaskerék-gyártás (HEIDENREICH)[15]

A működés nem folyamatos, hanem az egyes fogak kimunkálása után a szerszám a ki-indulási helyzetbe tér vissza és kezdi meg a következő fogárkok kiforgácsolását.

Mozgások:

1. A kések alternáló főmozgása (gyalulás)
2. Mélyítő irányú mozgás (a munkadarab közelítése a síktárcsát jelképező dobhoz)
3. A munkadarab és a dob egymáson való legördülése (2.100. ábra 1-2-3 lépés)
4. A munkadarab eltávolodik a dobtól és visszatér a kiinduló helyzetbe
5. A munkadarab osztása a fogosztás szerint

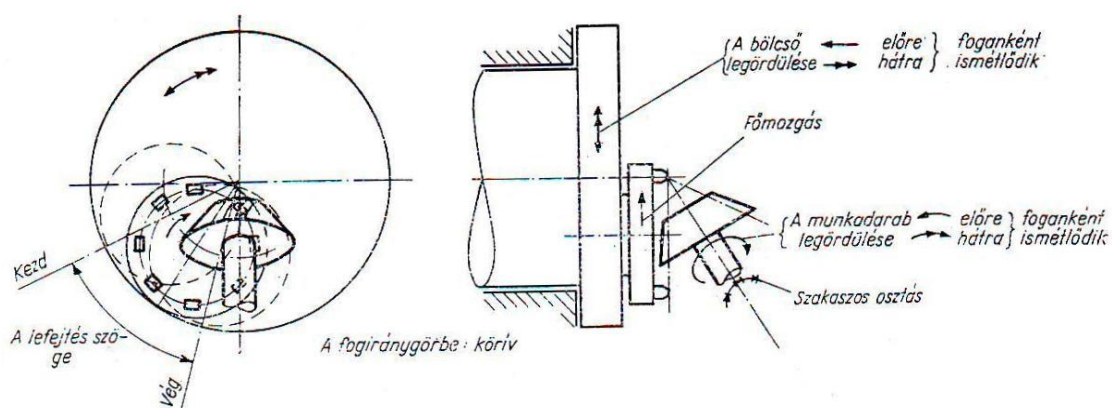
A kétkékes fogazógéppel készíthető modulszám 0,2..20 közötti. A forgatható munkadarab asztallal szerelt gépek minden osztókúp szögű kerék elkészítését lehetővé teszi, kivéve a síktárcsákat.

2.7.6 Ívelt fogazású kúpfogaskerekek gyártása

Ívelt fogazású kerekek profilos ujjmaróval egyszerűen gyárthatóak. A maró sugár irányú előtolása alatt a munkadarab a kívánt ívnek megfelelő forgó pótmozgást végez.

Körív fogazású kúpkerék gyártása (Gleason eljárás)

A Gleason eljárásnál a szerszám egy forgó korong, amelyen körkörös elhelyezkedve, tengelyirányban állnak ki a forgácsoló élek. Ez a korong tehát a munkadarabban képzeletben kapcsolódó síkkerék egy fogának felel meg, a síkkerék pedig maga a bölcső. Az eljárás lényegét a 2.101. ábra mutatja be.

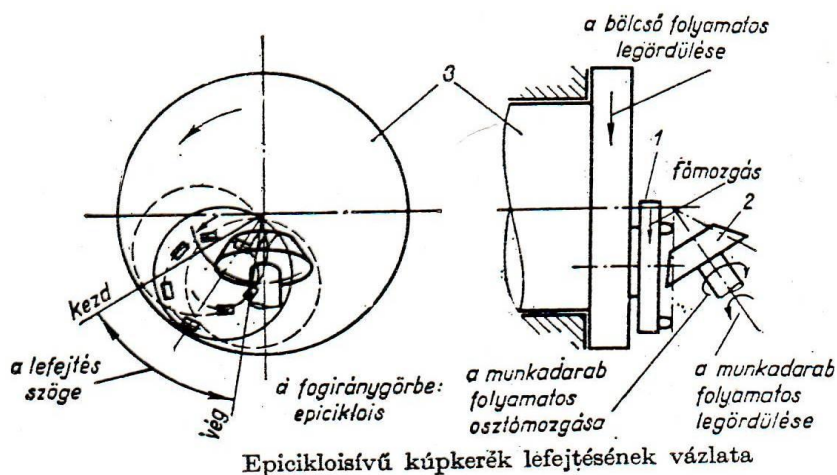


2.101. ábra Gleason fogazás [18]

A megmunkálás alatt a szerszám saját tengelye körül forogva biztosítja a forgácsoló főmozgást. Emellett a szerszámot tartó bölcső elfordulása a folyamatos legördülést biztosítja. A bölcső és a munkadarab az áttételnek megfelelő kinematikai kényszerkapcsolatban van. Egy-egy íves fogüreg kimunkálása után a kiindulási helyzetbe tér vissza a szerszám és a munkadarab is, majd a gép egy fognak megfelelően osztja a munkadarabot, tehát a működés szakaszos. A kívánt spirálszöget a szerszámkorong forgástengelyének és a síkkerék képzeletbeli tengelye közötti távolság állításával lehet változtatni.

Oerlikon fogazás

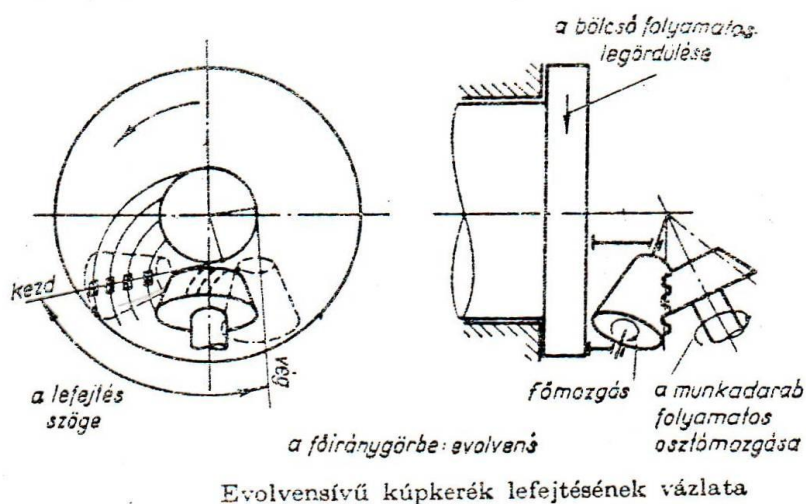
Az Oerlikon eljárás szerszáma hasonlít a Gleason-hoz, azzal a fontos különbséggel, hogy a kések a síkkeréken spirál mentén sorban helyezkednek el. A spirál menetemelkedése megfelel a gyártandó kúpkerék fogosztás távolságának. Emiatt a fogárkok illetve a fogak az egész ívhosszon azonos nagyságúak. A lefejtés és az osztás is folytonos.



2.102. ábra Oerlikon fogazás [18]

Klingelberg (kúpos lefejtőmarós) kúpkerékfogazás

A fogazat elkészítése a Klingelberg eljárásnál is folytonos lefejtéssel valósul meg. A szerszám különleges kúpos kialakítású, azért, hogy az erősebben görbült fogárok részében a kisebb átmérő dolgozzon. A maró fogai a kúpfelület mentén egyenletesen osztással helyezkednek el, oldalfelületük egyenes. A legördülés során a szerszám menetei érintőlegesen az általa megtestesített síkkerék fogainak evolvensére, ezért az alapkör érintőjéhez képest a tengelye meg van döntve (2.103. ábra). A legördülés folyamán mindneütt azonos szélességű evolvens ívű fogazat áll elő.



2.103. ábra Klingelberg kúpkerékgyártás [18]

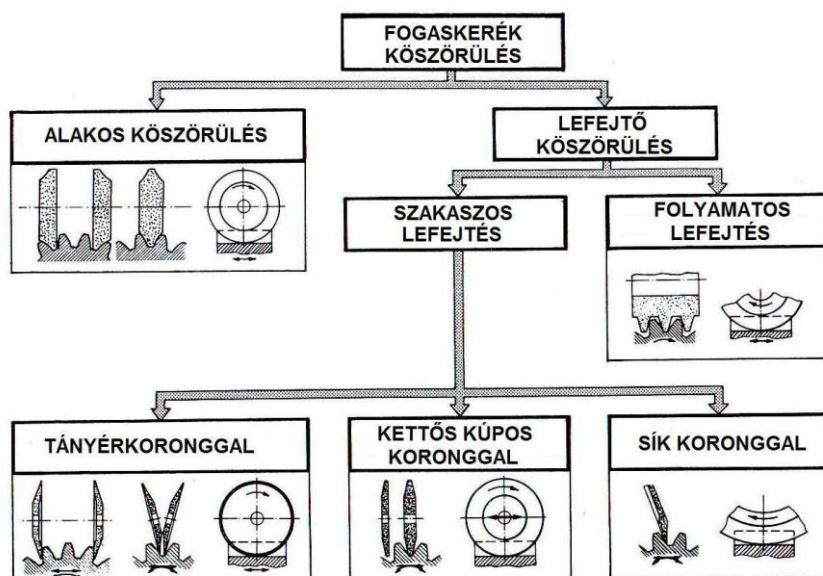
2.7.7 Fogaskerekek befejező finom megmunkálásai

Foghántolás

A hántolással a megmunkálási nyomokat távolítják el a fogak oldalfelületéről. Az eljárás lefejtő, a leválasztott rétegvastagság néhány század mm (a modul 1..2%-a). A hántoló szerszám fogaskerekre hasonlít és a fogai oldalfelületén radiális irányban helyezkednek el az élek. A hántolószerszám kapcsolódik a gyártandó kerékkel és a tengelyirányú csúszásból adódóan forgácsol. Edzett fogaskerekek nem hántolhatók. A fogprofil hántolással nem korrigálható.

Fogkösörülés

Edzett és nagy alakpontosságú fogaskerekeket a szabályos élű szerszámmal végzett megmunkálás, illetve hőkezelés után kösörülni kell. A fogak kösörülése alakos koronggal (profilozó eljárás), vagy lefejtő eljárással történhet, az eljárásokat a 2.104. ábra foglalja össze.



2.104. ábra Fogkösörülési eljárások [19]

Foglekerekítés és fogsarkítás

Sebességváltókban a fogaskerekek azonos kerületi sebességű forgása közbeni összekapcsoláshoz szükséges a fogak széleinek lekerekítése. A lekerekítést foganként végzik egy ujjmaróhoz hasonló alakos szerszámmal.

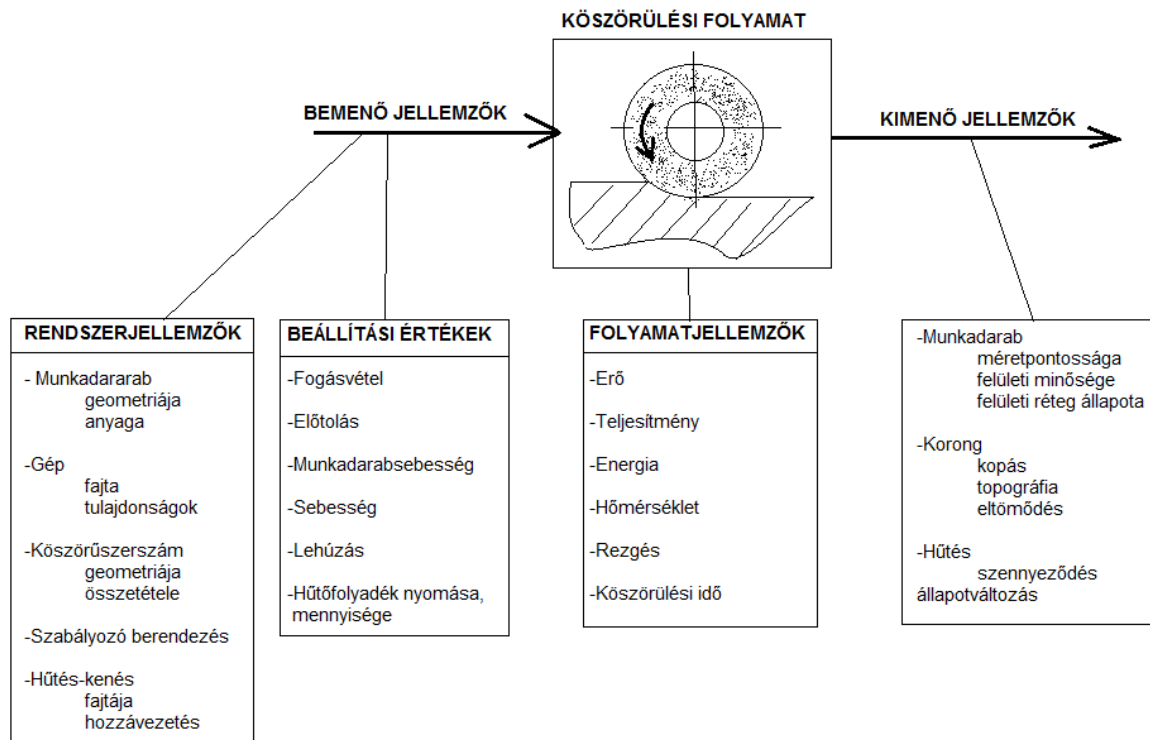
Felhasznált irodalom a 2. fejezethez:

1. A. FRISCHHERZ, H. PIEGER: *Fémtechnológiai szakismeretek*
B+V Lap- és könyvkiadó, 1994
2. F. KLOCKE, W. KÖNIG: *Fertigungsverfahren 1*
Springer Verlag, 2008 ISBN: 978-3-540-23458-6
3. KENNAMETAL: www.kennametal.com
4. SECO: www.secotools.com
5. *Metalcutting Technical Guide*
Sandvik Coromant, 2005
6. ZINNER: www.zinner.com
7. WNT: www.wnt.com
8. H. TSCÄTSCH: *Praxis der Zerspanntechnik, 6. Auflage*
Vieweg Verlag, 2005 ISBN: 978-3-8348-0274-3
9. EMUGE: www.emuge.com
10. *Industrielle Fertigung. Fertigungsverfahren*
Europa-Lehrmittel Verlag, 2008 ISBN: 978-3-8085-5353-4
11. WALTER: www.walter-tools.com
12. K: J: KONRAD: *Taschenbuch der Werkzeugmaschinen*
Hanser Verlag, 2006 ISBN: 978-3-446-40641-4
13. LIPOVSZKY GY., SÓLYOMVÁRI K.: *Szerkezeti anyagok technológiája*
Műegyetemi Kiadó, 1998 Azonosító: 70949
14. CR. BÜHREDEL, G. FRÖMMER: *Hobeln, Stossen*
Veb Verlag Technik 1980
15. VÖRÖS I.: *Gépelemek III: Fogaskerekek*
Tankönyvkiadó, 1977 ISBN: 963-17-2348-8
16. HSS FORUM Gear Cutting
17. D. NEMEC: *Gépi megmunkálás*
Műszaki könyvkiadó, 1985 ISBN: 963-10-6244-9

18. *PATTANTYÚS Á.: Gépész- és villamosmérnökök kézikönyve, 5. Anyagalakítás*
Műszaki kiadó Bp., 1962
19. *W KÖNIG: Köszörülés, dörzsköszörülés, tükrösítés*
Műszaki kiadó, 1983
20. *NILES - SIMMONS – HEGENSCHIEDT: The Technology Provider 2005*
21. *BOTEK: www.botek.de*
22. *GÜHRING: www.guhring.com*
Gun drills catalog
23. *TAEGUTEC: www.taegutec.com*
24. *E. PAUCKSCH, S. HOLSTEN, M. LINSS, F. TIKAL: Zerspantechnik, 12. Auflage*
Vieweg + Teubner 2008 ISBN: 978-3-8348-0279-8
25. *K. J. CONRAD: Taschenbuch der Werkzeugmaschinen*
Hanser Verlag, 2. Auflage 2006 ISBN: 3-446-40641-7

3 Forgácsolási eljárások geometriailag határozatlan éllel

A geometriailag határozatlan éllel, abrazív szemcsékkel történő forgácsolás folyamatát és jellemzőit 3.1 ábra szemlélteti.



3.1. ábra. A köszörülési folyamat jellemzői [1 alapján]

Ezeknél az eljárásoknál nem ismerjük a forgácsolásban részt vevő élek számát, élgeometriáját, az élek és a munkadarab relatív helyzetét, meghatározásuk csak statisztikai úton lehetséges.

Az élgeometria, az élek száma a kopás következtében állandóan változik.

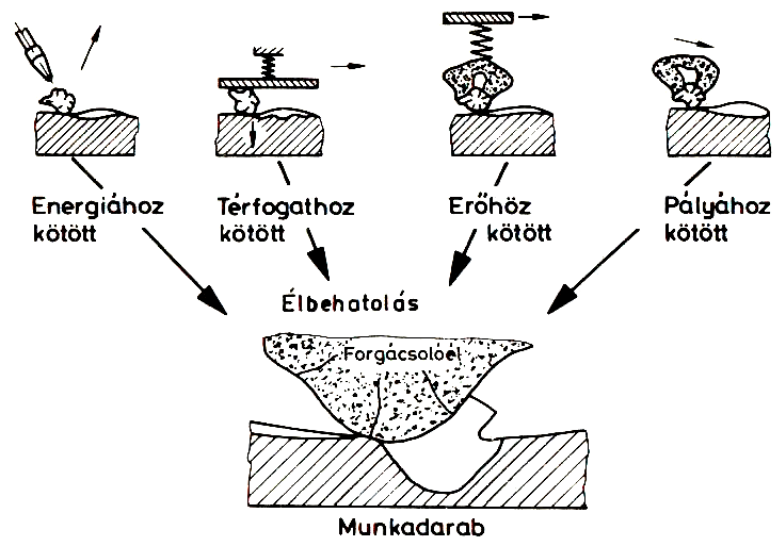
A szerszám él nem homogén, sok egyedi szemcse éleiből adódik össze.

Az éleket hordozó szemcsék helyzete lehet:

- szabad; tükrösítés, koptató csiszolás, sugaras csiszolás
- kötött; köszörülés, szalagos köszörülés, hónolás

A forgácsolás során biztosítani kell a szemcsék anyagba való behatolásához szükséges erőt és a relatív elmozdulást a munkadarab és a szemcsék között.

A 3.2 ábrán ennek lehetséges változatait mutatjuk be.

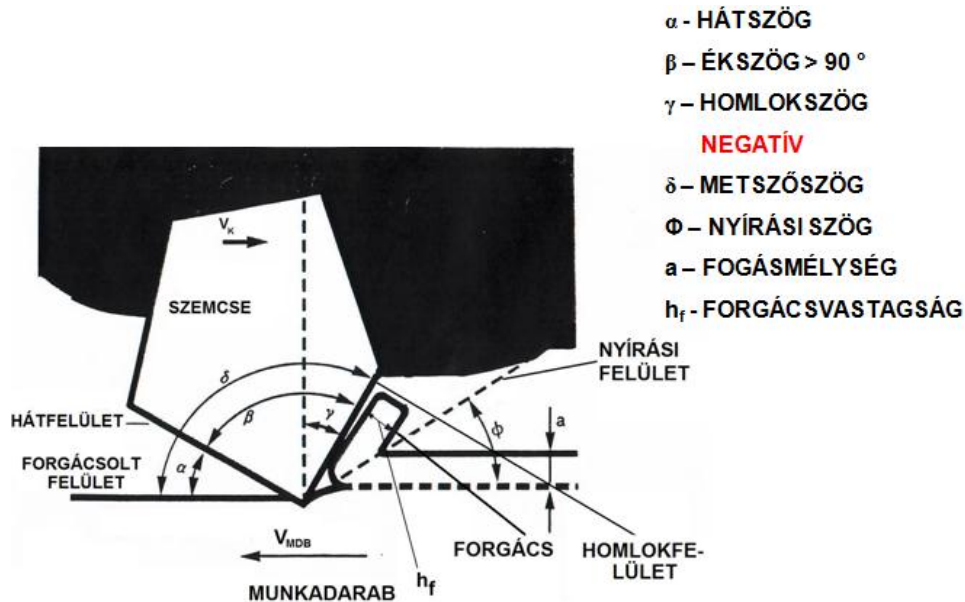


3.2. ábra. A szemcse anyagválasztásának lehetséges változatai [1]

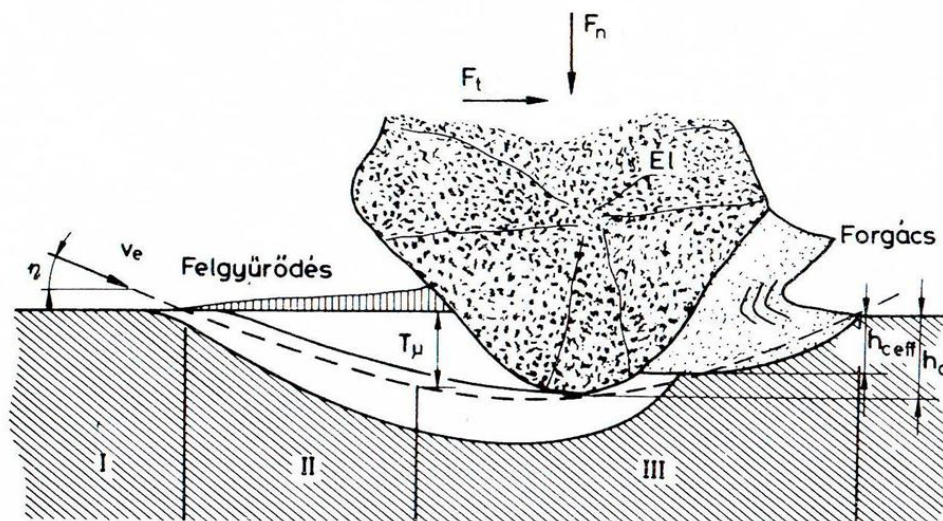
3.1 A köszörülés technológiai alapjai

A forgácsképződés – egy szemcsére vonatkozóan – hasonló a határozott élgeometriájú szerszámoknál bemutatottakhoz.

A köszörűszemcse élgeometriáját a 3.3 ábrán láthatjuk, mely erősen negatív jellegű. A forgácsképződést képlekeny anyag esetén a 3.4 ábra szemlélteti.



3.3. ábra. Élgeometria köszörülésnél [2]

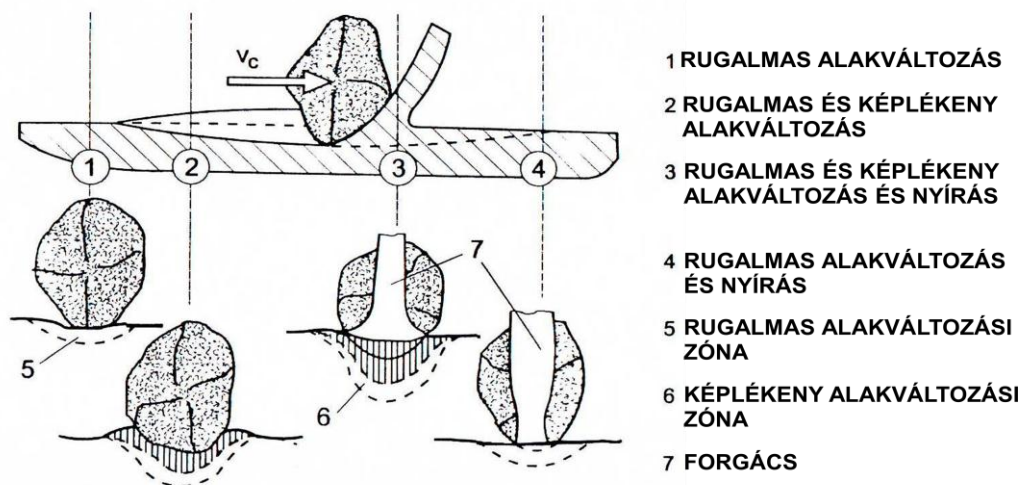


3.4. ábra. Forgácsképződést képlékeny anyag esetén [1]

A szemcse mozgáspályája az I. tartományban érintkezik a munkadarab felületével, sűrűdik, majd alakváltozás jön létre.

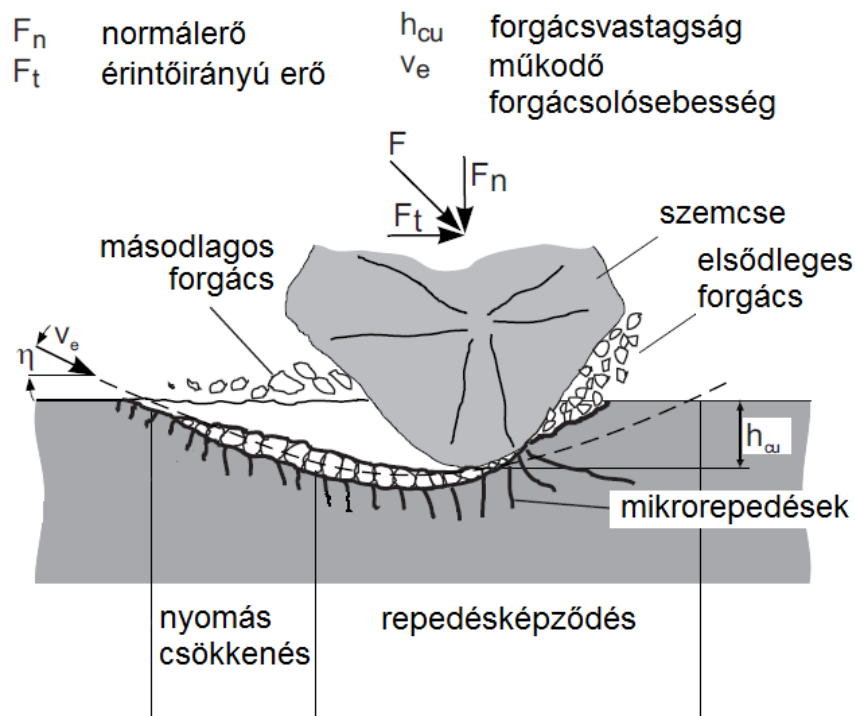
A II. tartományban rugalmas és képlékeny alakváltozás van, a III. szakaszban történik a nyírás, a forgácsleválasztás, sűrűdés a szemcse és a munkadarab közt, ill. belső anyagsűrűdés. A forgácsképződés T_μ mélységnél kezdődik. A beállított h_c fogásmélység helyett a visszazarugózás miatt csak h_{ceH} érték valósul meg.

A 3.5 ábrán bemutatott metszetekben másik irányból figyelhetők meg jól az alakváltozási zónák, és az oldalfelgyűrődés.



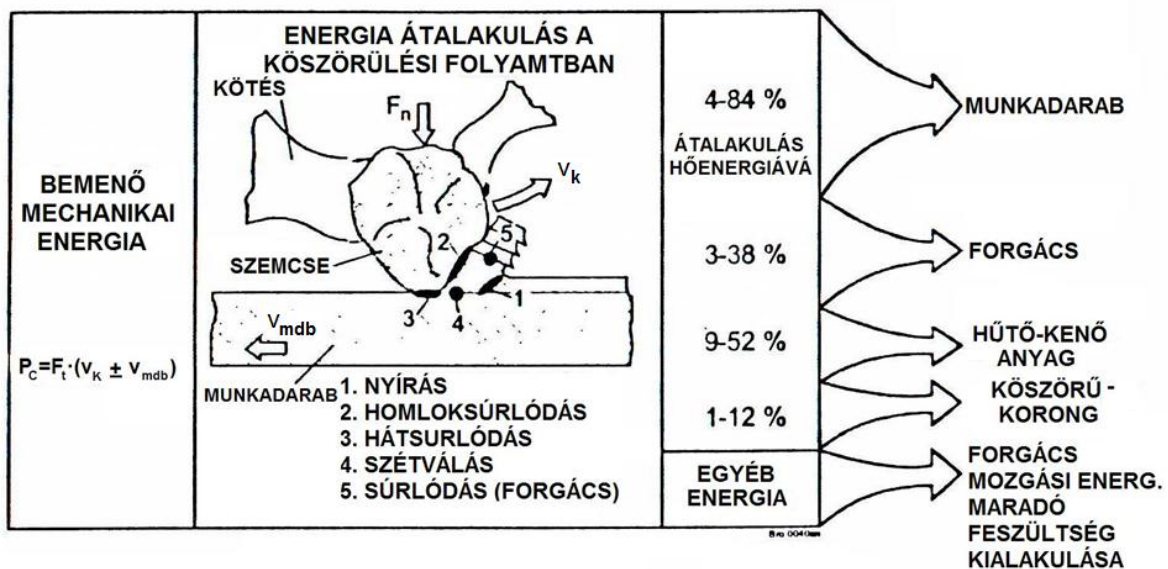
3.5. ábra. A forgácsképződés fázisai köszörülésnél [3]

Rideg anyagok esetén a forgácsképződés a 3.6 ábrán látható. Képlékeny alakváltozás után mikrorepedések, kitérőzések keletkeznek, melyek a behatolási mélység növekedésével sokszorozódnak. A III. szakaszban repedések, barázdák jelennek meg, apró töredezett forgács válik le.

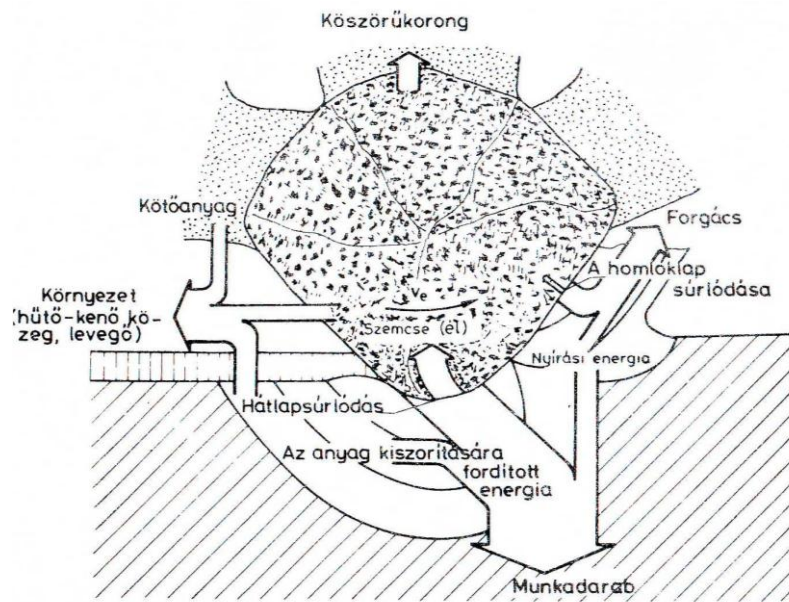


3.6. ábra. Forgácsképződés rideg anyagok esetén [4]

A bevezetett mechanikai energia alakításra és a súrlódás legyőzésére fordítódik, és döntően hővé alakul át (3.7 ábra). A keletkezett hő a hűtő-kenőanyaggal, forgáccsal távozik, ill. behatol a munkadarabba és a szerszámba (3.8 ábra).

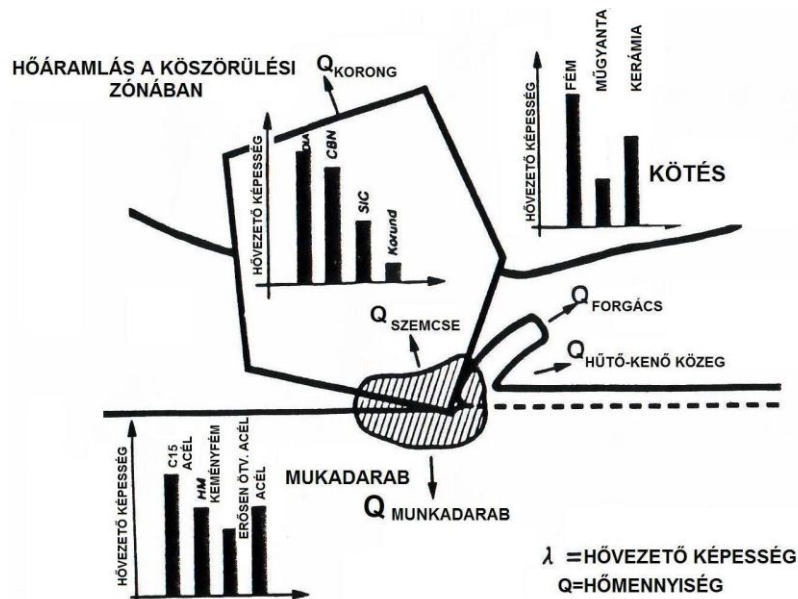


3.7. ábra. Energia átalakulása a köszörülési folyamatban



3.8. ábra. Energiaeloszlás [1]

A hőmennyiség megoszlásának arányát a forgácsolásban résztvevő elemek hővezető-képessége határozza meg (3.9 ábra).

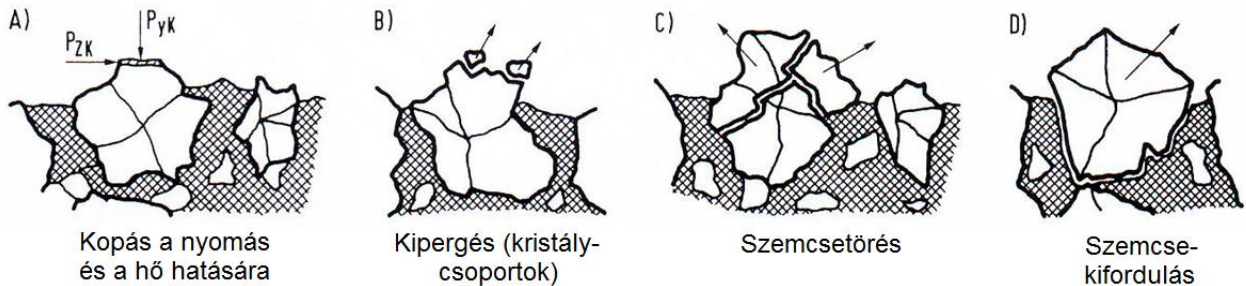


3.9. ábra. A forgácsolásban résztvevő elemek hővezető-képessége [2]

A köszőrűszemcse a forgácsolás során a nagy nyomás és a hő hatására kopik. A kopás következtében a forgácsoló erő megnő, melynek hatására

- a szemcséből kristálycsoportok kiperegnek
- a szemcse törik, új élek keletkeznek
- a szemcse kifordul,

mely a 3.10 ábrán látható, ez az „önélezés”. Természetesen nemcsak a szemcse éle, hanem a kötőanyag is kopik termikus és kémiai hatások következtében, mechanikus túlterhelés esetén töriik az egyes szemcséket összefogó kötészíd.



