PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar

DR. STAMPFER MIHÁLY

FORGÁCSOLÁS

Gépipari technológiák I

2. kiadás

Dr. Stampfer Mihály

FORGÁCSOLÁS
Gépipari technológiák I
2.kiadás

Pollack jegyzetek

Dr. Stampfer Mihály

FORGÁCSOLÁS

Gépipari technológiák I

2. kiadás

Pollack Kiadó · Pécs, 2012

A jegyzet megjelenését az Európai Unió és a Pécsi Tudományegyetem támogatta.

LEKTORÁLTA

Dr. Szegh Imre
Dr. Firstner Stevan

Szövegszerkesztés és grafika

Dr. Stampfer Mihály

© Dr. Stampfer Mihály, 2012

TARTALOM

ELŐSZÓ 1

BEVEZETŐ 3

1. A FORGÁCSOLÁS ELMÉLETE 4

1.1 A FORGÁCSLEVÁLASZTÁS ALAPJAI 4
1.2 A FORGÁCSOLÁSHOZ SZÜKSÉGES MOZGÁSOK ÁTTEKINTÉSE 5
1.3 A SZERSZÁMOK ÉLGEOMETRIÁJA 7
1.4 A FORGÁCSKÉPZŐDÉS FOLYAMATA 9
1.5 A FORGÁCSOLÓERŐ MEGHATÁROZÁSA 12
1.5.1 A forgácsolóerő elméleti meghatározása 12
1.5.2 A forgácsolóerő meghatározása tapasztalati képletek segítségével 13
1.5.3 A forgácsolóerő meghatározása kötött forgácsolás esetében 16
1.5.3.1 A forgácsolóerő értékét befolyásoló másodlagos tényezők 17
1.6 A FORGÁCSOLÁSI TELJESÍTMÉNY 21
1.7 TERMIKUS JELENSÉGEK FORGÁCSOLÁSNÁL 22
1.7.1 Hűtés-kenés forgácsoláskor 23
1.7.2 Élrátét képződés 23
1.8 SZERSZÁMANYAGOK 24
1.8.1 Szerszámacélok 24
1.8.2 Keményfémek 25
1.8.3 Kerámiák 25
1.8.4 Szuperkemény szerszámanyagok 26
1.8.5 Bevonatos szerszámok 26
1.9 SZERSZÁMKOPÁS ÉS ÉLTARTAM 27
1.10 FELÜLETI ÉRDESSÉG 31

2. ESZTERGÁLÁS 33

2.1 AZ ESZTERGÁLÁS VÁLTOZATAI 33
2.2 ESZTERGASZERSZÁMOK (FORGÁCSOLÓKÉSEK) 35
2.3 MUNKADARAB BEFOGÁS. ESZTERGAKÉSZÜLÉKEK 39
2.4 FORGÁCSOLÓERŐ, TELJESÍTMÉNY 41
2.5 FORGÁCSOLÁSI ADATOK MEGHATÁROZÁSA 42
2.5.1. Fogásmélység 42
2.5.2 Az előtolás meghatározása 44
2.5.2.1 Az előtolás ellenőrzése a késszár-keresztmetszet alapján 45
2.5.2.2 Az előtolás ellenőrzése a megmunkálási pontosság alapján 47
2.5.2.3 Az előtolás ellenőrzése a felületi érdesség alapján 50
2.5.3 A forgácsolósebesség meghatározása 50
2.6. A GÉPI FŐIDŐ MEGHATÁROZÁSA ESZTERGÁLÁSNÁL 53

3. GYALULÁS ÉS VÉSÉS 55

4. FURATMEGMUNKÁLÁS (fúrás, süllyesztés, dörzsölés) 57

4.1 A FURATMEGMUNKÁLÁS VÁLTOZATAI 57
4.2 A FURATMEGMUNKÁLÁS SZERSZÁMAI 59
4.3 A FORGÁCSOLÓERŐ ÉS A TELJESÍTMÉNY MEGHATÁROZÁSA 64

4.3.1 A forgácsolóerő és nyomatéka csigafúróval történő fúrásnál és fölfúrásnál 64
4.3.2 A forgácsolóerő és nyomatéka süllyesztésnél 66
4.3.3 A forgácsolóerő és nyomatéka dörzsölésnél 67
4.3.4 A forgácsolóerő és nyomatéka menetfúrásnál 67
4.3.5 A furatmegmunkáláshoz szükséges teljesítmény 68
4.4 A FORGÁCSOLÁSI ADATOK MEGHATÁROZÁSA 69
4.4.1. A fogásmélység meghatározása 69
4.4.2 Az előtolás meghatározása 70
4.4.3 A forgácsolósebesség meghatározása 72
4.5. A GÉPI FŐIDŐ MEGHATÁROZÁSA 74

5. MARÁS 76

5.1 A MARÁS VÁLTOZATAI 76
5.2 MARÓSZERSZÁMOK 78
5.2.1 Marószerszámok élgeometriája 79
5.3 FORGÁCSOLÓERŐ, TELJESÍTMÉNY 80
5.3.1 Forgácsolóerő homlokmarásnál 80
5.3.2 Forgácsolóerő palástmarásnál 84
5.3.3 A forgácsolási- és a gépteljesítmény marásnál 86
5.4 A FORGÁCSOLÁSI ADATOK MEGHATÁROZÁSA 86
5.4.1 A fogásmélység meghatározása 86
5.4.2 Az előtolás meghatározása 87
5.4.3 A forgácsolósebesség és a fordulatszám meghatározása 90
5.5 A GÉPI FŐIDŐ MEGHATÁROZÁSA 92
5.6 A MUNKADARABOK BEFOGÁSA MARÓGÉPEKEN 94

6. ÜREGELÉS 97

6.1 AZ ÜREGELÉS VÁLTOZATAI 97
6.2 ÜREGELŐ SZERSZÁMOK 98

7. FŰRÉSZELÉS 100

8. KÖSZÖRÜLÉS 101

8.1 A KÖSZÖRÜLÉS VÁLTOZATAI 101
8.2 KÖSZÖRŰSZERSZÁMOK 103
8.2.1 A köszörűszemcse anyaga 103
8.2.2 Kötések, kötőanyagok 104
8.2.3 A köszörűkorongok alakja és felfogása 106
8.2.4 A köszörűkorongok minősége és jelölése 107
8.3 A FORGÁCSLEVÁLASZTÁS KÖRÜLMÉNYEI KÖSZÖRŰLÉSNÉL 109
8.4 A FORGÁCSÁCSOLÓERŐ MEGHATÁROZÁSA KÖSZÖRŰLÉSNÉL 110
8.5 A KÖSZÖRŰSZERSZÁMOK ELHASZNÁLÓDÁSA ÉS SZABÁLYOZÁSA 112
8.6 A TECHNOLÓGIAI ADATOK MEGHATÁROZÁSA 118
8.6.1 A fogásmélység meghatározása 118
8.6.2 Az előtolás meghatározása 119
8.6.3 A forgácsolósebesség és a korongfordulatszám meghatározása 122
8.7. A GÉPI FŐIDŐ MEGHATÁROZÁSA 123

9. FORGÁCSOLÓ SZERSZÁMGÉPEK 126

9.1 ESZTERGÁK 126
9.1.1 Egyetemes eszterga 127

9.1.2 Síkesztergák 128
9.1.3 Revolveresztergák 129
9.1.4 Automata (programvezérelt) esztergák 130
9.2 GYALUGÉPEK 133
9.3 FÚRÓGÉPEK 136
9.3.1 Kézi fúrógépek 136
9.3.2 Egyorsós fúrógépek 136
9.3.3 Többorsós fúrógépek 138
9.4 MARÓGÉPEK 138
9.5 VÍZSZINTES FÚRÓ-MARÓMŰ 142
9.6 ÜREGELŐ (ALAKHÚZÓ) GÉPEK 142
9.7 FŰRÉSZELő GÉPEK 144
9.8 KÖSZÖRŰGÉPEK 145
9.9 MEGMUNKÁLÓ KÖZPONTOK 148
9.10 TENGELYVÉG MEGMUNKÁLÓ CÉLGÉPEK 150
9.11 FOGAZÓGÉPEK 150
9.11.1 Hengeres fogazatok nagyoló- és simító fogazógépei 150
9.11.2 Hengeres fogazatok finomfelületi fogazógépei 154
9.11.2 Kúpkerekek fogazógépei 155
9.11.2.1 Kúpkerék-gyalugépek 155
9.11.2.1 Kúpkerék-marógépek 156

IRODALOM 160

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

α	[º]	hátszög
A	[mm^2]	forgácskeresztmetszet
A_s	[mm^2]	a nyírt felület nagysága
a	[mm]	fogásméret – szélesség, vagy mélység
a_p	[mm]	tengelyirányú fogásmélység
a_e	[mm]	radiális irányú fogásmélység
β	[º]	ékszög
B_{max}	[mm]	a használható élhossz
B_s	[mm]	élhossz, korongszélesség
b_w	[mm]	megmunkálási szélesség
b	[mm]	elméleti forgácsszélesség
C	[mm]	mechanikai és hőhatások miatt meghibásodott anyagréteg
C_F		erőállandó
C_M		nyomaték állandó
C_T		éltartamállandó
C_v		sebességállandó
δ	[mm]	lehajlás
D, d	[mm]	a munkadarab vagy a szerszám jellemző átmérője
η		a gép hatásfoka
E	[N/mm^2]	rugalmassági modulus
ε_r	[º]	csúcsszög
F_c	[N]	főforgácsolóerő
F_h	[N]	forgácsvastagság irányú erő, mélyítő erő
F_t	[N]	a szerszám homloklapján ható súrlódó erő
F_{nt}	[N]	a szerszám homloklapján ható normális erő
F_s	[N]	a nyírási síkban ható nyíróerő
F_{ns}	[N]	a nyírási síkra ható normális erő
F_p	[N]	passzív erő
F_f	[N]	előtolásirányú erőösszetevő
F_{ax}	[N]	a maró tengelyirányába ható erőösszetevő
F_a	[N]	aktív erő
F_{czm}	[N]	átlagos, egy élre ható forgácsolóerő
F_{cm}	[N]	átlagos, a maróra ható forgácsolóerő
f	[mm/ford], [mm/löket]	előtolás
f_a	[mm/ford]	axiális irányú előtolás
f_r	[mm/ford]	radiális irányú előtolás
f_t	[mm/ford]	tangenciális irányú előtolás
f_z	[mm/él]	egy élre jutó előtolás
γ	[º]	homlokszög
h	[mm]	elméleti forgácsvastagság
h_m	[mm]	átlagos forgácsvastagság
h_{eq}	[mm]	ekvivalens (egyenértékű) forgácsvastagság
I	[mm^4]	a keresztmetszet másodrendű nyomatéka
i		fogások száma, az egyidejűleg forgácsoló fogak száma
K	[mm^3]	keresztmetszeti tényező
K_p	[mm^3]	poláris keresztmetszeti tényező
k_c	[N/mm^2]	fajlagos forgácsolóerő

$k_{c1.1}$	[N/mm^2]	a fajlagos forgácsolóerő főértéke
k_{cgrind}	[N/mm^2]	a fajlagos forgácsolóerő középértéke köszörülésnél
K_F		összegzett forgácsolóerő módosító tényező
K_{Fsz}		szerszámanyag-módosító tényező
$K_{F\gamma o}$		homlokszög módosító tényező
$K_{F\kappa}$		főél elhelyezési szög módosító tényező
K_{Fv}		sebesség-módosító tényező
K_{FVB}		szerszámkopás-tényező
K_{Fr}		csúcssugár-tényező
KT	[mm]	homlokfelület és kráteres kopás
K_{sz}	[Ft]	szerszámköltség egy éltartamra
K_g	[Ft/min]	gépköltség
K_v		összesített sebesség módosító tényező
$K_{v\kappa}$		főél elhelyezési szög módosító tényező
K_{vvo}		esztergálási változat módosító tényező
K_{vH}		hűtő és kenőanyag alkalmazás módosító tényező
κ_r	[º]	főél elhelyezkedési szög
κ_{1r}	[º]	mellékél elhelyezkedési szög
L	[mm]	a szerszámút hossza.
l	[mm]	hosszméret, befogási hossz
l_k	[mm]	a kés kinyúlása
l_w	[mm]	megmunkálási hossz
M	[Nmm]	nyomaték
m		kitevő
n	[min^{-1}]	forgácsolási fordulatszám
n_w	[min^{-1}]	tárgyfordulatszám köszörülésnél
n_L	[löket/min]	percenkénti löketek száma
μ		modellállandó, súrlódástényező
λ_{cp}		arányossági tényező
λ_s	[º]	terelőszög, élhajlás-szög
Φ	[º]	nyírási szög, kapcsolószög marásnál (radiánban)
φ_E	[º]	élbelépési szög
φ_A	[º]	élkilépési szög
P	[mm]	menetemelkedés
P_c	[kW]	forgácsoló teljesítmény
P_m	[kW]	munkagép teljesítménye
q, Q_w	[cm^3/min]	anyagleválasztási sebesség (térfogatáram)
R	[mm]	ráhagyás
R_1	[mm]	ráhagyás nagyolásra
R_2	[mm]	ráhagyás simításra
R_3	[mm]	köszörülési ráhagyás
R_m	[N/mm^2]	szakítószilárdság
R_a	[mm]	átlagos érdesség
R_t	[mm]	elméleti érdesség
R_z	[mm]	egyenetlenségmagasság
σ	[N/mm^2]	normálfeszültség
ρ	[º]	súrlódási félkúpszög
τ_s	[MPa]	a megmunkálandó anyag nyírószilárdsága,

T	[min]	éltartam
t_{cs}	[min]	szerszámcserélési idő
t_g	[min]	gépi főidő
ξ		alakváltozási tényező
x_F , y_F		a forgácsvastagság és a forgácsszélesség kitevői erő meghatározásnál
x_T, y_T, z_T		kitevők az éltartam-összefüggésben
x_v, y_v,		kitevők a sebesség meghatározásánál
x_M, y_M, w_M		kitevők nyomaték meghatározásánál
v_c	[m/min]	forgácsolósebesség
v_f	[mm/min]	előtolási sebesség
v_w	[m/min]	tárgysebesség köszörülésnél
v_s	[m/sec]	korongsebesség
VB	[mm]	hátfelület-kopás
z		az élek száma
u_{max}	[mm]	marótengely megengedett behajlása

ELŐSZÓ

A jegyzet a BSc képzésben résztvevő hallgatók számára készült, azzal a céllal, hogy a Gépipari technológiák I tantárgy tananyagát minél könnyebben elsajátítsák, de természetesen hasznos olvasmány lehet mindenkinek, aki a forgácsoló megmunkálások iránt érdeklődik vagy azzal foglalkozik. A jegyzetben tárgyalásra kerül a forgácsolás elmélete, az esztergálás, gyalulás, fúrás, marás, üregelés, fűrészelés és a köszörülés. E jegyzet a Műszaki Karon felnövekvő fiatal, jövendő mérnökök számára a technológiai tudásuk megalapozását képezi, és erre épül később más, technológiai ismereteket nyújtó tantárgyak tananyaga, mint például: Gépipari technológiák II (Készülékek, Gyártástervezés); Gépipari technológiák V (Rugalmas gyártás); Gépipari technológiák VI (Fogazás, Finomfelületi megmunkálások, Szikraforgácsolás).

Szem előtt tartva az egyre inkább jelenlévő globalizálódást és hogy minél könnyebb legyen a külföldi szakirodalomban, katalógusokban is eligazodniuk a fiatal szakembereknek, a jegyzetben előforduló mennyiségek és paraméterek jelölésére igyekeztem az új, nemzetközileg is alkalmazott jelöléseket alkalmazni.

Hálával tartozom Dr. Éltető Gábor, ny. főiskolai docensnek, a kézirat gondos átolvasásáért és hasznos tanácsaiért.

A második kiadás az első kiadástól annyiban tér el, hogy egy új fejezettel bővült ki, amely a szerszámgépek rövid áttekintését tartalmazza. Ez mellett néhány sajtóhiba lett kijavítva, a fúrószerszámokat ábrázoló ábrát módosítottam és a vésés ismertetését egy új ábrával egészítettem ki.

BEVEZETŐ

A gépipari termelés rendkívül összetett tevékenység, sok résztvevővel, vállalaton belüli és külső kooperációval. Magába foglalja a piackutatásoktól a termék kiszállításáig tartó tevékenységsorozatot. (vállalat-irányítás, erőforrás-gazdálkodás, gazdasági funkciók, gyártás, adminisztráció stb.).

A "gyártás" fogalmán a vállalaton belüli anyagáramokat, transzformációkat és az ezek feletti informatikai folyamatokat értjük. Ide tartoznak:

- a gyártás műszaki, szervezési előkészítése, irányítása,
- előgyártmány gyártás, alkatrészgyártás, szerelés,
- műszaki ellenőrzés,
- raktározás, szállítás,
- hulladék anyagok kezelése

Technológia alatt az ember által létrehozott objektumok vagy rendszerek készítésének, gyártásának tudományát, technikáját és gyakorlatát értjük.

Az alkatrészgyártási folyamat azoknak a tevékenységeknek az összessége, amelyeknek folyamán egy anyagból vagy testből beépítésre kész alkatrészt vagy ipari terméket állítanak elő. Műveletekre tagolható. A gyártási folyamat helyett a technológiai folyamat kifejezést is gyakran használjuk.
Egy művelet alatt a munkadarab megmunkálási folyamatának azon szakaszát értjük, amelyet egy szerszámgépen egy gépelőkészítéssel, ill. egy befogásban hajtunk végre. Műveletelemekre tagolható.
Műveletelem alatt értendő az adott ráhagyási alakzat egy szerszámmal történő eltávolítása, azonos forgácsolási adatok mellett. Egy műveletelem egy, vagy több fogásból áll.

A munkadarab állapotváltozásai szemszögéből a gyártási eljárások legfontosabb osztályai akövetkezők:

- Alakadó (öntés)
- Anyagszétválasztó (kivágás, darabolás)
- Anyagleválasztó (forgácsolás)
- Anyagtulajdonság-változtató (hőkezelés)
- Anyagegyesítő (hegesztés, forrasztás)
- Alakátformáló (sajtolás, hengerlés)
- Bevonatoló (galvanizálás)

A gyártási eljárások hatásmechanizmusa szerint megkülönböztetünk:

- mechanikai (pl. forgácsolás),
- kémiai (pl. galvanizálás),
- fizikai (pl. hegesztés)
- kombinált eljáráscsoportokat

Az alkatrészt gyártás közben munkadarabnak nevezzük szabatosan és csak kész állapotában lesz alkatrésszé. Az alkatrész kezdeti állapotát előgyártmánynak nevezzük.
E tankönyv a forgácsoló megmunkálás problémakörét tárgyalja műveletelem szinten (ismert a szerszám, amellyel egy adott anyagréteget kell eltávolítani), míg az alkatrészek gyártási folyamatának tervezését a „Gépipari technológiák II” tankönyv tárgyalja.

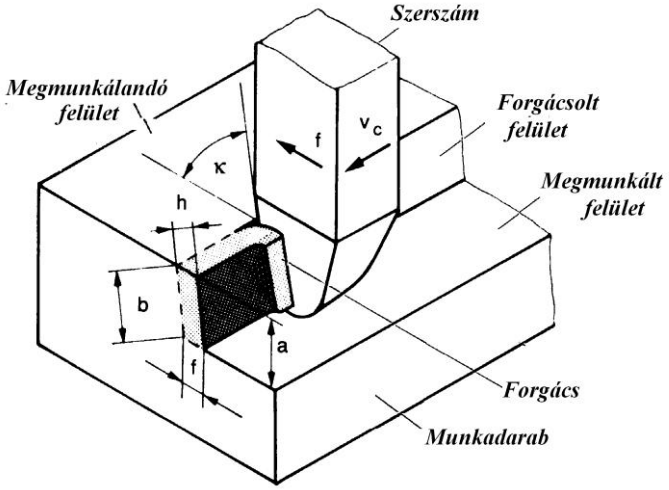
1. A FORGÁCSOLÁS ELMÉLETE

1.1 A FORGÁCSLEVÁLASZTÁS ALAPJAI

A forgácsolás az anyagok olyan alakítási eljárása, melynek során a munkadarabról ékalakú szerszám segítségével mechanikus úton anyagrészecskéket (forgácsot) választanak le.
A megmunkáló rendszer elemei és összetevői:

- munkadarab (a munka tárgya)
- szerszám (munkaeszköz)
- forgács
- munkagép, amely a munkadarab és a szerszám kölcsönhatásához szükséges energiát és mozgást biztosítja

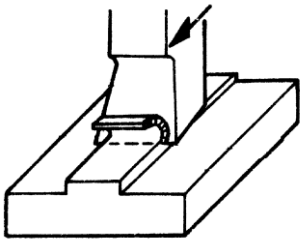
A forgácsolási folyamat modelljét egyélű, egyenes vonalú mozgást végző szerszám esetére az 1-1. ábra mutatja.



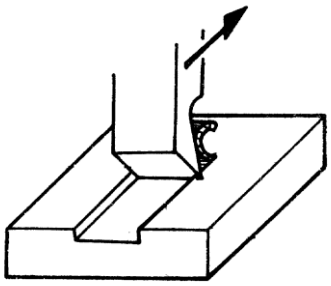
1-1. ábra. A forgácsolási folyamat modellje

A forgácsolási folyamat felosztható szabad- és kötött-forgácsolásra. A szabadforgácsolás fő jellemzői a következők (1-2. ábra):

- a szerszám élének minden pontján azonosak a geometriai kinetikai viszonyok
- a szerszámnak csak egy éle (főél) vesz részt a forgácsolásban.

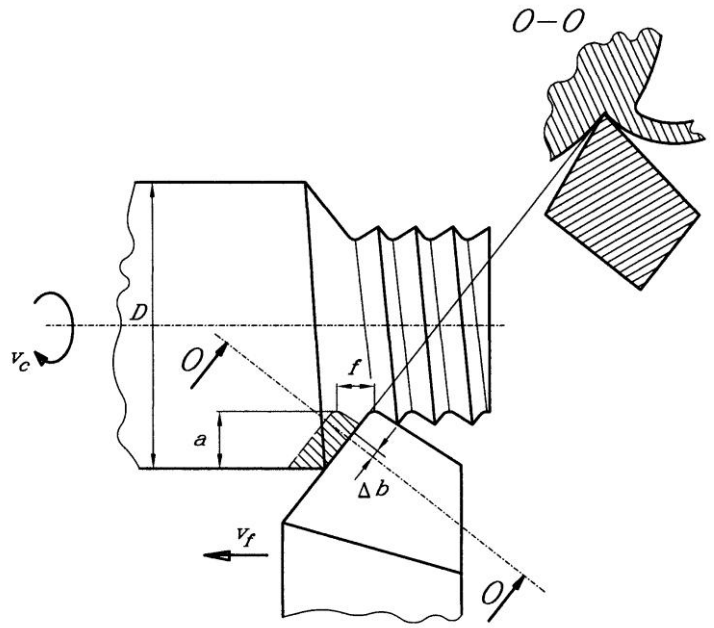


1-2. ábra. Szabadforgácsolás.



1-3. ábra. Kötött forgácsolás.

Kötött forgácsolásnál a forgácsolásban a szerszám főélén kívül részt vesz a mellék- illetve több él is (1-3. ábra). Ha a forgácsszélességnek egy Δb tetszőlegesen rövid szakaszát szemléljük, úgy azt szabadforgácsolásnak tekinthetjük, az él pedig elemi élek sorozatának tekinthető (1-4. ábra).



1-4. ábra. Kötött forgácsolás visszavezetése szabad forgácsolásra hosszesztergálás példáján

Forgácsoláselméleti kérdések vizsgálatánál az „egyszerűtől a bonyolult felé” fokozatossági elv betartása célszerű. Ezért legtöbbször az alapvető összefüggések vizsgálatát szabad forgácsolásra végezzük.

A folyamatot jellemző alapmennyiségek:

v_c – forgácsolósebesség, a forgácsolóél kiválasztott pontjának a munkadarabhoz viszonyított sebessége. Forgómozgásnál $v_c = D \cdot \pi \; n / 1000$ [m/min]

D – a munkadarab vagy a szerszám jellemző átmérője [mm]

n - forgácsolási fordulatszám, [min^{-1}]

h – elméleti forgácsvastagság, [mm]

b – elméleti forgácsszélesség, [mm]

a – fogásméret – szélesség, vagy mélység,

f – előtolás – egy a gépen beállított hosszúság, [mm/ford], [mm/löket]

A – forgácskeresztmetszet $A = h \cdot b = f \cdot a$ [mm^2]

$v_f = n \cdot f$ - előtolási sebesség (származtatott mennyiség), [mm/min]

$q = A \cdot v_c$ - anyagleválasztási sebesség (térfogatáram) [cm^3/min]

1.2 A FORGÁCSOLÁSHOZ SZÜKSÉGES MOZGÁSOK ÁTTEKINTÉSE

A forgácsoláshoz a munkadarab és a szerszám egymáshoz viszonyított elmozdulására van szükség. Ez a mozgás összetett mozgás, amelyet a szerszámgép mozgásrendszere hoz létre és amely fő- és mellékmozgásokból áll.

A forgácsoló főmozgás a forgácsleválasztás irányába eső mozgás, amely közvetlenül a forgácsleválasztást hozza létre. A szerszámgép főhajtóműve létesíti a munkadarab vagy a szerszám mozgatásával.

A forgácsoló mellékmozgások a főmozgáshoz hozzáadva az ismételt vagy folyamatos réteglevalasztást biztosítják. Lehetnek előtolásirányú- vagy fogásvétel irányú mozgások.

Az előtolásirányú mellékmozgás (röviden előtolás) a leválasztandó forgácsvastagságot befolyásoló elmozdulás. Az előtolási sebesség, mellett a gyakorlatban az előtolómozgás jellemzésére az *f* előtolás nagyságát használják, amelyet a forgácsolási folyamat egy meghatározott részére vonatkoztatnak, pl. esztergáláskor a szerszámnak az elmozdulása, amelyet a munkadarab egy fordulata alatt tesz meg (mm/fordulat), vagy gyaluláskor egy kettőslöketre jutó előtolásirányú elmozdulás (mm/kettőslöket).

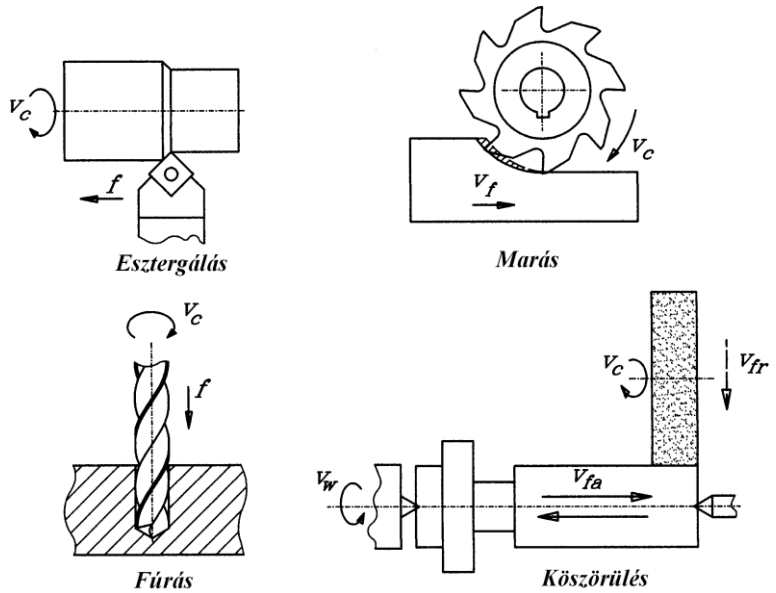
A fogásvételirányú mellékmozgás rendszerint a forgács szélességét határozza meg, általában merőleges az előtolásra és mindig szakaszos. Az elmozdulás nagyságát fogásmélységnek nevezzük.

Beállító és segédmozgások szükségesek a forgácsolási folyamat megkezdése előtt, amelyekkel a szerszám és a munkadarab meghatározott helyzetbe hozható. Például fúrás előtt a szerszámot a furat feletti helyzetbe kell mozgatni.

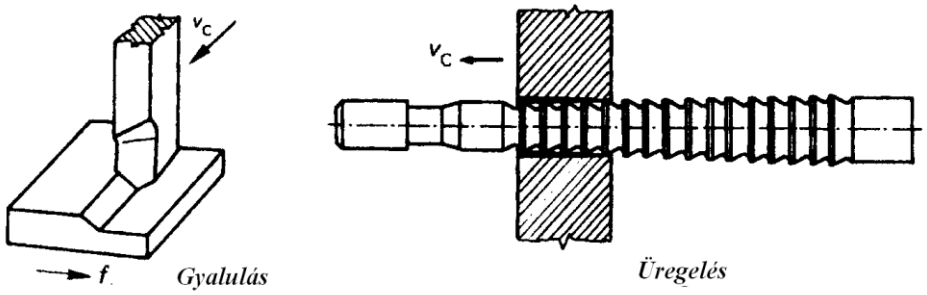
A forgácsolási módok és mozgásrendszereik

Minden forgácsolási módhoz egy főmozgás, és egy vagy több mellékmozgás tartozik (1-1. táblázat). A főmozgás fajtája szerint a forgácsolási módok két csoportra oszthatók(1-5., 1-6. ábrák):

- forgó főmozgású forgácsoló eljárások (esztergálás, fúrás, marás, köszörülés)
- egyenes vonalú főmozgású eljárások (gyalulás, vésés, üregelés, fűrészelés)



1-5. ábra. Forgó főmozgású forgácsoló eljárások.