3.10. ábra. A köszörűszemcse kopásformái [5]

3.2 Köszörűszerszámok

A köszörűszerszámokat meghatározó jellemzők:

- alak
- méret

Szemcse

- anyaga
- nagysága

Kötés

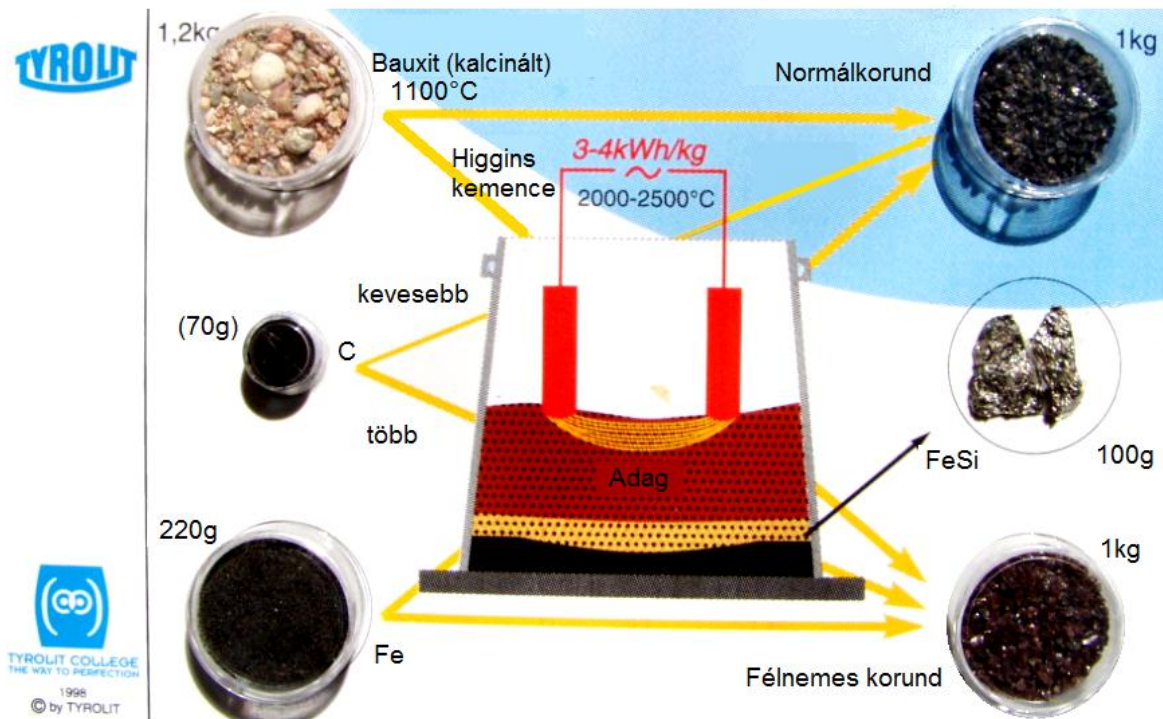
- anyaga
- keménysége
- tömörsége.

A természetes szemcsék helyett ma már mesterségesen előállított szemcséket használnak:

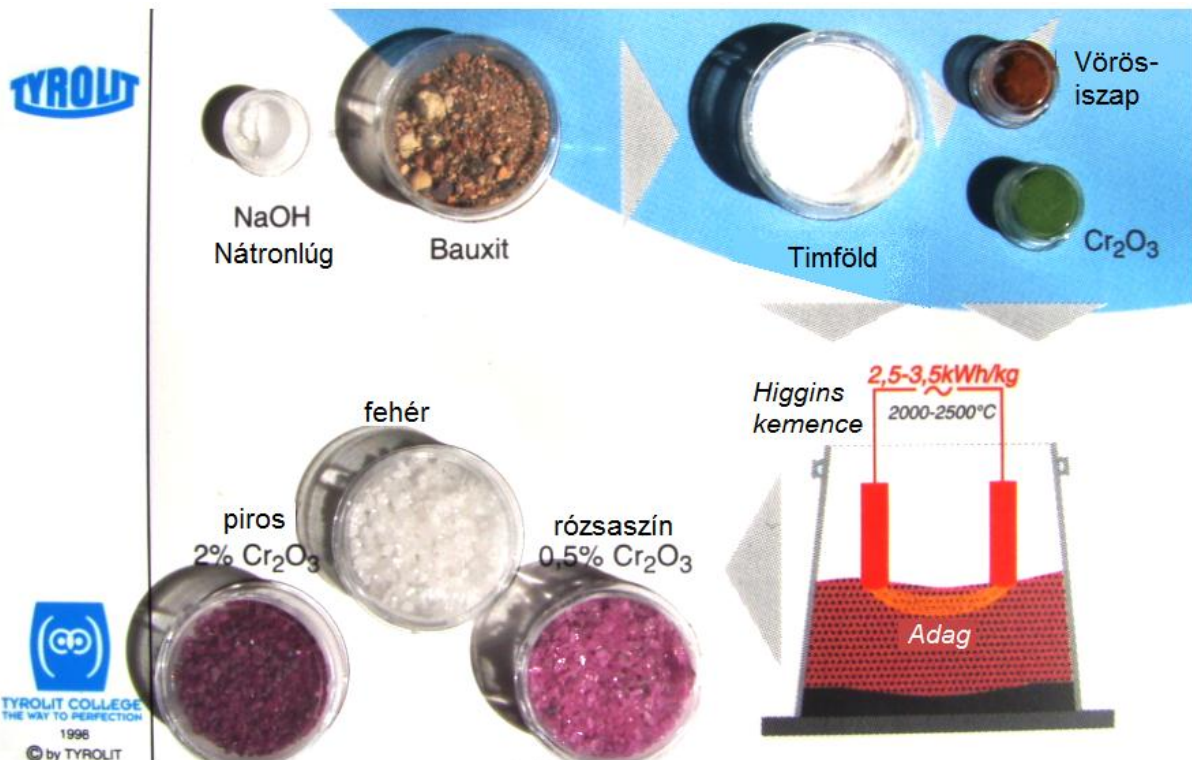
- korund (Al_2O_3) (A)
- szilíciumkarbid (SiC)
- bórkarbid (BC)
- gyémánt (D)
- köbös bórnitrid (CBN) (B)

mert ezek tulajdonságai szűk határok közt biztosíthatók.

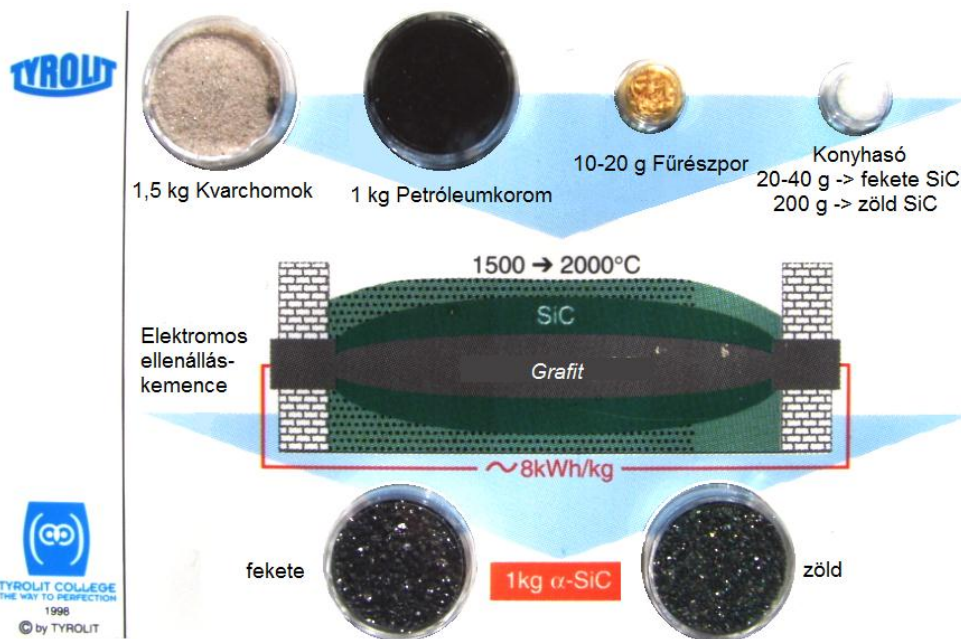
A normál, félnemes korund előállítása a 3.11 ábrán, a nemeskorund gyártása a 3.12 ábrán látható. A korund szintetikus módon is előállítható. A szilíciumkarbid előállítási eljárása a 3.13 ábrán látható.



3.11. ábra. Normál- és félnemes korund gyártása [6]



3.12. ábra. Nemeskorund gyártása [6]

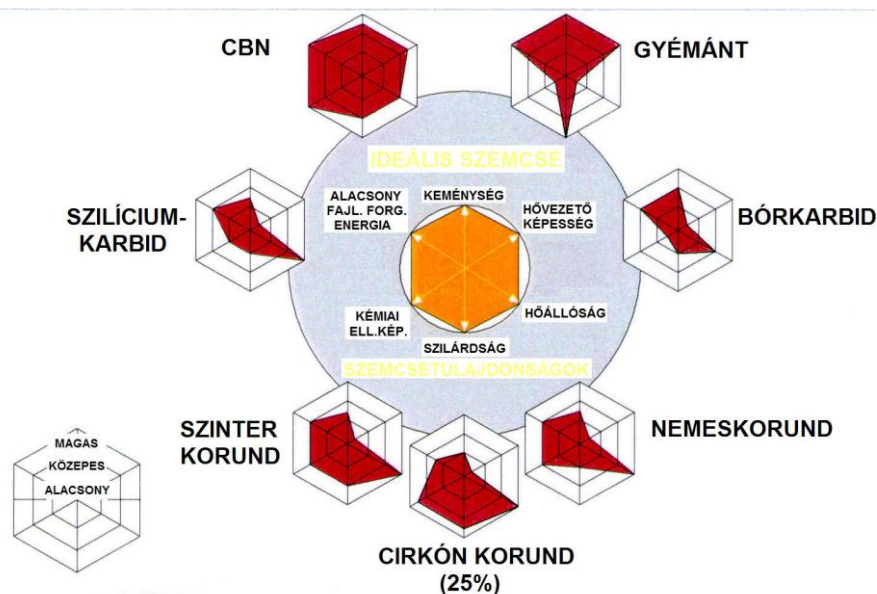


3.13. ábra. Szilícium-karbid gyártása [6]

A szemcse tulajdonságait

- keménységét
- hőállóságát
- hővezetőképességét
- szilárdságát
- kémiai ellenállóképességét
- fajlagos forgácsolási energiáját

a 3.14 ábrán látható csillag diagramban hasonlítottuk össze.



3.14. ábra. Szemcseanyagok és tulajdonságaik összehasonlítása [6]

A 3.1 táblázatban a hazai gyártású GRANIT szemcseanyagokat foglaltuk össze, feltüntetve a fő felhasználási területüket.

A köszőrűszemcse-alapanyagok jelölése			
Anyagjel	A szemcseanyag megnevezése	A kémiai összetétel főbb jellemzői	Színe
1A	Normál elektrokorund	Al_2O_3 min. 94 %	barna, szürke
6A	Nemes elektrokorund	Al_2O_3 min. 99 %	fehér (piros *)
7A	Rózsaszínű elektrokorund	Al_2O_3 min 98 % + 0.2 % Cr_2O_3	rózsaszín
16A	Kevert korund (félnemes)	50 % 1A + 50 % 6A	
67A	Kevert korund (nemes)	50 % 6A + 50 % 7A	
1C	Fekete szilícium-karbid	SiC 96 %	fekete
2C	Zöld szilícium-karbid	SiC 98 %	zöld

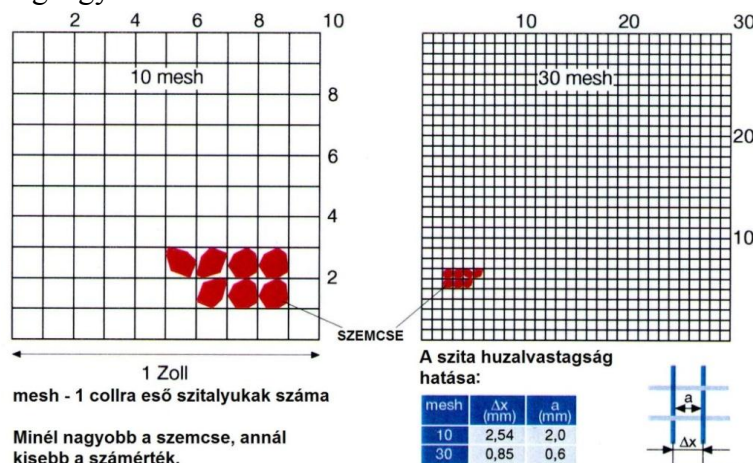
* A 6A szemcséjű korongokat piros kötőanyaggal is gyártjuk. A kötőanyag jelében az utolsó számjegy ilyenkor: 8 (pl. V38 kötőanyagjel)

A köszőrűszemcse		Köszőrülési tulajdonsága	Felhasználási területei
Jele	Megnevezése		
1A	Normál elektrokorund	Kemény, szívós.	Ötvözetlen és gyengén ötvözött, edzetlen szerkezeti acélok, acélöntvények, szürke- és kéregöntvények köszőrülése.
6A	Nemes elektrokorund	Kemény, rideg, törékeny.	Ötvözetlen és gyengén ötvözött, edzett szerkezeti- és szerszámacélok, közepesen és erősen ötvözött, edzetlen és edzett szerszámacélok, hőálló és korrózióálló acélok, keménykrómozott felületek, kernénybronzok, szívós kopásálló felvitt rétegek (HRC 51-63) köszőrülése, üvegek dekor- és szélcsiszolása.
7A	Rózsaszínű elektrokorund	Kemény, a 6A -nál szívósabb és kevésbé törékeny.	Közepesen és magasan ötvözött, edzetlen és edzett szerszámacél, hőálló és korrózióálló acélok köszőrülése.
16A	Kevert elektrokorund 1A + 6A		Ötvözetlen és gyengén ötvözött, edzetlen és edzett szerkezeti és szerszámacélok köszőrülése.
67A	Kevert elektrokorund 6A + 7A		Felhasználási területe megegyezik a 7A szemcsével, de alkalmas ötvözetlen és gyengén ötvözött, edzett szerkezeti és szerszámacélok, keménykrómozott felületek, szívós kopásálló felvitt rétegek (HRC 61-65) köszőrülésére is.
1C	Fekete szilíciumkarbid	Kemény, rideg, törékeny.	Keményfémek, vas- és acélöntvények, színesfémek, alumínium, természetes és mesterséges kőzetanyagok, kerámiái anyagok, üvegek köszőrülése, csiszolása.
2C	Zöld szilíciumkarbid	Kemény, rideg, törékeny	Keményfémek, fémkerámiák, üvegek köszőrülése, csiszolása

3.1. táblázat. Szemcseanyagok és felhasználási területeik [7]

A szemcse méretét megadhatjuk

- az 1 collra eső szitalyukak számával, melyen már fennakadnak a szemcsék, ez a „MESH” érték, ezt szemléletli a 3.15 ábra
- legnagyobb szemcsemérettel mikrométerben



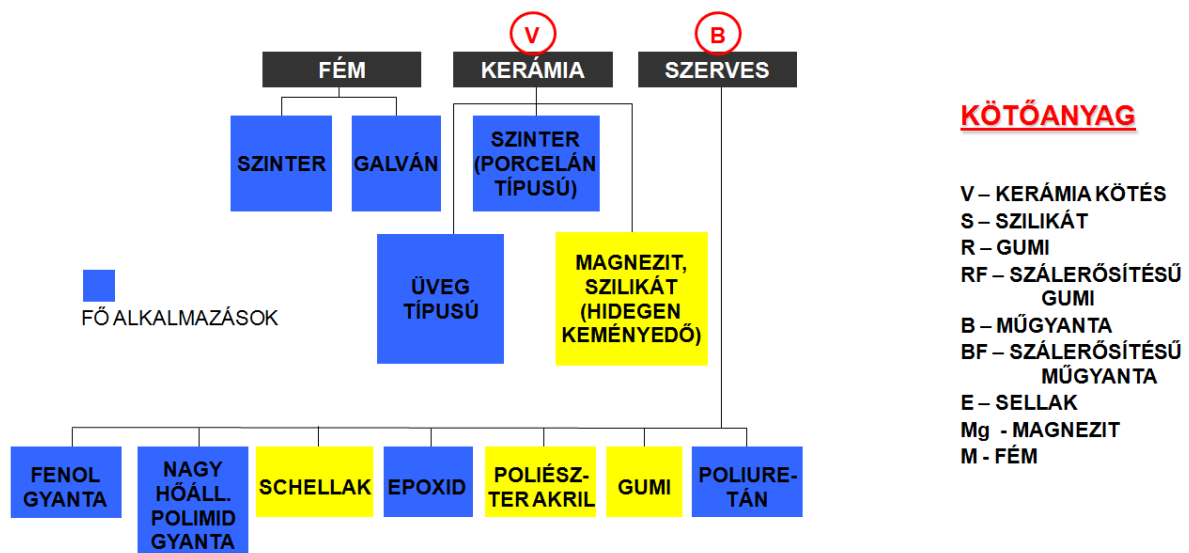
3.15. ábra. A szemcseméret osztályozása [6]

A 3.2 táblázatban (GRANIT) mindkét szemcseméret-megadási mód látható, megadva a fő felhasználási területeket is.

Megnevezés	Hüvelyk rendszerű osztályozás ISO 8486, FEPA MSZ 4505/5		Metrikus megfelelő (közelítő)	Jellemző felhasználási terület
	Jel	Méret (µm)	jel	
Nagyon durva	8	2800 - 2360	250	Felülettisztítás, bugaköszörülés nagy teljesítményű gépeken
	10	2360 - 2000	200	
	12	2000 - 1700	260	
Durva	14	1700 - 1400	125	Felülettisztítás, előköszörülés állványos és lengő köszörűgépeken
	16	1400 - 1180	125	
	20	1180 - 1000	100	
Közép durva	22	1000 - 850	80	Felülettisztítás, darabolás hordozható és állványos köszörűgépeken nagy teljesítményű sikköszörülés
	24	850 - 710	63	
	30	710 - 600	63	
	36	600 - 500	50	
Közepes	40	500 - 425	40	Mérettartó köszörülés szerszámélezés
	46	425 - 355	32	
	54	355 - 300	32	
	60	300 - 250	25	
Közép finom	70	250 - 212	20	Mérettartó köszörülés szerszámélezés szigorú felületi érdesség követelmény esetén
	80	212 - 180	16	
	90	180 - 150	16	
	100	150 - 125	12	
Finom	120	125 - 106	10	Hónolás, dekorcsiszolás kézi fenőszerszámok
	150	106 - 90	8	
	180	90 - 75	8	
	220	75 - 63	6	
Nagyon finom	240	63 - 53	5	Szuperfiniselés, tükrösítés

3.2. táblázat. A szemcseméret megadása, és a felhasználási területei [7]

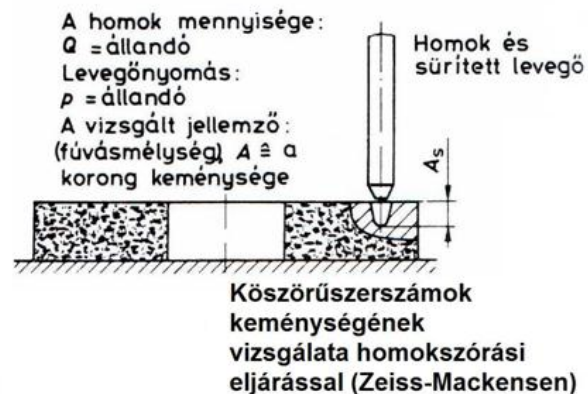
A 3.16 ábrán a kötőanyagokat foglaltuk össze, megjelölve a leggyakrabban alkalmazottakat.



3.16. ábra. Kötőanyagok [6]

A kötéskeménység a szemcsék kötőanyagból való kiszakadásával szembeni ellenálló-képesség. Kemény anyagokhoz lágy kötőanyag szükséges, mivel a szemcse erőteljesen kopik, a kopott szemcse „elengedéséhez” lágy kötőanyag szükséges. Lágy anyagokhoz kemény kötőanyagot kell alkalmazni. A 3.17 ábrán a kötés keménységének jelölése, és mérésének egyik módszere látható. A keménység értékére a meghatározott mennyiségű és nyomású homok-levegő által kimunkált üreg mélysége a jellemző.

Kerámiai kötésű köszörűszerszámok kötéskeménységi fokozatainak jelölése	
Az alkalmazott betűjelek	Keménységi fok
F	Igen lágy
G H I J	Lágy
K L M	Közepes
N O P Q	Kemény
R S T	Igen kemény



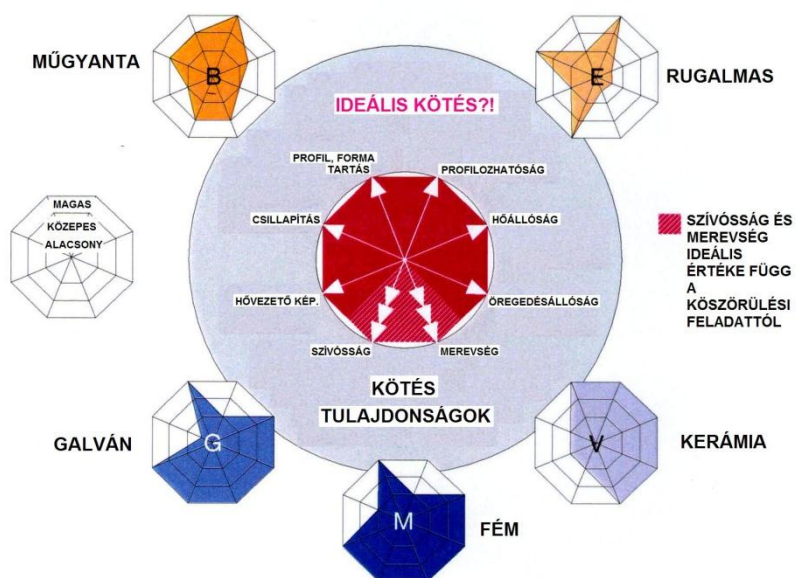
3.17. ábra. A kötéskeménység jelölése [1] és vizsgálata [1]

A kötés tömörségét a pórustérfogat és a teljes térfogat aránya határozza meg, megadása a szerkezeti számmal történik.

A kötőanyagok tulajdonságai

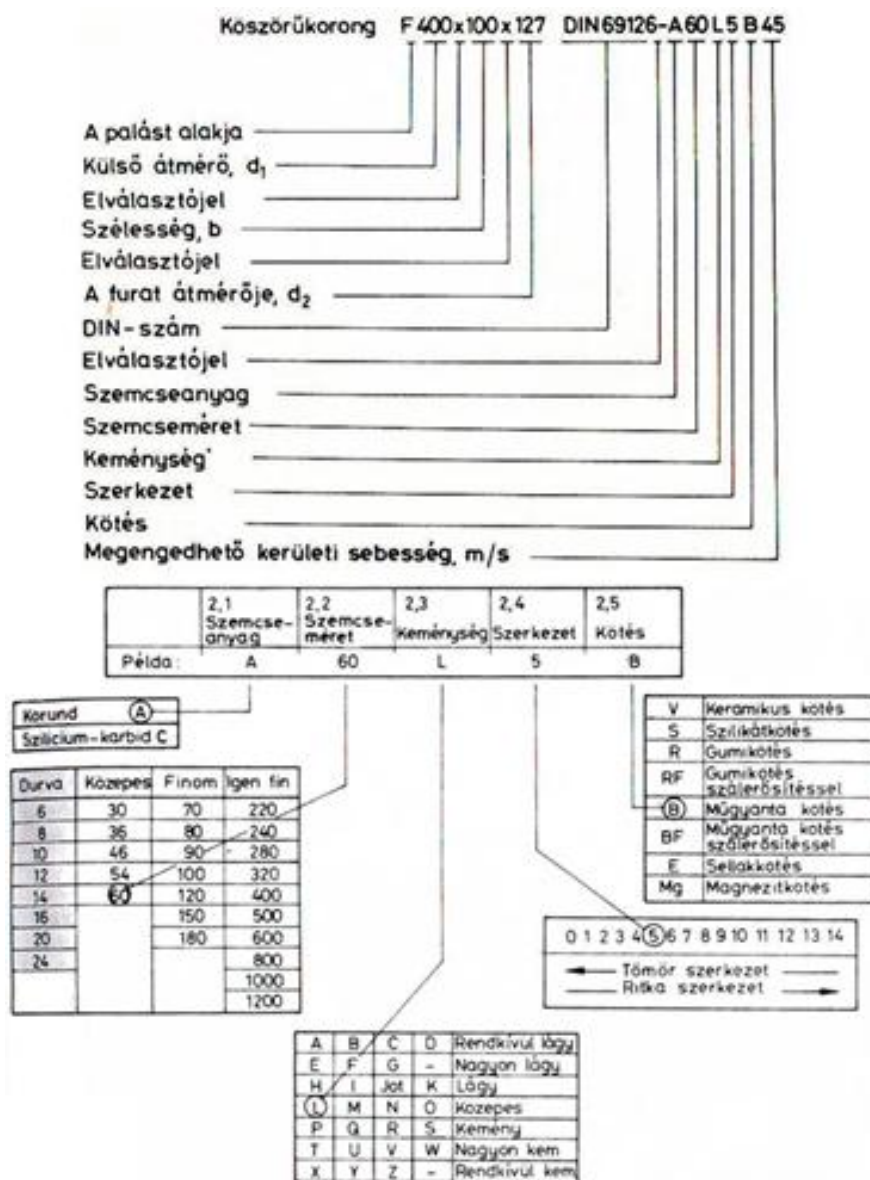
- profilozhatóságait mint
- profil, formatartás
- hőállóság
- hővezető képesség
- öregedésállóság
- merevség
- szívósság
- csillapítás

a 3.18 ábrán látható csillagdiagram foglalja össze.



3.18. ábra. A kötőanyagok tulajdonságainak összehasonlítása [6]

Egy köszőrűkorong szabványos (DIN 69100) (MSZ ISO 525: 1994) megnevezésére mutat be példát a 3.19 ábra.



3.19. ábra. A köszörűkorong szabványos megnevezésére (DIN 69100)

A megengedett legnagyobb kerületi sebesség megadása a GRANIT szerint történhet számmal vagy színnel (3.3 táblázat), 80 m/sec piros, 100 m/sec zöld jelölésű.

A megengedett legnagyobb kerületi sebesség (V_c) jele a kötőanyag jelölésében	
V_c (m/s)	Jele
30, 35	3
40, 45	4
50	5
60, 63	6

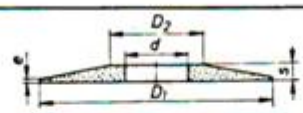
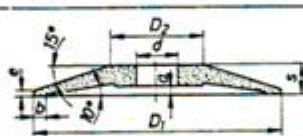
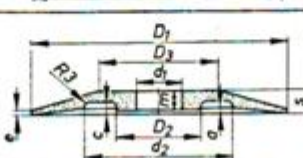
A megengedett legnagyobb kerületi sebesség (V_c) jelölése színcsíkkal	
V_c (m/s)	A csík színe
30, 35	nincs jelölés
40, 45, 50	egy kék csík
60, 63	egy sárga csík

3.3. táblázat. A megengedett legnagyobb kerületi sebesség megadása [7]

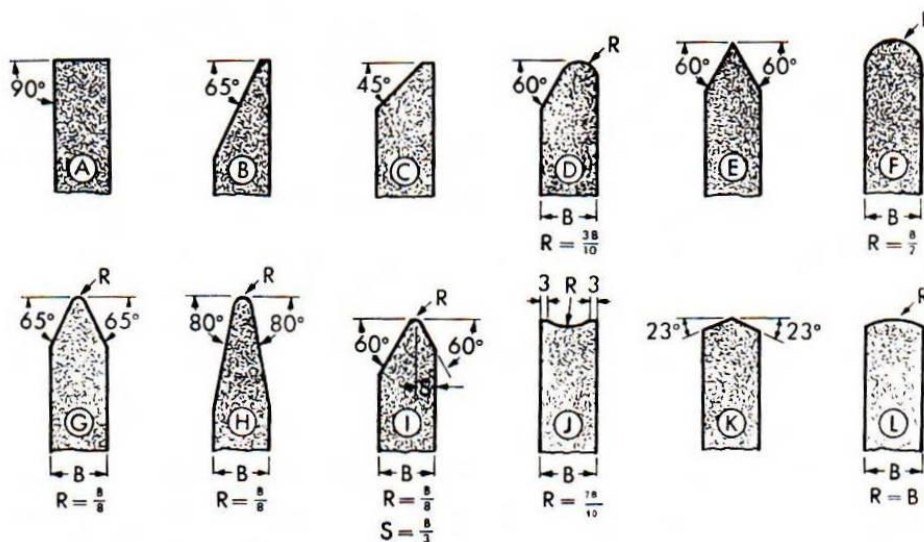
A szabványos korongalakok a 3.20 ábrán láthatók. A kialakítható korongprofilokat a 3.21 ábra szemlélteti.

1 táblázat Kerámia-, bakelit- és gumikötésű köszörűszerszámok		Alakjel MSZ szerint	Rendeltetés
A köszörűszerszám alakja			
	Sima köszörűkorong		Palástköszörülés, furatköszörülés, csúcsnélküli palástköszörülés, síkköszörülés a köszörűszerszám palástfelületével
	Egyoldalt mélyített köszörűkorong		Palástköszörülés olyan esetekben, amikor a kiálló szorítóperemek akadályozzák a köszörűszerszámot a megmunkálási helyre való hozzáféréseben
Kétoldalt mélyített köszörűkorongok	Mindkét homlokfelülete sík		
	Egyik homlokfelülete sík, a másik kúposan mélyített		Palástköszörülés a munkadarab homlokfelületének érintkezésével (beszűrőmozgással)
	Mindkét homlokfelülete kúposan mélyített		
Fazék alakú korongok	Hengeres		Síkköszörülés a köszörűszerszám homlokfelületével
	Kúpos		

3.20 ábra folytatása

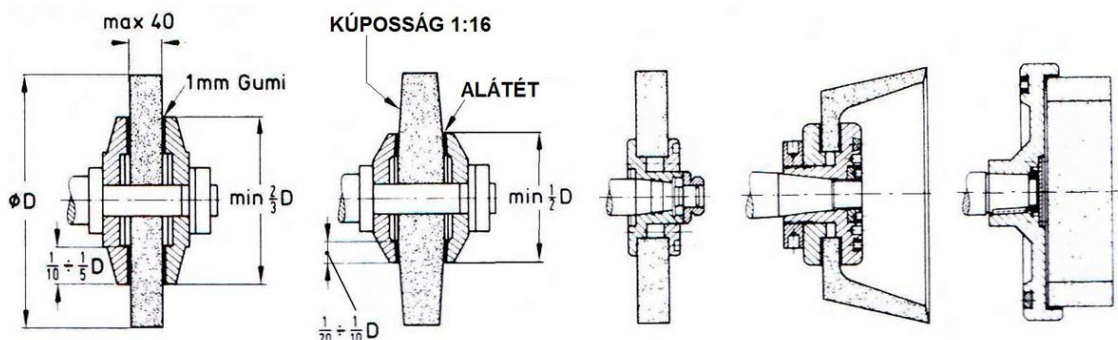
A köszörűszerszám alakja		Alakjel MSZ szerint	Rendeltetés
Tányér alakú korongok	Lapos		Fogaskerék-köszörülés, szerszám-köszörülés (élezés)
	Homorú		
	Homorú		

3.20. ábra. Szabványos korongalakok [7]



3.21. ábra. Korongprofilok [8]

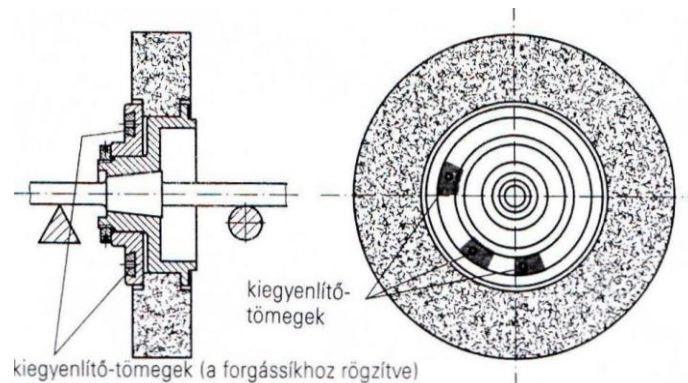
Nagyon fontos a korongok szakszerű felfogása; mivel a korong rideg, közvetlenül fémesen szorítani nem szabad. A szorítóelem és a kő közé rugalmas alátétet kell tenni, mely kiküszöböli a pontszerű felfekvést, az elpattanás lehetőségét (3.22 ábra).



3.22. ábra. Korongfelfogások [8]

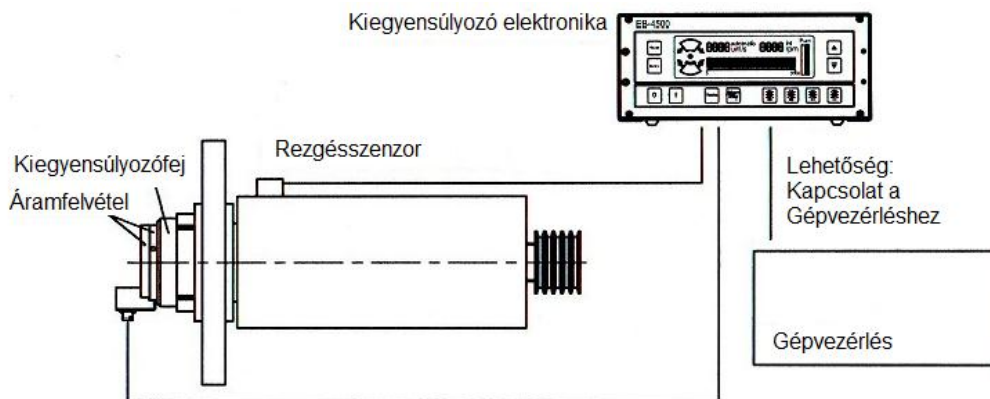
A köszörűkorong kiegyensúlyozatlan lehet geometriájából és szerkezeti inhomogenitásából adódóan. A kiegyensúlyozás történhet statikusan (3.23 ábra). Az állványra helyezett

korong kiegyensúlyozatlanságának megfelelően elfordul, ezt kell kompenzálni a kiegyenlítő tömegek helyzetének megváltoztatásával mindaddig, míg a korong az állványra helyezve nem fordul el.



3.23. ábra. Korongkiegyensúlyozás statikusan [8]

Ma már dinamikus úton, üzemi fordulatszámom, a köszörűgépen is elvégezhető automatikusan a kiegyensúlyozás (3.24 ábra).