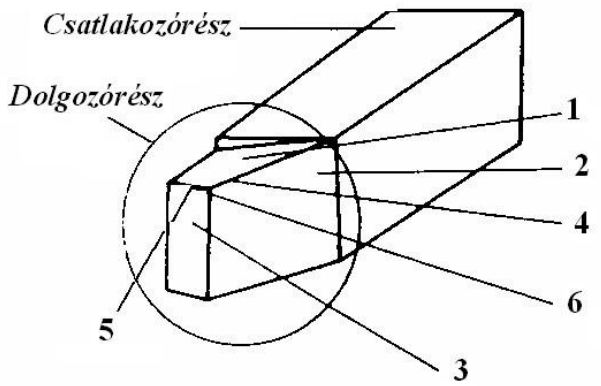
1-6. ábra. Egyenes vonalú főmozgású eljárások.

1-1. táblázat. Forgácsoló eljárások.

	Főmozgás		Mellékmozgás	
	jellege	végzi	jellege	végzi
Esztergálás	Forgó	Munkadarab	Egyenes vonalú	Szerszám
Gyalulás	Egyenes vonalú váltakozó	Szerszám vagy munkadarab	Egyenes vonalú szakaszos	Munkadarab vagy szerszám
Vésés	Egyenes vonalú váltakozó	Szerszám	Egyenes vonalú szakaszos	Szerszám
Marás	Forgó	Szerszám	Egyenes vonalú	Munkadarab
Fúrás	Forgó	Szerszám	Egyenes vonalú	Szerszám
Üregelés	Egyenes vonalú	Szerszám		Szerszám
Köszörülés	Forgó	Szerszám	Egyenes vonalú vagy forgó	Munkadarab vagy szerszám

1.3 A SZERSZÁMOK ÉLGEOMETRIÁJA

Szerkezeti kialakításuk szerint a forgácsolószerszámok sokfélék, de a jellegzetes felületek és szögek minden szerszámnál jelen vannak. Ezért az élgeometriával kapcsolatos fogalmak értelmezését a legegyszerűbb alakú, egyélű szerszámon végezzük.



1-7. ábra. A szerszám részei, felületei és élei.

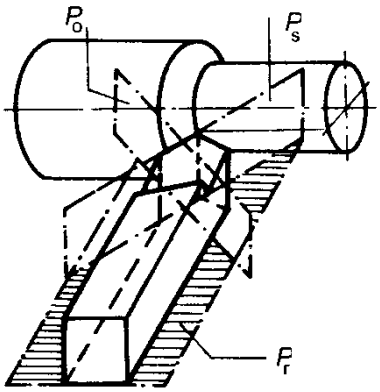
A szerszám dolgozó részének elemei (1-7. ábra):

1 – homloklap, 2 – hátlap, 3 – mellékhátlap, 4 – forgácsolóél, 5 – mellékél, 6 – szerszámcsúcs.

A szerszámsíkok (viszonyítási síkok) (1-8. ábra):

P_r – alapsík, v_c irányára merőleges
P_s – élsík, tartalmazza a forgácsolóélt és merőleges P_r –re
P_o – ortogonális sík, merőleges P_r és P_s –re.

Az 1-8. ábrán nincsenek feltüntetve a következő viszonyítási síkok:
P_f – munkasík (feltételezett), merőleges P_r –re és párhuzamos az előtolás irányával
P_p – tengelysík, merőleges P_r –re és merőleges P_f –re és áthalad a szerszám csúcsán.
P_n – élnormálsík, merőleges a forgácsoló élre.



1-8. ábra. Szerszámsíkok

Szerszámszögek.

A szerszámszögeket a fent ismertetett viszonyítási síkok segítségével határozzuk meg. A szerszám alapsíki nézetén a nézeti szögek-, míg az ortogonális sík metszetében a metszeti szögeket értelmezzük (1-9. ábra):

α_o - hátszög (a hátlap és a szerszámélsík közötti szög)

β_o - ékszög (a homloklap és a hátláp közötti szög)

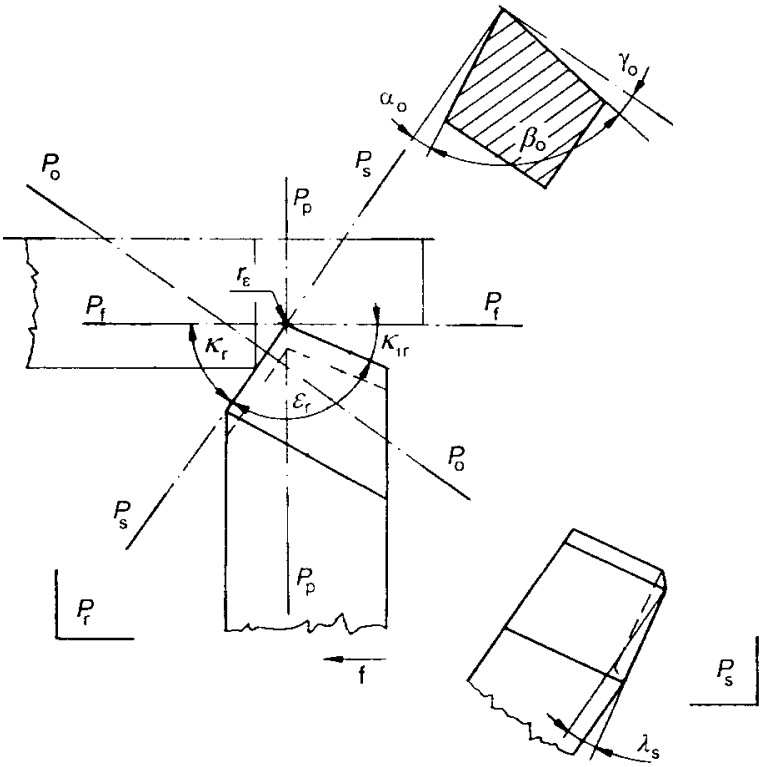
γ_o - homlokszög (a homloklap és az alapsík közötti szög), pozitív ha $\alpha + \beta < 90^o$

ε_r - csúcsszög (a főél és a mellékél közötti szög)

κ_r - főél elhelyezkedési szög (a főél és a munkasík közötti szög)

κ_{1r} mellékél elhelyezkedési szög (a mellékél és a munkasík közötti szög)

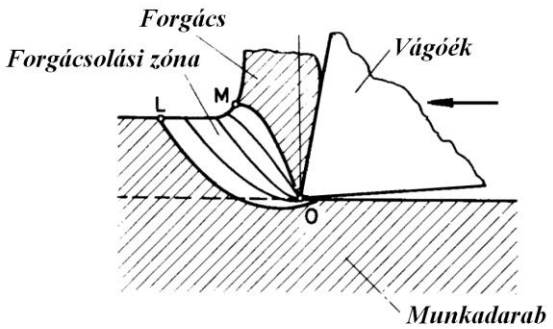
λ_s - terelőszög (a főél és a főél alapsíki vetülete közötti szög).



1-9. ábra. Szerszámszögek

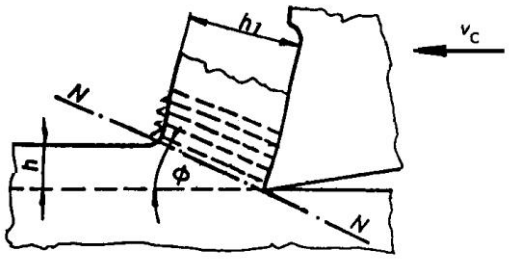
1.4 A FORGÁCSKÉPZŐDÉS FOLYAMATA

A forgácsképződés folyamata legegyszerűbben a szabadforgácsolás körülményei között tanulmányozható.
A forgácsolási folyamat a szerszám, a munkadarab és a forgács közötti u.n forgácstőben vagy forgácsolási zónában megy végbe. Forgácstőnek mondjuk a leváló forgácsnak a munkadarabbal közvetlenül összefüggő darabját és ide tartoznak a vágóéknek az előbbiekkel érintkező része is [1] (1-10. ábra). A szerszám élével és homlokfelületével a munkadarab anyagába hatol, azt az él előtt képlékenyen deformálja oly mértékben, hogy az anyag a keletkezett feszültségnek már nem tud ellenállni, szerkezete felszakad és a forgács elválik a munkadarabtól. A forgácsképződés bonyolult folyamat, a forgácstőben összetett és igen bonyolult feszültségállapot uralkodik. Némi egyszerűsítéssel elfogadható, hogy a főigénybevétel forgácsolásnál a nyírás, és így a forgácsolási zóna egy nyírási síkra vezethető vissza (1-11. ábra). Az anyagrészecskék (forgácselemek) egy meghatározott síkban elnyíródnak és elcsúsznak (nyírási sík). A nyírási sík helyzetét a Φ nyírási szög határozza meg. A lenyírt forgácselemek, a körülményektől (munkadarab anyaga, szerszám jellemzők, forgácsolási paraméterek) függő mértékben részlegesen vagy teljesen összehegednek.



1-10. ábra. Forgácstő (forgácsolási zóna).

Forgácsolásnál a deformált réteg vastagsága megváltozik (1-11. ábra). A forgács vastagsága nagyobb lesz, mint az elméleti leválasztandó réteg vastagsága. Ennek megfelelően a forgácsolás kontinuitása alapján a forgács hossza csökken, míg megfigyelések alapján megállapítható, hogy a forgács szélessége gyakorlatilag nem változik (síkbeli alakváltozás).



1-11. ábra. Nyírási sík.

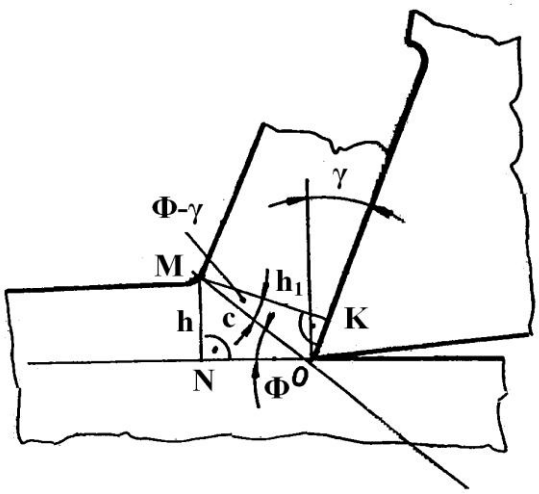
A leválasztandó réteg- és a forgácsvastagság viszonyaszáma az alakváltozási tényező ξ. Felírható úgy is mint a leválasztandó réteg hossza és a forgács hosszának viszonya ill. a keresztmetszetek viszonya.

$$\xi = \frac{h_1}{h} = \frac{l}{l_1} = \frac{A_1}{A}$$

Az alakváltozási tényező kísérleti úton meghatározható.

A nyírási szög, alakváltozási tényező és a homlokszög közötti összefüggés

Az 1-12. ábra szerinti jelöléseket használva, a szinusztétel alkalmazásával felírható a következő összefüggés:



1-12. ábra. A nyírási szög, alakváltozási tényező és a homlokszög közötti összefüggés

$$\frac{h_1}{\sin[90-(\Phi-\gamma)]}=\frac{c}{\sin 90}$$

$$\frac{h}{\sin\Phi}=\frac{c}{\sin 90}$$

$$\frac{h_1}{\cos(\Phi-\gamma)}=\frac{h}{\sin\Phi}$$

$$\frac{h_1}{h}=\frac{\cos(\Phi-\gamma)}{\sin\Phi}=\xi$$

$$\frac{\cos\Phi\cos\gamma+\sin\Phi\cdot\sin\gamma}{\sin\Phi}=\xi$$

$$\mathrm{tg}\,\Phi=\frac{\cos\gamma}{\xi-\sin\gamma}$$

A fenti összefüggés alapján megállapítható, hogy a ξ alakváltozási tényező értékének csökkentése a nyírási szög értékének növeléséhez vezet. Ebből az összefüggésből megállapítható az is, hogy a ξ alakváltozási tényező és a Φ nyírási szög a forgácstő egyenértékű jellemzője.

A nyírási szög ismeretében számítható a nyírási felület majd azon keresztül a nyíróerő

$$F_s=\tau\cdot A_s$$

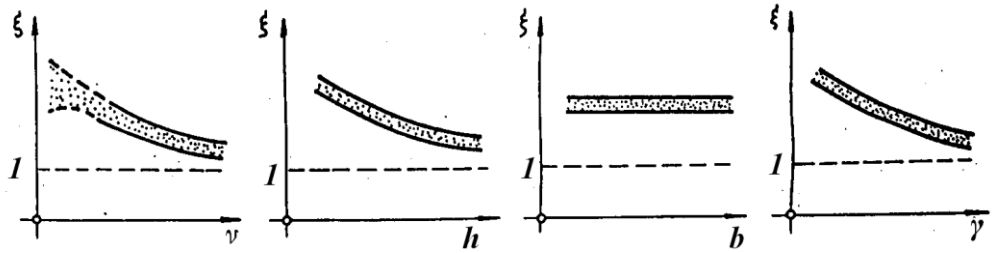
ahol:

τ_s – a megmunkálandó anyag nyírószilárdsága [MPa],

$A_s=\dfrac{A}{\sin\Phi}=\dfrac{h\cdot b}{\sin\Phi}$ a nyírt felület nagysága [mm^2].

Könnyen belátható, hogy a nyírási sík helyzete ill. a nyírási szög nagysága a nyírási felület nagyságát, és ezáltal a szükséges nyíróerő nagyságát befolyásolja. A legkisebb nyírt felület és ezzel a forgácsolás legkisebb energiaigénye Φ = 45° esetében lenne. A forgácsleválasztás valós körülményei között azonban ez az ideális eset nem érhető el, a nyírási szög jóval 45° alatt van.

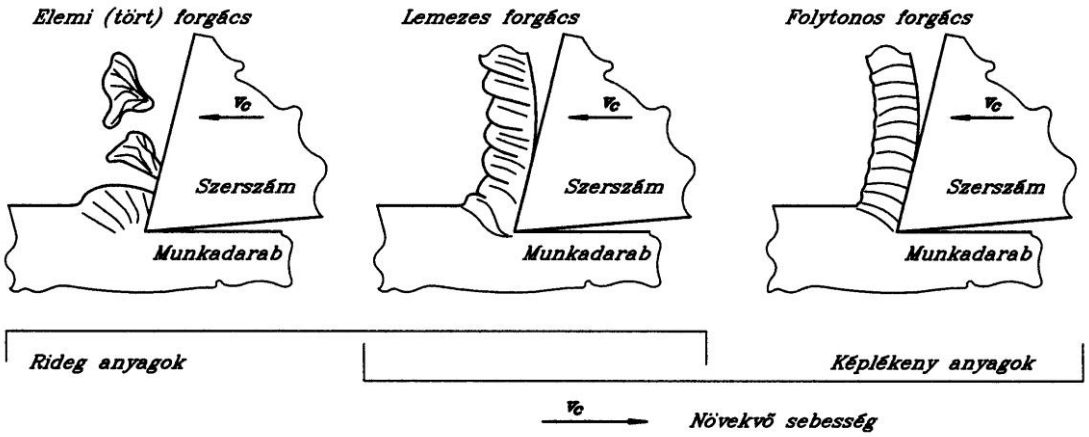
Érdekes megfigyelni, hogy miképpen befolyásolják az alakváltozási tényező értékét a technológiai jellemzők változása (1-13. ábra).



1-13. ábra. Az alakváltozási tényező értékének alakulása [4]

Forgácsfajták

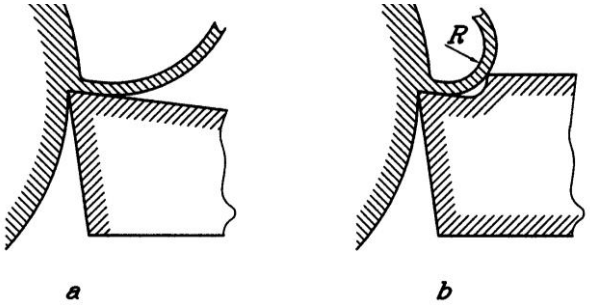
A munkadarab anyagától, a forgácsolási tényezőktől, a szerszámgeometriától függően különféle forgácsfajták keletkeznek (1-14. ábra): elemi vagy tört forgács, átmeneti vagy lemezes, és folytonos szerkezetű forgács.



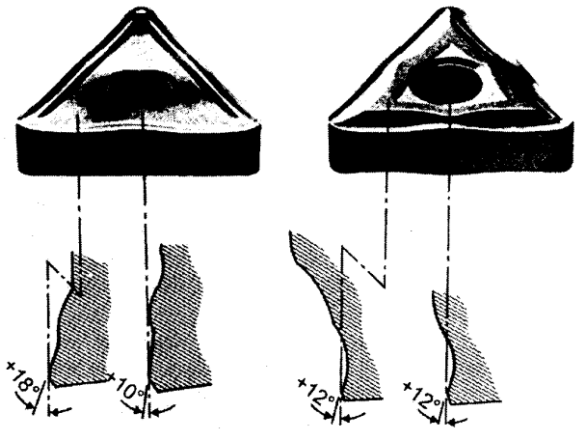
1-14. ábra. Forgácsfajták

Az a forgácsforma kedvező amelynél jó a megmunkált felület minősége és amely könnyen eltávolítható a szerszámgép munkateréből.

A folytonos forgácsot adó anyagoknál különösen nagyoláskor mesterséges forgácstörőket alkalmaznak. Ennek lényege, hogy a lefutó forgács útjában akadályt állítanak, ami erős alakváltozáshoz vezet és a forgács darabokra törik vagy tömött kötegbe csavarodik (1-15. és 1-16. ábrák).



1-15. ábra. A forgács lefutása a homlokfelületen
a) forgácstörő alkalmazása nélkül, b) forgácstörő alkalmazásával



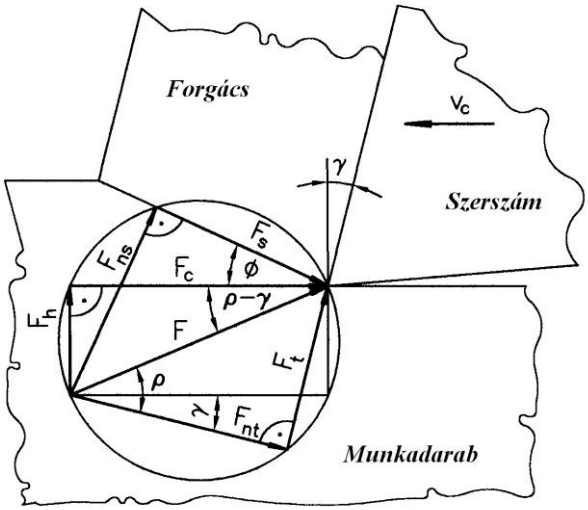
1-16. ábra. Forgácstörő kialakítások keményfém váltólapkákon (Sandvik)

1.5 A FORGÁCSOLÓERŐ MEGHATÁROZÁSA

A forgácsleválasztás erő hatására jön létre. Forgácsolóerő alatt a munkadarab szerszámra kifejtett hatását értjük. A forgácsolóerővel azonos nagyságú és hatásvonalú de ellentétes értelmű, a munkadarabra ható erőt, alakító erőnek nevezzük.

1.5.1 A forgácsolóerő elméleti meghatározása

Szabad ortogonális forgácsolás esetében síkbeli erőrendszer alakul ki (1-17. ábra). A forgácsolóerő elméleti meghatározásához Ernst és Merchant elméletét használjuk.



1-17. ábra. A Merchant modell.

Az F eredő forgácsolóerőt célszerű jellegzetes, egymásra merőleges irányú összetevőkre bontani. A Merchant modell három erőfelbontást alkalmaz:

1.
   F_c főforgácsolóerő , párhuzamos a forgácsolósebességgel,
   F_h a forgácsvastagság irányú erő, mélyítő erő, merőleges a főforgácsolóerő irányára.
2.
   F_t a szerszám homloklapján ható súrlódó erő,
   F_{nt} a szerszám homloklapján ható normális erő
3.
   F_s a nyírási síkban ható nyíróerő,
   F_{ns} a nyírási síkra ható normális erő

A ρ súrlódási félkúpszög értéke viszonylag magas ($22^o - 45^o$), $tg\rho = \frac{F_t}{F_{nt}} = \mu$.

A forgácsolási folyamat jellemzése és az energetikai számítások szempontjából legfontosabb összetevő a főforgácsolóerő. Az erőösszetevők és az eredő erő meghatározását az F_s nyíróerőből kiindulva végezhetjük, mert csak ezt az összetevőt határozhatjuk meg a képlékenységtan összefüggéseivel [10]. Az erőösszetevők és az eredő erő derékszögű háromszögeket alkotnak, így az ábra alapján felírhatók a következő összefüggések:

$$F = \frac{F_s}{cos[\Phi + (\rho - \gamma)]}$$

$$F_c = F_s \frac{cos(\rho - \gamma)}{cos[\Phi + (\rho - \gamma)]}$$

$$F_h = F_s \frac{sin(\rho - \gamma)}{cos[\Phi + (\rho - \gamma)]}$$

$$F_t = F_s \frac{sin\,\rho}{cos[\Phi + (\rho - \gamma)]}$$

$$F_n = F_s \frac{cos\,\rho}{cos[\Phi + (\rho - \gamma)]}$$

A nyíróerő fölírható mint :

$$F_s = \tau_s \cdot A_s = \frac{A \cdot \tau_s}{sin\,\Phi}$$

Ezzel a főforgácsolóerő és a mélyítő erő kifejezései a következő alakban írhatók fel:

$$F_c = A \cdot \tau_s \frac{cos(\rho - \gamma)}{sin\,\Phi \cdot cos[\Phi + (\rho - \gamma)]}$$

$$F_h = A \cdot \tau_s \frac{sin(\rho - \gamma)}{sin\,\Phi \cdot cos[\Phi + (\rho - \gamma)]}.$$

A Φ nyírási szög és a ρ súrlódási félkúpszög meghatározása körülményes, ezért a forgácsolóerő elméleti meghatározását a gyakorlati alkalmazásoknál nem használjuk.

1.5.2 A forgácsolóerő meghatározása tapasztalati képletek segítségével

Mivel az elméleti összefüggésekben található mennyiségek nem mindegyike ismeretes, a forgácsolóerőt a gyakorlatban méréssel határozzák meg. A mérési eredmények feldolgozásával nyerhetők a forgácsolóerő összetevőit meghatározó tapasztalati összefüggések.
A gyakorlatban kétfajta tapasztalati képlet terjedt el.

1. **A forgácsolóerő meghatározása a fajlagos forgácsolóerő alapján:**

$$F_c = k_c \cdot A = k_c \cdot b \cdot h$$

$k_c = \frac{F_c}{A}\left[N / mm^2\right]$ - fajlagos forgácsolóerő, egységnyi (1mm^2) elméleti forgácskeresztmetszet leválasztásához szükséges erő

A fajlagos forgácsolóerő értékének meghatározására több módszer létezik.

a) A fajlagos forgácsolóerő meghatározása a szakítószilárdság illetve keménység alapján

A legegyszerűbb módszer az amikor a megmunkálandó anyag szakítószilárdságához ill. keménységéhez kötik:

k_c = (2…4) R_m – szívós képlékeny anyagokra (acél), R_m – a szakítószilárdság
k_c = (5…10) HB – rideg anyagokra (pl. öv).

A nagyobb szorzótényező értékeket kisebb forgácsvastagságnál kell alkalmazni, és fordítva.

b) A fajlagos forgácsolóerő meghatározása Kronenberg szerint

Kronenberg szerint (1927) a fajlagos forgácsolóerő értéke az anyagminőség mellett függ a forgácskeresztmetszet nagyságától is, a következő összefüggés szerint:

$$k_c = \frac{C_k}{\sqrt[\varepsilon_k]{A}}$$

ahol: C_k, és ε_k az anyagminőségtől függő állandó illetve kitevő (1.2. táblázat).

1-2. táblázat. A C_k, és ε_k értékei. [32]

A munkadarab anyag anyaga	C_k [N/mm^2]	ε_k
Öntött vas	955	7,4
Ötvözetlen és gyengén ötvözött acél	1900	6,1
Ötvözött acél	2410	10,4
Acél öntvény	1760	6,7
Bronz	80	4
Sárgaréz	70	6,8
Alumínium	110	8

c) A fajlagos forgácsolóerő meghatározása Kinzle szerint

Pontosabb megfigyelésekkel és mérésekkel megállapítható, hogy a fajlagos forgácsolóerő értékét több tényező befolyásolja (hasonlóan a ξ alakváltozási tényezőhöz).
Kinzle (1952) kutatásai szerint a forgácsvastagság és –szélesség nem egyformán befolyásolja a forgácsolóerőt. A fajlagos forgácsolóerő meghatározásához a következő összefüggést javasolja:

$$k_c = \frac{k_{c1\cdot1}}{h^m}$$

ahol: $k_{c1.1}$ a fajlagos forgácsolóerő főértéke $\left(A = b \cdot h = 1 \cdot 1 = mm^2\right)$
m kitevő, értékeik az 1.3 táblázatban találhatók.

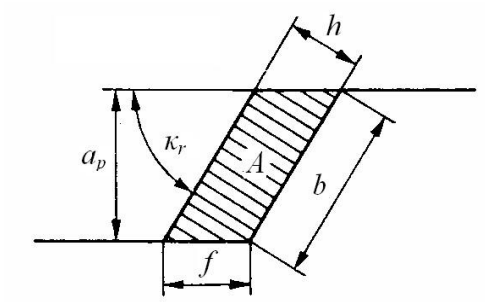
Pontos számításnál korrekciós tényezőkkel veszik figyelembe a másodlagos befolyásoló tényezőket. Így a főforgácsolóerő a következő képlet szerint számítható:

$$F_c = k_{c1.1} \cdot b \cdot h^{1-m} \cdot K_F \text{ [N].}$$

ahol a K_F az összegzett módosító tényező.
A képletben szereplő forgácsszélesség és forgácsvastagság értékeit a technológiai adatok alapján kell kiszámolni az 1-18. ábra szerint:

$$h = f \cdot \sin \kappa_r$$

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r}$$



1-18. ábra. A forgácskeresztmetszet paraméterei

1.3 táblázat. A fajlagos forgácsolóerő főértékei (Degner nyomán)

A munkadarab anyag anyaga		m	$k_{c1.1}$ [N/mm^2]	1-m_f	$k_{f1.1}$ [N/mm^2]	1-m_p	$k_{p1.1}$ [N/mm^2]
MSZ-EN	DIN						
S235	St37	0,17	1780				
E295	St50	0,26	1990	0,2987	351	0,5089	274
E360	St70	0,3	2260	0,3835	364	0,5067	311
C15E	Ck15	0,22	1820	0,1993	333	0,4648	260
C45E	Ck45	0,14	2220	0,3248	343	0,5244	263
C60E	Ck60	0,18	2130	0,2877	347	0,5870	250
15CrMo5	15CrMo5	0,17	2290	0,2488	290	0,4430	232
16MnCr5	16MnCr5	0,26	2100	0,3024	391	0,5410	324
	17CrNi6	0,30	2260	0,275	326	0,5352	247
20MnCr5	20MnCr5	0,25	2140	0,3190	337	0,4778	246
30CrNiMo8	30CrNiMo8	0,20	2600	0,3844	355	0,5657	255
34CrMo4	34CrMo4	0,21	2240	0,3190	337	0,3715	237
	37MnSi5	0,2	2260	0,3620	259	0,7432	277
42CrMo4	42CrMo4	0,26	2500	0,3295	334	0,5239	271
	50CrV4	0,26	2220	0,2345	317	0,6106	315
EN-GJL 200	GG20	0,25	1020	0,3010	240	0,5400	178
EN-GJL 250	GG25	0,26	1160	0,3020	251	0,5410	190
EN-GJS 600	GGG-60	0,17	1480	0,2400	290	0,5657	240
Bronz		0,17	1780				
Sárgaréz		0,18	780				
Alumíniumötvözet		0,25	640				

Megjegyzés: A táblázat adatai hosszú forgácsot adó anyagok (pl. acél) esetében γ=6°, rövid forgácsú anyag (pl. öntöttvas) γ_o =2°, α_o =5° κ_r =70° élgeometriájú, éles keményfém szerszámmal végzett esztergálásra vonatkoznak. Az adatok v_c=20…600 m/min sebesség- és h=0,05…2,5 mm forgácsvastagság tartományban érvényesek.

2. A forgácsolóerő meghatározásának hatványkitevős képlete:

A gyakorlatban a forgácsolóerő értékének meghatározását leggyakrabban a technológiai adatokat tartalmazó empirikus, hatványkitevős képlettel határozzuk meg.

$$F_c = C_F \cdot f^{x_F} \cdot a_p^{y_F} \cdot K_F$$

ahol a:

C_F erőállandó, amely az anyagminőségtől függ, kísérleti úton határozzák meg és valójában az $a = 1mm$ és $f = 1mm$ forgácskeresztmetszet leválasztásához szükséges erő.

x_F , y_F a forgácsvastagság és a forgácsszélesség kitevői amelyeket szintén kísérleti úton határoztak meg (1.4 táblázat). Öntöttvas és acél forgácsolásakor az alábbi értékek alkalmazhatók: $x_F \approx 0{,}75$; $y_F \approx 1$.

K_F összegzett módosító tényező amely a kísérleti körülményektől eltérő üzemi feltételekből eredő eltéréseket foglalja magába.

Megjegyzendő, hogy a $k_{c1.1}$ fajlagos forgácsolóerő főérték és a C_F erőállandó lényegében véve azonos jelentésű konstansok, de számszerű értékük az eltérő meghatározási körülmények miatt nem azonos.

A $k_{c1.1}$ fajlagos forgácsolóerő főérték és a C_F erőállandó közötti összefüggés megállapításához az alábbi következtetés útján juthatunk [10]. A forgácsolási erő mérésével a forgácsvastagság- és forgácsszélesség változtatása mellett és az eredmények feldolgozásával hatványkitevős képletet állapítható meg. Kinzle kutatásai alapján is:

$$F_c = k_{c1.1} \cdot h^{x_F} \cdot b^{y_F}$$

Behelyettesítve a fenti képletbe a h és b értékét:

$$F_c = k_{c1.1} \cdot h^{x_F} \cdot b^{y_F} = k_{c1.1} \cdot f^{x_F} \cdot a^{y_F} \cdot (\sin\kappa_r)^{x_F - y_F}$$

Ha bevezetjük a $C_F = k_{c1.1} \cdot (\sin\kappa_r)^{x_F - y_F}$ jelölést, akkor a keresett összefüggéshez jutunk.