3.24. ábra. Automatikus kiegyensúlyozás forgó korongon [9]

3.3 Köszörülési eljárások és gépek

A koronggal történő köszörülési eljárásokat különböző szempontok szerint csoportosíthatjuk: az előállított felület szerint beszélhetünk:

- sík
- kör (palást)
- menet
- alak
- profil
- fogazat köszörüléséről.

a megmunkált felület helyzete szerint

- külső, palást
- belső, furat köszörülést különböztetünk meg

a köszörűkorong dolgozó felülete szerint

- palást
- homlok

az előtolás iránya szerint

- hosszirányú
- keresztirányú (beszűrő)

a beszűrés lehet egyenes és ferde irányú

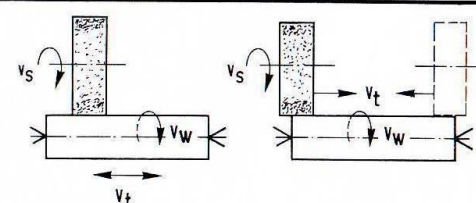
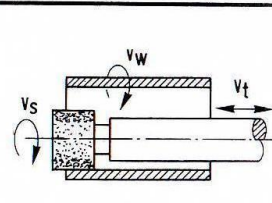
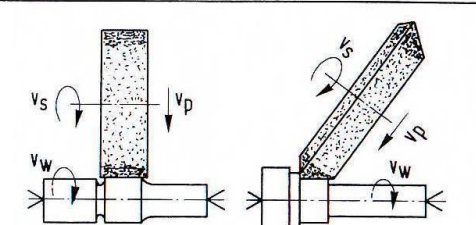
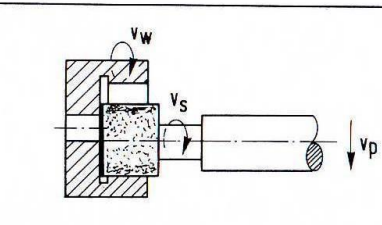
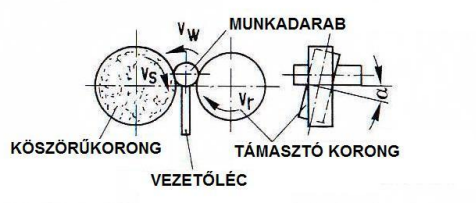
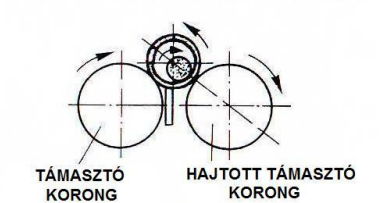
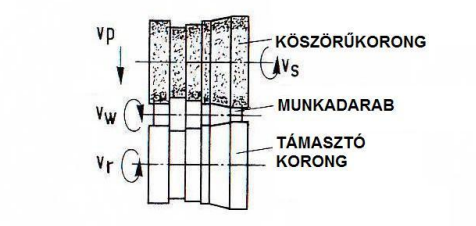
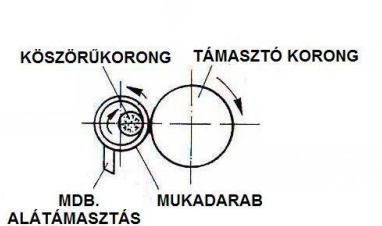
az előtoló-mozgás módja szerint a köszörülés történhet

- alternáló, irányváltásos
- folyamatos (mély köszörülés) előtolással

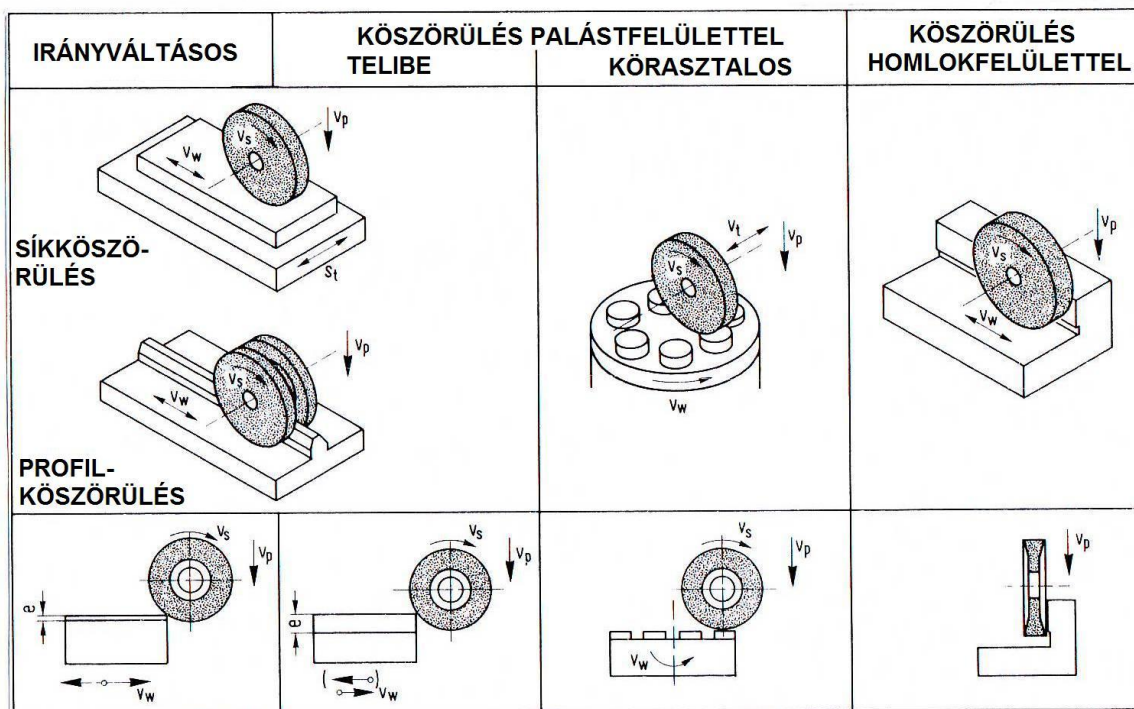
a munkadarab helyzet-meghatározása alapján a köszörülés lehet

- rögzítet befogású, pl. csúcsok között
- csúcsnélküli.

A köszörülési eljárásokat a 3.25 és a 3.26 ábrákon foglaltuk össze.

		PALÁSTKÖSZÖRÜLÉS	FURATKÖSZÖRÜLÉS
BEFOGOTT MUNKADARAB	HOSSZ	 <p>NORTON-ELJÁRÁS LANDIS-ELJÁRÁS</p>	
	BESZÜRŐ	 <p>EGYENES FERDE</p>	
CSÚCSNÉLKÜLI KÖSZÖRÜLÉS	ÁTERESZTŐ	 <p>MUNKADARAB KÖSZÖRŰKORONG TÁMASZTÓ KORONG VEZETŐLÉC</p>	 <p>TÁMASZTÓ KORONG HAJTOTT TÁMASZTÓ KORONG</p>
	BESZÜRŐ	 <p>KÖSZÖRŰKORONG MUNKADARAB TÁMASZTÓ KORONG</p>	 <p>KÖSZÖRŰKORONG TÁMASZTÓ KORONG MDB. ALÁTÁMASZTÁS MUKADARAB</p>

3.25. ábra. Palást- és furatköszörülési eljárások [5]



3.26. ábra. Sík- és profilköszörülési eljárások [5]

A köszörülési folyamatot a 3.1 ábra szemlélteti hasonlóan a határozott élű szerszámokkal végzett forgácsoláshoz. A rendszerjellemzők között új elemként szerepel a szabályozó berendezés, melynek feladata

- élezés, megfelelő mikrostruktúra létrehozása a szerszám felületén
- profilozás, a körköröség, hengeresség, az előírt profil biztosítása

Köszörülés esetén nemcsak a hűtő-kenő folyadék nyomása és mennyisége, hanem a hozzávezetés módja is fontos.

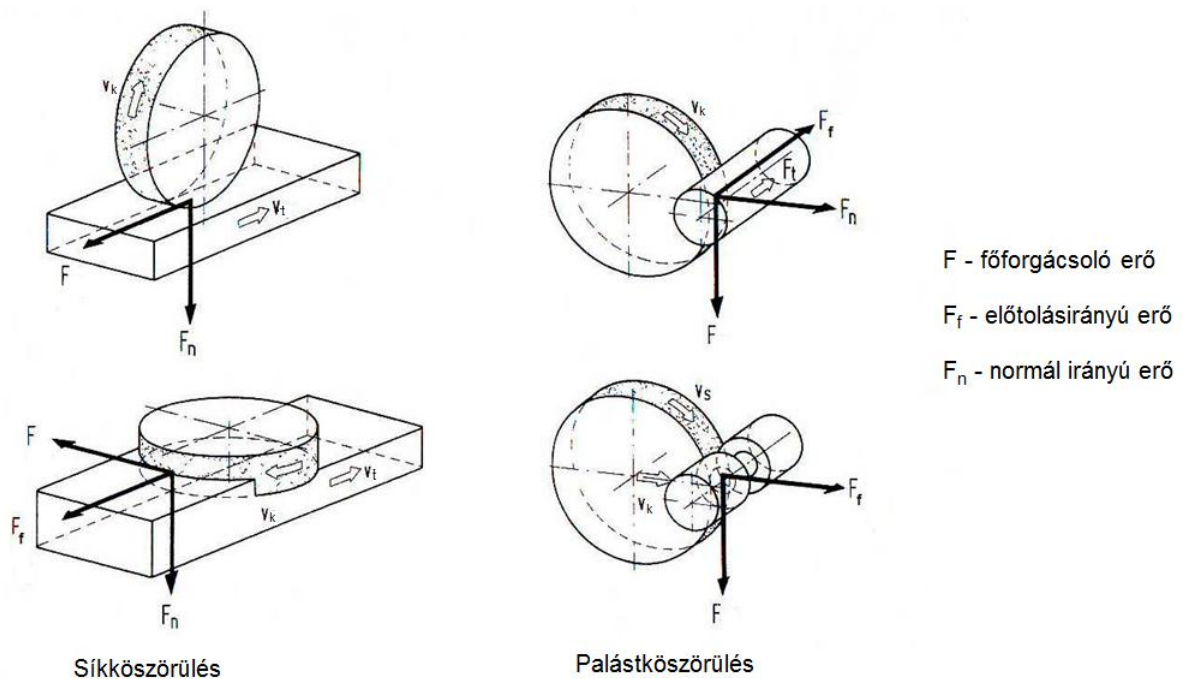
Beállítási értékek:

- forgácsolási sebesség; v_k korongsebesség [m/sec]!!
- tárgy, munkadarab sebesség; v_t [m/perc]
- oldalirányú, axiális előtolási sebesség; v_{ta} [m/perc], mely az oldalirányú fogást – a_p [mm] – biztosítja
- keresztirányú, radiális előtolási sebesség; v_{fr} [m/perc], mely az a_e surárirányú fogást biztosítja
 - szakaszosan, löket végén hosszköszörülésnél

folyamatosan beszűrő köszörülésnél.

Folyamatjellemzők

Legfontosabb jellemző a forgácsoló erő (3.27 ábra), ezt meghatározva a többi jellemző – teljesítmény, energia – már számítható.



3.27. ábra. Forgácsoló erő

A főforgácsolóerő

$$F = k_s \cdot A_p$$

ahol A_p a pillanatnyi forgácskeresztmetszet, melyet az adott időpontban a fogásban lévő összes szemcse leválaszt. Nagysága nem egyenlő a geometriailag meghatározható érintkezési felülettel, mert a felületen csak ott van forgácsolás, ahol szemcse van és a szemcse érintkezik is a munkadarab felületével, tehát forgácsol.

Palástköszörülésnél az időegység alatt leforgácsolt anyagmennyiség

$$V = v_t \cdot a_p \cdot a_e \quad [mm^3/perc]$$

$V = A_p \cdot L$, ahol L az időegység alatt megtett köszörülési út

$$L = 60 \cdot 1000 \cdot v_k \quad [mm]$$

$$A_p = \frac{V}{L} = \frac{1000 \cdot a_p \cdot a_e \cdot v_t}{60 \cdot 1000 \cdot v_k} = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_t}{60 \cdot v_k} \quad [mm^2]$$

$$F = k_s \cdot \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_t}{60 \cdot v_k} \quad [N]$$

Korong köszörülési teljesítménye

$$P = F \cdot v_k \quad [W]$$

A munkadarab forgatásához szükséges teljesítmény

$$P = F \cdot v_t \quad [W]$$

Az erő más módon is meghatározható, a geometriai viszonyok alapján – pl. palástköszörülés esetén a palástmarással analóg módon kiszámítható az érintkezési felület. A tényleges forgácskeresztmetszet ennél kisebb, mely a szemcsék valós távolságából és térfogati eloszlásából határozható meg [10].

A köszörülés jellemzésére a sebességtényezőt

$$q = 60 \cdot \frac{v_k}{v_t} \quad \text{mely} \quad \begin{array}{l} \text{nagyolásnál } >90-60 \\ \text{simításnál } \approx 90 \\ \text{finomsimításnál } >90-120 \end{array}$$

és a köszörülési számot

$$u = \frac{\text{korongszélesség}}{\text{előtolás}} \quad \begin{array}{l} \text{nagyolásnál } 3-4 \\ \text{simításnál } 5-6 \end{array}$$

szokták használni.

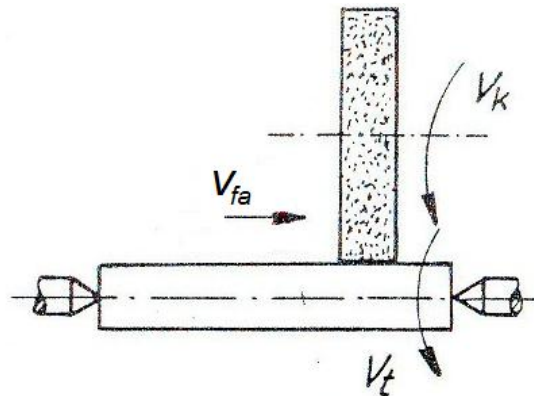
Köszörülésnél a bevezetett energia döntő többsége hővé alakul. A hő megváltoztatja a munkadarab geometriai méretét, a felületi réteg tulajdonságait, meggyorsítja a szerszámkopást. Az érintkezési zóna hőmérséklete egy fontos folyamatjellemző, de mérése a gyors és meredek változása miatt nehéz.

A köszörülésnél fellépő rezgések a munkadarab körköröségi hibáit, hullámosságát és az érdesség romlását okozzák. A rezgések átadódhatnak a külső környezetből, ill. a gépen keletkezhetnek a kő-kiegyensúlyozatlanságból, csapágyhibákból, stb.

A forgácsleválasztásból – nagy fogásmélység, munkadarab kihajlása, instabil gép, stb. – öngerjesztett rezgések keletkezhetnek, rontva a munkadarab minőségét.

Külső palástköszörülés

A munkadarabok külső, hengeres és kúpos felületeinek megmunkálása történik palástköszörüléssel (3.28 ábra). A nagysebességgel (v_k) forgó köszörűkorong végzi a forgácsoló főmozgást, a mellékmozgás a munkadarab forgásából (v_t) áll, mely lehet egyen- vagy ellenirányú és hosszirányú alternáló mozgás (v_{fa}). nagy tömegű munkadarabok – nagyméretű hengerek – esetén a köszörűszán végzi azt a mozgást. A fogásvételt (nagyolásnál 20-30 $\mu\text{m}/\text{löket}$) a korong keresztirányú (v_{fp}) elmozdulása biztosítja a löket végén.

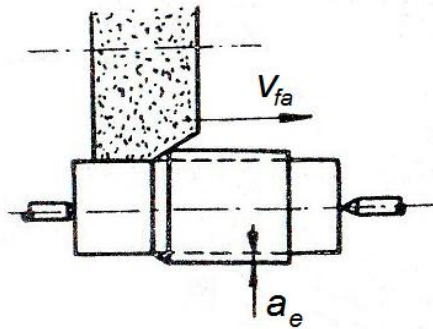


3.28. ábra. Palástköszörülés

A korong hosszirányú túlfutása általában 0,3-0,5 korongszélesség.

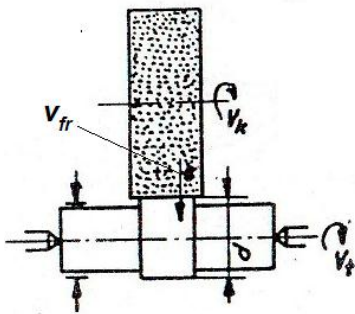
A névleges méret elérésekor a fogásvétel megszűnik, de fogás nélkül még legalább tíz löketet végzünk – ez a kiszikráztatás, - mely alatt a rugalmas deformációk megszűnnek, és az alak-, méretpontosság javul.

Kúpos bekezdésű koronggal egy fogásban történhet a köszörülés (3.29 ábra), de ekkor a hosszelőtolás lassú.

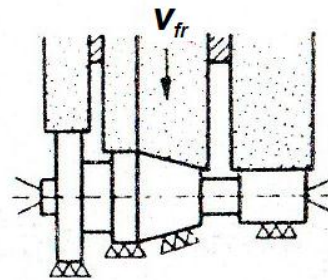


3.29. ábra. Hengeres palástkőszörülés kúpos koronggal egy fogásban

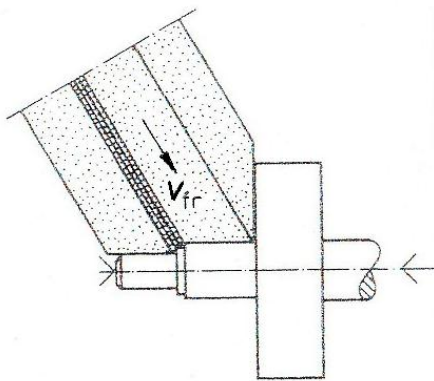
Rövid hengeres felületeket beszúró eljárással köszörülhetünk (3.30 ábra), ahol a megmunkálendő felület szélessége kisebb, mint a korongszélesség, a keresztirányú előtolás (v_{fp}) folyamatos. Beszúró eljárással alakos felületek is megmunkálhatók (3.31 ábra). A beszúrás iránya lehet ferde (3.32 ábra), pl. váll és palást együttes köszörülése.



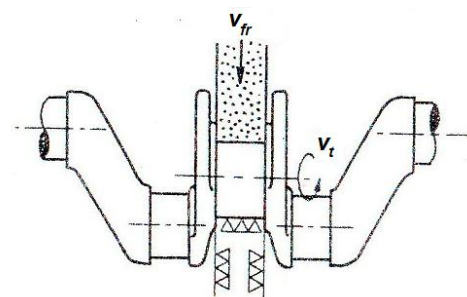
3.31. ábra. Beszúró köszörülés



3.30. ábra. Kúpos és hengeres felületek egyidejű beszúró köszörülése



3.32. ábra. Beszúró köszörülés ferde irányból

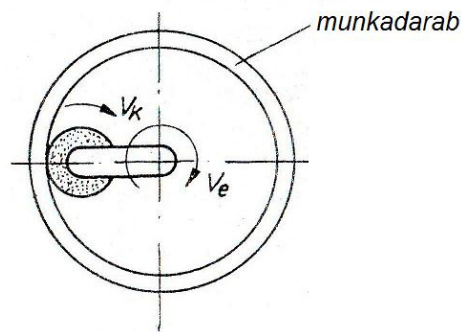


3.33. ábra. Forgattyústengely köszörülése

A 3.33 ábrán forgattyústengely csapjának beszúró köszörülése látható, itt a korong palást és homlokfelülete is forgácsol.

Belső hengeres felületek előállítása történhet

- palástkőszörüléssel; forgó munkadarab, forgó és tengelyirányú alternáló mozgást végző szerszám
- beszúró kőszörüléssel; forgó munkadarab, forgó és sugárirányban mozgó szerszám
- bolygókőszörüléssel; álló munkadarab, forgó és bolygó mozgást végző szerszám (3.34 ábra).

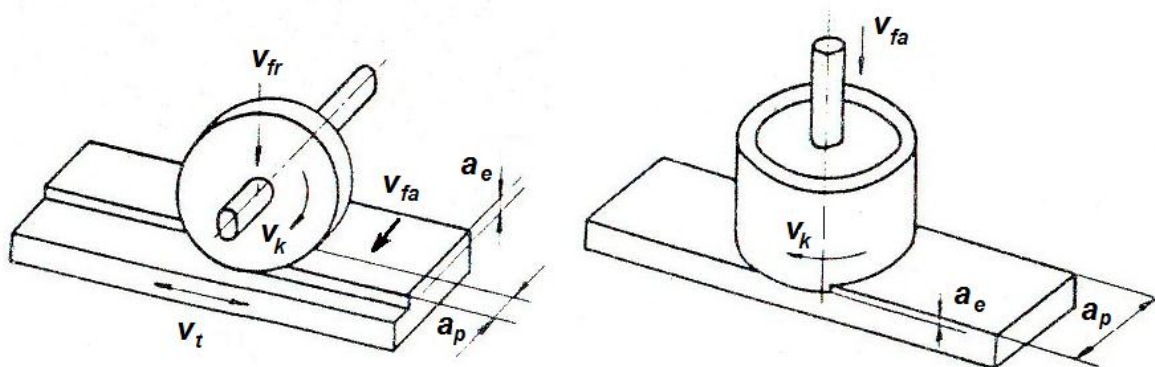


3.34. ábra. Bolygókőszörülés

Ez utóbbi eljárást nagyméretű, nem forgatható munkadarabok esetén alkalmazzák, pl. koordinátakőszörűk.

Síkkőszörülés

Történhet a korong palástjával vagy homlokfelületével (3.35 ábra).



3.35. ábra. Síkkőszörülés

Forgácsoló főmozgást a nagy sebességgel forgó korong végzi.

Mellékmozgást palástkőszörülésnél a munkadarab hosszirányú alternáló mozgása jelenti, keresztirányban löketenként történik az előtolás, a fogásvétel merőleges a munkadarab felületére.

A homlokfelülettel dolgozó síkkőszörű-korong általában nagy átmérőjű gyűrű vagy szegmensbetétes korong, átmérője nagyobb, mint a munkadarab szélessége, így keresztirányú mozgásra nincs szükség.

A homlok- vagy palástfelülettel való síkkőszörülés történhet forgó mellékmozgással is, a munkadarab általában gyűrű alakú, forgó körasztalon helyezkedik el.

Csúcsnélküli köszörülés

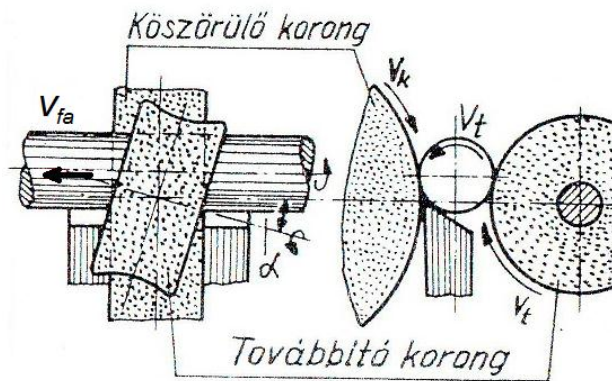
A munkadarab két korong – köszörű és támasztó – között vezető (támasztó) sínen fekszik fel. A két korong azonos irányba forog, a munkadarab középpontja a korongok középpontjai felett helyezkedik el. A csúcsnélküli köszörülés lehet:

- áteresztő; (3.36 ábra) a támasztókorong tengelye szöget ($\alpha=1-10^\circ$) zár be a munkadarabbal, ebből adódóan egy előtoló erő keletkezik, mely a munkadarabok tengelyirányú mozgását biztosítja, az előtolás sebessége

$$v_{fa} = d_t \cdot \pi \cdot n_t \cdot \sin \alpha$$

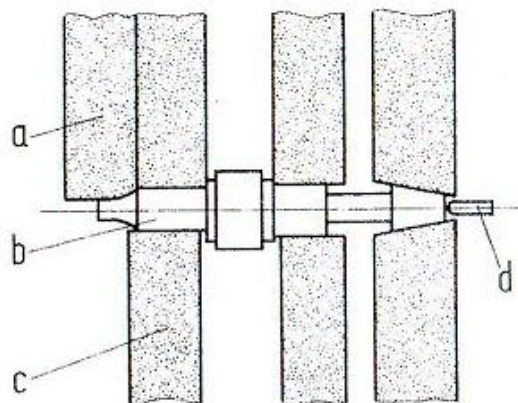
d_t – támasztókorong átmérője
 n_t – fordulatszám

A támasztókorong profilja forgási hiperboloid, anyaga kemény gumi ill. műanyag a súrlódás növelése miatt. Hosszú, karcsú darabok köszörülésére igen alkalmas.



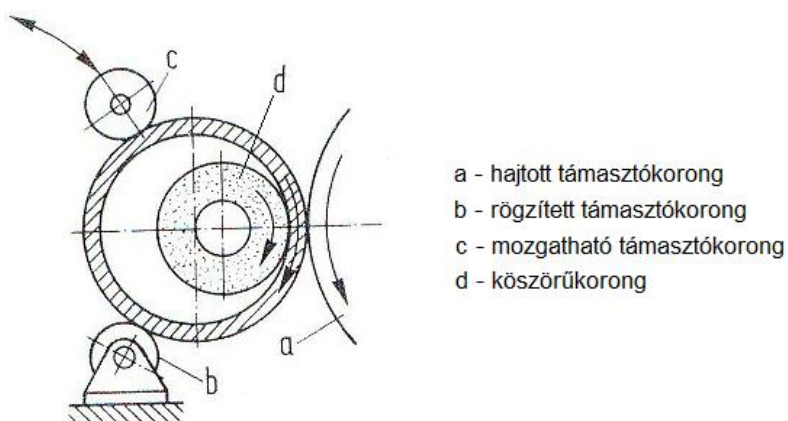
3.36. ábra. Csúcsnélküli köszörülés

- beszűrő; a munkadarabnak megfelelően hosszú köszörű- és támasztókorong is alkalos. A támasztókorong tengelye $0,5^\circ$ -os szöget zár be a munkadarab tengelyével, így biztosítva a hosszirányú ütközéssel a darab helyzetét. A fogásvétel sugárirányban történik (v_{fr}) (3.37 ábra).



3.37. ábra. Csúcsnélküli beszűrő köszörülés

a: köszörűkorong, b: munkadarab, c: támasztókorong, d: tengelyirányú ütköztetés
Csúcsnélküli köszörüléssel belső hengeres felületek is megmunkálhatók (3.38 ábra).



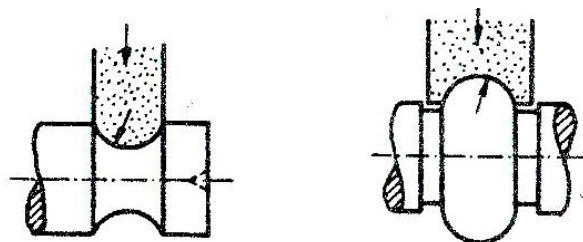
- a - hajtott támasztókorong
- b - rögzített támasztókorong
- c - mozgatható támasztókorong
- d - köszörűkorong

3.38. ábra. Belső hengeres felület megmunkálása csúcsnélküli köszörüléssel

Az „a” támasztókorong biztosítja a munkadarab forgatását és veszi fel a köszörülési erőt. A „b” görgő a támasztósín szerepét tölti be, a „c” a szorító görgő. Az előtolást a görgőtengelyek vízszintestől való eltérése adja. Vékonyfalú, kihajlásra hajlamos darabok köszörülésére alkalmas ez az eljárás befogás és centrírozás nélkül.

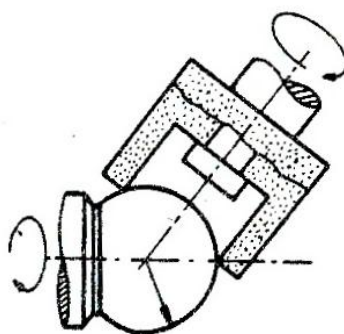
Ívelt és gömbfelületek köszörülése

Belső homorú, domború felületek köszörülése alakra vágott koronggal, beszúró eljárással lehetséges (3.39 ábra).



3.39. ábra. Homorú és domború felületek köszörülése

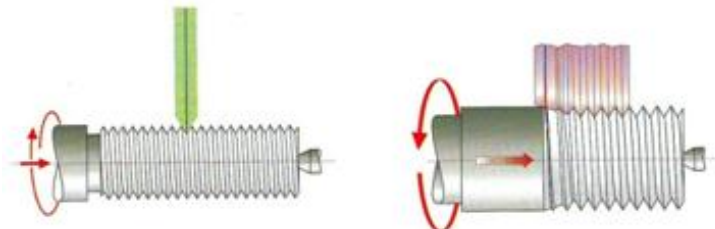
A gömbköszörülés gyakran alkalmazott megoldása a 3.40 ábrán látható fazékköves köszörülés.



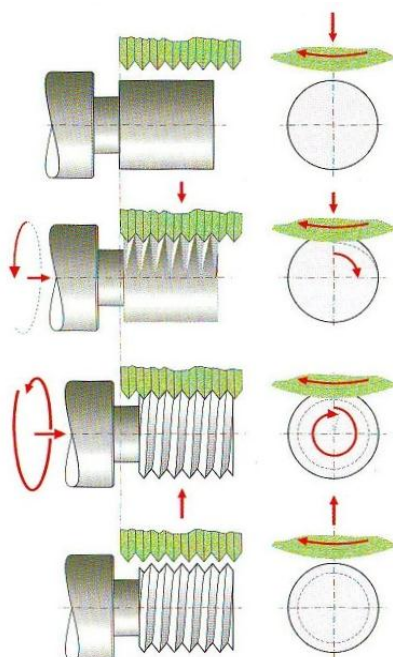
3.40. ábra. Gömbfelület köszörülése fazékkoronggal

Menetkőszörülés

Orsómenet kőszörülése történhet egyprofilú és többprofilú kőszörűkoronggal hosszeltolással (3.41 ábra) és többprofilú szerszámmal beszúró eljárással, itt a munkadarab egy fordulata alatt készül el a menet (3.42 ábra).



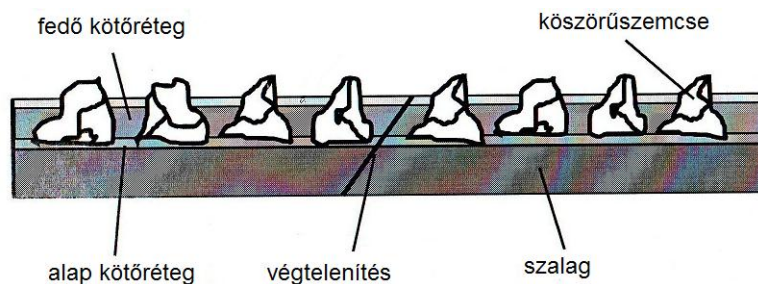
3.41. ábra. Menetkőszörülés egyprofilú és többprofilú kőszörűkoronggal hosszeltolással [11]



3.42. ábra. Menetkőszörülés többprofilú szerszámmal beszúró eljárással [11]

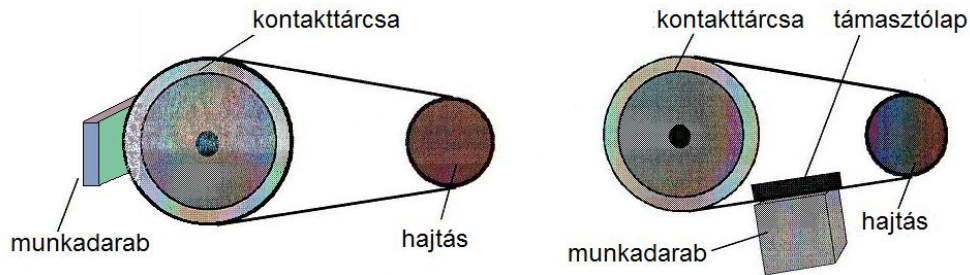
Szalagos kőszörülés

A szerszám egy végtelenített speciális papír, szövet, műszál, stb. szalag, melyre a kőszörűszemcséket (korund, cirkónoxid, szilíciumkarbid) ragasztással rögzítik (3.43 ábra). A szalag tulajdonságait, mint nyúlás, rugalmasság, stb., az anyag megválasztásával, kezelésével állítják be.



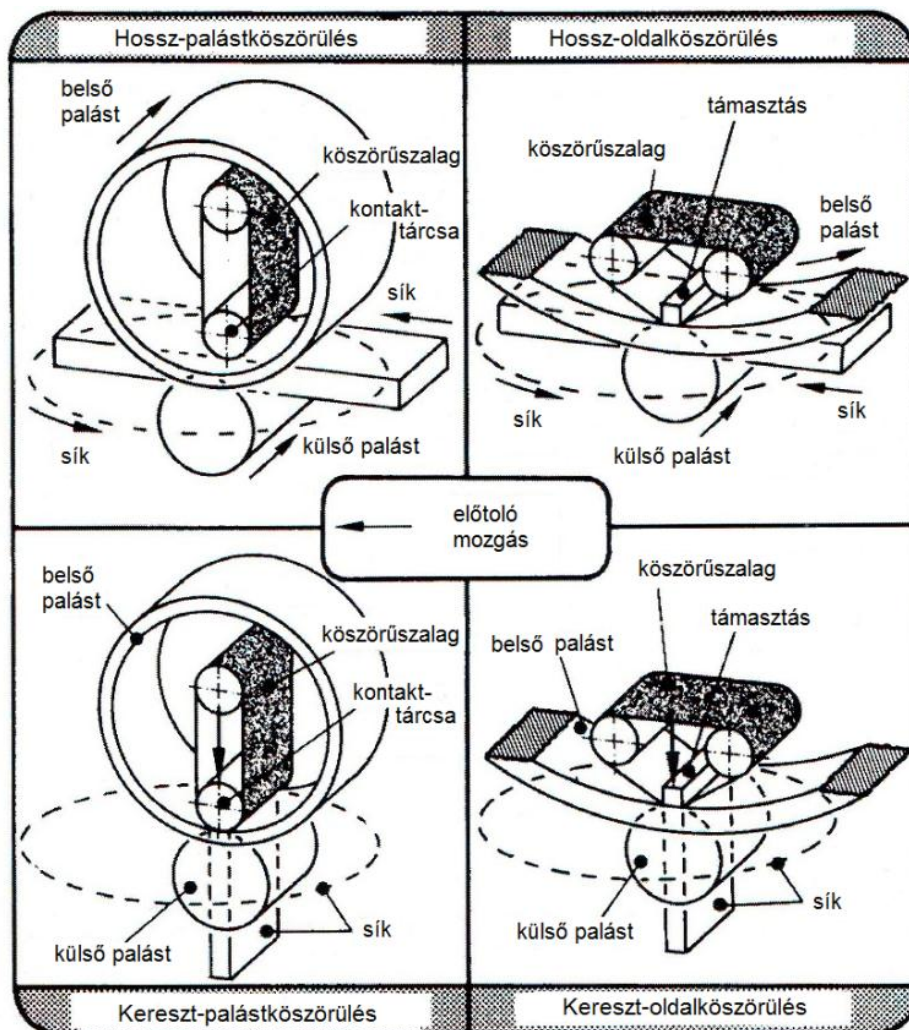
3.43. ábra. A kőszörűszalag szerkezete

A szalag dolgozhat a kontakttárcsa palástfelületén, ill. az oldalfelületeken, ekkor a megfelelő megtámasztásról gondoskodni kell (3.44 ábra).



3.44. ábra. A szalagköszörülés módjai

A szalagköszörülés technológiai változatai láthatók a 3.45 ábrán a DIN 8589-12-nek megfelelően.