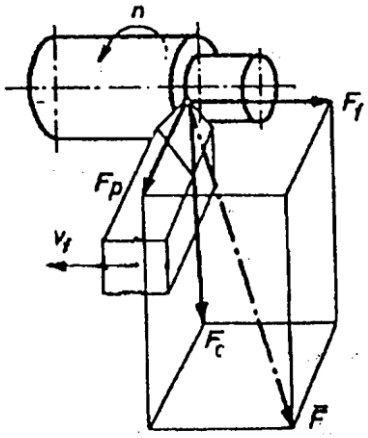
1.5.3 A forgácsolóerő meghatározása kötött forgácsolás esetében

Kötött forgácsolásnál bonyolultabb, térbeli erőhatás jelentkezik. A jellegzetes erőösszetevőket a térbeli modellben a 1-19. ábra mutatja. A korábbi meghatározásoknak megfelelően, az F_c és F_h erőösszetevők az ortogonál síkban (P_o) fekszenek. Kis csúcssugár r_ε értéket- és $\lambda \approx 0$ terelőszög értéket feltételezve esztergálásnál az F_p passzív erő és az F_f előtolásirányú erőösszetevők az F_h forgácsvastagság irányú (mélyítő) erő alapján meghatározhatók (1-20. ábra):

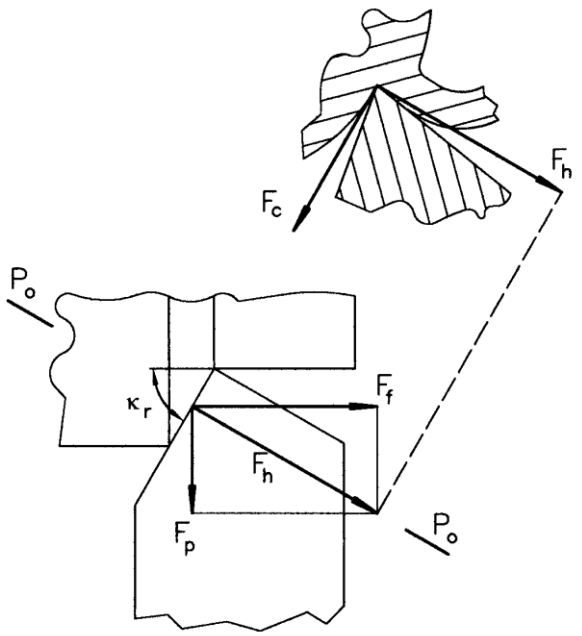
$$F_f = F_h \sin\kappa_r \quad \text{és} \quad F_p = F_h \cos\kappa_r .$$

Így az eredő forgácsolóerő:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2}$$



1-19. ábra. Forgácsolóerő kötött forgácsolásnál.



1-20. ábra. A forgácsvastagság irányú erő felbontása [6]

Az F_p és F_f erőösszetevők is kifejezhetők analitikus formában az F_c-hez hasonlóan:

$$F_p = C_{Fp} \cdot f^{x_{Fp}} \cdot a_p^{y_{Fp}} \cdot K_{Fp}$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot f^{x_{Ff}} \cdot a_p^{y_{Ff}} \cdot K_{Ff}$$

Vagy Kinzle szerint:

$$F_p = k_{p1.1} \cdot b \cdot h^{1-m_p} \cdot K_F$$

$$F_f = k_{f1.1} \cdot b \cdot h^{1-m_f} \cdot K_F$$

A gyakorlatban azonban ezeket az erőket a főforgácsolóerőből számítják arányossági tényezők segítségével. Nagyoló esztergálásnál a következő összefüggések alkalmazhatók:

$$F_p \approx (0{,}4 - 0{,}5)F_c; \quad F_f \approx 0{,}25 \cdot F_c$$

1.5.3.1 A forgácsolóerő értékét befolyásoló másodlagos tényezők

Az előzőekből kitűnik, hogy a forgácsolóerő nagyságát elsősorban a munkadarab anyagminősége, a forgács vastagsága ill. az előtolás és a forgácsszélesség ill. fogásmélység befolyásolják. Az erő nagyságát befolyásolja még számos ún. másodlagos tényező is. Ezek hatását módosító tényezők bevezetésével vesszük figyelembe.
A C_F erőállandót és az x_F , y_F forgácsvastagság és a forgácsszélesség kitevőit szintén kísérleti úton határozták meg, ezért a táblázati értékeik valójában csak a kísérleti feltételek mellett végzett forgácsolásra pontosak. A forgácsolás üzemi feltételei ettől legtöbbször eltérnek és ezt a K_F összesített korrekciós tényezővel vesszük figyelembe:

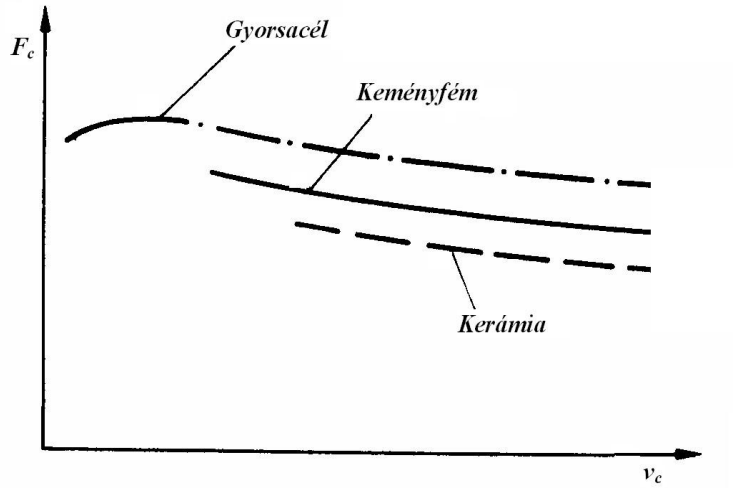
$$K_F = K_{Fsz} \cdot K_{Fv} \cdot K_{F\gamma o} \cdot K_{F\kappa} \cdot K_{Fr} \cdot K_{FVB} \cdot \ldots$$

A módosító tényezők:

K_{Fsz} szerszámanyag-módosító tényező
$K_{F\gamma o}$ homlokszög módosító tényező

$K_{F\kappa}$ főél elhelyezési szög módosító tényező
K_{Fv} sebesség-módosító tényező
K_{FVB} szerszámkopás-tényező
K_{Fr} csúcssugár-tényező

A szerszámanyag befolyása.
A szerszám anyaga a súrlódási tényezőn és az eltérő hőtani jellemzőkön keresztül befolyásolja a forgácsolóerő nagyságát. Kísérletek igazolták, hogy ugyanazon egyéb feltételek mellett a keményfémmel a forgácsolás 5 … 10%-kal kisebb erőigényű, mint a gyorsacéllal történő forgácsolásnál [3]. Hasonló jelenség figyelhető meg a kerámia és keményfém szerszámok összehasonlításánál is [6] (1-21. ábra). A gyakorlati számításoknál ezt a hatást általában nem vesszük figyelembe.

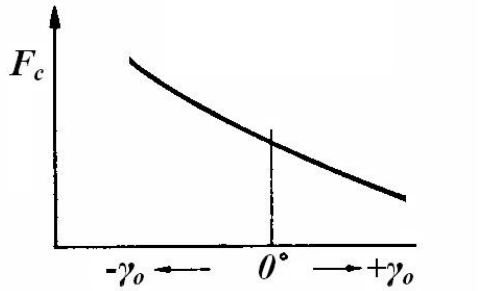


1-21. ábra. A szerszám anyagának hatása a forgácsolóerő értékére.[3]

A homlokszög befolyása
A homlokszög befolyását a 1-22. ábra szemlélteti. Az ábra szerint a forgácsolóerő értéke növekszik, ha a homlokszög csökken. Kinzle és Viktor kutatásai szerint 1..2 %-os erőváltozáshoz vezet a γ szög 1° változása. Ezt a következő módosító tényezővel vehetjük figyelembe:

$$K_{\gamma_o} = 1 - \frac{\gamma_o - \gamma_k}{66,7}$$

ahol: γ_o az adott megmunkálásnál alkalmazott homlokszög
γ_k az erőmérési kísérleteknél használt szerszám homlokszöge, acél esetében 6°, öntöttvas esetében 2°.



1-22. ábra. A homlokszög befolyása a forgácsolóerő értékére.

A főél elhelyezési szög befolyása

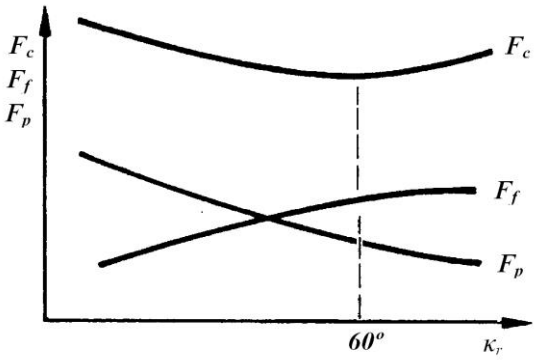
A főél elhelyezési szög értéke adott fogásmélység és előtolás esetén a forgácsvastagságot befolyásolja (1-18. ábra). Ha a forgácsolóerőt az előtolás és a fogásmélység alapján határozzuk meg, akkor módosító tényezővel kell figyelembe venni κ_r eltérését a kísérleti értéktől. A Kinzle szerinti $k_{c1.1}$ fajlagos forgácsolóerő főértékét lényegesen nem befolyásolja. κ_r változása elsősorban az előtolásirányú erő és a passzív erő értékét befolyásolja (1-23. ábra). A módosító tényező az előtolásirányú erő esetében:

$$K_{F_f\kappa} = \frac{\sin \kappa_r}{\sin \kappa_k},$$

a passzív erő esetében pedig $$K_{F_p\kappa} = \frac{\cos \kappa_r}{\cos \kappa_k}.$$

Ahol: κ_r az adott megmunkálásnál alkalmazott főél elhelyezési szög

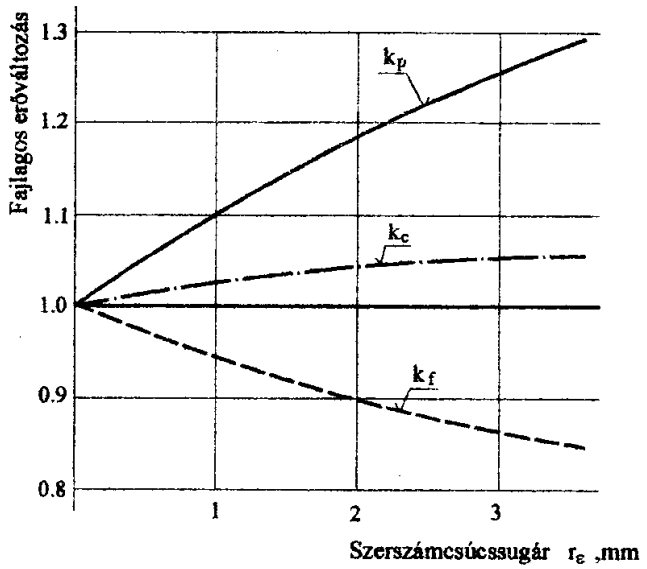
κ_k az erőmérési kísérleteknél használt szerszám főél elhelyezési szöge.



1-23. ábra. A főél elhelyezési szög befolyása az erőösszetevőkre. [6]

A csúcssugár befolyása

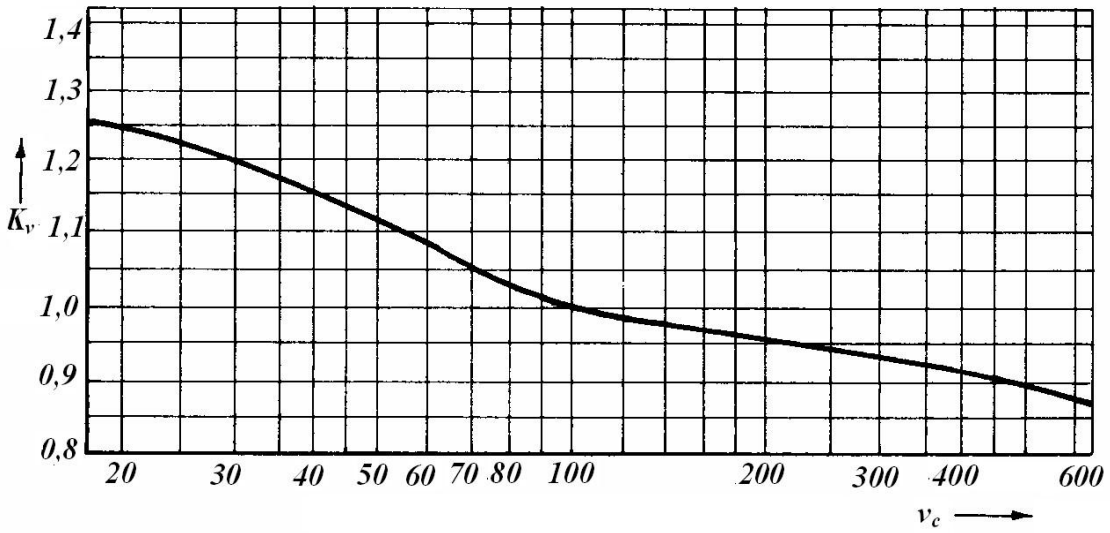
A csúcssugár változásával megváltozik az erőösszetevők fajlagos értéke is [10]. Ezt szemlélteti a 1-24. ábra.



1-24. ábra. A csúcssugár hatása az erőösszetevők fajlagos értékére [10].

A forgácsoló sebesség befolyása

Kísérletek bizonyítják, hogy a forgácsolóerő értéke nem független a forgácsoló sebesség nagyságától. Az összefüggést a 1-25. ábra szemlélteti. Gyakorlati alkalmazások szempontjából a 100 és 600 m/min sebességtartomány érdekes, de itt a forgácsolóerő értéke a sebesség növelésével csak jelentéktelen mértékben csökken.

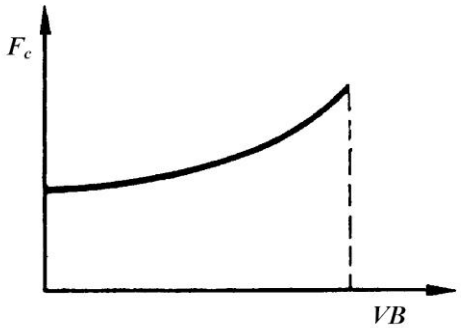


1-25. ábra. A főforgácsolóerő alakulása a sebesség függvényében acél és öntöttvas megmunkálásánál. (a_p<5 mm; f=0,2…1,2 mm/ford.; γ_o= -5…10°; κ_r= 60…90°) [6]

A szerszám kopásának befolyása

A szerszám kopásának következtében a forgácsolóerő értéke megnövekszik. A forgácsolóerő értéke annál nagyobb lesz, minél tovább forgácsolunk (1-26. ábra). Az éltartam utolsó szakaszában az erők 30..50 % nagyobbak mint éles szerszám esetében. A korrekciós tényező értéke az éltartam végső szakaszában

$$K_{FVB} = 1{,}3 \ldots 1{,}5$$



1-26. ábra. Szerszámkopás hatása a forgácsolóerő értékére.

Ki kell hangsúlyozni, hogy az ismertetett erőösszefüggések és módosító tényezők esztergálás esetére érvényesek, de értelemszerű módosítások bevezetésével általánosíthatók, és alkalmazhatók a többi megmunkálási módnál is.

1.4. táblázat. Az erőállandók és a korrekciós tényezők értékei keményfém szerszámmal történő esztergáláshoz. (Angyal, Dobor, Palásti, Sípos nyomán)

Megmunkált anyag	R_m [N/mm^2]	C_F	C_{Fp}	C_{Ff}	x_F	y_F	x_{Fp}	y_{Fp}	x_{Ff}	y_{Ff}
Acél	300…400	1480	270	225	0,75	1	0,75	0,9	0,65	1,2
	400…500	1630	440	380						
	500…600	1755	665	500						
	600…700	1900	935	650						
	700…800	2140	1230	800						
	800…900	2350	1580	980						
Szürke öntvény	HB									
	140…160	840	340	150	0,75	1	0,75	0,9	0,65	1,2
	160…180	890	395	170						
	180…200	950	460	190						
	200…220	1010	520	210						
	220…240	1060	590	240						
	240…260	1110	645	265						

Módosító tényező a homlokszöghöz	γ_o	-5	0	+5	+10	+15	+20
	$K_{F\gamma}$	1,23	1,13	1,06	1	0,94	0,89
	$K_{Fp\gamma}$	1,8	1,55	1,25	1	0,8	0,64
	$K_{Ff\gamma}$	2,1	1,63	1,28	1	0,78	0,6
Módosító tényező a főél elhelyezési szöghöz	κ_r	20	30	45	60	75	90
	$K_{F\kappa}$	1,16	1,08	1	0,98	1,03	1,08
	$K_{Fp\kappa}$		1,63	1	0,71	0,54	0,44
	$K_{Ff\kappa}$		0,7	1	1,27	1,51	1,82

1.6 A FORGÁCSOLÁSI TELJESÍTMÉNY

A forgácsoláshoz szükséges teljesítmény az eredő forgácsolóerő és az eredő forgácsolósebesség skaláris szorzata

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} = \left[F_c, F_f, F_p\right] \cdot \begin{bmatrix} v_c \\ v_f \\ v_p \end{bmatrix} = F_c \cdot v_c + F_f \cdot v_f + F_p \cdot v_p$$

Azt kell észrevenni, hogy passzív irányba nincs elmozdulás, így $v_p \equiv 0$, továbbá az előtolási sebesség sokkal kisebb a forgácsolósebességtől (v_f kb. 0,1…1% -a v_c-nek), ezért hatása a teljesítményre elhanyagolható. Így a forgácsolási teljesítmény

$$P_c = F_c \cdot v_c$$

A gépi teljesítmény ennél valamivel nagyobb, mivel figyelembe kell venni a gépen belüli veszteségeket is:

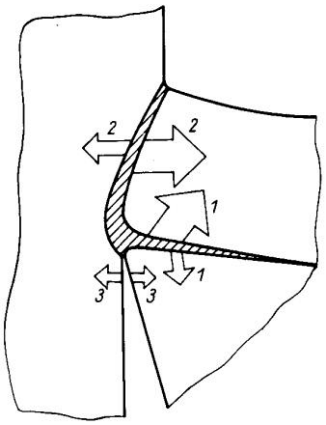
$$P_m = \frac{P_c}{\eta}$$

ahol $\eta \approx 0{,}7$ a gép hatásfoka.

1.7 TERMIKUS JELENSÉGEK FORGÁCSOLÁSNÁL

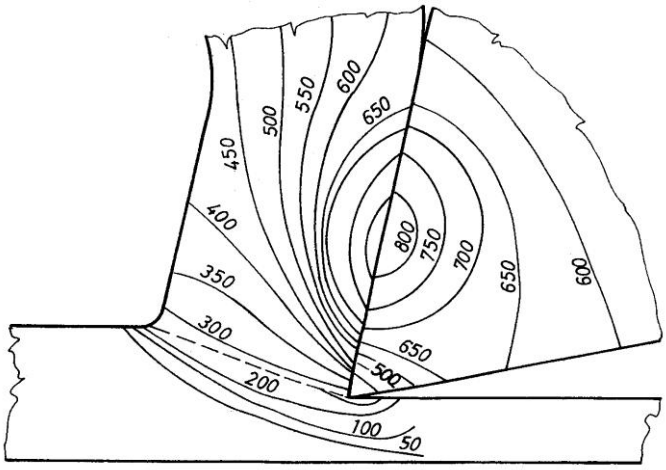
Forgácsolásnál a felhasznált mechanikai energia szinte teljesen (99,5%) hővé alakul át. Leegyszerűsítve a folyamatokat, három hőforrást különböztetünk meg (1-27. ábra):

1. A nyírási zóna (képlékeny alakváltozásból)
2. A szerszám homlokfelülete és a forgács súrlódásának helye
3. A szerszám hátfelülete és a megmunkált felület közötti súrlódás helye



1-27. ábra. Hőforrások a forgácsolási zónában

A keletkezett hő a munkadarab, a forgács és a szerszám között oszlik meg, növelve mindhárom elem hőmérsékletét. A hőmennyiség 75 – 85 %-a a forgácsba távozik. A legnagyobb hőmérséklet a szerszámmal való érintkezési zónában van. A szerszámba távozó hőmennyiség hatására annak hőmérséklete jelentősen megnövekszik, ezért a keménysége csökken és így a kopása gyorsabbá válik.



1-28. ábra. Hőmérsékleteloszlás acél esztergálásánál [4]

A forgácsolási hőmérsékleten a forgácstő átlagos hőmérsékletét értjük. Ennek meghatározása csak bonyolult mérési módszerekkel határozható meg. Tipikus hőmérséklet eloszlás látható a 1-28. ábrán acél esztergálásánál keményfém szerszámmal. A hőmérsékletet befolyásoló tényezők:

- munkadarab és szerszám anyaga
- forgácsoló paraméterek *v, a, f*
- a szerszám élgeometriája
- hűtés-kenés alkalmazása

A forgácsoló paraméterek közül a legnagyobb befolyása a forgácsolósebességnek van.

1.7.1 Hűtés-kenés forgácsoláskor

Jelentősen csökkenthetjük és stabilizálhatjuk a forgácsolási hőmérsékletet hűtő-kenő folyadékok alkalmazásával. Hatásuk a következő:

- a súrlódás és azon keresztül a kopás csökkentése, a megmunkált felület minőségének javítása
- a forgácsoláshoz szükséges erő- és energiaigény csökkentése
- a munkadarab deformációjának csökkentése
- segítik a forgács eltávolítását (különösen furatmegmunkálásnál jelentős)
- a megmunkált felület megvédése környezeti károsodástól (korrózió).

A hűtő-kenő folyadék alkalmazásának hatékonysága jórészt attól függ, hogy sikerül-e a folyadékot eljuttatni a súrlódó felületek közé. Alapjában véve két hűtő-kenő módszert alkalmazunk:

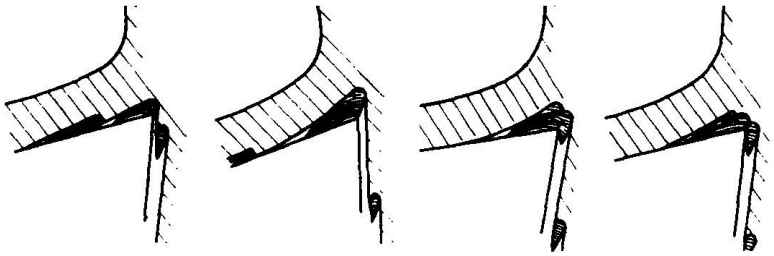
1. Elárasztásos hűtés, amelynél kívülről csöveken át vagy a szerszámba épített hűtőcsatornán keresztül a folyadéksugarat a forgácstőre irányítjuk. Hátránya az eljárásnak, hogy a folyadék szétszóródik és zavarja a vizuális megfigyelést.
2. Ködhűtés, csak vízalapú folyadékok esetén alkalmazható. A finom részecskékre porlasztott hűtőanyagot el lehet juttatni oda is ahová más úton nem. Elszívó berendezést igényel, hűtőképessége korlátozott, de lehetővé teszi a munkatér beláthatóságát.

A hűtő kenő anyagok három csoportba sorolhatók:

I. Mesterséges kémiai (szintetikus) anyagok. Hűtőhatásuk kiváló, szétbomlási idejük nagyon hosszú, ezért környezetvédelmi szempontból kedvezőtlenek.
II. Emulziók. Vízben diszpergált olajok, az olaj részaránya 5% - 10%. Az olaj cseppek keveréséhez emulgátorra van szükség (trisó). Az olajmennyiség növelése, és a kén-, foszfor adalékok (EP adalékok) növelik a kenőképességet. A víz jó hűtőképességet biztosít. Bizonyos idő után cserélni kell, mert baktériumok hatására bomlásnak indul.
III. Ásványi és növényi olajok. Jó kenőhatást biztosítanak, de viszonylag drágák.

1.7.2 Élrátét képződés

A szerszám homloklapján a főél közelében a nagy nyomás és magas hőmérséklet hatására a forgácsolt anyagból származó kemény felrakodás, élrátét (élsisak) keletkezhet (1-29. ábra). Miután az élrátét magassága elér egy meghatározott értéket, darabokra törik, és részben a forgáccsal, részben a munkadarabra tapadva távozik. Károsnak kell tekinteni, mert megváltoztatja a szerszám élgeometriáját, növekszik a forgácsoló erő, romlik a megmunkált felület minősége. A legtöbb esetben a sebesség növelésével kiküszöbölhető.



1-29. ábra. Élrátétképződés.

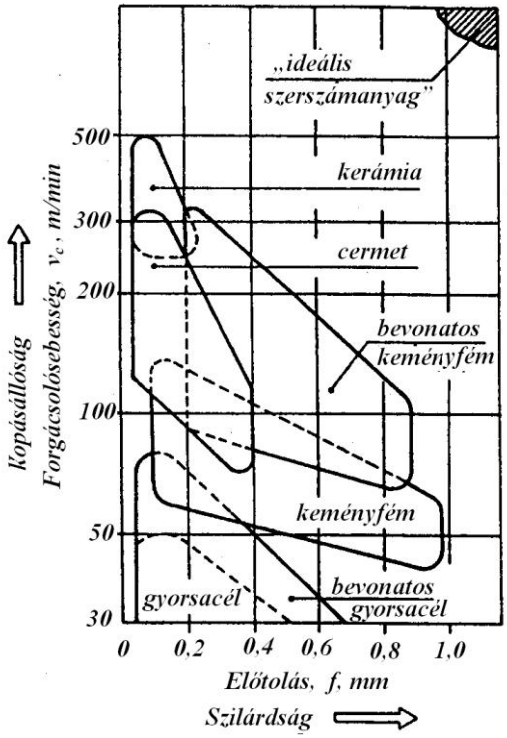
1.8 SZERSZÁMANYAGOK

A szerszámanyagon a szerszám aktív, forgácsoló, dolgozó részének anyagát értjük, amire működés közben mechanikai-, termikus- és kémiai igénybevételek hatnak. Ebből adódóan a szerszámanyagokkal szemben támasztott követelmények a következők:

- keménység (különösen a melegkeménység)
- szívósság
- kopásállóság, kémiai passzivitás
- alak és mérettartósság
- megmunkálhatóság
- előnyös ár

A felsorolt, egymásnak is ellentmondó követelményeknek a ma ismert szerszámanyagok csak részben felelnek meg (1-30. ábra), ezért a szóba jöhető szerszámanyagok közül csak a követelmények rangsorolása alapján lehet választani.
A forgácsoló szerszámok anyagai a következő csoportokba sorolhatók:

- szerszámacélok
- keményfémek
- kerámiák
- szuperkemény szerszámanyagok



1-30. ábra. Szerszámanyagok alkalmazhatósága [1].

1.8.1 Szerszámacélok

A szerszámacélok további három csoportját különböztetjük meg:
Az ötvözetlen szerszámacélok hőállósága 250 ^{o}C, ezért csak kézi szerszámok és kis forgácsolósebességgel dolgozó szerszámok előállítására használjuk (reszelők, dörzsárak, menetmetszők, üregelőszerszámok).

A gyengén ötvözött szerszámacélok wolfram, króm, vagy mangán ötvöző elemeket tartalmaznak. Alkalmazásuk hasonló mint az ötvözetlen szerszámacéloké, emellett a sajtolószerszámok gyakori anyagai.
A gyorsacélok erősen ötvözött acélok, wolfram, molibdén, vanádium, kobalt és króm fő ötvöző elemekkel. Nemesítéssel 62…68 HRC keménység érhető el, amelyet mintegy 600 °C – ig megtartanak. Ennek köszönhetően a szerszámacélokhoz viszonyítva megnövelt sebességű forgácsolást tesznek lehetővé (v_c = 30-50 m/min) és innen származik a gyorsacél elnevezés. A gyorsacélra jellemző a nagy szívósság és a dinamikus erőkkel szembeni nagy szilárdság. Könnyen élezhetőek, az alakos szerszámok leggyakoribb anyaga.

1.8.2 Keményfémek

Keményfémeknek nevezzük azokat az állötvözeteket amelyeket wolfram, titán, tantál és nióbium fémek karbidjaiból (WC, TiC, TaC, NbC) és kobalt vagy nikkel kötőanyagból porkohászati úton állítanak elő. A porkohászat olyan gyártási módszer, amellyel fémporokat önállóan vagy más fém- és ötvözetporokkal tömörítenek, végül pedig a főalkotó olvadáspontja alatt (1400 ^{o}C) izzítanak. Számos változatot fejlesztenek ki. A karbidok részarányának növelése növeli a keménységet de csökkenti a szilárdságot és fordítva. A szemcsék finomsága (0,6…0,9 μm) egyidejűleg növeli a keményfém keménységét és szilárdságát is. Ez a sajátosság még inkább kifejezésre jut ultra-finom szemcsék esetében (0,5…0,6 μm). A sokféle lehetséges keményfém közötti eligazodás megkönnyítésére a DIN ISO 513 egységes jelölésrendszert vezetett be. Három forgácsolási főcsoport van, amelyek további felhasználási csoportra vannak felosztva. A három nagy csoport és a fő jellemzőik a következők:

- wolframkarbid alapú (egykarbidos) keményfémek; ISO jelölése K, rideg anyagok forgácsolásához alkalmasak
- titánkarbid-wolframkarbid alapú (két karbidos) keményfémek; ISO jelölése P, acél forgácsolásához alkalmasak
- titánkarbid-tantálkarbid-wolframkarbid alapú (három karbidos) keményfémek; ISO jelölése M, általános rendeltetésű

A keményfémek kritikus hőmérséklete 750 – 900 ^{o}C, így jelentősen nagyobb forgácsolósebesség alkalmazható, mint a gyorsacél szerszámoknál (v_c = 40 – 300 m/min)

Cermet
Cermeteknek nevezzük azokat a keményfémeket amelyek alapjául a wolframkarbid helyett titánkarbidokat használnak és titán alapú kemény kerámia részecskéket is tartalmaznak. Az elnevezés is innen ered: CERamic –METal. A szemcsekeverék összetevői titánkarbid (TiC), titánkarbon-nitrid (Ti(C,N)), titánnitrid (TiN), molibdénkarbid (Mo2C). Kötőanyagnak nikkelt vagy molibdént alkalmaznak. Szilárdsága kisebb a finomszemcsés keményfémnél, de melegkeménysége nagyobb. Acél megmunkálásánál az alkalmazható forgácsolósebesség tartománya v_c = 80 – 500 m/min.