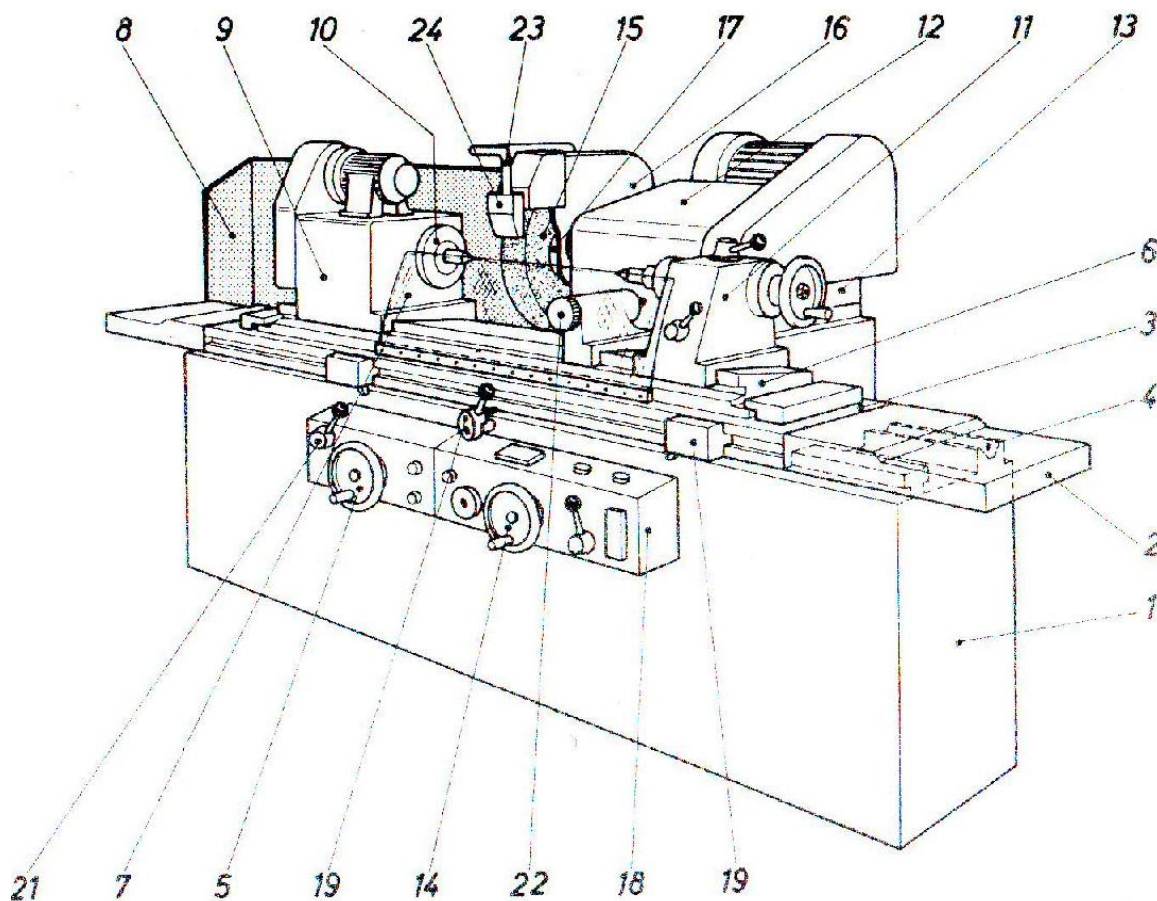
3.45. ábra. A szalagköszörülés technológiai változatai

A külső, belső, hengeres és sík felületek mellett szabadfelületek kézi, profilos, alakos felületek másoló és NC vezérlésű megmunkálása is lehetséges (pl. turbinalapát-csiszolás).

Köszörűgépek

A köszörűgépek igen széles választékát gyártják és használják. Csoportosításukat a köszörülési eljárások szerint:

- kör köszörűk
 - palást (3.46 ábra)
 - furat (3.47 ábra)
 - egytetemes, mely palástfelületek (hengeres, kúpos), és furatok köszörülésére egyaránt alkalmasak (3.48 ábra)
- síkköszörűk
 - hosszasztalos, vízszintes, függőleges orsójú gépek (3.49 ábra)
 - körasztalos gépek (3.50 ábra)
- csúcsnélküli köszörűgépek (3.51 ábra)
- koordinátaköszörűk
- szalagköszörűk
- darabolóköszörűk lehetnek.

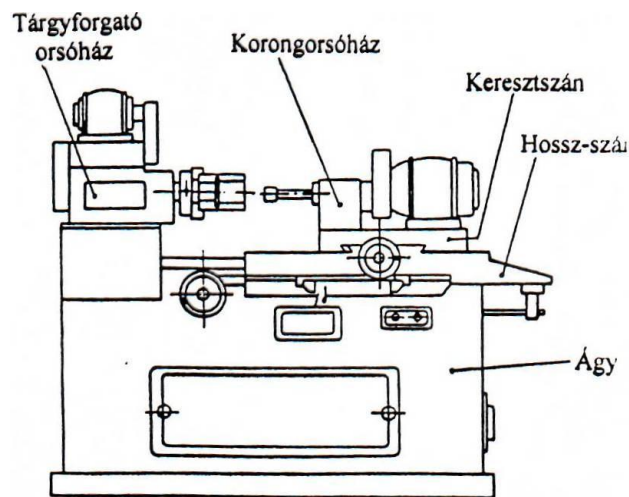


1 – ágy
2 – ágyvezeték-burkolat
3 – szánok
4 – ágyvezeték
5 – kézi-előtolás kézikerék
6 – asztal
7 – védőburkolat
8 – fröcskölésvédő

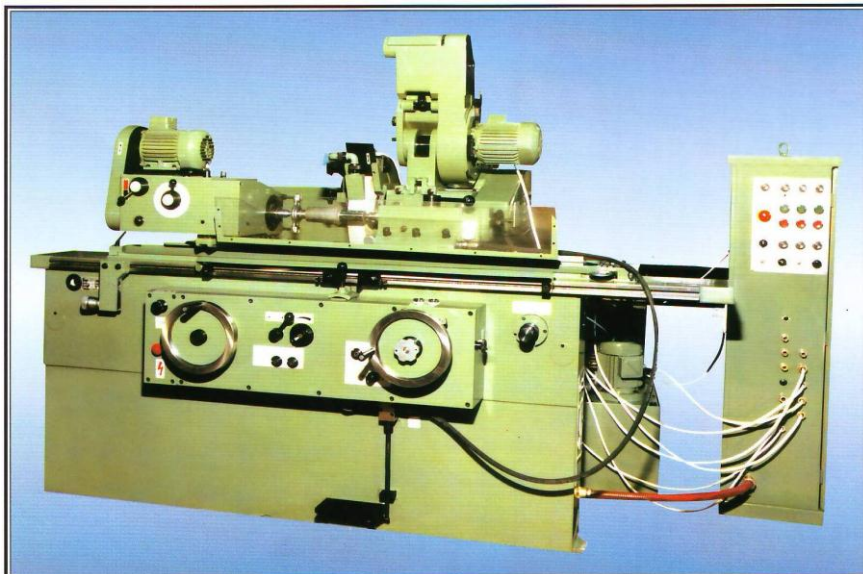
9 – munkadarab. orsóház
10 – munkadarab felfogás
11 – szegnyereg
12 – korong orsóház
13 – köszörűszán
14 – keresztelőtolás kézikerék
15 – köszörűkorong

16 – köburkolat
17 – felfogócsap korong
18 – kezelőpult
19 – irányváltó
20 – hosszútűző
21 – állítókar
22 – lehúzó
23 – hűtés

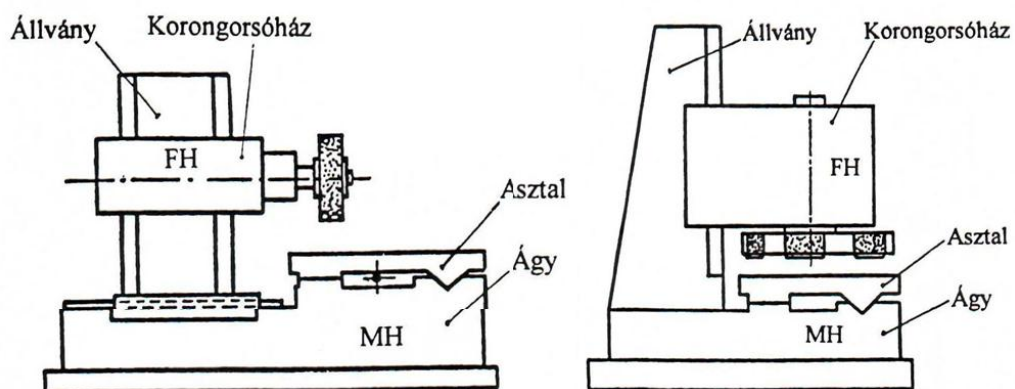
3.46. ábra. Palást-köszörűgép



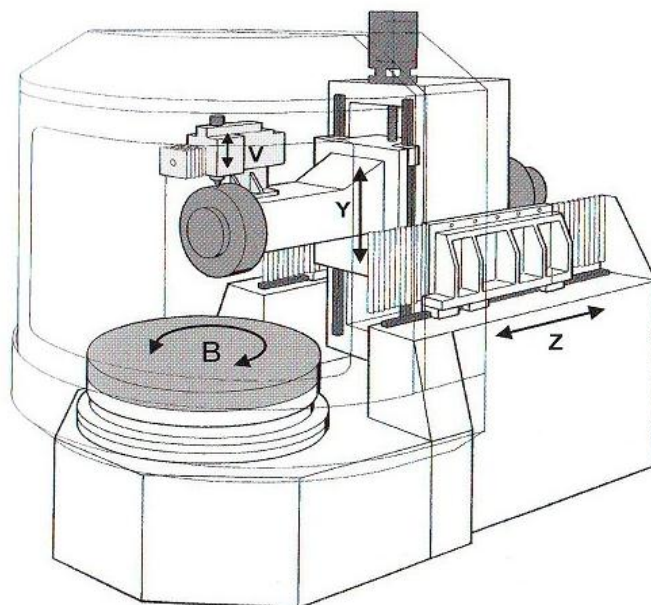
3.47. ábra. Furatköszörűgép



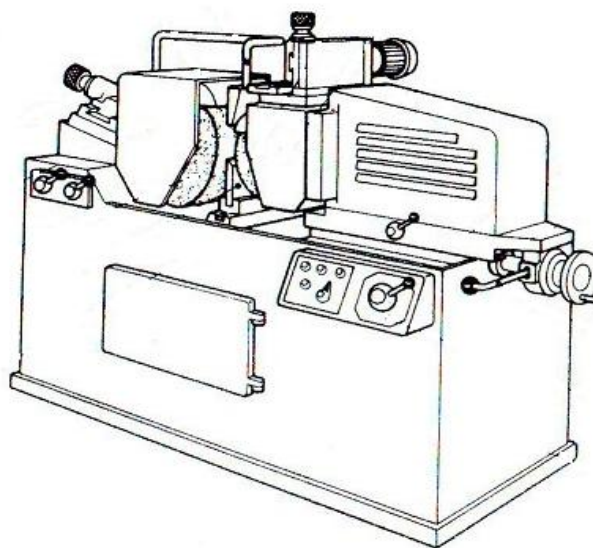
3.48. ábra. Egyetemes körköszörű [SZIMFÉK] [12]



3.49. ábra. Sikköszörűgépek elvi felépítése



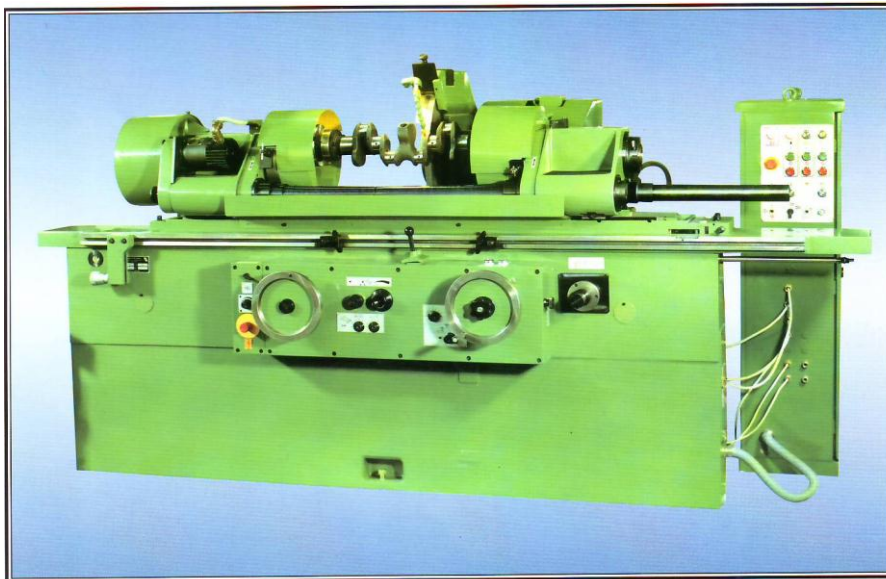
3.50. ábra. Körasztalos sík-köszörűgép [BLOHM] [13]



3.51. ábra. Csúcsnélküli köszörűgép

A megmunkált munkadarabok szerint

- henger
- bütykös-, forgattyústengely (3.52 ábra)
- borda
- ágy, vezeték
- menet (3.41. 3.42 ábra)
- fogaskerék
- sokszögműköszörűk lehetnek



3.52. ábra. Forgattyústengely-köszörű [SZIMFÉK] [12]

A vezérlést tekintve kézi, egyszerű NC és CNC gépeket különböztetünk meg. A szerszámköszörűk külön csoportot alkotnak, sokféle bonyolult köszörülési, élezési feladatra alkalmasak az egytengelyes szerszámélező gépektől az 5-tengelyes élezőközpontig.

Sugaras köszörülés, csiszolás:

Sugaras forgácsolásnál a szabad szemcséket nagy kinetikus energiával ütköztetjük a munkadarab felületén. Az energiahordozó közeg nagynyomású folyadék vagy gáz, levegő lehet, ami a szemcséket is felgyorsítva a felületbe csapódik.

A becsapódó szemcsék a felületen anyagrészecskéket választanak le ill. deformációt hoznak létre, közben lefékeződve, a kinetikus energia egy része hővé alakul.

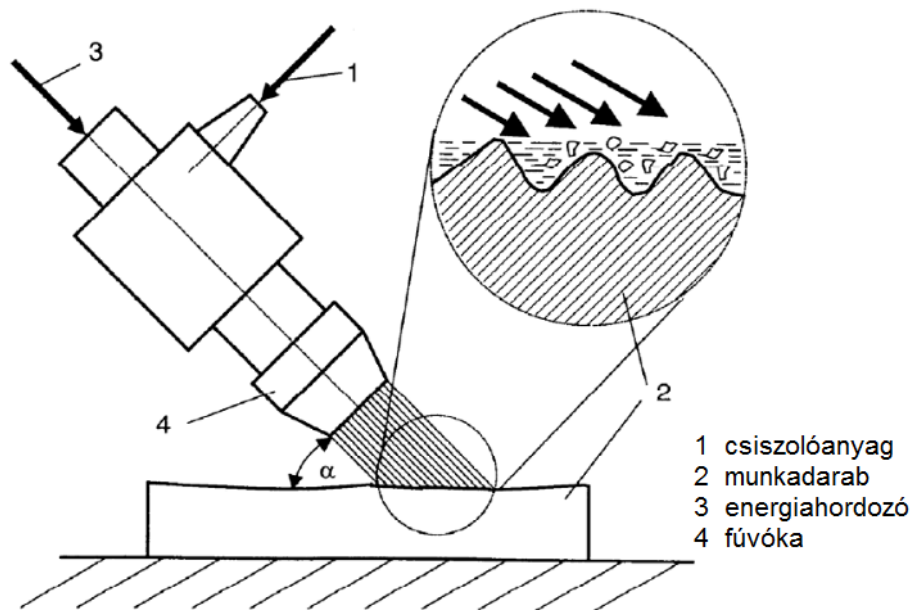
A sugaras forgácsoló eljárás használható revétlenítésre, sorjázásra, felületi érdesség javítására.

A folyamatot befolyásoló tényezők:

- csiszoló anyag (összetétel, szemcsenagyság és forma, keménység)
- sebesség
- fajlagos szemcsemennyiség, idő-, ill. felületegységre vonatkozóan
- becsapódási szög
- idő
- munkadarab keménysége.

A 3.53 ábrán a sugaras leppelés elve látható. Az energiahordozó közeg 4-10 bar nyomású levegő, melybe csiszolóanyagot keverünk, a kilépési sebesség általában 300-800 m/sec.

Az így megmunkált felület nem tükrös, fényes, hanem matt.



3.53. ábra. Sugaras csiszolás [1]

3.4 Finomfelületi megmunkálások

Nagypontosságú, finom felületű munkadarabok befejező megmunkálására fejlesztették ki

- a tükrösítést (leppelés)
- a dörzscsiszolást (hónolás)
- a tükrösimitást (szuperfiniselés).

Ezekkel az eljárásokkal elérhető pontosságot, felületi minőséget a 3.4 táblázat foglalja össze.

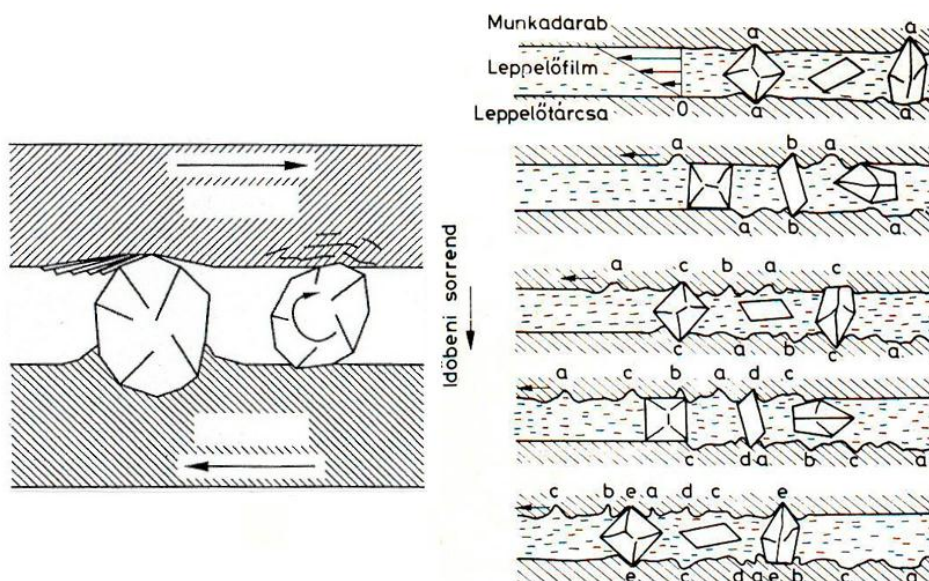
Az eljárások megnevezése		Minőségi osztályok az általános érdesség R_a értéke szerint, μm													Pontossági osztály IT										
		80	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08	0,04	0,02	1-4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Tükrösítés (leppelés)	nagyló																								
	simító																								
	finom																								
Dörzscsiszolás (hónolás)	simító																								
	finom																								
Tükrösimitás (szuperfinis)	simító																								
	finom																								

3.4. táblázat. Finomfelületi eljárásokkal elérhető felületi minőség és pontosság

3.4.1 Tükrösítés

A tükrösítés szabad szemcsékkel végzett forgácsolás. A megmunkálandó felület és a szerszám, mely ennek ellenfelülete, egymáson elcsúszik. A két felület közötti rést a szemcsék és az azokat hordozó anyag (petróleum, olaj, terpentin, stb.) tölti ki.

A szerszámot kis nyomással a munkadarab felületéhez nyomják, a szemcsék mozgását a szerszám és munkadarab ellentétes irányú mozgásával biztosítják. A forgácsleválasztás elvét a 3.54 ábra szemlélteti. A szemcsék egy része legördülve választ le forgácsot, a szemcsébenyomódás ebben az esetben 5-10%-a a szemcseméretnek, a legördülő szemcse kis krátert hagy maga után. Nagyobb benyomódás esetén a szemcse időlegesen beágyazódik, és mint forgácsoló él választ le forgácsokat, majd megkopva kifordul a helyéről, és tovább gördül.



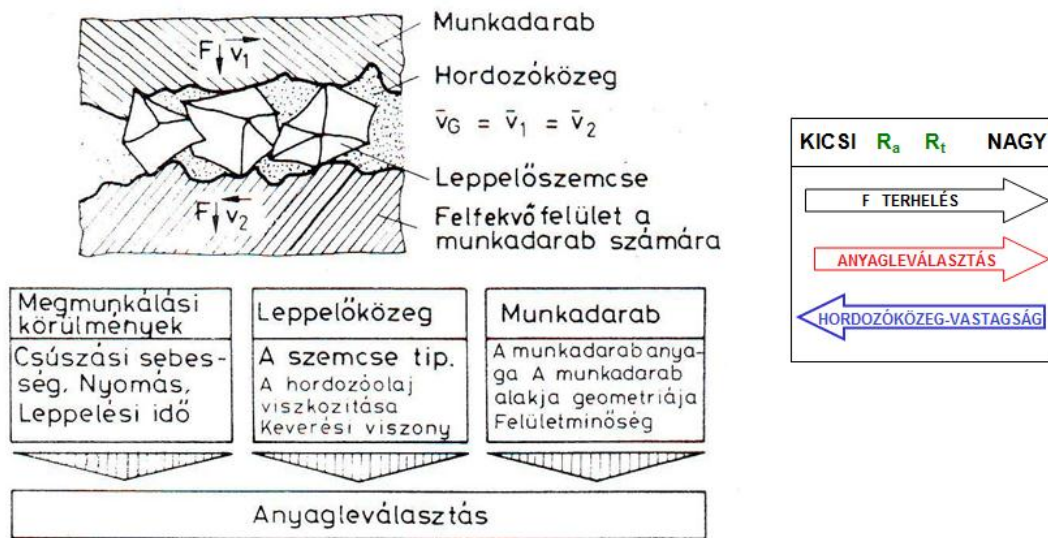
3.54. ábra. A leppelőszemcsék mozgása, forgácsleválasztás [1]

A tükrösítésnél alkalmazott szemcseanyagokat és hordozóanyagokat a 3.5 táblázat foglalja össze, a szemcseméret általában 2-40 μm .

Szemcse		Hordozó anyag
Korund (Al_2O_3)	Bórkarbid (B_4C)	különböző viszkozitású olajok
acél, öntöttvas, könnyűfém	keményfém, kerámia	vízbázisú emulzió
Szilíciumkarbid (SiC)	Gyémánt	parafin, vazelin, petróleum
ötvözött acél, nemesített szürkeöntvény, üveg, porcelán	kemény anyagok polírozása	

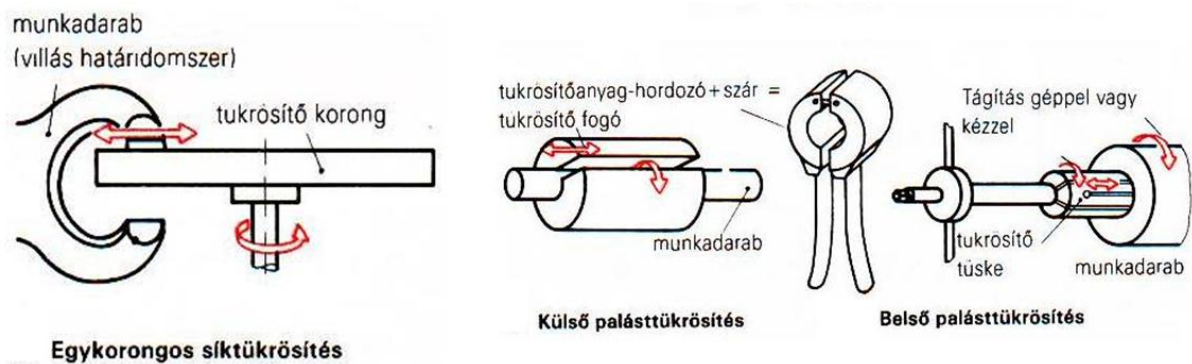
3.5. táblázat. A tükrösítés szemcseanyagai és hordozóanyagai

Az anyagválasztást és érdességet befolyásoló tényezők a 3.55 ábrán láthatók.



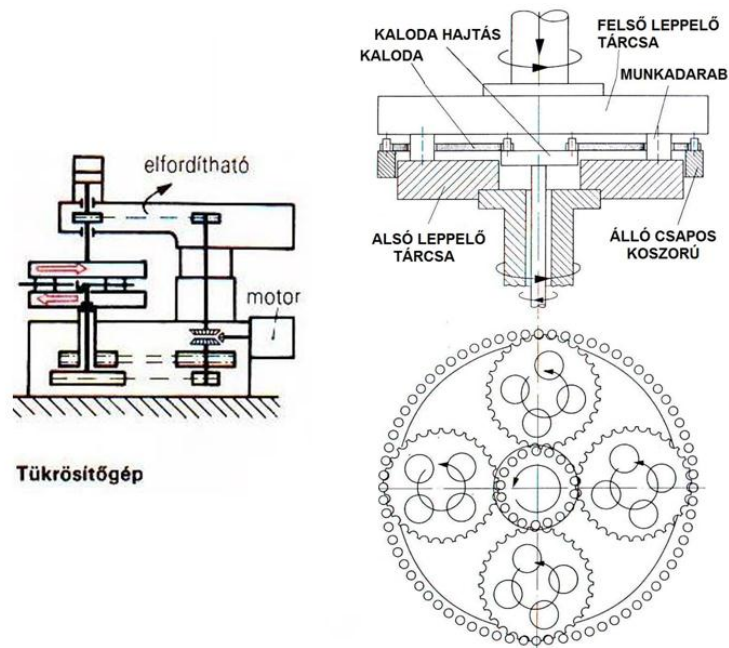
3.55. ábra. Az anyagleválasztást és érdességet befolyásoló tényezők [1]

A tükrösítés történhet kézi úton, a forgó főmozgás gépi, az alternáló mellékmozgás kézi, erre láthatunk példákat, sík, belső és külső hengeres felületek tükrösítésére a 3.56 ábrán.



3.56. ábra. Tükrösítés kézi úton [14]

A 3.57 ábrán a kéttárcsás tükrösítőgép elve látható, a munkadarab forgó-bolygó mozgást végez (hurkolt ciklois), a szükséges szerszámmozgást a felső tárcsa súlya biztosítja. A tömeggyártás számára teljesen automatizált, gépi munkadarab-kezelést fejlesztettek ki. [15]



Tükrösítőgép

3.57. ábra. Kéttárcsás tükrösítőgép

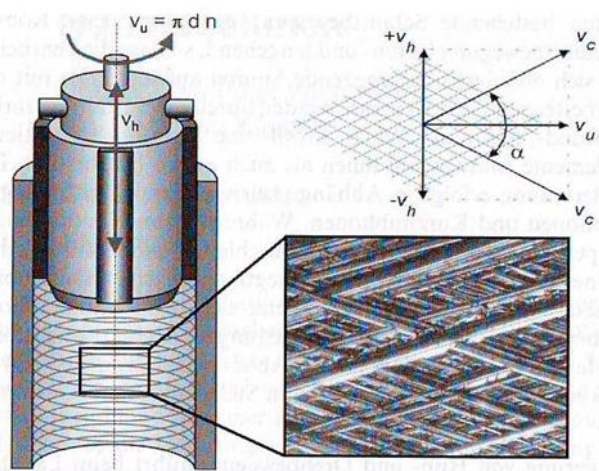
A járműgyártásban diesel-befecskendezők, hidraulika-alkatrészek, precíziós csapágyak, stb. gyártásában használják a tükrösítést.

3.4.2 Dörzsköszörülés

A dörzsköszörülés, vagy más néven hónolás kötött szemcsés finommegmunkálás, melynek célja a kívánt felületi érdesség kialakítása, pontosság növelése, alakhiba csökkentése. A köszörüléshez viszonyítva a forgácsolási sebesség, felületi nyomás kisebb, de az egyidejűleg fogásban lévő szemcsék száma nagyobb, a forgácsolási hőmérséklet kisebb.

A hónolás furatok –motorhenger, hidraulika, persely, stb. befejező finommegmunkálása.

A forgácsoló főmozgás forgó, a mellékmozgás egyenesvonalú alternáló, általában mindkettőt a szerszám végzi (3.58 ábra).



A FORGÁCSOLÁSI SEBESSÉG:

$$v = \sqrt{v_k^2 + v_{ax}^2}$$

$$v = \alpha_{sz} \cdot \pi \cdot n_{sz}$$

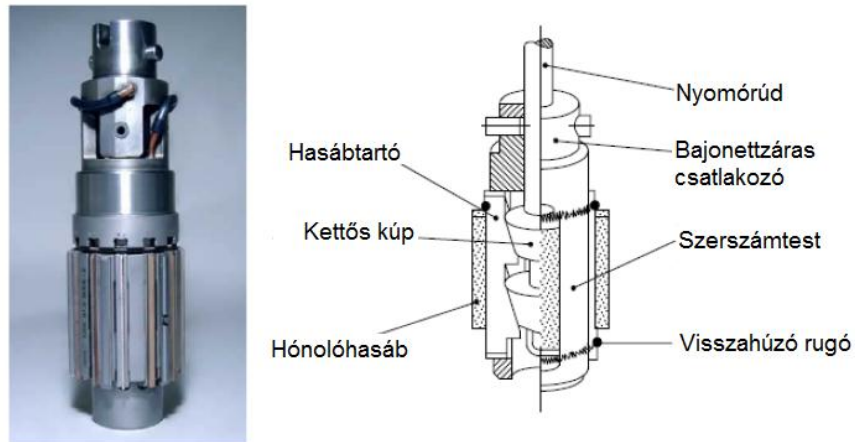
$$\alpha = 2 \cdot \arctg\left(\frac{v}{v_f}\right)$$

v_{ax} – AXIÁLIS SEBESSÉG

v_k – KERÜLETI SEBESSÉG

3.58. ábra. A dörzsköszörülés mozgásviszonyai [13]

A leggyakrabban alkalmazott szerszám felépítése a 3.59 ábrán látható. A hónolóhasábok hasábtartókba vannak beragasztva, melyeket egy kettőskúp szorít a munkadarab felületéhez.

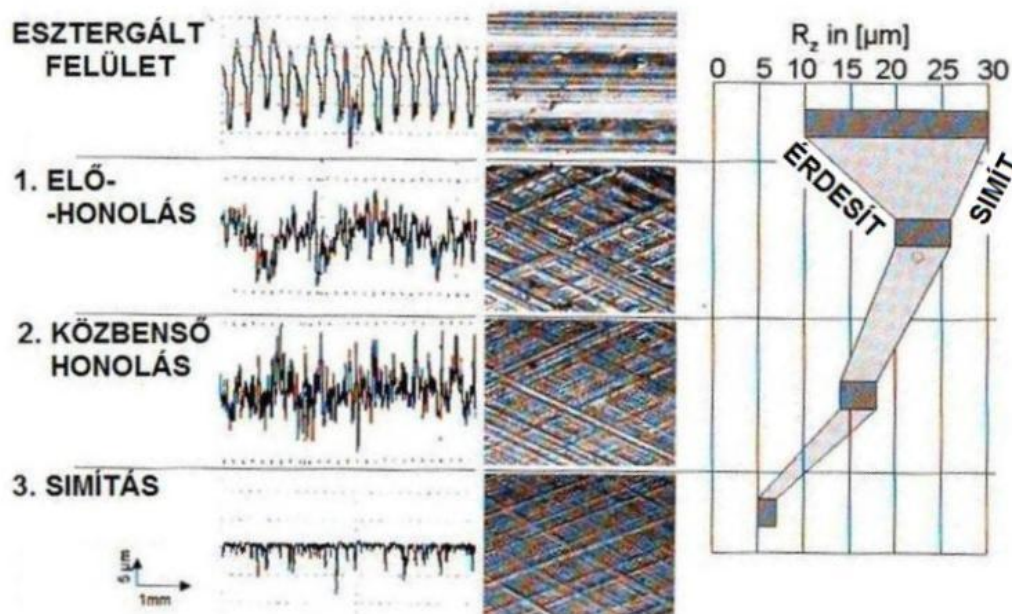


3.59. ábra. Hónolószerszám [13]

Az alkalmazott szemcse nemeskorund, szilíciumkarbid vagy köbös bórnitrid (CBN), a kötés kerámia, műgyanta, gyémánt és CBN esetén pedig fém. A hónoló hasáb meghatározása hasonló a köszörűkorongoknál alkalmazottakkal.

A szerszám önvezető, ezért a befogása nem lehet merev, általában kardáncsapos, úszólengő befogást alkalmaznak. Merev szerszám esetén a munkadarab-befogásnak kell a megfelelő elmozdulási lehetőséget biztosítani.

A motorhenger-furatoknál a megfelelő hordfelület, simaság mellett a felületnek olajtároló képességgel is rendelkezni kell. E követelményeket egyidejűleg hónolással lehet biztosítani. A hónolás folyamatát a 3.60 ábra mutatja be.



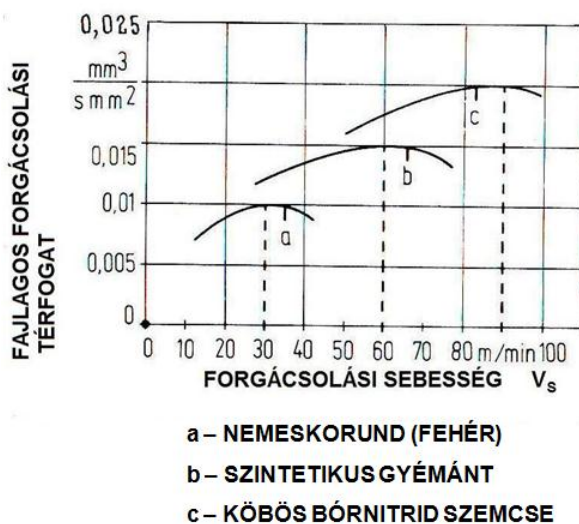
3.60. ábra. A hónolás folyamata [13]

A keresztződő mély karcok biztosítják az olaj tárolását, a megfelelő hordfelület, melyet az Abbot-diagram jellemez, simítással biztosítjuk.

A hónolási ráhagyás 0,025-0,5 mm általában, az elérhető

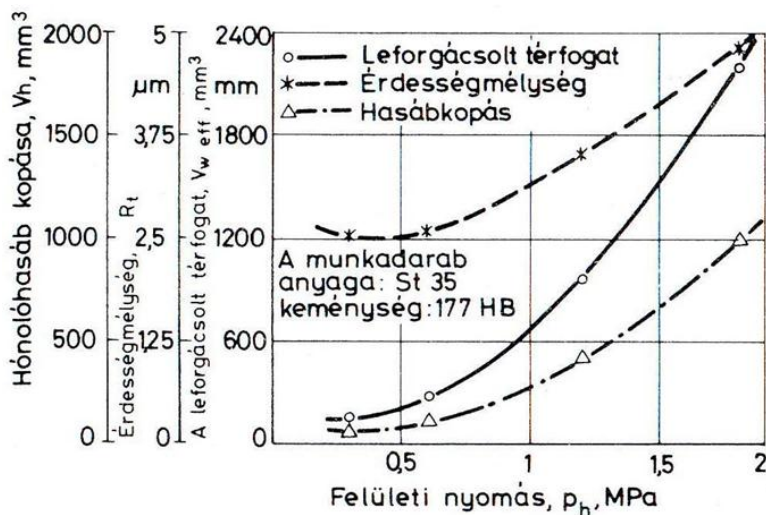
- pontosság: IT4-IT5
- érdesség: $R_a=0,025-0,2 \mu\text{m}$ acél,
 $R_a=0,2-0,3 \mu\text{m}$ öntöttvas esetén.

Az optimális forgácsolási sebességet különböző szemcseanyagokra a 3.61 ábra szemlélteti.



3.61. ábra. Optimalis forgácsolási sebesség különböző élanyagoknál [5]

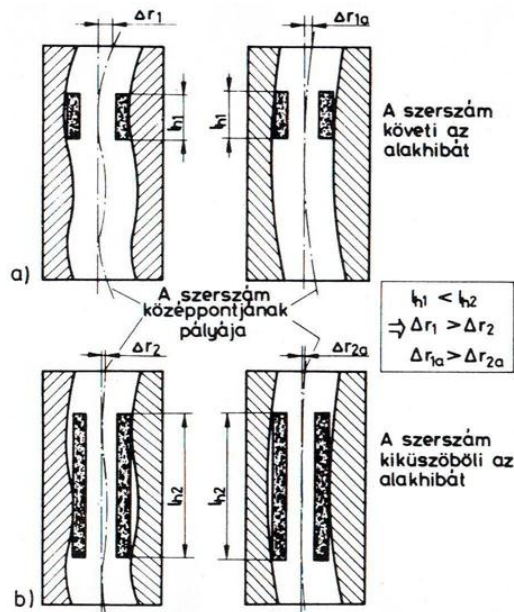
A felületi nyomás hatását a hasáb kopására, az érdességre, a forgácstérfogatra a 3.62 ábra mutatja be.



3.62. ábra. Anyagválasztás, érdességmélység és a hónolóhasáb kopása a felületi nyomástól függően [3]

A hónolóhasáb ideális túlfutása $\frac{1}{4}$ hasábhossz, ha nagyobb, kihordja a furat szélét.

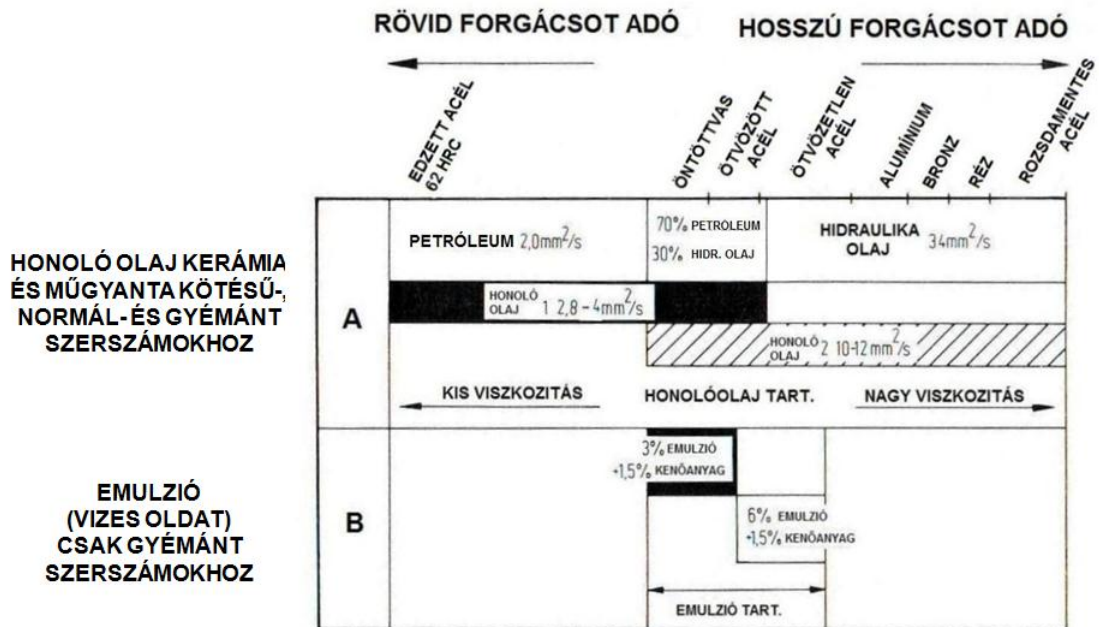
A hasáb hosszának hatását a hengerességi hibára a 3.63 ábrán láthatjuk. Rövid szerszám esetén a hasáb követi az alakhibát, így azt megszüntetni nem tudja.



3.63. ábra. A hónolóhasáb hosszának hatása a hengerességi hibára

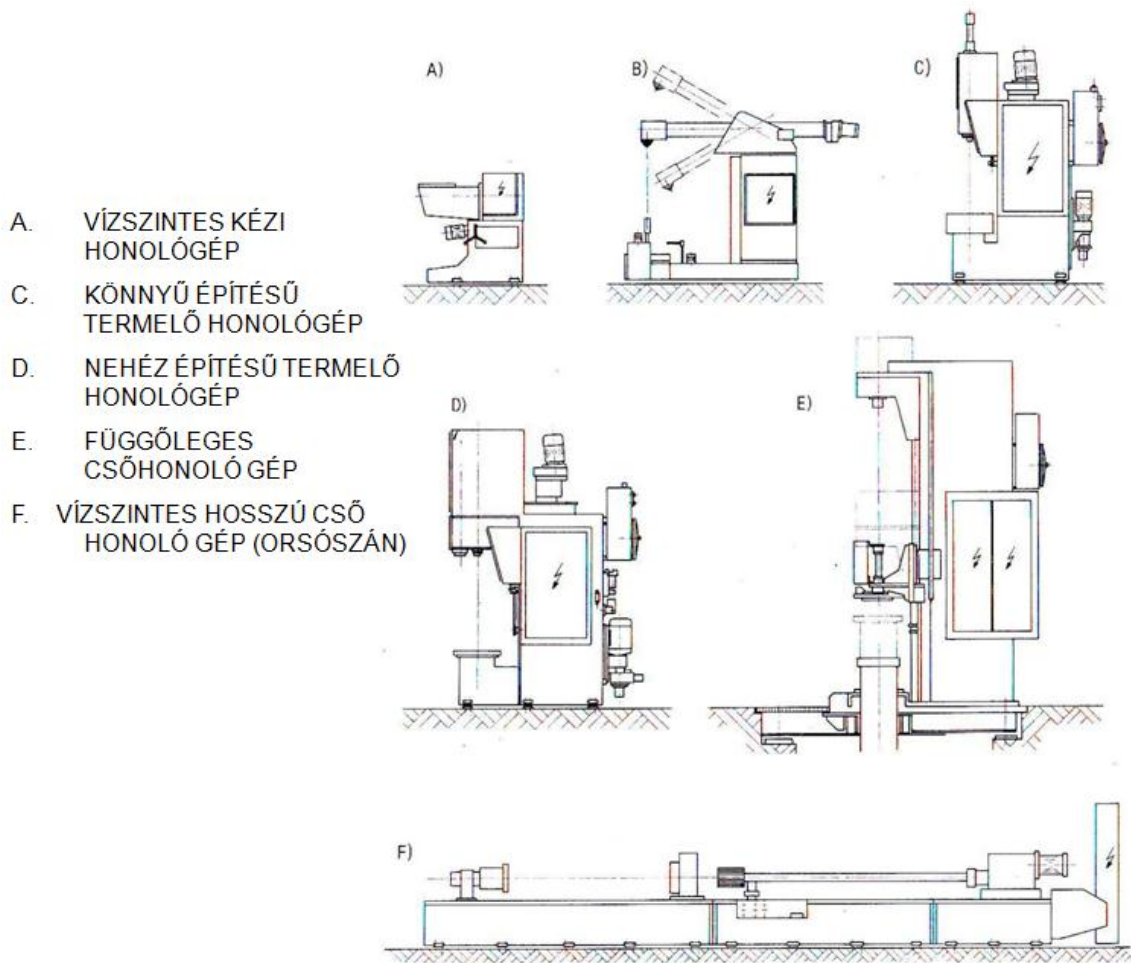
A hasáb szélességének növelésével a köralak-hiba javítható.

A hónolásnál alkalmazott hűtő-kenő anyagokat a 3.64 ábra foglalja össze a megmunkálható anyagok és alkalmazott szerszámok függvényében. A hűtő-kenő anyagok fontos feladata a furat öblítése, a forgácseltávolítás.



3.64. ábra. Hűtő-kenő anyagok hónoláshoz [5]

A 3.65 ábrán néhány jellegzetes hónológép elvi felépítése látható. A kézi hónológépeknél a szerszámforgatás gépi, az alternáló mozgást kézzel biztosítják.



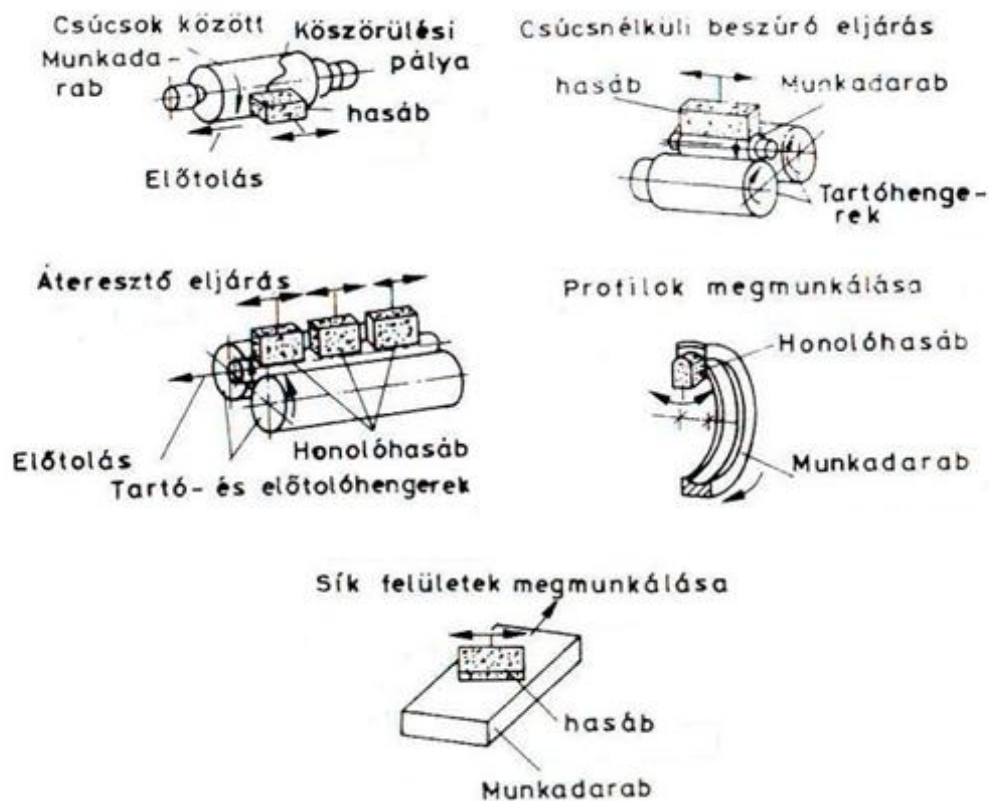
- A. VÍZSZINTES KÉZI HONOLÓGÉP
 C. KÖNNYŰ ÉPÍTÉSŰ TERMELO HONOLÓGÉP
 D. NEHÉZ ÉPÍTÉSŰ TERMELO HONOLÓGÉP
 E. FÜGGŐLEGES CSŐHONOLÓ GÉP
 F. VÍZSZINTES HOSSZÚ CSŐ HONOLÓ GÉP (ORSÓSZÁN)

3.65. ábra. Hónológépek

3.4.3 Tükörsimítás

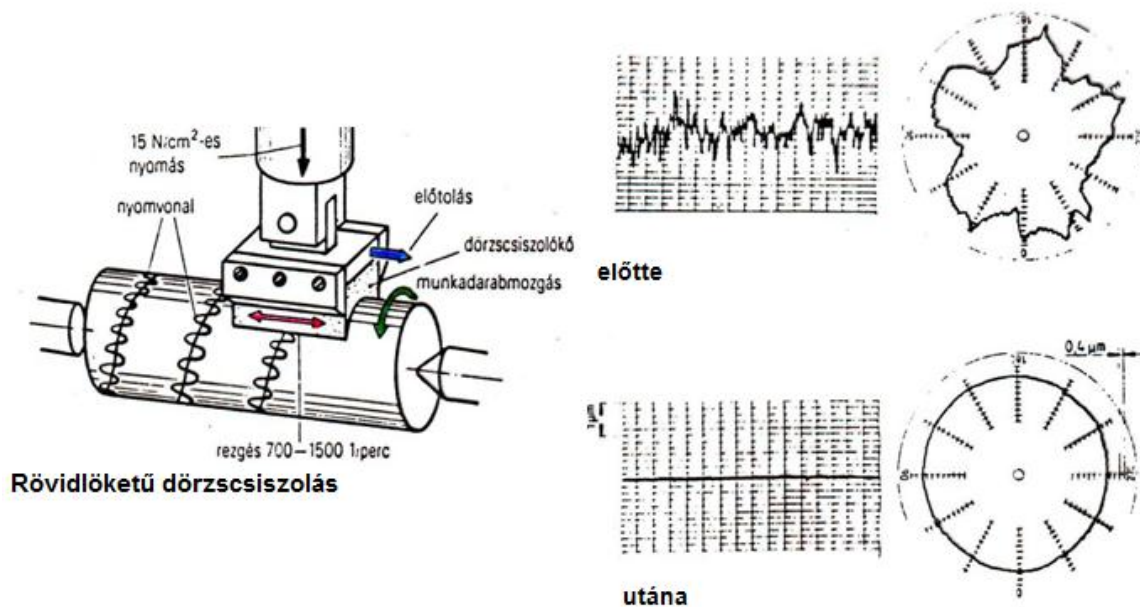
A tükörsimítás, vagy más néven superfiniselés kötött szemcsével – kő, szalag – történő finom megmunkálás, melynek változatait a 3.66 ábrán láthatjuk. A megmunkálás történhet

- csúcsok között, beszúró eljárással; rövid tengelyek
- csúcs nélküli áteresztő módszerrel; csapszeg, dugattyúrúd, vezetőoszlop, hengergörgő, stb.
- profilos felületeken; külső, belső csapágygyűrűk
- sík felületeken; vezetékek, tömítő felületek, stb.



3.66. ábra. A tükörsimítás módjai [1]

A forgácsoló főmozgás a szerszám rezgőmozgása, melynek amplitúdója 2-6 mm, frekvenciája 200-1400 löket/perc. Csúcsok között végzett tükörsimítás (3.67 ábra) esetén a mellékmozgás a munkadarab forgása és a szerszám tengelyirányú előtolása.



3.67. ábra. A tükörsimítás mozgásviszonyai és a megmunkálás eredménye [14]

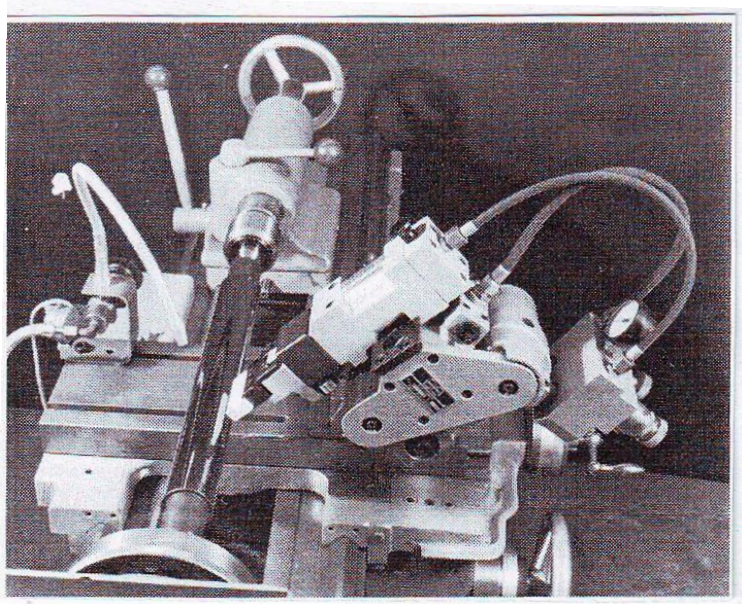
A szerszámot $50-100 \text{ N/cm}^2$ nyomással szorítjuk a megmunkálandó felületre. A köszőrűszemcsék egy menetre szuperponálódott szinusz pályán mozognak. A szerszám felépítése, anyaga – nemeskorund, szilíciumkarbid – hasonló a köszőrűkőhöz, a szemcse nagysága 320-1200 mesh, $19-3 \mu\text{m}$.

Az előtolási sebesség 2 mm/fordulat , a munkadarab forgási sebessége $15-100 \text{ m/perc}$. A ráhagyás max $15 \mu\text{m}$, az elérhető pontosság IT3-IT4, az érdesség $R_z=0,1-0,04 \mu\text{m}$, általában.

Szuperfiniseléssel javítani lehet a kör alakhibát, a hullámosságot, növelni lehet a hordfelületet (70-90%).

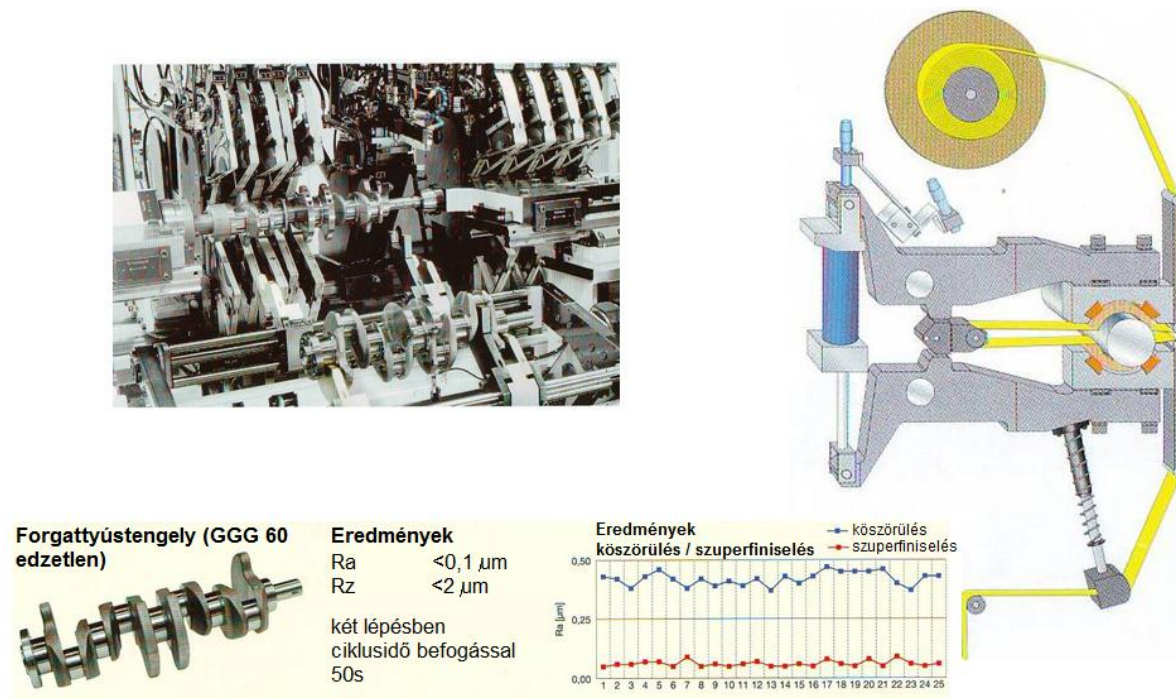
Bőséges, alacsony viszkozitású (hónoló olaj, petróleum + 10-15% olaj) hűtő kenő folyadékra van szükség a megfelelő öblítő hatás miatt. Ha 30 mm -nél szélesebb a szükséges kőméret, az öblítés biztosítása miatt többköves szerszámot kell alkalmazni.

A 3.68 ábrán esztergára pótlólag felszerelhető tükörsimító egység – kővel dolgozó – látható.



3.68. ábra. Esztergára szerelt tükörsimító egység

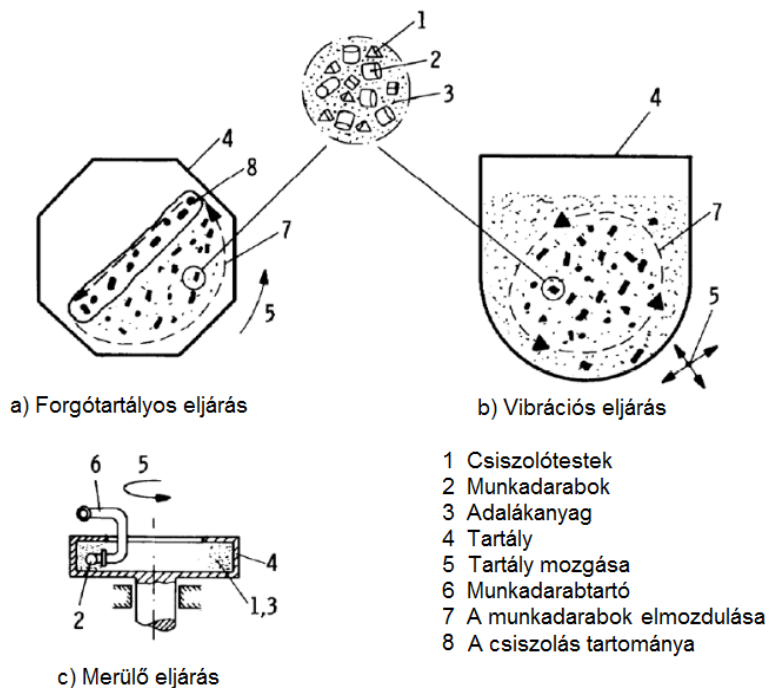
A 3.69 ábrán egy forgattyústengely csapjainak szalagos tükörsítése látható, az ábra jobboldalán a szalagfeszítést és két félköríves papucs segítségével a munkadarabra való nyomását mutatjuk be.



3.69. ábra. Forgattyús tengely szalagos tükörsimítása [16]

3.4.4 Koptató csiszolás

A felületi érdesség javítása, csiszolás, polírozás, durvább megmunkálásként revétlenítés, sorjázás végezhető koptató csiszolással. A csiszolás tartályban történik, melybe a munkadarabokat, köszörűtesteket és adalékanyagot töltik. A munkadarabok és köszörűtestek között a forgácsoláshoz szükséges relatív mozgást forgatással (forgódobos) vagy vibrációval biztosítják (3.70 ábra).



3.70. ábra. A koptató csiszolás eljárásai

A mozgásviszonyok határozatlanok. A „szerszám” természetes kő korund, szilíciumkarbid szemcse kerámia ill. műgyanta kötésben, alakja kocka, gúla, kúp, henger, gömb, stb.

Polírozáshoz lekerekített éleket alkalmaznak.

Az adalékanyag felületaktív folyadék, mely megkönnyíti a forgácsleválasztást és a tisztítást.

Szerszámpolírozásnál természetes anyagokat (pl.: dióhéj-örlemény) is alkalmaznak.

Csiszolással $R_z = 1,5-1 \mu\text{m}$,

Polírozással $R_z < 1 \mu\text{m}$ érhető el.

Felhasznált irodalom a 3. fejezethez:

1. *W. KÖNIG: Köszörülés, dörzsköszörülés, tükrösítés*
Műszaki Kiadó 1983 ISBN: 963-10-4809-8
2. *N. BOGNER, H. HELLETSBERGER, Ch. KRIEGSHABER, H. NOLCHL:*
Schleifen mint CBN und konventionellen Schleifmitteln
Intergrind '88 Conference Budapest
3. *H. K. TÖNSHOFF, B. DENKENA: Spanen*
Springer Verlag 2003 ISBN: 3-540-00588-9
4. *T. ARDELT: Einfluss der Relativbewegung auf den Prozess und das Arbeitsergebnis*
beim Planschleifen mit Planeenkinematik
Diss. TU. Berlin 2001
5. *G. SPUR, Th. STÖFERLE: Handbuch der Fertigungstechnik 3/2*
Hanser Verlag 1980 ISBN: 3-446-12534-5
6. *Tyrolit Schleifmittelwerke Swarovski . G.*
Grindology Boxes, Allgemeine Grundlagen 1998
7. *Granit csiszolószerszám kft. prospektusa, Budapest*
8. *H. TSCHÄTSCH: Praxis der Zerspanntechnik*
Vieweg Verlag 2007 ISBN: 978-3-8348-0279-8
9. *Elaso Mechatronics: Schleifscheiben auswuchten*
10. *E. PAUCKSCH, S. HOLSTEN, M. LINNS, F. TIKAL: Zerspanntechnik 12. Auflage*
Vieweg + Teubner 2008 ISBN: 978-3-8348-0279-8
11. *Rappold-Winterthur Schleiftechnik A. G.*
12. *SZIMFÉK Székesfehérvári Metal, Fék- és Köszörűgépgyár rt.*
13. *K.J. CONRAD: Taschenbuch der Werkzeugmaschinen*
Hanser Verlag 2006 ISBN: 978-3-446-40641-4
14. *A. FRISCHHERZ, H. PIEGLER: Fémtechnológiai szakismeretek*
B+V Kiadó 1994
15. *A. W. Stähli Ag., www.stahli.com*
16. *SUPFINA Grieshaber GmbH., www.supfina.com*

4 NC forgácsolástechnológia

4.1 Az NC/CNC technológia jelentése

A legtöbb szerszámgép funkciójának ellátásához szükséges valamilyen egyszerű vagy bonyolultabb vezérlés. Az alkalmazott vezérlőelemek működése mechanikus, elektronikus, pneumatikus vagy hidraulikus elvű. A vezérlés jellege lehet manuális, automatikus, programvezérelt, távvezérelt stb. Az NC technika neve az angol „Numerical Control” szavak rövidítéséből ered, jelentése: számvezérlés. A különböző gépi megmunkálási technológiák folyamatos fejlődésén belül a számvezérlés megjelenése nagyon jelentős lépés. Alapelve, hogy a gép működtetéséhez szükséges vezérlési adatok számként vannak lefektetve. Számok fejezik ki a munkadarab és a szerszám közötti relatív elmozdulást, az előtolásokat, fordulatszámot, parancsokat a szerszámváltásra, munkadarab-váltásra, hűtő-kenő anyag hozzávezetésre stb. Az első működő magyar NC gép az ERS 200 típusjelű szakaszvezérlésű eszterga volt, amit Csepelen gyártottak és az 1960-as BNV-n mutattak be.

A forgácsoló szerszámgépek széles választékában az ún. „NC gépek” (szinonímaként használható a „CNC gép” kifejezés is, amit lentebb tárgyalunk) külön csoportot képviselnek. A többi forgácsoló géptől természetesen nem a forgácsolási eljárás különbözteti meg, ennek megfelelően beszélünk NC/CNC esztergáról, - marógépről, - köszörűről stb. A kis sorozatú, vagy egyedi gyártásban, javítóműhelyekben a mai napig gazdaságos és ésszerű az ún. „hagyományos gépek” használata, amelyek vezérlése teljesen manuális, ezért folyamatos jelenlétet és munkát igényel gépkézeltől. A forgácsolási műveletek automatizálását először a hagyományos gépek mechanikus elvű vezérlésével oldották meg. Ezeknél a szánok mozgását, vagy esztergáknál a rúdanyag előtolását és a szerszámváltást alakos tárcsákkal vezérelték. (Ilyen módon legjobban az esztergálás automatizálható, ezért viszonylag sokáig nem is ez az eljárás szerepelt az NC fejlesztések középpontjában.) Bonyolult alakú forgástestek vagy felületek előállításánál (a már érintett) másoló szerszámgépek nagyfokú automatizáltságot és rövid gyártási időt valósítanak meg, a sablon miatt a gyártási eljárás ugyanakkor rugalmatlan a gyártmány megváltoztatását illetően. Tömeggyártásnál találkozunk mechanikus programozású célgépekkel, amelyek a munkadarabon végzendő műveletek közül egyszerre többet, vagy akár az összes elvégzik, ha erre a megmunkálás jellege és a tűrések lehetőséget adnak. Ez utóbbi csoportba sorolhatjuk a már megismert többsörös fűrőgépeket, vagy fűrőaggregátókból összeállított gépeket. A célgépek közé tartoznak az ún. „transzfer gépek” amelyeknél a gépbe való belépés és kilépés között minden műveletet teljesen automatikusan hajt végre a berendezés a gépen belüli megmunkálási állomások sorozatán, automatikus darabtovábbítással. A mai transzfergépek vezérlése már a továbbiakban tárgyalt NC/CNC alapú, de a szűk értelemben vett NC/CNC gépeknél jóval rugalmatlanabbak. Általában a munkadarabhoz és a megmunkáláshoz illesztett befogórendszerrel, többsörös fűrőkkel rendelkeznek és nincs szerszámváltó rendszerük, mert ez egyszerre el nem végezhető műveleteket a gépen belül egy vagy több helyileg elkülönülő másik állomás hajt végre.

Az NC gépek a program alapján automatikusan végzik el a megmunkálási lépéseket, megfelelő kiépítéssel akár a munkadarab befogása-kifogása, továbbítása, a szerszámcsere is a program alapján, emberi beavatkozás nélkül történik. A CNC (Computer Numerical Control) gépek vezérlését beépített mikroprocesszoros számítógép végzi, ami a megmunkálási programot a vezérlőszoftver segítségével alakítja át útinformációkká és kapcsolási információkká.

Útinformációk alatt a szerszám illetve a munkadarab mozgáspályáját értjük. A kapcsolási információk alatt a szánokat mozgó motorok és orsók ki-be kapcsolását, a gyorsulások és lassulások, fordulatszámok szabályozását, hűtő-kenő folyadék hozzávezetést stb. értjük. Fontos megkülönböztetni tehát az adott munkadarabhoz/megmunkáláshoz szabadon megírt programot a CNC vezérlőszoftvertől, ez utóbbit üzemprogramnak hívják. A darab gyártásához való programot az alkalmazó szerkeszti meg és egy fájlként jelenik meg, míg az üzemprogram a vezérlőrendszer szerves része, ami a programot futtatja. Egy gépen a tárolókapacitástól és a hosszúságtól függően számos megmunkálási program tárolható, amelyek ismételhetők, változtathatók, így a gyártmány változtatására is rugalmasan reagálhatnak. Manapság az NC programok tárolása a számítástechnikában szokásos adathordozókon történik, a gépeken belül memóriakártyákat és merevlemez alkalmaznak. A CNC gépek további jellegzetes tartozéka a nagyméretű grafikus kijelző és a köréje integrált billentyűzet (Control Panel). Az NC és CNC rövidítéseket szinonimaként lehet használni, jelentésük a ma használatos szaknyelvben megegyezik.

DNC-nek (Direct Numerical Control) nevezik az olyan rendszert, amikor a megmunkálási programokat egy hálózaton belül központi számítógépről töltik le a hálózatba kötött szerzőgépekre. Ilyen rendszerben a felügyelet és a programok módosítása is központilag végezhető.

4.2 Az NC szerszámgép általános jellemzői

Az NC gépek lényegét a legjobban úgy lehet megérteni, ha összehasonlítunk egy hagyományos és egy NC esztergát működés szempontjából.

Fordulatszám.

A hagyományos szerszámgép főorsójának fordulatszámát az eltérő átmérőknek és szerszámoknak megfelelően többször kell változtatni, amit a gépkezelő a forgácsolási folyamatot megszakítva fogaskerék-áttételt váltva hajt végre.

Az NC-gép számára betűk és számok kombinációjából álló kód segítségével programozzuk a kívánt fordulatszámot, amelyet a fokozatmentesen változtatható fordulatszámú motorral valósítunk meg.

Elmozdulás.

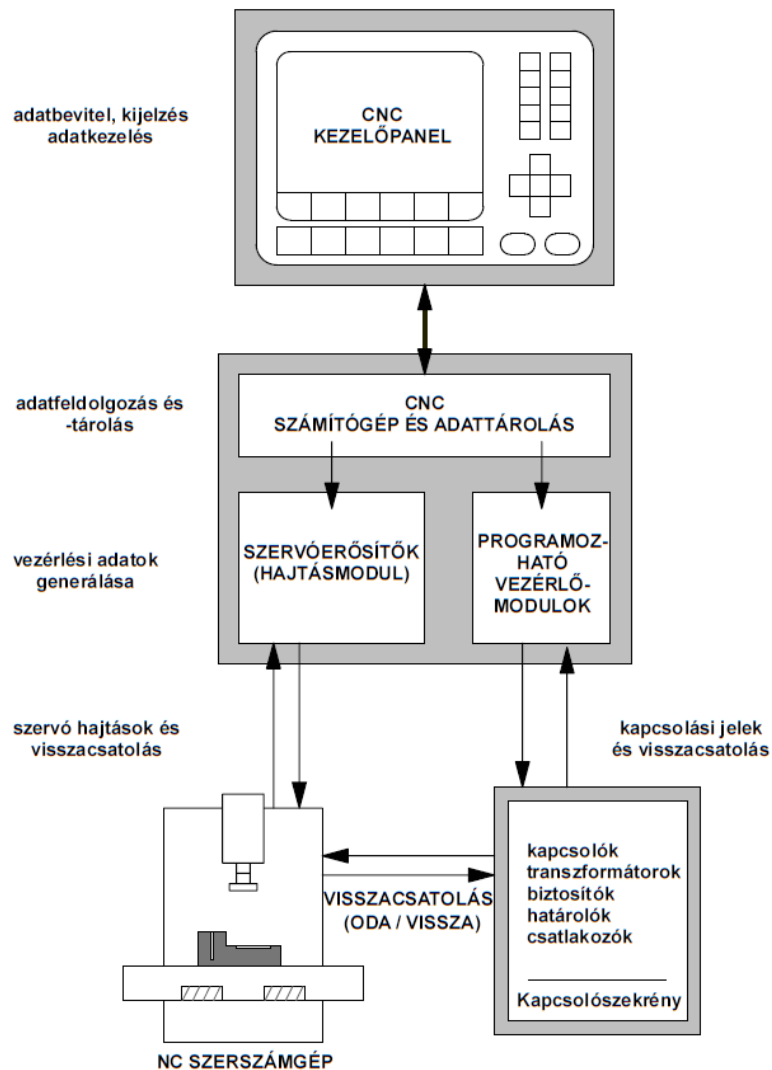
Ha meghatározott *hosszúságot* kell elmozdulni, akkor a szánt mozgó hajtókeréken lévő beosztásos tárcsa (noniusztárcsa) jeleit figyelve az esztergályos állítja le a szánmozgást a kívánt hosszúság elérésekor. Az alakos alkatrészeket csak különleges másolókészülékkel, a gép állításával vagy alakos szerszámmal lehet elkészíteni.

Az előtolás sebessége az előtoló-hajtómű áttételeinek kézi kapcsolásával állítható be.

Az NC eszterga szánjait szinkron motorok mozgatják golyósorsón keresztül. Az elfordulás mértékét és sebességét az orsókhoz, vagy a szánhoz kapcsolt elektronikus útmérő rendszer érzékeli. A program szerinti távolságot fokozatmentesen programozható sebességgel teszi meg a szán. A hossz-szán és a kereszt-szán program szerint összehangolt mozgásával alakos alkatrészek elkészítéséhez szükséges kontúr-menti pálya is bejárható a szerszámmal.