1.8.3 Kerámiák

A forgácsoló sebesség lehetséges növelésének reményében fejlesztettek ki kerámiát forgácsoló anyagként. A mai kerámiákat oxidok (Al_2O_3), karbidok (TiC) és/vagy nitridek kötőanyag nélküli keveréke alkotja. Még keményebbek mint a keményfémek és ezt a tulajdonságukat megtartják 1000 °C felett is, de a szívósságuk és a szilárdságuk rosszabb a keményfémekénél. Három csoportba sorolhatók:

- tiszta kerámia (fehérek): tiszta aluminiumoxid (Al_2O_3) és 10 – 20 % cirkonoxid (ZrO)
- kevert kerámia (fekete): Al.oxid mellett 10 – 40 % TiC
- szilicium-nitrid (szürke kerámia, szilinit)

Elsősorban nagysebességű simító megmunkálásoknál alkalmazhatók. Alacsony szívósság, termikus kifáradásra, lökésszerű hőhatásokra való érzékenység, rossz hővezető képesség jellemzi őket. Hűtőfolyadék nem alkalmazható.

1.8.4 Szuperkemény szerszámanyagok

A természetes gyémánt tulajdonságait megközelítő anyagokat sorolják ebbe a csoportba.

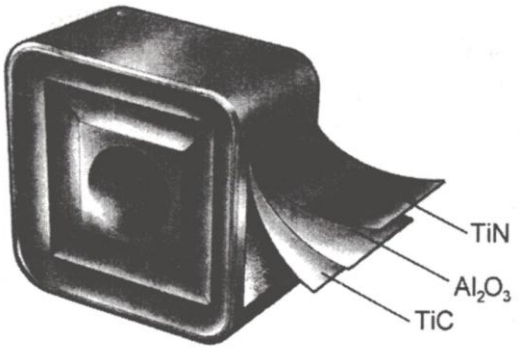
CBN, köbös bórnitrid. Extrém melegkeménységgel rendelkezik (2000 ºC), amihez nagy kopásállóság párosul. Viszonylag törékeny, edzett acélok megmunkálásánál alkalmazzák. Nagymennyiségben abrazív szerszámoknál alkalmazzák.

PCD, sokkristályos gyémánt. Ez a legkeményebb anyag. Abrazív kopásnak jól ellenáll. Acél megmunkálására nem alkalmas. Alkalmazása a színesfém-ötvözetek, műanyag, fa esetén kedvező.

1.8.5 Bevonatos szerszámok

A keményfém vagy gyorsacél szerszámok bevonatolásával a forgácsoló sebesség jelentősen növelhető. A bevonat több rétegű is lehet, egy-egy réteg vastagsága 5 – 10 μm. A nitridekből, karbidokból és oxidokból álló felületi réteg feladata a kopás elleni védelem. Jelentősen csökkenti a súrlódást a munkadarab és a szerszám között. Bevonatként a következő anyagokat használhatók:

- TiN (titánnitrid), csökkenti a súrlódási tényezőt, jó hőálló, hátkopásnak nagyon jól ellenáll, jól tapad az alapfémhez
- TiC (titánkarbid), kiváló a hátkopásállosága, az alapfémekhez való tapadás. Többrétegű bevonatok alaprétegeként használatos
- Al_2O_3 (kerámia), jó hőálló, kemény, az alapfémekhez való kötődése gyenge. Többrétegű bevonatként jelentősen elterjedt.



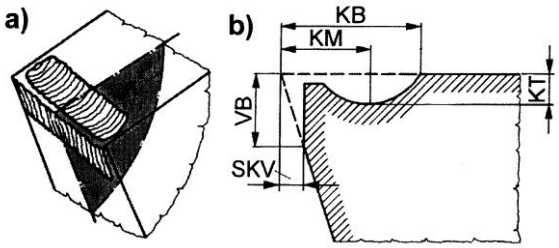
1-31. ábra. Bevonatos váltólapka szemléltetése (Sandvik)

1.9 SZERSZÁMKOPÁS ÉS ÉLTARTAM

Kopásnak nevezzük az anyagleválasztást végző forgácsolóéknek a forgácsolással kapcsolatos mechanikus és termikus terhelések hatására történő elhasználódását. A forgácstőben bonyolult folyamatok mennek végbe, a forgácsoló élen igen nagy nyomás jelentkezik (2000 bar) és magas hőmérséklet uralkodik. Ilyen körülmények között lép fel egyrészt a forgács és a homlokfelület- másrészt a szerszám hátlapja és a megmunkált felület közötti surlódás.
A kopás folyamata a homlok- és a hátfelületen igen összetett és nem csak a surlódás okozza, hanem számos más fizikai és vegyi hatás. Az eddigi vizsgálatok alapján a következő kopásfajtákat lehet elkülöníteni:

- abrazív kopás, a munkadarab kemény, karcolóhatású részecskéi okozzák, mechanikus súrlódás
- adhéziós kopás, a szerszám és a forgács, illetőleg a szerszám és a munkadarab közötti fémes érintkezés közben, pillanatnyi mikrohegedések alakulnak ki.
- oxidációs kopás, a levegő oxigénje (700 – 800 ^{o}C) reakcióba lép a keményfém alkotóival (leginkább a kobalttal)
- diffúziós kopás, igen nagy forgácsolási hőmérsékleten jelentkezik, a szénatomok diffúziója miatt a keményfém monokarbidjai szétesnek (WC, TiC) és a forgácsolóképességük lecsökken.

A felsorolt mikrojelenségek, a forgácsolásban eltöltött idő múlásával jelentős méretű, szemmel jól látható és mérhető kopásnyomokat hoznak létre(1-32. ábra).

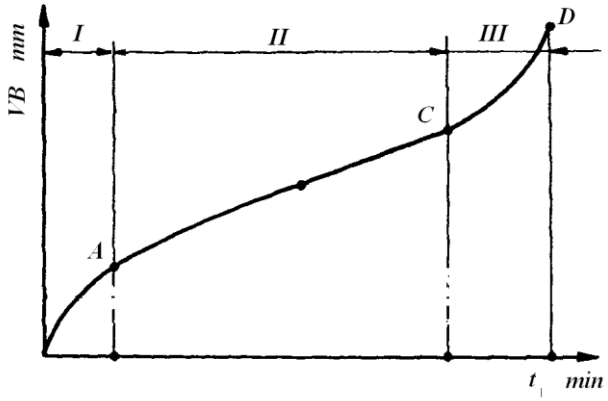


1-32. ábra. A szerszám kopása. a) jellegzetes kopásformák; b) a kopásmérték paraméterei [22]

A legtöbb forgácsolószerszám elhasználódását az alábbi kopásformák jellemzik:

- hátfelületkopás, (VB)
- radiális éleltolódás (SKV)
- homlokfelület és kráteres kopás (KT)
- az élek kopása (lekerekedése)

Az 1-32. ábra szemlélteti a két leggyakrabban jelentkező kopásformát és azok paramétereit. A kráteres kopás szívós anyagok (pl. acél) nagyolásánál alakul ki amikor a viszonylag vastag forgács a homlokfelületen lefutva krátert (bemélyedést) alakít ki, melynek jellemző méretei a KT krátermélység és KB kráterszélesség.
A szerszám hátlapján kialakuló kopásforma a hátkopás amely simító megmunkálásnál és rideg anyagok megmunkálásánál dominál. Mértéke a *VB* kopásszélesség.
A kopás főbb következményei a forgácsolási erők növekedése, a megmunkálási hibák növekedése (méret, alak, felületi érdesség), és az egész rendszer megbízhatóságának csökkenése (károsodási veszély növekedése).



1-33. ábra. A kopás időbeli lefolyása.

A szerszámkopás időbeli lefolyása

A forgácsolóék időbeli változásának követésével megszerkeszthető a kopásgörbe. Az 1-33. ábra a hátkopás mértékének (*VB*) időbeli változását szemlélteti. A kopási folyamatnak három viszonylag jól elkülöníthető szakasza van:

I. – kezdeti, bekopási szakasz
II. – egyenletes vagy ún. normális kopás
III. – túlkopás (intenzív kopás)

Gazdasági szempontok miatt nagyon fontos, hogy a szerszámot még azelőtt lecseréljük, mielőtt annak kopása a túlkopási szakaszba (C-D pontok között) kerülne.

Kopáskritérium

Forgácsoláskor bekövetkezik az az időpont amikor a szerszám oly mértékben kopott, hogy le kell cserélni. Ezt az időpontot a kopáskritérium határozza meg. Kopáskritérumként egy, a folyamatot jellemző paraméter határértékét alkalmazzák, amelyen túl nemkívánatos elváltozások jelentkeznének a szerszámon vagy a munkadarabon, vagy magában a forgácsolási folyamatban. Rendszerint a hátkopás legnagyobb megengedett értéke határozza meg.

A főbb kopáskritériumok a gyakorlatban a következők:

- a megmunkált felület érdessége
- a munkadarab méretváltozása
- a munkadarab melegedése
- rezgések fellépése
- forgácsoló erők növekedése
- gazdaságossági kritérium (túlkopás esetén csökken a szerszám összélettartama)

A megengedhető kopás nagysága elsősorban attól függ melyik kritériumot alkalmazzuk.

Igy például: nagyoló esztergálásnál VB_{max} = 0,8 – 1,6 mm,
simító esztergálásnál VB_{max} = 0,3 – 0,6 mm.

Szerszáméltartam

Azt az időt amelyet a szarszám két élezés vagy csere között forgácsolással tölt el éltartamnak nevezzük (jele: T, mértékegysége: min). Az éltartamot több tényező is befolyásolja:

- forgácsolási adatok (forgácsolósebesség, forgácsvastagság, forgácsszélesség)
- szerszám anyaga
- munkadarab anyaga
- hűtés-kenés alkalmazása,
- a megmunkáló rendszer stabilitása (rezgések), stb.

Adott munkadarabanyag, szerszámanyag és változatlan megmunkálási feltételek mellett, a forgácsolási adatok befolyását az éltartamra az éltartam összefüggéssel fejezzük ki:

$$T = \frac{C_T}{v_c^{z_T} \cdot h^{x_T} \cdot b^{y_T}}$$

ahol:

C_T az éltartamállandó
x_T, y_T, z_T kitevők.

A fenti éltartamösszefüggés háromváltozós. A forgácsolási módtól és egyéb körülményektől függően, célszerű egy-egy változót állandó értéken tartani és így az összefüggés két- vagy egyváltozósra módosul. A legnagyobb hatást az éltartamra a forgácsolósebesség fejti ki, ezért gyakran az éltartamot csak a forgácsolósebesség függvényében fejezik ki. Az ilyen egyváltozós összefüggést kidolgozójáról Taylor összefüggésnek nevezik:

$$T = \frac{C_T^{'}}{v_c^{z_T}}$$

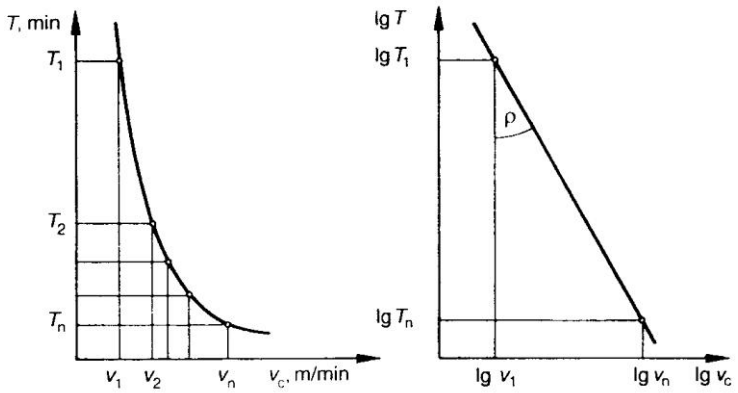
ahol:

$$C_T^{'} = \frac{C_T}{h_0^{x_T} \cdot b_0^{y_T}}$$

Az irodalom a $C_T^{'}$ és a C_T jelölésében nem tesz különbséget.

A Taylor összefüggést diagramban is ábrázolhatjuk, ezt ún. T-v diagramnak vagy Taylor görbének nevezzük (1-34. ábra). Ha a Taylor összefüggést logaritmus skálán ábrázoljuk, akkor az összefüggés egyenes vonalként ábrázolható:

$$log\, T = log\, C_T - z_T \cdot log\, v_c$$



1-34. ábra. Taylor görbe.

A Taylor összefüggést v_c -re rendezve az összefüggés másik alakját kapjuk:

$$v_c = \frac{C_T^{\frac{1}{z_T}}}{T^{\frac{1}{z_T}}} = \frac{C_v}{T^m} \qquad \text{illetve} \qquad v_c \cdot T^m = C_v$$

ahol:

$m = \frac{1}{z_T}$,és $C_v = C_T^{\frac{1}{z_T}}$ a munkadarab- és szerszámanyagtól függő kitevő és állandó. A z_T kitevő értéke a munkadarab- és szerszámanyagtól függ és 2…9 értékre tehető.

Ha egy adott éltartamhoz (T_o) ismert a sebesség (v_o) abból egy másik kívánt éltartalomnak (T_1) megfelelő sebesség kiszámítható:

$$T_o^m \cdot v_o = T_1^m \cdot v_1 \cdot \rightarrow \quad v_1 = v_o \left(\frac{T_o}{T_1} \right)^m$$

Az optimális éltartam megválasztása

A forgácsolási folyamatot akkor tekintjük optimálisnak, ha olyan technológiai adatokkal megy végbe, amelyek mellett a kitűzött gazdasági célt a legjobban megközelítjük. A gazdasági cél a legkisebb költség, a legkisebb megmunkálási idő vagy az időegységnyi legnagyobb nyereség.

A folyamat gazdaságosságának alapproblémája, hogy a forgácsolósebesség, az előtolás és a fogásmélység növelésével a gépi főidő és az azzal kapcsolatos költségek csökkennek, a szerszám kopása, az ezzel kapcsolatos időveszteségek és költségek viszont növekednek.