A hagyományos és az NC-gépek közötti alapvető különbség, hogy az NC-gép automatikusan végzi el a forgácsolási és kiegészítő műveleteket. A megmunkálás minősége nem függ a gépkezelőtől és az egymás után gyártott munkadarabok is jóval kisebb méretszóródással készülnek el. A programozás, illetve programváltás gyorsasága miatt az NC gépek rövid előkészületi idővel, rugalmasan használhatók a kis és közepes sorozatú gyártásban. Azonos al-

katrészsok altípusa esetében akár a tömeggyártásban is gazdaságos alternatívája lehet a célgépeknek. Az útmérő- és mozgatórendszereknek köszönhetően NC géppel rövid ütemidővel és nagy pontossággal, szűk tűrésen belül gyárthatók a darabok. Emberi beavatkozásra jellemzően programozás vagy programváltás, szerszámtár-feltöltés, elhasználódás miatti szerszámcsere, karbantartás illetve üzemzavar esetében van szükség. A programból történő működés mellett egyedi és egyszerű forgácsolási feladatoknál kézi üzemmódban is használhatók az NC gépek, ekkor a kezelőpultról nyomógombok segítségével közvetlenül történik az irányítás. Az NC gép és vezérlés alapelvét a 4.1. ábra mutatja be.



4.1. ábra Számvezérlésű szerszámgép alapelve ([1] alapján)

A mellékidők csökkentésének hatékony módszere a munkadarab cseréjének automatizálása, amire gyakran alkalmassá teszik a CNC gépeket. Ez vonatkozik a nyers darab befogására és a készdarab kivételére. A munkadarabokat palettán rögzítve a palettával együtt fogják be a gép munkaterében. A paletta a munkadarab mozgatására is szolgálhat különböző technológiai lépések között. Kisebb munkadarabokat csoportosan is be lehet fogni egyetlen palettán.

Amikor a leszorítás és tájolás a gépen belüli készülékben történik, robottal vagy egyszerűbb esetben manipulátorral helyezhető be, illetve vehető ki automatizáltan a munkadarab. Ha rúdanyagból történik a megmunkálás, esztergagépeken a főorsón keresztül automatikusan, megfelelő hosszúságban tovább is adagolható a nyersanyag.

Abban az esetben, ha többféle megmunkálási programot kell váltogatni, a palettákat illetve a munkadarabokat elektronikus vagy optikai alapú felismerő rendszerrel is felszerelhetik, hogy a megfelelő program szerint történjen a megmunkálás. Ez vonatkozhat a kezelő által beállított program helyességének ellenőrzésére, vagy teljesen automatikus programválasztásra.

A megmunkálás pontosságát alapvetően befolyásolhatja a munkadarab szabatos felfekvése a felfogatósi felületeken, amit például pneumatikus elven lehet ellenőrizni. A simító műveleteknél a gépbe épített mérőrendszer biztosítja a folyamatosan türesem belüli megmunkálást. Az állásidők és hibaüzenetek tárolására külön memóriaterület szolgál a vezérlésen belül. Ezzel a súlyos, vagy gyakori hibák okainak feltárása és a hibák kiküszöbölése egyszerűbbé tehető.

Az NC-szerszámgép külső formájában is eltér a hagyományostól. Nincsenek kézikerekek, kapcsolókarok, ezek helyén motorok és úradók találhatóak. A motorok forgó mozgását holtjáték-mentes golyósorsó alakítja egyenes vonalú elmozdulássá. A mellékidő-csökkenés érdekében a szánokat mozgató tengelyek üresjáratban nagy gyorsulással és sebességgel mozognak, ami merevebb hajtásláncot és csapágyakat, valamint kiterjedt kenési rendszert igényel. Az automatizáltsági szinttől függően még számos konstrukciós jellemzőben és segédberendezésben találunk eltéréseket a hagyományos gépektől. A nagy forgácsteljesítményű esztergák és marók gépvázát úgy alakítják ki, hogy a forgács lehulljon a forgácstartóba és az ne zavarhassa a megmunkálást. A közvetlen felügyelet nélküli gépeknél külön mosó és öblítő rendszer szolgál a munkatér tisztán tartására. Szárazon vagy minimálkenéssel működő gépnél sűrített levegőt alkalmaznak, illetve úgy alakítják ki a gép felületeit, hogy a forgács ne tudjon megakadni vagy megtapadni. A lehulló forgács a gép saját forgácstartójába kerül, vagy a gép alatt futó láncos kihordó viszi el egy külső tárolóba. A CNC forgácsológépek igen jellegzetes megjelenését adja, hogy a munkatér és a gépváz, a hajtás, kenési- és pneumatikus rendszer, valamint a villamos berendezések burkoltak. A design mára a gépgyártók fontos marketingeszközévé vált.

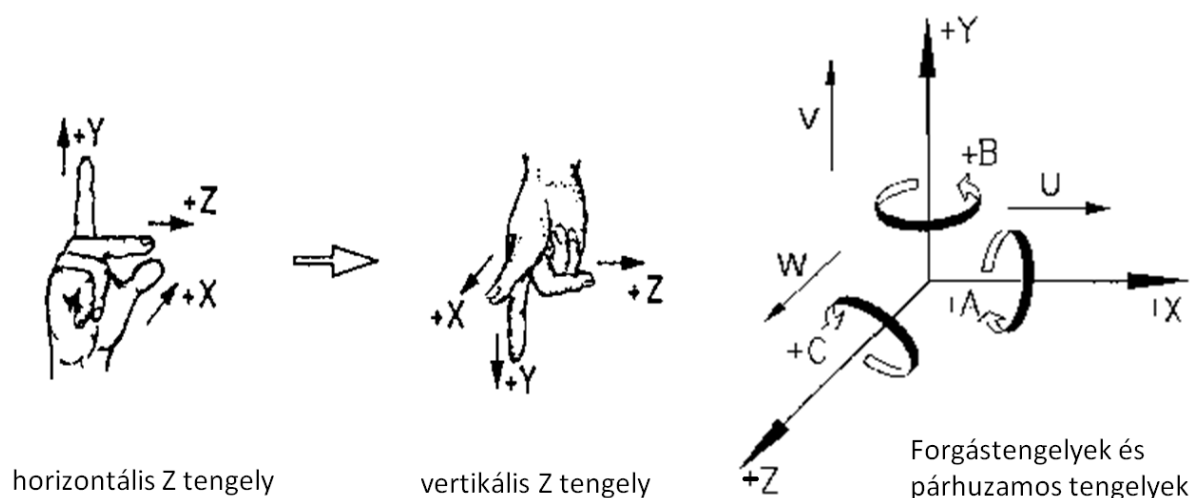
A gépek lényegének ismeretében az NC/CNC megmunkálás előnyei a következőképpen foglalhatók össze:

- bonyolult alkatrészek állíthatók elő, amelyek másképp hosszú előkészületi időt, vagy célgépet igényelnének
- pontosabb ütemezhetőség
- rövidebb átfutási idő
- rövidebb szállítási idő
- kisebb tőkelekötés
- nagy rugalmasság
- csökkenő optimális sorozatnagyság
- állandó pontosság (kis méretszórás)
- csökkentett ellenőrzési költségek
- kisebb selejtköltségek
- egy kezelő több gépet is ki tud szolgálni

- nagyobb kihasználtság
- gyártási kapacitás növelése
- integrálhatóság rugalmas gyártórendszerre.

4.2.1 Koordináta rendszer

Az NC gépek működésének lényege a szerszám és/vagy a munkadarab térbeli vagy síkbeli programozott mozgatása. A mozgások egyértelmű értelmezése érdekében a koordináta tengelyek jelölése szabványokban rögzített (DIN 66217, ISO R 841). Mindig a jobbsodrású rendszert alkalmazunk. A 4.2. ábrán látható az egyes tengelyirányok értelmezése a jobbkéz-szabályra alkalmazva.



4.2. ábra Koordináta rendszer elhelyezése és a tengelyek elnevezése [2]

A matematikában használatos X, Y és Z tengelyekkel határozzuk meg a teret, ezek az alaptengelyek. Általános, hogy a középső ujjal meghatározott Z tengely forgó szerszámoknál a szerszámtengelyt jelenti, esztergáknál pedig a munkadarab tengelyét. Az alaptengelyek körüli forgómozgás irányának jelölése A, B és C a 4.2. ábra szerint. A gép típusától függően sokszor további tengelyek is használatosak, amelyeket szintén betűkkel, vagy a betűk után írt számokkal különböztetnek meg.

4.2.2 Vonatkoztatási pontok

A koordináta rendszeren belüli mozgások megvalósítása érdekében egyértelműen meghatározott, vagy éppen a céloknak megfelelően változtatható kiindulási pontokra van szükség.

Gépi nullpont:

A gépi nullpontot a gép gyártója rögzíti, és a gépen lévő összes további koordináta rendszer és vonatkoztatási pont kiindulási pontja. Állandó, nem módosítható és a szerszámgép minden elmozdulást ebben a koordináta rendszerben értelmez.

Referenciapont:

A szerszámgép gyártója jelöli ki, rendszerint a munkatér valamely sarokpontjának közelében és arra szolgál, hogy a szánokat fizikailag ebbe a meghatározott kiindulási helyzetbe mozgassák. E művelet a gép bekapcsolásakor vagy hibaelhárításnál használatos és a szán-

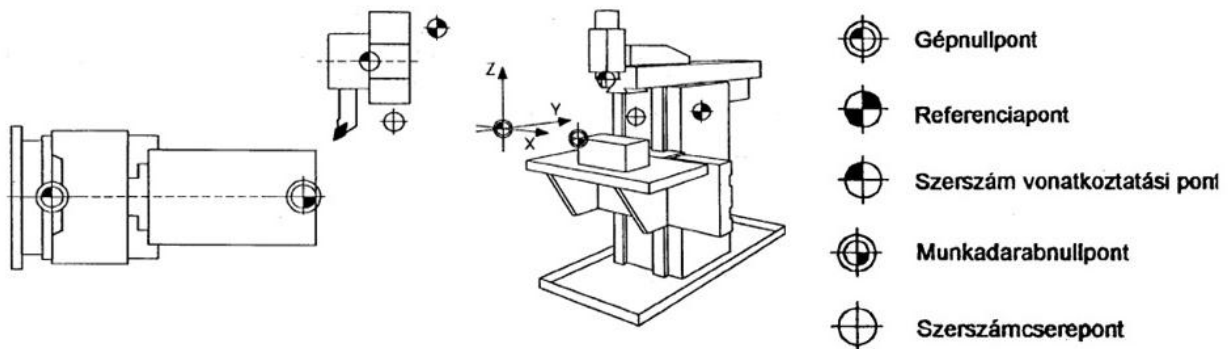
mozgás mérőrendszerének hitelesítése, illetve ellenőrzése a célja. A referenciapont elérése tájolóást biztosít és a munkatéren belül, mivel innen minden pont egyértelműen elérhető. A referenciamenet általában automatikus módban is megvalósítható. A referenciapont is állandó és a gépi nullpontra vonatkoztatva mindig ugyanazok a számszerű koordinátái.

Munkadarab nullpontja:

A munkadarab nullapontja a munkadarab koordinátarendszerének kezdőpontja, ezért mindig az adott megmunkálási programhoz illesztetten kell kijelölni.

Szerszám vonatkoztatási pont:

A szerszám dolgozó élének helyzetét adják meg ehhez a ponthoz képest. Jelentősége abban áll például, hogy ugyanazon szerszám élének helyzete az élezés vagy lapkacsere után megváltozik, így végig ugyanazokkal a koordinátákkal dolgozva megváltozna a fogásmélység, illetve a megmunkálási hossz. Ennek elkerülésére a szerszám vonatkoztatási pontra kell a szerszám (a forgácsoló él) helyzetét korrekciózni.



4.3. ábra Vonatkoztatási pontok esztergánál és marógépnél [2]

4.2.3 NC vezérlési rendszerek

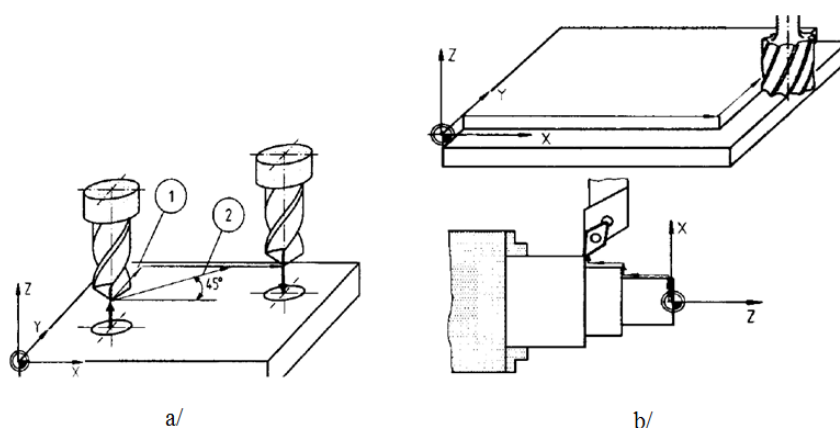
Alapvetően négy vezérlési elvet különböztetünk meg a munkadarab, illetve a szerszám mozgáspálya térbelisége és a közben végezhető megmunkálás szempontjából.

Pontvezérlés

A gépnek két működési állapota van. A pozicionálás közben a tengelyek nagy sebességgel mozogtatják a munkadarabot és/vagy a szerszámot a megmunkálási helyzetbe. Nincs funkcionális összefüggés a különféle koordináta irányú mozgások között. A vezérelt elmozdulás közben megmunkálás nincs. A megmunkálási helyzet elérésekor kezdődhet meg a forgácsolás, de ekkor már csak az orsó tengelyének irányában van elmozdulás (előtolás). Egyszerű és olcsó vezérlési mód, a forgácsoló gépek közül a koordináta fűrógépek említhetők példaként.

Szakaszvezérlés

A szerszám a szánmozgásoknál valamely koordináta irányában fogásban lehet, de nincs összefüggés a különféle koordináta irányú mozgások között.

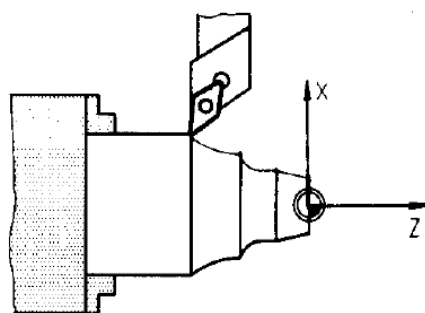


4.4. ábra Pontvezérlés (a) és szakaszvezérlés (b) tipikus esetei [2]

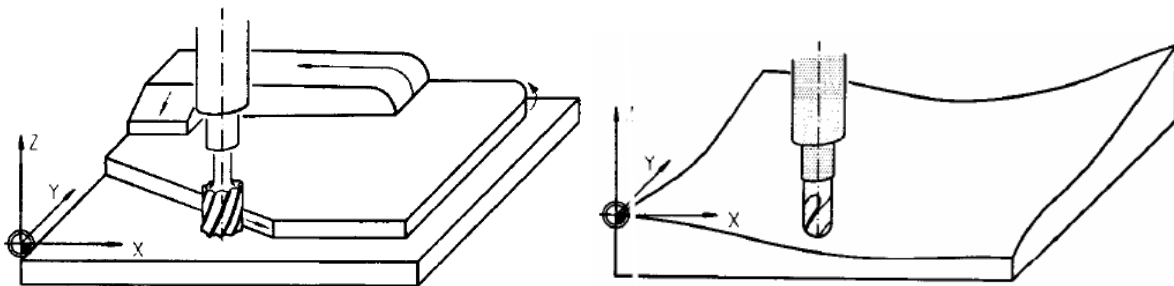
A szerszám egyszerre egyetlen tengely irányában a kiinduló ponttól a befejező pontig egyenes mentén mozog. A bővített szakaszvezérlésnél két tengely mentén egyszerre is megvalósítható az elmozdulás, de csak a koordinátatengellyel meghatározott szög alatt haladó egyenes szakaszon, görbe mentén nem. Szakaszvezérlésűek az egyszerű NC esztergák és marók.

Pályavezérlés

A pályavezérlésű szerszámgépeknél a különféle irányú mozgások között funkcionális összefüggés van és a mozgás során megmunkálás történik. Így a szerszámok és a munkadarabok egymáshoz viszonyított mozgása valamilyen függvénykapcsolattal adható meg. Bonyolult síkbeli, vagy térbeli görbék járhatók be a szerszámmal. A kontúrvonalat megadó görbét a gép elemi útszakaszok sorozatával – interpolálással – közelíti meg. A pályavezérlés jellemzője a dimenziók száma, ami a megmunkálás alatt egyszerre összehangolt mozgást végző tengelyek számát jelenti, továbbá, hogy egyszerre hány síkban végezhető interpoláció. Ennek megfelelően beszélünk 2D, 2½D, 3D, 5D megmunkálásról. A fél dimenziószám azt jelenti, hogy a fennmaradó tengelynél csak szakaszos elmozdulás lehetséges. Pályavezérlésű gépeknél az előtoló mozgást fokozatmentesen szabályozható sebességű mellékajtómű végzi külön-külön minden tengelyen. Az interpolálás alatt az egyes tengelysebességek folyamatos változtatásával biztosított a mindenkor szükséges térbeli pályamenti eredő sebességvektor megtartása.



4.5. ábra Pályavezérlés elvi lehetősége esztergálással [2]



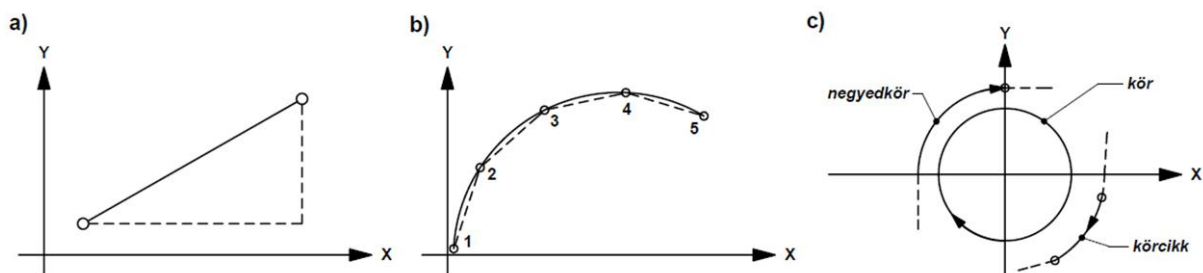
4.6. ábra Pályavezérlés elvi lehetőségei marásnál [2]

A pályavezérléssel általában esztergáknál, maróknál, fogaskerékgyártó gépeknél találkozunk. Valódi térbeli alakzatok általában 5D pályavezérléssel munkálhatók meg, mert a geometria lekövetése mellett a maró optimális élszögeit is be kell állítani.

A pálya interpolációja több módon történhet:

- lineáris interpoláció
- kör interpoláció
- parabolainterpoláció
- spline interpoláció.

Legegyszerűbb a lineáris interpoláció, ekkor két síkbeli, vagy térbeli pont között folyamatosan, egyenes mentén mozog a szerszám. Elméletileg bármilyen görbe hűen megközelíthető ilyen módszerrel, ha elegendően rövid szakaszokra bontjuk azt. A lineáris interpoláció azonban túlságosan számításigényessé és pontatlanná válik a bonyolultabb görbéknél. Kör, negyedkör vagy körcikk menti elmozduláshoz a kifejezetten erre alkalmas körinterpolációt használják, de a legtöbb vezérlés egyszerre csak két tengely menti körinterpolációra képes (az XY, XZ ill. YZ síkokban). A három- és öttengelyes marógépeknél a szimultán mozgások vezérlésének optimális módja a parabola- és a spline interpoláció. (A spline olyan görbe, amely egymáshoz csatlakoztatott polinomszakaszokból áll. Leggyakrabban harmadfokú polinomokat használnak.)



4.7. ábra a) és b) lineáris, c) körinterpoláció elvi megvalósítása ([1] alapján)

Az interpoláció során a kiadott mozgásparancsok átviteli felbontása általában 0,01..10 μm közötti. A nyugodtabb járás és jó felületi minőség elérése érdekében a legmodernebb be rendezéseknél az átviteli felbontás nano illetve piko tartományú. Ez természetesen nem vonatkozik automatikusan a megmunkálás pontosságára!

4.3 CNC szerszámgépek

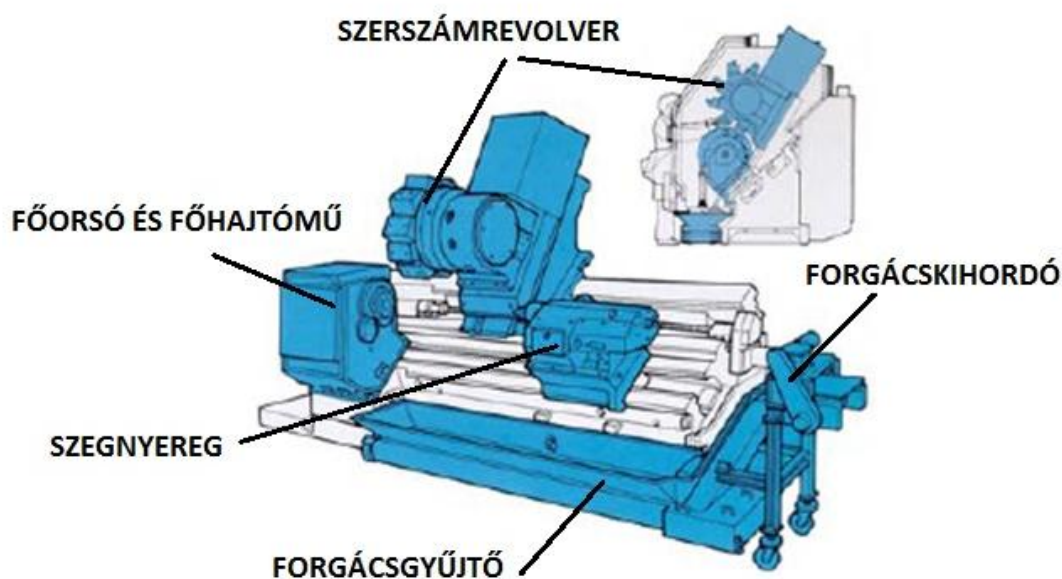
A numerikus vezérlés megjelenésével a hagyományos szerszámgép-építési elvek fokozatosan szinte teljesen átalakultak és új gépkonstrukciók fejlődtek ki, amelyeknek mára számos változatban vannak jelen a piacon. A következő alpontok néhány jellegzetes gép kialakítását tárgyalják.

4.3.1 Esztergagépek

Az NC esztergák többféle szempont szerint csoportosíthatók:

- vízszintes, vagy függőleges orsóelhelyezés
- vízszintes vagy döntött ág
- orsók száma: 1, 2 vagy több
- egy vagy több szerszámrevolver.

A 4.8. ábra egy jellegzetes NC esztergagép felépítését mutatja be (burkolatok nélkül). Annak érdekében, hogy a forgács ne gyűljön össze a szánokon és a vezetékeken, a gép ágyát 45°-ban megdöntik, így a forgács külső beavatkozás nélkül is lehullik a forgácstartóba.



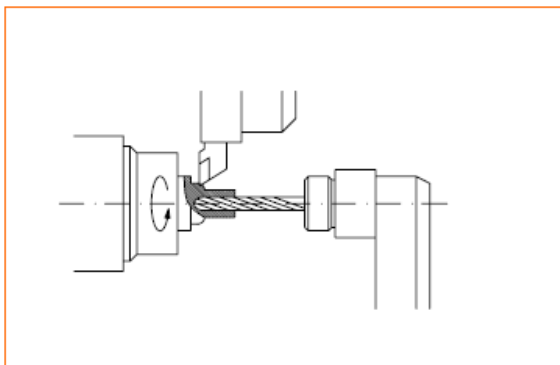
4.8. ábra NC eszterga felépítése [1]

A CNC eszterga legalább két NC tengellyel rendelkezik, mindkettő a szerszámotartót (leginkább a szerszámrevolvert) mozgatja. Az egyik NC tengely a munkadarab tengelyével párhuzamos hossz-szánhoz tartozik, ami közvetlenül a gépágyon elhelyezett lineáris vezetéken mozog. A rövidebb második szán a keresztcsán, ami a sugárirányban mozgatja a szerszámot és a hossz-szánon elhelyezett vezetéken mozog. A szerszámváltás a revolver forgatásával automatikusan (program szerint) történik. A főorsó tokmánnyal, patronnal, vagy csúccsal támasztja illetve meneszti a munkadarabot. A patron vagy a tokmány nyitása-zárása, csakúgy, mint a munkadarab továbbítása automatikus működtetésű. A főorsóval szemben elhelyezkedő

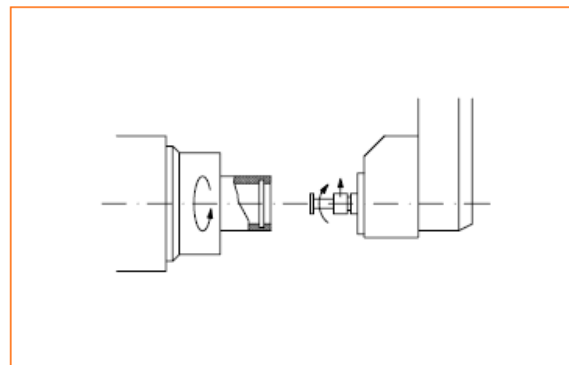
szegnyereg a munkadarab hosszának megfelelően szintén automatikusan állítja be a csúcs távolságát, ha ez szükséges.

Az esztergagépek számos típusával találkozhatunk a bemutatotton kívül. Egyre terjednek például az olyan esztergagépek, amelyek két szemben álló, egytengelyű tokmánnal vannak felszerelve, így a munkadarab befogása mindkét oldalról egy gépen belül lehetséges (2.1 fejezet 2.25. ábra). Ilyenkor legalább az egyik orsó (az ellenorsó) NC hajtással el tud mozdulni tengelyirányban. A második tokmányhoz egy második revolverfej tartozik. A két revolverfej egymástól független, de akár ugyanazt a munkadarabot is meg lehet velük (egyszerre két oldalról) munkálni. Az ellenorsós esztergák viszonylag kicsi, de összetett alkatrészek nagyszorozatú gyártásában gazdaságosak.

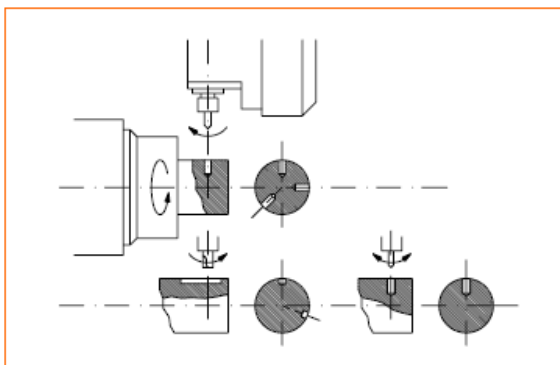
A CNC esztergaközpontok olyan gépek (4.9. ábra), amelyek alapvetően esztergálás-hoz és központos furatok elkészítésére alkalmasak, de a revolverfejben viszonylag kis teljesítményű saját hajtással ellátott maró vagy fűrészszámok is elhelyezhetők. Ezzel a megoldással keresztfuratok, nem központos tengelyirányú furatok, lelapolások stb. is megmunkálhatók. Bizonyos gépek főorsója a függőleges síkban elfordítható, ezekkel ferde lelapolások és ferde furatok is elkészíthetők.



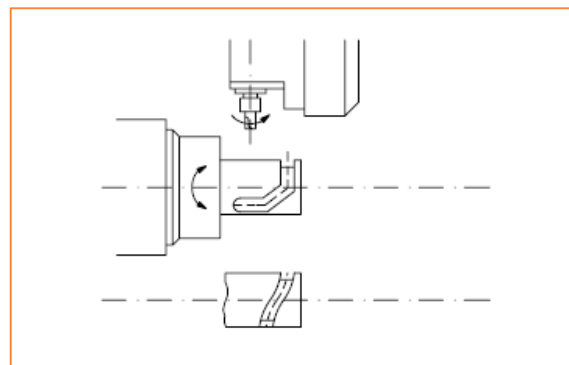
1. Forgó orsó, haladó szerszám



2. Forgó orsó, forgó szerszám



3. Szögben pozicionált orsó, forgó szerszám

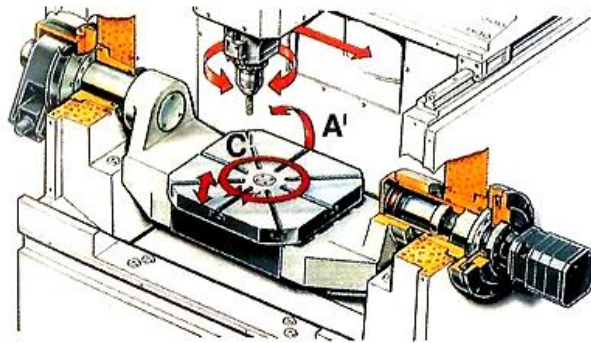


4. Szögben vezérelt orsó, forgó szerszám

4.9. ábra Esztergaközponton végezhető műveletek [1]

4.3.2 Marógépek

A 2.3.7 pontban a függőleges orsójú NC marógépek tárgyalásánál 3D marásra alkalmas konstrukciókat vázoltunk fel. Az járműiparban széles körben használt legösszetettebb NC marógépnek az 5D megmunkáló központok tekinthetők. Ebben a csoportban is találkozunk vízszintes orsójú (horizontális) és függőleges orsójú (vertikális) gépekkel. Az első három NC tengelyt az orsóházat mozgó X, Y, Z tengellyel adhatjuk meg, amelyek a korábbi értelmezés szerint egymásra kölcsönösen merőlegesek. A 4. és 5. tengelyt elterjedten bölcső és körasztal forgástengelyei adják, ahogy a 4.10. ábrán látható vertikális megmunkálóközpont részleténél látható.



4.10. ábra 5D vertikális megmunkáló központ munkatere [1]

Más gépeknél a marófej elforgatása és billentése biztosítja a negyedik és ötödik tengelyt. Az egyszerűbb 5D gépeknél a negyedik és ötödik tengely csak pozicionálásra szolgál.

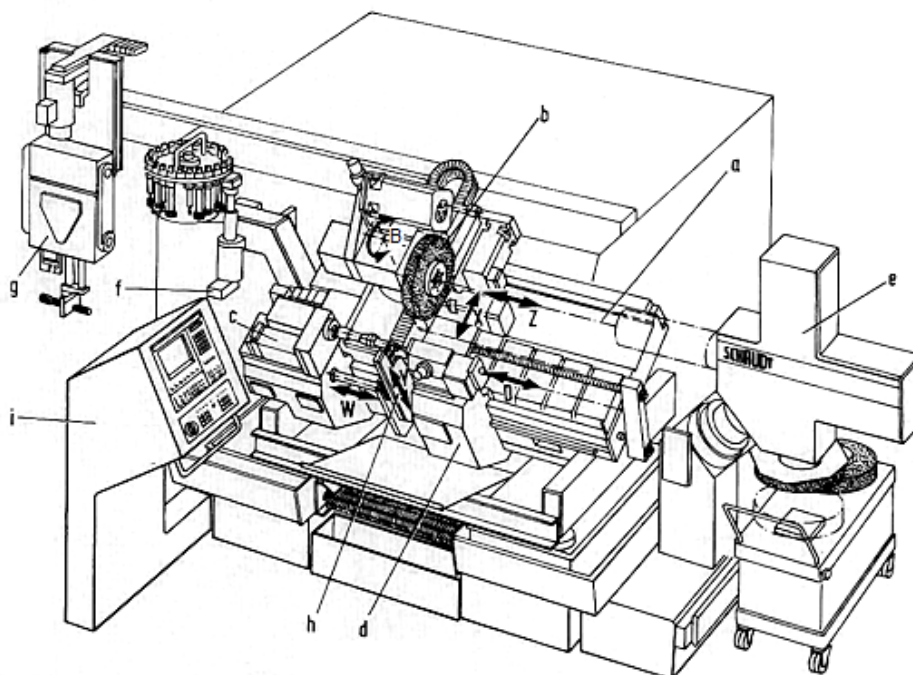
4.3.3 Kőszörűgépek

Mivel a kőszörűgépek is egyre nagyobb szerepet kapnak napjaink nagypontosságú járműipari alkatrészeinél, a rugalmas és gazdaságos sorozatgyártást lehetővé tevő NC technológia itt is teret hódított. Példaképpen a főtengely, vezérműtengely, hajtóműtengelyek gyártósorai már elképzelhetetlenek NC kőszörűgépek alkalmazása nélkül. A szerszámhály NC vezérlése mellett a szerszám- és munkadarab váltás automatizálása is elterjedt.

A viszonylag egyszerű 2 NC tengelyes palást- és profilkőszörűktől a 9 tengelyes szerszámkőszörűkig sokféle kivitel található a piacon. A kőszörüléshez való NC vezérlések több szempontból is más követelményeknek kell megfeleljenek, mint például a marógépekhez, vagy esztergákhoz használtak:

- nagyobb pontosság, nagyobb mérési és programozási felbontás ($\sim 0,1 \mu\text{m}$).
- szélesebb előtolási sebességtartomány (0,02..60 m/min)
- kőszörülési ciklusok és alprogramok (pl. oszcillálás, közelítés lépésekben, kő leszabályozás)
- a leszabályozás miatt csökkenő korongátmérőhöz illesztett fordulatszám korrekció
- kontúr programozása

A 4.11. ábrán egy CNC palástkőszörű látható.



4.11. ábra. CNC palástköszörű vázlata (a - ferde ágy; b - köszörű egység; c - munkadarab orsó konzolja; d - szegnyereg konzolja; e - automata korongcserélő; f - csapos korongok automata cserélője; g - munkadarab cserélő; h - elektronikus mérőkészülék; i - CNC vezérlés) [1]

4.4 Az NC program alapjai

Az NC gépek programjainak elkészítésekor igen sok számítási feladatot kell megoldani, hogy a munkadarab felfogási, geometriai adatait, szerszám-pálya adatokat, szerszám méretadatokat, a technológiai adatokat olyan formába hozzuk, hogy azt a szerszám-gép vezérlőberendezése megértse és az utasításoknak megfelelően a feladatot egyértelműen végrehajtsa.

A program utasítások sorozatából áll, amelyben alapvetően a munkadarab és a szerszám közötti relatív elmozdulás mértéke és sebessége van lefektetve, aminek eredményeképp a megkívánt anyagleválasztás megtörténik. Ezen út és sebességinformációk mellett kiegészítő kapcsolási információk és segédparancsok szerepelnek a programban.

Az NC program felépítése [4]

A CNC vezérlések programozási nyelve - hasonlóan a számítógépi programnyelvhez - speciális szintaxissal és szemantikai szabályokkal rendelkezik. Az NC program mondatok sorozatából áll, melyek utasításokat megtestesítő szavakat tartalmaznak. A mondatokat a programtárolóból adott sorrendben olvassa ki és dolgozza fel a vezérlés, és azok alapján szerszámmozgásokat vagy kapcsolási műveleteket hajt végre. Az egyes utasításokat általában "szó"-nak nevezik és a több szóból álló "mondat" legtöbbször a megmunkálási folyamat valamely ciklusának egy szakasza (pl. szerszám előrefutás, visszafutás). A mondatok számozottan sorakoznak egymást követő sorokban.

Egy-egy mondat egy vagy több szóból áll, de a címzési eljárás segítségével a szavak a mondaton belüli helyüktől függetlenül dekódolhatók, így a szavak sorrendje tetszőleges. Az utasítások típusai.

- geometriai információk a szerszám és a munkadarab közötti relatív elmozdulás vezérlésére, NC tengelyenként van megadva, mm-ben.
- technológiai információk az előtolási sebesség, orsó fordulatszám, használandó szerszám kiválasztásának beállításához.
- mozgásinformációk, amelyek a mozgás típusát definiálják: gyorsjárat, lineáris interpoláció, körinterpoláció stb.
- kapcsolási információk: szerszámváltás, HK hozzávezetés be/ki kapcsolása stb.
- korrekciók: szerszámhossz, maró átmérő, élrádiusz, nullponteltolás.
- ciklusok és alprogramok.

A szerszám programozott pontja és a megmunkálandó kontúron lévő célpont nem esik egybe. Ugyanakkor célszerű, ha az alkatrészprogramban a rajzról leolvasható koordináta értékek szerepelnek. A korszerű számítógépes számvezérlés alkalmazása esetében nem szokás bevonni a forgácsoló szerszám átmérőjét vagy csúcssugarát a munkadarab körvonalának számításába. A CNC vezérlés mikroszámítógépe és szoftvere a programozó helyett elvégzi az egyentávolságú pálya meghatározását. Ehhez meg kell adni a vezérlés számára a lekerekítési sugár nagyságát és az elméleti szerszámcsúcs helyét. Ezeket az adatokat a gépkezelő a gép beállításakor egyéb szerszámadatokkal együtt adja be a korrekciós tárolóba.

A program elkészíthető kézzel beírva, mondatról mondatra meghatározva a megmunkáláshoz, létrehozandó felülethez szükséges parancsokat. Bizonyos gépek és forgácsleválasztási feladatok lehetővé teszik az ún. tanító (teach) programozást. Ekkor a kezelő kézi vezérléssel legyárt egy darabot és a gép megjegyzi és letárolja a teljes folyamatot, amit később, mint programot meg tud ismételni, illetve a létrejövő program átírható. Az ún CAD/CAM (CAD: Computer Aided Design – számítógéppel segített tervezés; CAM: Computer Aided Manufacturing – számítógéppel segített gyártás) képesek 3D testmodell és ismert gép– illetve szerszámparaméterek alapján a CNC megmunkálási program generálására. Bonyolult alkatrészek vagy például valódi 5D megmunkálás programozása gyakorlatilag csak ilyen módszerrel valósítható meg.

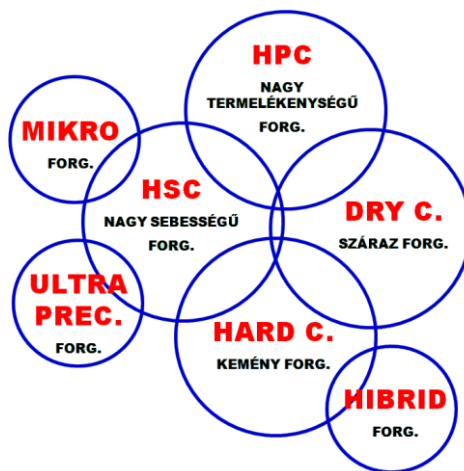
A 4. fejezethez felhasznált irodalom:

- [1] HANS B. KIEF: NC/CNC Handbuch 2005/2006;
Carl Hanser Verlag München Wien; 2005 ISBN: 3-446-40039-7
- [2] GYUKLI ZOLTÁN, KOCSIS IMRE: CNC praktikum – Alapismeretek és CNC programozás,
BME Gyártástudomány és -technológia Tanszék
- [3] MARKOS SÁNDOR, SZALAY TIBOR: Szerszámgépek, oktatási segédlet,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gyártástudomány és -
technológia Tanszék
- [4] Dr. MÁTYÁSI GYULA: NC technológia és programozás
Műszaki Könyvkiadó Budapest, 2001 ISBN: 9631630765

5 Korszerű technológiák, új irányzatok a forgácsolási technológiában

A versenyképesség, termelékenység állandó növelési kényszere kihívást jelent a technológia fejlesztésének. A gyártási költségek, átfutási idő csökkentése, a gyártás rugalmasságának, minőségének, megbízhatóságának növelése, új anyagok megmunkálása, környezetvédelmi előírások szigorodása következtében intenzív fejlesztés folyik a technológiai eljárások, szerszámgépek és szerszámok területén.

Az utóbbi évek fejlesztése során kialakult új technológiai területeket és azok kapcsolódását szemlélteti a 5.1 ábra.

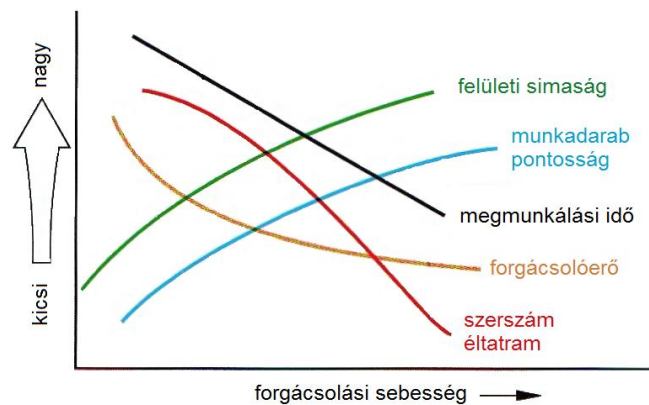


5.1. ábra. Az utóbbi évek technológiai fejlesztései [1]

5.1 Nagysebességű forgácsolás (HSC)

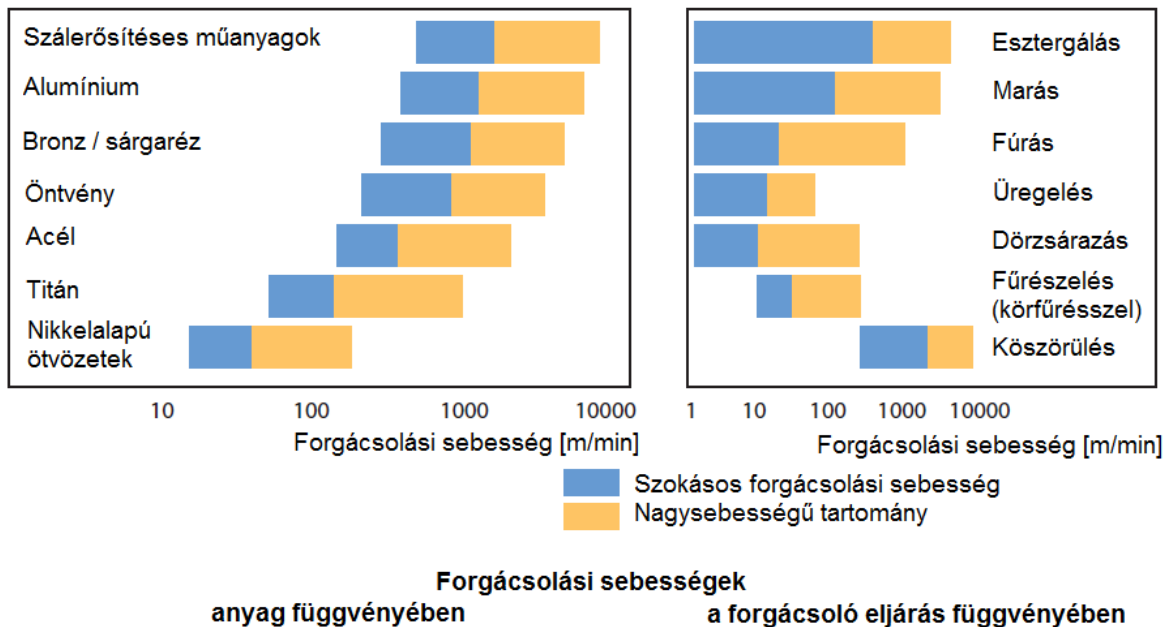
HSC (high speed cutting) = forgácsolás nagy sebességgel és előtolással, kis fogásmélységgel, a megmunkálási idő és a felületi érdesség csökkentése, az utólagos kézi munkák, ciszolás, polírozás kiküszöbölése céljából.

A forgácsolási sebesség növekedésének hatását a 5.2 ábrán [2] láthatjuk. A megmunkálás pontossága, a felület simasága nő, a megmunkálási idő, forgácsoló erő csökken, de a szerszám élettartama is!



5.2. ábra. A forgácsolási sebesség növelésének hatása [2]

A forgácsolási sebesség és előtolás határa a hagyományos és a HSC között a megmunkálható anyagtól és eljárástól függ (5.3. ábra).



5.3. ábra. Forgácsolási határsebesség a hagyományos és a nagysebességű forgácsolás közt [3]

Az utóbbi idők kutatásai a HSC határsebesség anyagtulajdonsághoz (R_m , T_{0IV}) kötött meghatározásának lehetőségét vizsgálták [9].

A HSC gyakorlati megvalósítása marásnál kezdődött és itt vált széleskörűvé az ipari alkalmazása is.

A HSC technológia előnyei:

- megmunkálási idő csökkentése
- nagy fajlagos forgácsleválasztás (cm^3/kW)
- nagy felületi simaság ($R_a \approx 1 \mu\text{m}$)
- komplikált rezgésre hajlamos munkadarabok (pl. vékonyfalú) problémamentes megmunkálása kis forgácsoló erő (30-40%-kal kisebb) és magas gerjesztő frekvencia miatt

- a forgácsolási hő szinte teljes mértékben a forgáccsal távozik, nincs munkadarab-hődeformáció; jó alak és méretpontosság
- jó forgácsalak, az anyag viselkedése ridegebb (tört forgács)
- száraz forgácsolás, minimálkenés lehetséges

A HSC előnyei a műanyag-, gumi-, fröccsszerszámok, süllyesztékek, grafit- és rézelektrodák gyártásánál csak akkor realizálódnak, ha CAD/CAM rendszerrel együtt, optimalva alkalmazzák.

HSC géppel szembeni követelmények:

- nagy stabilitás és merevség
- nagy fordulatszám (20000...60000 ford./perc), rezgésmentes, kiegyensúlyozott főorsó
- kis gyorsítandó tömegek, dinamikus (1-3 g) előtolás-hajtás
- speciális HSC-re kifejlesztett NC vezérlés
- elszívó berendezés, gyors forgácseltávolítás
- „golyóálló” munkatér-borítás

HSC szerszámot nemcsak a forgácsolóerő, hanem a jelentős nagyságú röpitőerő is terheli, a szerszámmal szemben támasztott követelmények [10] [11]:

- nagy kopásállóság, melegkeménység
- nagy szilárdság változó terhelés esetén is
- nagy hősokkállóság

A felsorolt követelményeknek a finom, ultrafinom szemcsés, bevonatos keményfém felel meg legjobban.

A szerszámkialakítás követelményei:

- körszimmetrikus kialakítás
- minimális kiegyensúlyozatlanság
- nagy axiális, radiális futáspontosság
- optimált élgeometria
- nagy forgácstér
- nagy élfedés
- nagy merevség
- feszültséggyűjtő helyek kiküszöbölése

szerezett szerszámok esetén:

- alakzárás lapkarögzítés
- szerszámtest nagy csillapítású anyagból, kis tömeggel (Al, Mg, Ti) készüljön

A szerszámoknál gondoskodni kell a megbízható, pontos befogásról, melyet legtöbbször hődilataációs szorítással biztosítanak. A szerszámok kiegyensúlyozása elengedhetetlen.

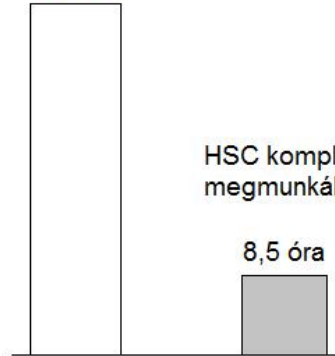
A 5.4 ábrán egy nyomásos öntőszerszám hagyományos és komplett HSC forgácsolásának összehasonlítása látható.

Hagyományos
mégmunkálás:

- elektródagyártás
- tömbös szikraforgácsolás
- polírozás

hagyományos
mégmunkálás

32,5 óra



HSC komplett
mégmunkálás

8,5 óra

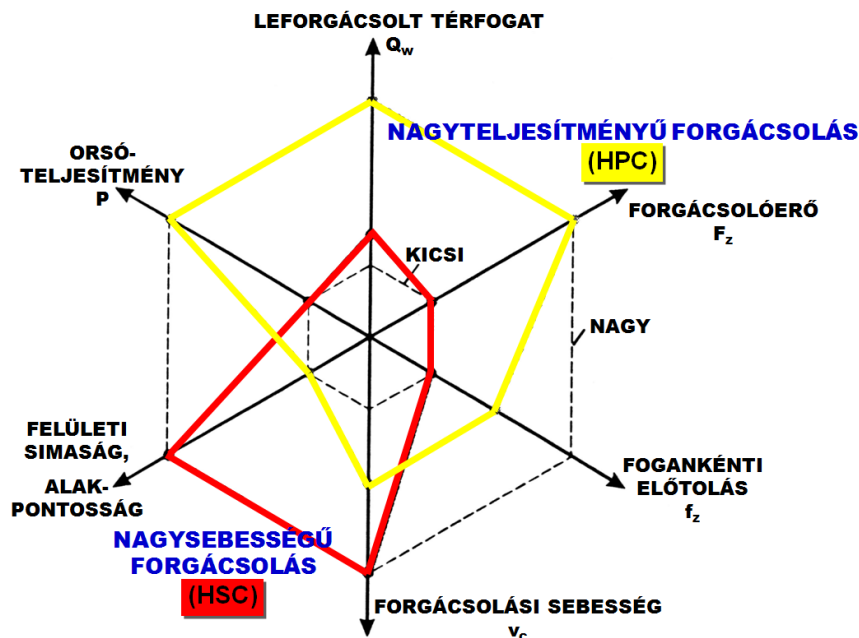


Méret: 200 x 140 mm
marási mélység: 48 mm
Legkisebb rádiusz: 0,5 mm
Anyag: 1.2767 (X45NiCrMo4) HRC 57

5.4. ábra. Öntőszerszám hagyományos és HSC megmunkálásának összehasonlítása [4]

5.2 Nagysebességű forgácsolás (HPC)

A HPC (High Performance Cutting) jelentősen nagyobb leválasztási teljesítményt biztosít nagyobb forgácsolási sebesség és előtolás mellett, mint a hagyományos, a HSC-hez viszonyítva kisebb sebességgel, nagyobb fogásmélységgel dolgozik, mely nagyobb érdességet eredményez. A HSC és HPC összehasonlítása a 5.5 ábrán látható.



5.5. ábra. HSC és HPC eljárások összehasonlítása [5]

HPC megmunkálási folyamat négy határértéken

- gép maximális teljesítményén
- maximális nyomaték és előtolóerő vel
- maximális, a hajtás és vezérlés által megengedett előtolási sebességgel
- maximális szerszámerheléssel

való forgácsolást jelent. A fajlagos anyagleválasztásnak $\left(\frac{cm^3}{min \cdot kW}\right)$ maximuma van, mely a gép munkadarab-, szerszámoldali peremfeltételektől függ [6].

HPC esetén nemcsak a főidő, hanem a mellékidő csökkentése is a cél. Új megmunkálási stratégiákkal, eljárásokkal, kombináltszerszámokkal növelik a teljesítményt.

A HPC eljárást alkalmazzák üreges szerszámok, formák nagyolására, integrált repülőgép-ipari alkatrészek gyártásánál, melyeknél a teljes térfogat 80-95%-át kell leforgácsolni.

5.3 Forgácsolás kemény állapotban

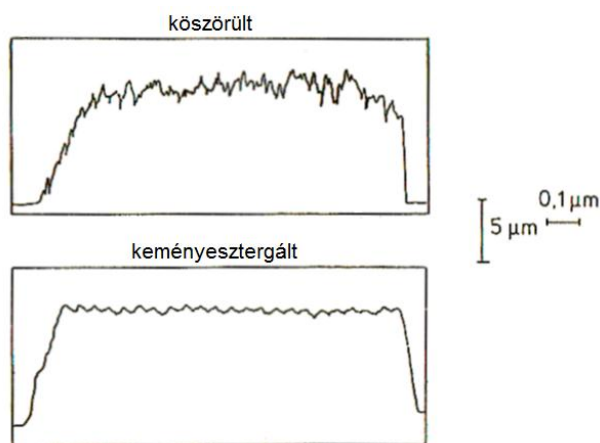
Az élananyagok, bevonatok, szerszámgépek fejlesztése lehetővé tette, hogy edzett acélokat, öntöttvasakat kemény állapotban 45-50 HRC felett határozott élgeometriájú szerszámokkal is megmunkáljunk.

A kemény állapotban történő forgácsolás termelékenyebb, rugalmasabb, mint a hagyományosan alkalmazott köszörülés, szikraforgácsolás. A megmunkálás egy felfogásban, szárazon végezhető. A gyártási sor rövidebb, nincs külön lágy és kemény forgácsolás, a gyártási idő csökken. Komplikált felületek egyszerűen előállíthatók.

A kemény megmunkálás az esztergálás területén indult, a köszörülés kiváltását célul tűzve.

Kis beruházás – csak a szerszám ill. lapka! – miatt kis sorozatok esetén is gazdaságos. Tartós pontosságot és jó felületi jellemzőket (pl. hordfelületi tényező) biztosít.

A 6.6 ábrán köszörült és keményesztergált felület jellegzetes érdességi képe látható.



5.6. ábra. Köszörült és keményesztergált felület jellegzetes érdességi képe

A szerszám lehet

- finomszemcsés (<0,7 μm) keményfém, K minőségű HW-K

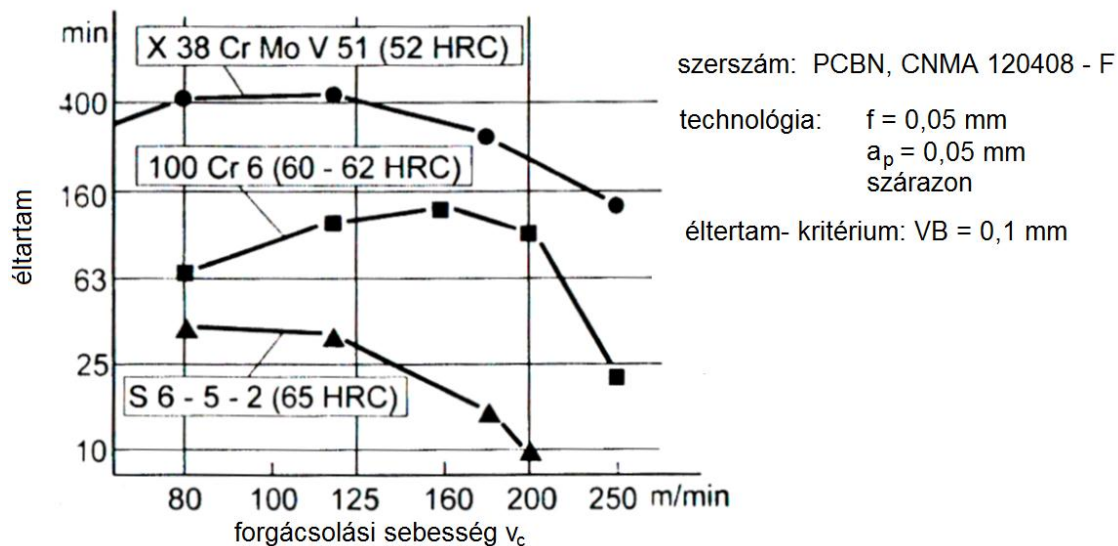
- kevert kerámia CM, 30-40% TiC tartalommal, elsősorban megszakítás nélküli felületek simítására
- köbös bórnitrid PKB (CBN), nagy forgácsteljesítményhez durva szemcsés (5-12 μm) nagy (80%) CBN tartalommal
- finom megmunkáláshoz, kis fogásmélység és előtolás esetén finomszemcsés (0,5-3 μm) kis CBN tartalmú lapkát alkalmaznak.

Negatív élgeometriájú, védőfazettás szerszámot használnak általában.

Marásnál finom szemcsés keményfém tömör és váltólapkás szerszámokat használnak nagy hőállóságú bevonattal, pl. PLATIT n ACO nanokompozit, 1100°C-ig alkalmazható [10].

A CBN szerszámok HRC 45-nél kisebb keménységű anyagok forgácsolásánál rohamosan kopnak, ezért ezen érték az alkalmazhatóságuk alsó határa.

A 6.7 ábrán CBN szerszám éltartam-görbéi láthatók különböző keménységű anyagok esztergálásánál. Mint látható a sebességnek optimális értéke van az éltartam szempontjából.



5.7. ábra. CBN szerszám éltartam-görbéi különböző keménységű anyagok esztergálásánál [6]

A kemény esztergálás elsősorban a köszörülés kiváltására alkalmas (pl. csapágygyártás).

A keménymarás lehetősége megváltoztatta az üreges szerszámok gyártási folyamatát. Az alapanyaggyártók edzett alaplapokat szállítanak, melyekből keményforgácsolással, HSC-vel történik a szerszám készre munkálása, elmarad a lágy forgácsolás, edzés, szikraforgácsolás (lásd 6.4 ábra).

A 5.1 táblázatban összefoglaltuk a keményforgácsolási eljárásokat, adott technológiai adatok mellett elérhető pontosságot és érdességet.

Eljárás	Élanyag	Forgácsolási adatok	Érdesség és pontosság
Keményesztergálás	CBN, kevert kerámia, finomszemcsés keményfém	$v_c = 100-220$ m/min $f = 0,05-0,2$ mm	$R_z = 1-3 \mu\text{m}$ IT6 – IT7
Keményfűrés	keményfém, TiN-bevonatos	$v_c = 40-60$ m/min $f = 0,02-0,04$ mm	$R_z = 2-4 \mu\text{m}$ IT7 – IT9
Keménymarás	CBN, finomszemcsés keményfém	$v_c = 200-350$ m/min $f = 0,1-0,2$ mm	$R_z = 2-5 \mu\text{m}$ IT7 – IT10

5.1. táblázat. Keményforgácsolási eljárások jellemzői [6]

5.4 Szárazforgácsolás, minimálkenés

Gazdasági, környezet- és egészségvédelmi előnyök miatt célszerű a forgácsolást hűtő-kenő folyadék nélkül, szárazon végezni [12].

Száraz forgácsolás esetén elmarad a hűtő-kenő berendezés beruházási, üzemeltetési és karbantartási költsége, a hűtő-kenő folyadék beszerzési, kezelési és megsemmisítési költsége, a környezet – levegő, víz, talaj – szennyezése elmarad, és megszűnik az egészségkárosítás – bőr- és légúti betegségek – veszélye is.

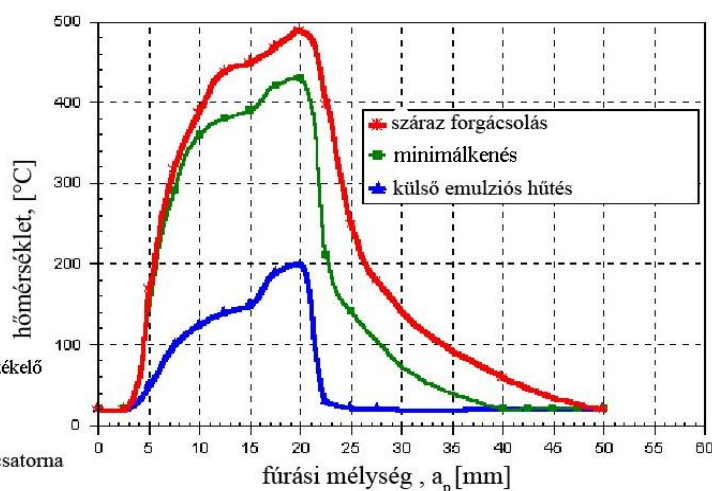
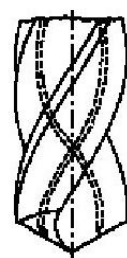
Szárazforgácsolás esetén azonban gondoskodni kell hűtés-kenés elsődleges funkciójának

- hűtés (munkadarab, szerszám, szerszámgép)
- kenés (munkadarab – szerszám)
- forgácseltávolítás (munkatérből, munkadarabból)

megfelelő pótlásáról. Ezért a szárazforgácsolásnak megfelelően kell a szerszámot, gépet, technológiát kialakítani, összehangolni.

A hűtés elhagyásával a forgácsolási hőmérséklet megnő, ezt szemlélteti a 5.8 ábra.

- Alapanyag: X90CrMoV18,
- a_p : 22,5 mm,
- v_c : 30 m/perc,
- f : 0,1 mm/ford.,
- Szerszám: keményfém fűrő
- átmérő: 8,5 mm



5.8. ábra. Az él hőmérsékletének változása különböző hűtés-kenési módok esetén [7]

Az élananyagoknak nagy melegkeménységgel, jó kémiai ellenállással, nagy hőkifáradási határral, nagy nyomásállósággal és szívóssággal kell rendelkezniük.

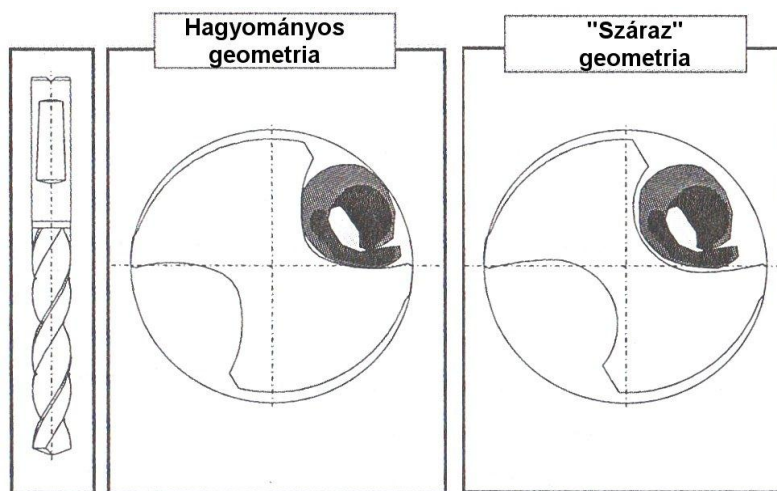
A bevonat megválasztásának követelménye a nagy hőállóság mellett, a kis súrlódási tényező és a megfelelő hőszigetelés, kis hővezetőképesség.

Hűtés helyett az alakváltozásból keletkező hőmennyiség az élgeometria optimalizálásával, a súrlódásból adódó hő a megfelelő bevonat megválasztásával csökkenthető.

A súrlódási tényező acélon TiN bevonat esetén $\mu = 0,4$. Alumínium forgácsolása esetén gyémántonál, ill. gyémánthoz hasonló DLC bevonatnál $\mu = 0,1-0,15$, acélnál alkalmazott WC/C (hard lube) kenőbevonatnál $\mu = 0,15-0,2$, puha kenőbevonat (MoS_2) esetén $\mu = 0,05$.

A súrlódás csökkenthető a nyomóerő csökkentésével, HSC alkalmazásával.

A hő szerszámba való behatolását csökkenthetjük bevonattal, az érintkező hőátadó felületek és átadási idő csökkentésével, a nagy hőtartalmú forgács gyors elvezetésével - forgácstér optimalizálásával (5.9 ábra), HSC alkalmazásával.



5.9. ábra. A hagyományos és az optimalizált „szárak” fűrészszerű forgácselvezető hornyának kialakítása [7]

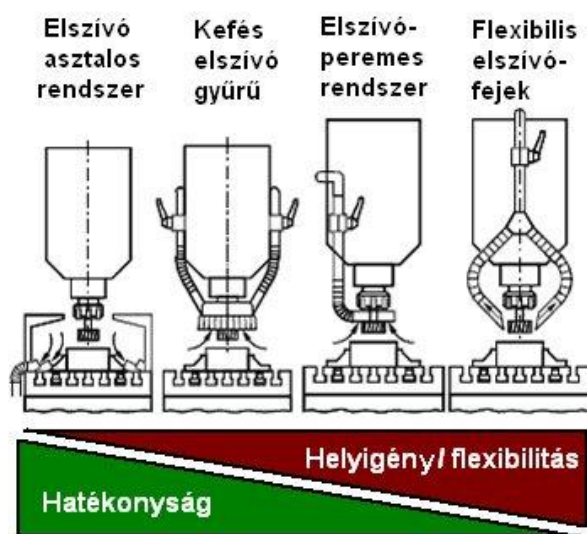
Szárak forgácsolásnál a forgács eltávolítása a

- munkadarabból, szerszámból
- munkatérből
- szerszámgepből

jelent a legnagyobb problémát, mely csak a gép, készülék, szerszám megfelelő szerkezeti kialakításával oldható meg.

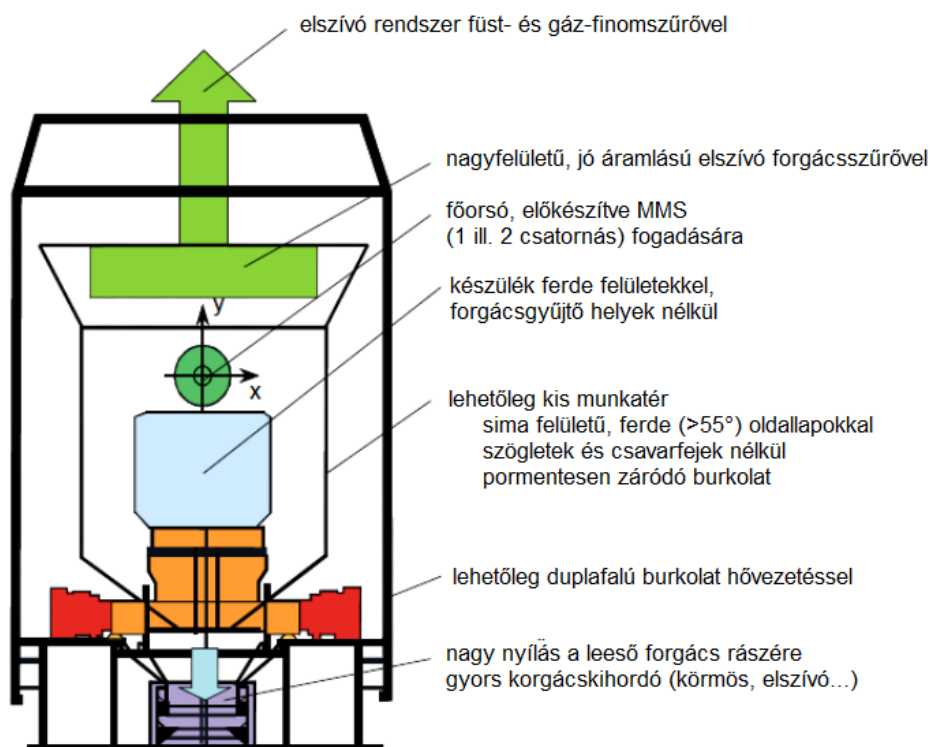
A forgácseltávolítás történhet gravitáció útján, elszívással, lefűvatással.

A 6.10 ábra a forgács közvetlen elszívására mutat példákat.



5.10. ábra. A forgács közvetlen elszívásának megoldása szárazmunkálásnál [2]

A 5.11 ábrán a szárazforgácsoló géppel kapcsolatos követelmények láthatók.



5.11. ábra. Szárazforgácsoló géppel kapcsolatos követelmények [8]

A forgács eltávolítását a munkadarabról megkönnyíti a vízszintes főrsó-elrendezés ill. a munkadarabok függőleges felfogása. A körasztalra fogott munkadarabot megforgatva ki-centrifugálható a forgács.

A hűtés hiánya miatt a gép – szerszám – készülék – munkadarab rendszer felmelegedéséből adódó hibák kiküszöbölésére már léteznek automatikus hőkompenzáló rendszerek.

Minimálkenés

A szárazforgácsolásnál felvetődő problémák – éltartam-csökkenés, felhegedés, szövet-szerkezet-változás a határrétegben, felmelegedésből adódó méret- és alakváltozás, korlátozott forgácseltávolítás – minimálkenéssel (MMS – Minimalschmierung, MQL – Minimal Quantity Lubrication) javítható, kiküszöbölhető.

Kismennyiségű (50 ml/óra) kenőanyag sűrített levegőben elporlasztva és a forgácsolás helyére juttatva elég a súrlódás csökkentéséhez, felhegedés elkerüléséhez.

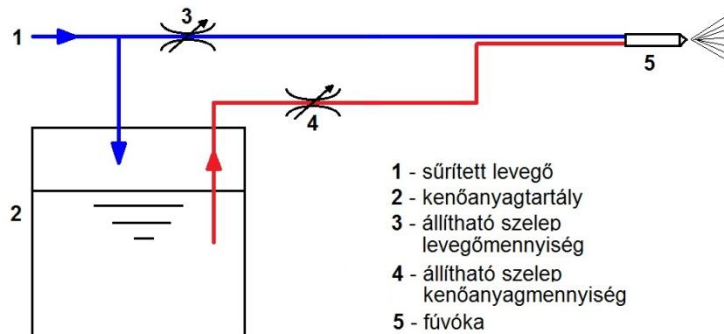
A kenőanyag teljes mértékben elhasználik, nincs maradék a munkadarabon és a forgácson. Így nem szükséges a munkadarab mosása, a forgács közvetlenül újra feldolgozható.

Az alkalmazott kenőanyag lebomló, környezetbarát növényi olaj, szintetikus észter, zsír, vagy alkohol a forgácsolandó anyagnak megfelelően.

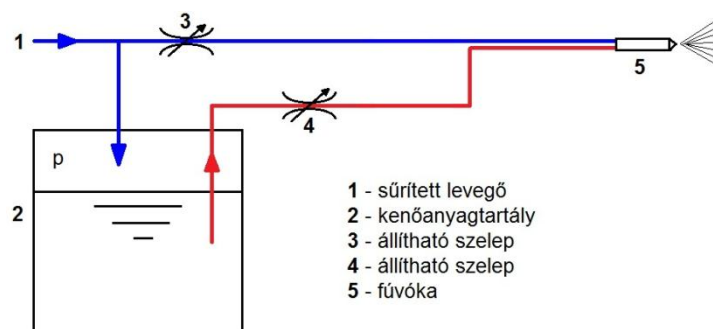
A minimálkenő berendezésben a kenőanyagot a tartályból a felhasználási helyre – a forgácsleválasztás helyére – kell szállítani.

A szállítás történhet

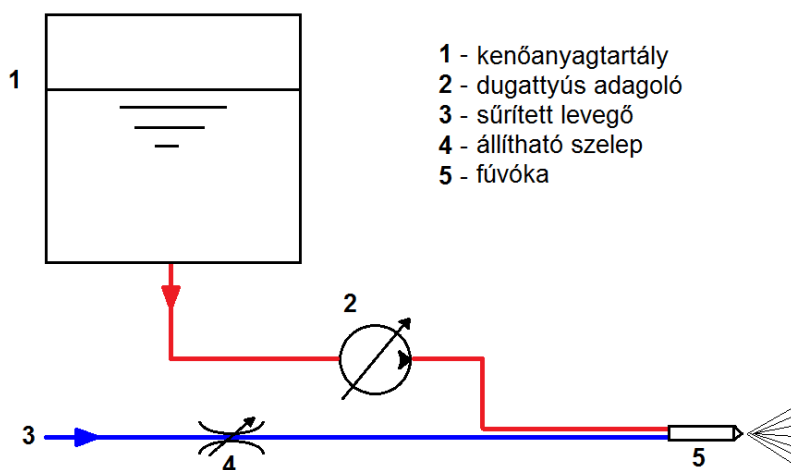
- vákuum (szívás – Venturi elv szerint (5.12 ábra))
- nyomás segítségével:
 - nyomott tartályos (5.13 ábra)
 - dugattyús megoldással (5.14 ábra)



5.12. ábra. Vákuum (Venturi) rendszer

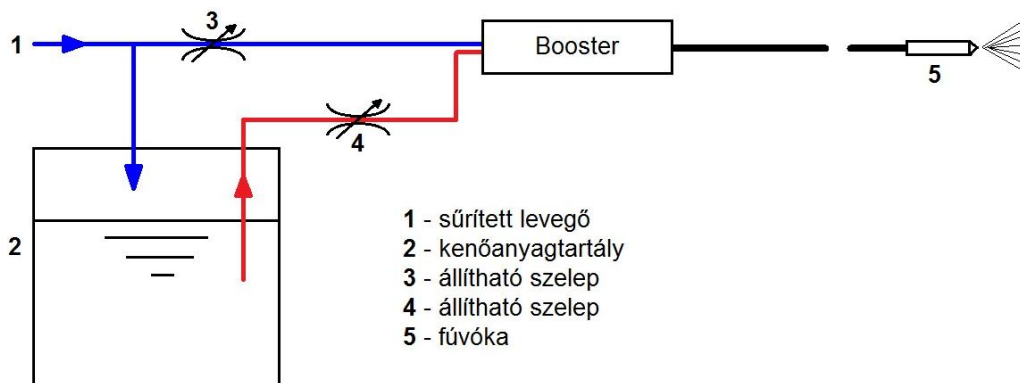


5.13. ábra. Nyomott tartályos rendszer

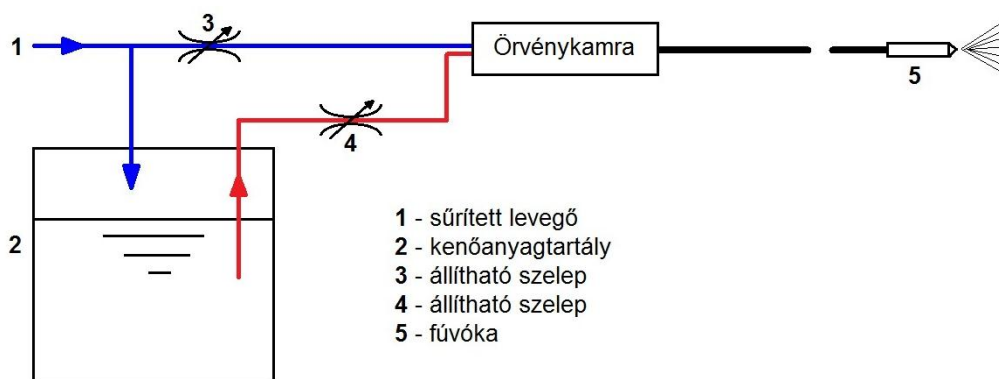


5.14. ábra. Dugattyús adagoló rendszer

A permet, levegőbe porlasztott kenőanyag, vagy más néven aerosol létrehozása történhet fúvókában, keverőfejben vagy tartályban (booster, örvénykamra), a 5.15 és 5.16 ábrának megfelelően. A booster tartályban létrehozott permetből többszörös ütköztetéssel választják le a nagyobb méretű kenőanyagcseppeket a kívánt méret eléréséig. Örvénykamrában a permet örvényeltetésével érik el ugyanezt, ezek szabadalmakkal védett eljárások.



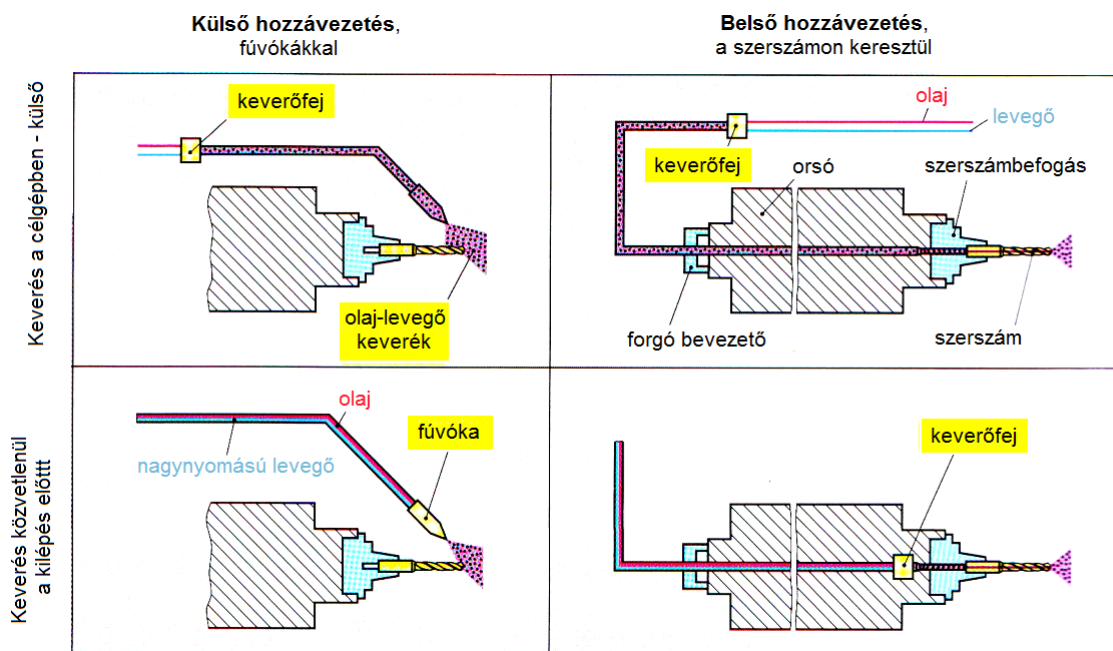
5.15. ábra. Boosters rendszer



5.16. ábra. Örvénykamrás rendszer

A belső, hűtőcsatornás szerszámok lehetővé teszik a belső hozzávezetést, mely lehet

- egycsatornás (5.17 ábra); a permetet a gépen kívül hozzák létre (pl. booster), és egy vezetéken, forgó bevezetőn keresztül a főorsó furatán át juttatják a szerszámhoz. A nagy főorsófordulat miatt olyan permetet kell előállítani (cseppméret $\approx 1 \mu\text{m}$), mely nem centrifugálódik ki.
- kétcsatornás rendszer (5.17 ábra) esetén a levegőt és kenőanyagot forgó bevezetőn keresztül külön vezetik a keverőtérbe, mely lehet a szerszámbe fogóban, szerszámban. Így a kenőanyag kicentrifugálása kiküszöbölődik.



5.17. ábra. A kenőanyag-keverés és a hozzávezetés módjai [2]

Külső hozzávezetés esetén a kenőanyagot nem tudjuk közvetlenül a forgácsleválás helyéhez vinni, mely a megmunkálás során változik, pl. fúrásnál. Problémát jelent, hogy szerszámcsere illetve váltás esetén új fűvókahelyzet beállítása szükséges. A külső hozzávezetési rendszereket egyszerű gépeken pótlólag felszerelve alkalmazzák általában.

Az adagolás lehet

- folyamatos, vákuum-, nyomott tartályos rendszer esetén
- megszakított, dugattyús adagolóknál, ahol a lökettérfogat és löketség beállításával pontos kenőanyag-mennyiség állítható be.

A legegyszerűbb MMS-rendszerek mágnesszelepek segítségével beköthetők a gépek vezérlésébe.

Gépsorokba, megmunkáló központokba magasan automatizált, belső hozzávezetésű rendszereket építenek be, a gép CNC-vezérlésébe integráltan; programozni lehet műveletenként, szerszámonként a permet összetételét – kenőanyag arányát és mennyiségét. Ilyen rendszerek dolgoznak ma már az autógyárakban, pl. az AUDI-Győr GROB gépein.

Az elárasztásos, száraz forgácsolás és minimálkenés jellemzőit a 5.2 táblázatban foglaltuk össze.

Értékelési szempontok	Elárasz- tásos	MMS	Száraz- forg.
Hűtő hatás	●●●	○●●	○●○
Kenő hatás	○●●	●●●	○●○
Forgácsszállítás	●●●	○●●	○●○
Korrózióvédelem	●●●	○●●	○●○
Munkadarab tisztítása	○●○	○●●	●●●
A forgács újrafelhasználhatósága	○●○	●●●	●●●
Beruházási költség	○●●	○●○	●●●
Üzemeltetési költség	○●●	○●●	●●●
Hűtő-kenő anyag karbantartási költség	○●○	●●●	●●●
Ártalmatlanítási költség	○●○	●●●	●●●
Hűtő-kenő anyag kihordás	○●○	●●●	●●●
Egészségügyi szempontok	○●●	○●●	○●●

●●● Igen kedvező ○●● Jó ○○● Kevésbé jó ○○○ Nem megfelelő

5.18. ábra. Az elárasztásos, száraz forgácsolás és minimálkenés jellemzőinek összehasonlítása [13]

Felhasznált irodalom az 5. fejezethez:

1. dr. SZMEJKÁL A.: *Új kihívások a forgácsolásban*
Coromant Akadémia 2005,
Gyártóeszközök, szerszámok, szerszámgépek 2005/2. szám
2. *Industrielle Fertigung Fertigungsverfahren*
Verlag Europa – Lehrmittel 2008 ISBN: 978-3-8085-5353-4
3. *Forgácsolási kézikönyv GARANT*, www.garant-tools.com
4. *RÖDERS TEC – Präsentation*, www.roeders.de
5. *Marlies PATZ: Inovation in der Zerspantechnik*
Dihw 2. évf. 3. sz. 2010 44-50. old.
6. *Hans Kurz TÖNSHOFF, Berend DENKENA: Spanen, Grundlagen*
Springer Verlag 2003 ISBN: 3-540-00588-9
7. *T. CSELLE: Commandments of Dry High Speed Machining,*
GÜHRING-CD
8. *Minimalmengenschmierung in der spanenden Fertigung BGI 718*
C. Heymanns Verlag 2006 ISBN: -
9. *E. PAUCKSCH, S. HOLSTEN, M. LINSS, F. TIKAL: Zerspanntechnik (12.)*
Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden 2008 ISBN: 978-3-8348-0279-8
10. *Jürgen LEOPOLD: Werkzeuge der Hochgeschwindigkeitbearbeitung*
Hanser Verlag, 1999 ISBN 97883446210721
11. *Herbert SCHULTZ: Hochgeschwindichkeitsbearbeitung*
Hanser Verlag München, 1999 ISBN: 3-446-18769-0
12. *K. WIENERT: Trockenbearbeitung und Minimalmengen-kühlschmierung*
Springer Verlag 1998 ISBN: 3-540-64793-7
13. dr. SZMEJKÁL A.: *Szárzforagácsolás, minimálkenés*
MACH-TECH Konferencia, 2007

Ábrajegyzék

1.1. ábra Forgácsolási folyamat és jellemzői.....	9
1.2. ábra Forgácsolás helye és megmunkálásai.....	10
1.3. ábra Szabadforgácsolás	12
1.4. ábra Esztergakés	13
1.5. ábra Szerszámsíkok [1]	14
1.6. ábra Szerszám meghatározó rendszer, szerszám szögek [2]	14
1.7. ábra működő meghatározó rendszer [1]	15
1.8. ábra Működő szögek beszúrásnál.....	16
1.9. ábra Szerszámhelyzet hatása a működő szögekre	16
1.10. ábra csigafűrő élegeometriája	17
1.11. ábra Csigafűrő homlokszögének változása sugár függvényében	17
1.12. ábra élszögek homlokmarónál[1]	18
1.13. ábra Élszögek értelmezése homlokmarás esetén [1].....	18
1.14. ábra A lapka belépésének esetei homlokmarásnál[4].....	19
1.15. ábra A szármaró élszögei [5].....	20
1.16. ábra Homlokél kialakítása szármaróknál [5]	20
1.17. ábra Különböző élkialakítású maró típusok és alkalmazási területük [6]	21
1.18. ábra Váltólapkák jelölése ISO szerint	21
1.19. ábra Késszárak jelölése ISO szerint.....	22
1.20. ábra Különböző élműanyagú kések kialakítása	22
1.21. ábra Élműanyagok fejlesztése [7]	23
1.22. ábra Melegkeménység [4]	25
1.23. ábra Élműanyagok hajlítószilárdsága	25
1.24. ábra Az élműanyagok kopásállósága és szívóssága.....	26
1.25. ábra Legnagyobb forgácsolási hőmérséklet [5].....	27
1.26. ábra A gyorsacél előállítási technológiái [4]	28
1.27. ábra Meleg izosztatikus préselés [9].....	28
1.28. ábra Porkohászati gyorsacél előállítása [6]	29
1.29. ábra Kemény fémek	30
1.30. ábra HW, HT keményfémek szövetszerkezete [2].....	31
1.31. ábra Bevonatok fejlesztése [Platit]	34
1.32. ábra Bevonatolási eljárások [1].....	35

1.33. ábra Bevonatolási eljárások a hőfok és nyomás függvényében [2]	35
1.34. ábra Él kialakítása PVD és CVD esetén	36
1.35. ábra Bevonat strukturák [10].....	37
1.36. ábra Nanokompozit bevonat [Platit].....	37
1.37. ábra Többrétegű gyémánt bevonat elektronmikroszkópi képe[6]	38
1.38. ábra Többrétegű bevonatok (CERATIZIT).....	38
1.39. ábra Forgácsoló kerámiák csoportosítása.....	39
1.40. ábra SiC whisker [11]	40
1.41. ábra Polikristályos gyémánt és köbös bórnitrid (cbn) előállítása [12]	41
1.42. ábra polikristályos gyémánt (pcd) lapka előállítása [4] [7].....	42
1.43. ábra köbös bórnitrid (cbn)	42
1.44. Ábra CBN váltólapkák különböző típusainak gyártása[13]	43
1.45. ábra Éanyagok megnevezése a csomagoláson (BOEHLERIT)	46
1.46. ábra Tangenciális lapka elhelyezés (ISCAR Tangmill) [15].....	47
1.47. ábra Lapka rögzítési módok.....	48
1.48. ábra Önszorító beszúróskés [16]	48
1.49. ábra Cserélhető fejű csigafűrő (SECO)	49
1.50. ábra Cserélhető fejű szármaró (Coromant)	49
1.51. ábra Szerszám szár kialakítások.....	50
1.52. ábra Forgácstő csiszolat $\gamma=0$ [4]	51
1.53. ábra Forgácstő csiszolat $\gamma\neq 0$ [4]	51
1.54. ábra A forgács képződés módjai	52
1.55. ábra Élratét keletkezése [4]	53
1.56. ábra Élratét mikroszkópi képe [4].....	53
1.57. ábra Forgácsképződés [7].....	54
1.58. ábra Forgácstő csiszolat [4]	54
1.59. ábra Elcsúszási - irányítók $\gamma = 0$ esetén	55
1.60. ábra Elcsúszási sík szögének meghatározása $Y > 0$ esetén.....	55
1.61. ábra A forgácsképződést befolyásoló tényezők	56
1.62. ábra forgács alakok [18].....	57
1.63. ábra Forgácstörés módszerei.....	58
1.64. ábra forgácstörési diagram [18].....	59
1.65. ábra forgácstörési diagram [14].....	59
1.66. ábra Forgács lefutás és törés esetei [7]	60

1.67. ábra Forgácsképződés számítógépes szimulációja [19]	60
1.68. ábra Forgácsolóerő és összetevői szabadforgácsolás esetén.....	61
1.69. ábra Élnyomás és összetevői	62
1.70. ábra Forgácsolóerő és összetevői esztergálásnál	62
1.71. ábra A fogásmélység változás hatása az erőre [20]	63
1.72. ábra Forgácsolási sebesség változás hatása az erőre [20]	64
1.73. ábra Előtolás változás hatása az erőre [20]	64
1.74. ábra A Homlokszög változásának hatása az erőre.....	64
1.75. ábra az elhelyezkedési szög hatása az erőre [20]	65
1.76. ábra Forgács keresztmetszet	66
1.77. ábra Forgácsvastagság változása az elhelyezkedési szögtől függően.....	67
1.78. ábra Fajlagos forgácsolóerő változása a forgácsvastagság függvényében.....	67
1.79. ábra Merchant – „erőgeometria” [23].....	69
1.80. ábra Forgácsolási hő keletkezése.....	70
1.81. ábra Forgácsolási munka megoszlása [4]	70
1.82. ábra A hő útja.....	71
1.83. ábra A forgácsolási hő megoszlása a sebesség függvényében[7]	71
1.84. ábra Bevonatok hővezető képességének változása a hőmérséklet függvényében [24]	72
1.85. ábra Súrlódó -, hőátadó felület csökkentése (ISCAR) [25]	73
1.86. ábra Hűtés-kenés feladatai.....	73
1.87. ábra Forgácsolási eljárások hűtés-kenés igénye	74
1.88. ábra Hűtő-, kenő hatás alakulása [26]	74
1.89. ábra Hűtő – kenő anyagok csoportosítása [27]	75
1.90. ábra A kopás általános jellege	76
1.91. ábra kopás fajták[3]	77
1.92. ábra kopás fajták előfordulása a sebesség függvényében [4]	78
1.93. ábra Kopásformák [3].....	79
1.94. ábra Forgácsoló él kopás jellemzői (ISO).....	80
1.95. ábra Éltartam egyenlet (Taylor egy.) meghatározása.....	81
1.96. ábra Különböző élananyagok éltartam egyenesei [20].....	82
1.97. ábra Valós élettartam – sebesség görbe [20].....	82
1.98. ábra Éltartam mérési pontjai és jellegzetes szórásképe [20]	82
1.99. ábra néhány munkadarab anyag éltartam egyenese [20].....	82
1.100. ábra Költség optimális forgácsolási sebesség.....	84

1.101. ábra Termelékenység a sebesség függvényében.....	84
1.102. ábra Költségminimum[18]	85
1.103. ábra Korlátok esztergálás esetén [18]	85
2.1. ábra Hosszesztergálás mozgásviszonyai és a technológiai adatok értelmezése [Sandvik] [5].....	89
2.2. ábra A forgácskeresztmetszet esztergálásnál	89
2.3. ábra Esztergálási eljárások.....	90
2.4. ábra A forgácsolás irányának értelmezése [1]	91
2.5. ábra Mechanikus lapkarögzítés lehetőségei [3,4,5].....	92
2.6. ábra Kialakítható felületek és forgácsolási irányok váltólapkás késeknél [STELLRAM]	93
2.7. ábra Beszúrás és leszúrás módszerei [Taegutec] [23].....	94
2.8. ábra Érintős kés kialakítása és előtolási lehetőségei	95
2.9. ábra Érintős kés profiltorzulásának számítása	95
2.10. ábra Körkés kialakítása és a késkiemelés számítása.....	96
2.11. ábra a/ Befogás tokmányban csúcscsal megtámasztva b/ Befogás csúcsok közé, menesztés esztergaszívvel [1]	97
2.12. ábra a/ Patronos befogás b/ Befogás expanziós tüskén [1]	97
2.13. ábra Nem forgásszimmetrikus munkadarab befogása síktárcsán [1]	98
2.14. ábra. Támasztás álló bábbal [1]	99
2.15. ábra Külső menet esztergálása [Sandvik] [5].....	100
2.16. ábra Menetesztergáló lapkák kialakítási lehetőségei [Sandvik] [5]	100
2.17. ábra Működő hátszög azonosságának biztosítása a lapka megdöntésével	101
2.18. ábra. Fogásfelosztási módszerek menetesztergálásnál [5]	102
2.19. ábra Menetesztergálás módszerei [Sandvik] [5]	102
2.20. ábra Kúpfelület esztergálás hagyományos esztergagépen [13]	103
2.21. ábra Gömbfelület esztergálása hagyományos esztergagépen [13]	104
2.22. ábra Másoló esztergálás elve [2]	104
2.23. ábra Hátraesztergálás [13].....	104
2.24. ábra Hagyományos esztergagép fő részei	106
2.25. ábra a/ Toronyrevolver eszterga b/ megmunkálási példa toronyrevolverre	107
2.26. ábra Dobrevolver eszterga.....	107
2.27.b/ ábra Megmunkálási példa dobrevolverre	108
2.28. ábra Ellenorsós CNC eszterga munkatere	108
2.29. ábra Karusszelesztergák a/ kétállványos b/egyállványos.....	109

2.30. ábra Vezérműtengely esztergálása NC vezérlésű esztergagépen [Index]	110
2.31. ábra Forgattyús tengely esztergálása a/ hagyományos szerszámokkal [Niles] b/ különleges tárcsa alakú szerszámmal [Sandvik]	110
2.32. ábra Vasúti kerékpár és féktárcsa esztergálása [Hegenscheidt MFD]	111
2.33. ábra Vasúti kerékpár felújítása kiszereles nélkül [Hegenscheidt MFD]	111
2.34. ábra A fúrás és furatbővítés fő eljárásai [1]	113
2.35. ábra Csigafúró [1]	113
2.36. ábra Csigafúró fúróhegy és horonykialakításai [2]	114
2.37. ábra a/ Cserélhető élű [Kennametal] [3] és b/ cserélhető hegyű [Seco] [4] csigafúrók	115
2.38. ábra Váltólapkás fúró [5]	115
2.39. ábra Fogásmegosztás váltólapkás fúrónál [5]	116
2.40. ábra Váltólapkás fúrókkal végezhető műveletek [5]	116
2.41. ábra Csőfúró kialakítások [21]	117
2.42. ábra Mélyfúrási eljárás hosszlyukfúróval [22]	117
2.43. ábra BTA és ejektor eljárás [5]	118
2.44. ábra Harangfúrók [Zinner] [6]	119
2.45. ábra Süllyesztőszerszámok [1]	119
2.46. ábra Süllyesztő éleinek kialakítása [8]	120
2.47. ábra Dörzsár éleinek kialakítása [1, 2]	121
2.48. ábra Fix (nem állítható) dörzsárak [1, 2]	121
2.49. ábra Állítható dörzsárak [8]	122
2.50. ábra Menetfúró	122
2.51. ábra Kiesztergálással végezhető műveletek [8]	123
2.52. ábra Kiesztergáló fej fogásmegosztással [WNT] [7]	123
2.53. ábra Forgácsolóerők eredője kétélű csigafúrón telibe fúráskor	124
2.54. ábra Elméletileg leválasztott forgácskeresztmetszet csigafúró egy élén értelmezve telibe fúráskor és felfúráskor	125
2.55. ábra Forgácsolóerő változása a sugár mentén [24]	125
2.56. ábra Az erőkar értelmezése	125
2.57. ábra Hagyományos függőleges orsójú fúrógépek	126
2.58. ábra Vízszintes fúró-marómű	127
2.59. ábra Egyenirányú és ellenirányú palástmarás [5]	129
2.60. ábra Forgácskeresztmetszet alakulása ellenirányú palástmarás esetén	130

2.61. ábra Közepes forgácsvastagság meghatározása.....	131
2.62. ábra Forgácsolóerő hullámozása ellenirányú palástmaráskor	132
2.63. ábra Tengelyirányú erő keletkezése palástmarón [8]	133
2.64. ábra Marólapka befogás lehetőségei [WNT] [7], [EMUGE] [9]	134
2.65. ábra Homlokmarással leválasztott rétegkeresztmetszet, szimmetrikus elhelyezés esetében, $\kappa=90^\circ$	134
2.66. ábra Egy fogat terhelő kerületi erő (Fv) alakulása a fogási ív mentén.....	135
2.67. ábra Erő változása homlokmaráskor	136
2.68. ábra Cirkuláris menetmarási ciklus [2]	137
2.69. ábra Alakos felületek marása	137
2.70. ábra Keményfém szármarók hengeres és gömbvégű kivitelben [7]	138
2.71. ábra Váltólapkás spirálmárók [Walter] [11].....	138
2.72. ábra Esztergáló marás [2]	139
2.73. ábra Egyetemes marógépek.....	140
2.74. ábra Hosszmarógépek	140
2.75. ábra NC/CNC marógépek felépítési lehetőségei [12].....	141
2.76. ábra Szalagfűrészelés	142
2.77. ábra Forrasztott keményfém lapkás körfűrészlap (www.szerszamvilag.hu)	143
2.78. ábra Forgácsleválasztás, homlokszög és hátszög üregeleskor	144
2.79. ábra Üregező szerszámok [13]	145
2.80. ábra Üregezéssel előállítható üregek és külső felületek [1]	145
2.81. ábra Forgattyús tengely forgó üregelese egyenes szerszámmal [2]	146
2.82. ábra Forgattyús tengely forgó üregelese forgó szerszámmal [2]	146
2.83. ábra Harántgyalulás és hosszgyalulás [2].....	147
2.84. ábra Fogásmélység változása egyenes és könyökös gyalukésnél.....	148
2.85. ábra Gyalukés kialakítások	148
2.86. ábra A vésési eljárás elvi elrendezése és a szerszámszögek [2].....	149
2.87. ábra Harántgyalu szerkezeti vázlata.....	149
2.88. ábra Harántgyalu szerkezeti vázlata.....	150
2.89. ábra. Lemezgyalu [19]	150
2.90. ábra Vésőgép szerkezeti vázlata.....	151
2.91. ábra Fogárok kimunkálása	152
2.92. ábra Egyetemes osztókészülék.....	153
2.93. ábra Metszőkerekes eljárás	154

2.94. ábra Metszőkerekes fogaskerék gyártó gép (a/) [18], a ferde fogazás egyszerűsített kinematikai vázlata (b/)	155
2.95. ábra Metszőkerekes megmunkálások [16]	155
2.96. ábra Fésűs késes eljárás [18]	156
2.97. ábra Ferde fogú fogaskerék gyártása csigamaróval	157
2.98. ábra Pfauter lefejtőmarógép és az előtoló mozgás lehetőségei [18]	158
2.99. ábra Kúpkerék legördülése	158
2.100. ábra Kétképes kúpfogaskerék-gyártás (HEIDENREICH)[15]	159
2.101. ábra Gleason fogazás [18]	160
2.102. ábra Oerlikon fogazás [18]	161
2.103. ábra Klingelberg kúpkerékgyártás [18]	161
2.104. ábra Fogköszörülési eljárások [19]	162
3.1. ábra. A köszörülési folyamat jellemzői [1 alapján]	165
3.2. ábra. A szemcse anyagleválasztásának lehetséges változatai [1]	166
3.3. ábra. Élgeometria köszörülésnél [2]	166
3.4. ábra. Forgácsképződést képlékeny anyag esetén [1]	167
3.5. ábra. A forgácsképződés fázisai köszörülésnél [3]	167
3.6. ábra. Forgácsképződés rideg anyagok esetén [4]	168
3.7. ábra. Energia átalakulása a köszörülési folyamatban	168
3.8. ábra. Energiaeloszlás [1]	169
3.9. ábra. A forgácsolásban résztvevő elemek hővezetőképessége [2]	169
3.10. ábra. A köszörűszemcse kopásformái [5]	170
3.11. ábra. Normál- és félnemes korund gyártása [6]	171
3.12. ábra. Nemeskorund gyártása [6]	171
3.13. ábra. Szilícium-karbid gyártása [6]	172
3.14. ábra. Szemcseanyagok és tulajdonságaik összehasonlítása [6]	172
3.15. ábra. A szemcseméret osztályozása [6]	173
3.16. ábra. Kötőanyagok [6]	174
3.17. ábra. A kötés keménység jelölése [1] és vizsgálata [1]	175
3.18. ábra. A kötőanyagok tulajdonságainak összehasonlítása [6]	176
3.19. ábra. A köszörűkorong szabványos megnevezésére (DIN 69100)	177
3.20. ábra. Szabványos korongalakok [7]	179
3.21. ábra. Korongprofilok [8]	179
3.22. ábra. Korongfelfogások [8]	179
3.23. ábra. Korongkiegyensúlyozás statikusan [8]	180

3.24. ábra. Automatikus kiegyensúlyozás forgó korongon [9].....	180
3.25. ábra. Palást- és furatköszörülési eljárások [5].....	181
3.26. ábra. Sík- és profilköszörülési eljárások [5].....	182
3.27. ábra. Forgácsoló erő.....	183
3.28. ábra. Palástköszörülés.....	184
3.29. ábra. Hengeres palástköszörülés kúpos koronggal egy fogásban.....	185
3.30. ábra. Kúpos és hengeres felületek egyidejű beszúró köszörülése.....	185
3.31. ábra. Beszúró köszörülés.....	185
3.32. ábra. Beszúró köszörülés ferde irányból.....	185
3.33. ábra. Forgattyústengely köszörülése.....	185
3.34. ábra. Bolygóköszörülés.....	186
3.35. ábra. Síkköszörülés.....	186
3.36. ábra. Csúcsnélküli köszörülés.....	187
3.37. ábra. Csúcsnélküli beszúró köszörülés.....	187
3.38. ábra. Belső hengeres felület megmunkálása csúcsnélküli köszörüléssel.....	188
3.39. ábra. Homorú és domború felületek köszörülése.....	188
3.40. ábra. Gömbfelület köszörülése fazékkoronggal.....	188
3.41. ábra. Menetköszörülés egyprofilú és többprofilú köszörűkoronggal hosszolótalással [11].....	189
3.42. ábra. Menetköszörülés többprofilú szerszámmal beszúró eljárással [11].....	189
3.43. ábra. A köszörűszalag szerkezete.....	189
3.44. ábra. A szalagköszörülés módjai.....	190
3.45. ábra. A szalagköszörülés technológiai változatai.....	190
3.46. ábra. Palást-köszörűgép.....	191
3.47. ábra. Furatköszörűgép.....	192
3.48. ábra. Egyetemes körköszörű [SZIMFÉK] [12].....	192
3.49. ábra. Síkköszörűgépek elvi felépítése.....	192
3.50. ábra. Körasztalos sík-köszörűgép [BLOHM] [13].....	193
3.51. ábra. Csúcsnélküli köszörűgép.....	193
3.52. ábra. Forgattyústengely-köszörű [SZIMFÉK] [12].....	194
3.53. ábra. Sugaras csiszolás [1].....	195
3.54. ábra. A leppelőszemcsék mozgása, forgácsleválasztás [1].....	196
3.55. ábra. Az anyagválasztást és érdességet befolyásoló tényezők [1].....	197
3.56. ábra. Tükrösítés kézi úton [14].....	197
3.57. ábra. Kéttárcsás tükrösítőgép.....	198

3.58. ábra. A dörzsköszörülés mozgásviszonyai [13].....	198
3.59. ábra. Hónolószerszám [13].....	199
3.60. ábra. A hónolás folyamata [13]	199
3.61. ábra. Optimális forgácsolási sebesség különböző élményanyagoknál [5].....	200
3.62. ábra. Anyagleválasztás, érdességmélység és a hónolóhasáb kopása a felületi nyomástól függően [3].....	200
3.63. ábra. A hónolóhasáb hosszának hatása a hengerességi hibára.....	201
3.64. ábra. Hűtő-kenő anyagok hónoláshoz [5].....	201
3.65. ábra. Hónológépek.....	202
3.66. ábra. A tükörsimítás módjai [1].....	203
3.67. ábra. A tükörsimítás mozgásviszonyai és a megmunkálás eredménye [14].....	203
3.68. ábra. Esztergára szerelt tükörsimító egység.....	204
3.69. ábra. Forgattyús tengely szalagos tükörsimítása [16].....	205
3.70. ábra. A koptató csiszolás eljárásai.....	206
4.1. ábra Számvezérlésű szerszám gép alapelve ([1] alapján).....	210
4.2. ábra Koordináta rendszer elhelyezése és a tengelyek elnevezése [2].....	212
4.3. ábra Vonatkoztatási pontok esztergánál és marógépnél [2].....	213
4.4. ábra Pontvezérlés (a) és szakaszvezérlés (b) tipikus esetei [2].....	214
4.5. ábra Pályavezérlés elvi lehetősége esztergálással [2].....	214
4.6. ábra Pályavezérlés elvi lehetőségei marásnál [2].....	215
4.7. ábra a) és b) lineáris, c) körinterpoláció elvi megvalósítása ([1] alapján).....	215
4.8. ábra NC eszterga felépítése [1].....	216
4.9. ábra Esztergaközponton végezhető műveletek [1].....	217
4.10. ábra 5D vertikális megmunkáló központ munkatere [1].....	218
4.11. ábra. CNC palástköszörű vázlata (a - ferde ágy; b - köszörű egység; c - munkadarab orsó konzolja; d - szegnyereg konzolja; e - automata korongcserélő; f - csapos korongok automata cserélője; g - munkadarab cserélő; h - elektronikus mérőkészülék; i - CNC vezérlés) [1]	219
5.1. ábra. Az utóbbi évek technológiai fejlesztései [1].....	222
5.2. ábra. A forgácsolási sebesség növelésének hatása [2].....	223

5.3. ábra. Forgácsolási határsebesség a hagyományos és a nagysebességű forgácsolás közt [3]	223
5.4. ábra. Öntőszerszám hagyományos és HSC megmunkálásának összehasonlítása [4]	225
5.5. ábra. HSC és HPC eljárások összehasonlítása [5]	225
5.6. ábra. Köszörült és keménysztergált felület jellegzetes érdességi képe	226
5.7. ábra. CBN szerszám éltartam-görbéi különböző keménységű anyagok esztergálásánál [6]	227
5.8. ábra. Az él hőmérsékletének változása különböző hűtés-kenési módok esetén [7]	228
5.9. ábra. A hagyományos és az optimalizált „száraz” fűrőszerszám forgácselvezető hornyának kialakítása [7]	229
5.10. ábra. A forgács közvetlen elszívásának megoldása szárazmegmunkálásnál [2]	230
5.11. ábra. Szárazforgácsoló géppel kapcsolatos követelmények [8]	230
5.12. ábra. Vákuum (Venturi) rendszer	231
5.13. ábra. Nyomott tartályos rendszer	231
5.14. ábra. Dugattyús adagoló rendszer	232
5.15. ábra. Boosters rendszer	232
5.16. ábra. Örvénykamrás rendszer	232
5.17. ábra. A kenőanyag-keverés és a hozzávezetés módjai [2]	233
5.18. ábra. Az elárasztásos, száraz forgácsolás és minimálkenés jellemzőinek összehasonlítása [13]	234