A feladat olyan kompromisszum (optimumpont) megkeresése ami az összköltség minimumát adja.

Az éltartam kiválasztásával, a Taylor összefüggés szerint közvetve meghatározzuk a forgácsolósebességet is. A jegyzet kereteit túlhaladja az optimalizálás módszereinek ismertetése, így csak a számításhoz szükséges képletek ismertetésére szorítkozunk.

A legkisebb költséget adó optimális éltartam

$$T_o = \left(\frac{1}{m} - 1 \right) \left(t_{cs} + \frac{K_{sz}}{K_g} \right) \quad [min]$$

ahol: t_{cs} – szerszámcserélési idő [min]
K_{sz} – szerszámköltség egy éltartamra [Ft]
K_g – gépköltség [Ft/min]
m – éltartam kitevő

A képletben szereplő mennyiségek arról tanúskodnak, hogy az optimális éltartam csak az üzemi tényezők ismeretében határozható meg. Ezek az adatok sajnos nem minden esetben állnak rendelkezésre. Másfelől könnyen belátható, hogy hasonló megmunkálási feladatok hasonló üzemi körülmények mellett valósíthatók meg, ami arra enged következtetni, hogy használhatjuk mások tapasztalatait is. Egy-egy forgácsolási szituációra javasolt éltartam értéket választhatunk a szakirodalomban található táblázatokból vagy a szerszámgyártó cégek katalógusaiból, például:

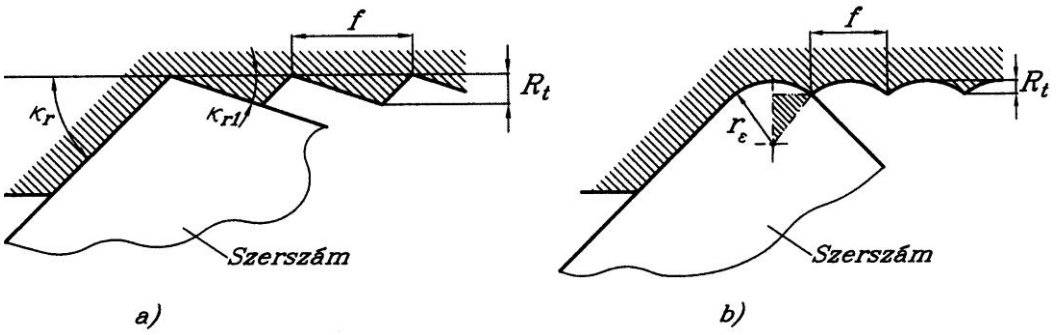
Forgácsoló megmunkálás	Gazdaságos éltartam T (min)
Esztergálás CNC esztergákon, váltólapkás keményfém szerszámmal	15…20
Esztergálás hagyományos esztergákon, gyorsacél szerszámmal	60
Esztergálás revolveresztergákon	240
Esztergálás automata esztergákon	480

A legkisebb megmunkálási időt adó éltartamot (legnagyobb termelékenység) kivételesen alkalmazzuk az ún. szűkgaratot jelentő gépeken történő megmunkálásoknál.

$$T_t = \left(\frac{1}{m} - 1 \right) \cdot t_{cs}$$

1.10 FELÜLETI ÉRDESSÉG

A munkadarab és a szerszám kölcsönös mozgásának hatására a megmunkált felületen érdességnek nevezett mikroegyenetlenség képződik. Az érdesség nagysága és formája az előtolás nagyságától és a szerszám csúcsközeli részének alakjától függ. Az elméleti (teoretikus) érdesség R_t nem más, mint a forgácsolóél csúcs közeli részének ismétlődő leképződése (lenyomata) (1-35. ábra).



1-35. ábra. Az elméleti érdesség
a) felületkialakítás amikor a csúcssugár értéke elhanyagolható
b) felületkialakítás körív alakú élszakasszal

Két esetet különböztetünk meg:

a) a csúcssugár értéke elhanyagolható r ≈ 0, az érdesség profilját κ és κ_1 szögekkel jellemzett fő és mellékél alakítja ki (általában nagyoláskor)

$$f = R_t ctg\kappa + R_t \cdot ctg\kappa_1$$

$$R_t = \frac{f}{ctg\kappa + ctg\kappa_1}$$

b) a felületet a csúcsközeli részt képező körív alakú élszakasz alakítja ki (pl. esztergálásnál, simításnál és elősimításnál)

$$r_\varepsilon^2 = \left(\frac{f}{2}\right)^2 + \left((r_\varepsilon - R_t\right)^2 = \frac{f^2}{4} + r_\varepsilon^2 - 2 \cdot r_\varepsilon \cdot R_t + R_t^2, \quad R_t^2 \approx 0$$

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_\varepsilon}$$

Az elméleti érdesség nagysága a szabványos érdességi jellemzők közül az R_z egyenetlenségmagasság értékével egyezik meg legjobban ($R_t \approx R_z$). Az elméleti és az átlagos érdesség között pedig a következő összefüggés írható fel:

$R_t \approx (2{,}5 \ldots 4{,}5) R_a$,

ahol a kisebb szorzótényező nagyolásnál, a nagyobb a simításkor használatos.

A megmunkált felület tényleges érdessége az elméletinél nagyobb, ui. különböző forrásból származó érdességek növelik az elméleti érdességet pl.: szerszámél saját érdessége, rezgésnyomok, élrátét nyomok stb.

Az eddig vizsgált tényezőkön kívül még számos tényező befolyásolja a felület érdességét. Ezek közül a legjelentősebbek a hűtő-kenő folyadék, a szerszámkopás nagysága és a megmunkáló rendszer rezgései.

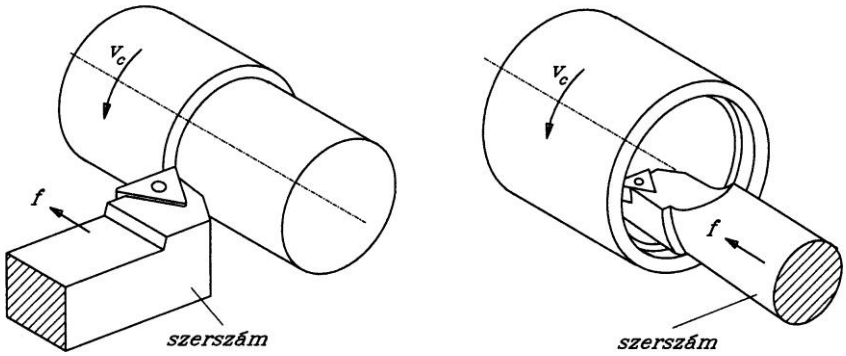
A felületi érdesség javításához a következők járulnak hozzá:

- a forgácsoló sebesség növelése

- a fogásmélység és az előtolás csökkentése
- a csúcssugár értékének növelése
- megfelelő hűtőfolyadék alkalmazása
- éles, pozitív homlokszögű szerszám
- stabil munkadarab- és szerszámbefogás

2. ESZTERGÁLÁS

Az esztergálás olyan forgácsolási mód, amelyet egyélű szerszámmal végeznek forgó főmozgás mellett, melyet általában a munkadarab végez. A mellékmozgást a szerszám végzi a főmozgás irányára merőleges síkban. Ezáltal forgásfelület jön létre (2-1. ábra). Az eljárás szerszáma a forgácsoló kés, egyélű, viszonylag egyszerű szerszám. Az esztergálás jelenleg a legelterjedtebb forgácsolási mód.



a) külső esztergálás b) furatesztergálás

2-1. ábra. Esztergálás.

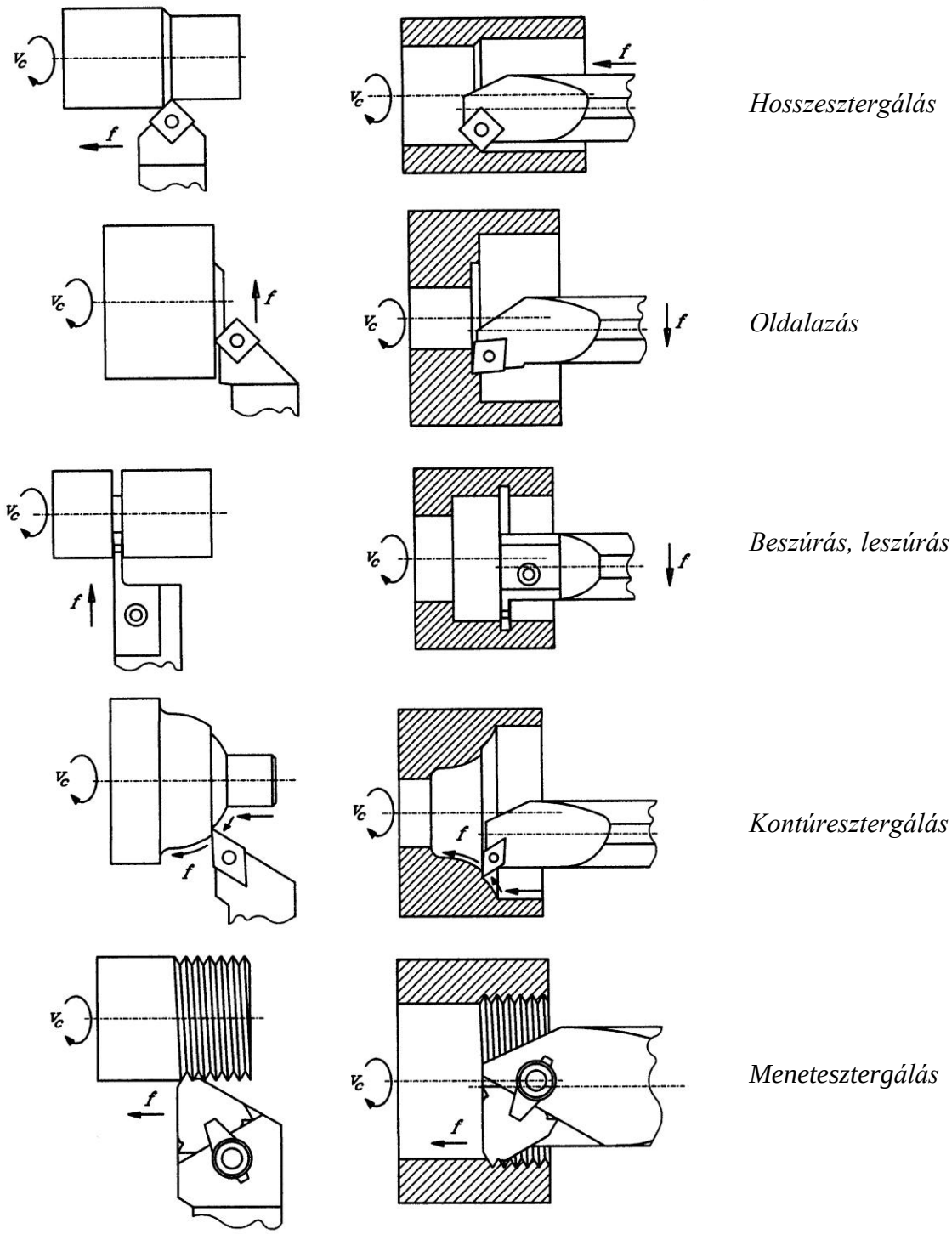
2.1 AZ ESZTERGÁLÁS VÁLTOZATAI

A mellékmozgás irányától, a szerszám alakjától és a kialakítandó felület típusától függően igen sok esztergálási változatot különböztetünk meg. A 2-2. ábra mutatja az esztergálás főbb változatait.
Attól függően, hogy a megmunkálással külső vagy belső felületet hozunk létre, az esztergálás lehet:

- külső esztergálás
- furatesztergálás

A munkadarab tengelyéhez viszonyított előtoló mozgás iránya szerint az esztergálás lehet:

- tengelypárhuzamos
  - hosszesztergálás
  - keresztesztergálás
    - oldalazás
    - szúrás
      - beszúrás
      - leszúrás
- általános előtolásirányú
  - kontúresztergálás
    - kúpesztergálás
    - gömbesztergálás
    - tóruszesztergálás



2.-2. ábra Az esztergálás főbb változatai

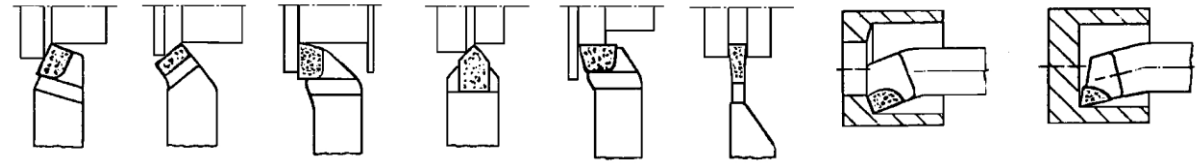
Az esztergálás a forgácsoló megmunkálás modell esete, a forgácsoláselméletet ezen tanulmányoztuk, ezért az ott leírtakat nem ismételjük meg.

2.2 ESZTERGASZERSZÁMOK (FORGÁCSOLÓ KÉSEK)

A munkadarab előírt felületeinek megmunkálásához megfelelő szerszámra van szükség. A szerszám megfelelő, ha teljesülnek az alábbi feltételek:

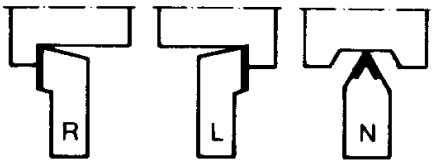
- geometriailag alkalmas a felületképzésre (hozzáférhetőség), 2-3. ábra.
- megfelelő élgeometriával rendelkezik
- anyaga forgácsolásra alkalmas
- a forgácsolás a szerszámmal gazdaságosan végezhető

Az esztergálás számos változata miatt, a kések kialakítása is igen változatos. A szerszám két fontos eleme a késszár - amellyel a kést befogjuk a szerszámgépbe- és a dolgozó rész, amelyik közvetlenül a forgácsolást végzi.
A dolgozó rész és a szerszámszár egymáshoz viszonyított elhelyezkedése szerint megkülönböztetünk egyenes és hajlított esztergakéseket (2-3. ábra). A hajlított kések előnye, hogy oldalazásra is alkalmasak. A feltételezett előtolómozgás iránya szerint megkülönböztetünk jobbos (R), balos (L) és semleges (N) szerszámokat (2-4. ábra).



Egyenes DIN4971 | *Hajlított DIN4972* | *Oldalélű DIN4978* | *Hegyes DIN4975* | *Homlokélű DIN4977* | *Beszúró DIN4981* | *Átmenő furathoz DIN4973* | *Zsákfurathoz DIN4975*

2-3.ábra. Forrasztott-lapkás esztergaszerszám kialakítások



2-4. ábra. Forgácsolókések felosztása az előtolás iránya szerint

A dolgozó rész anyaga lehet gyorsacél, keményfém vagy kerámia. A gyorsacél esztergakéseket mindinkább kiszorítják a keményfém- és kerámia szerszámok, kivételt elsősorban az alakos kések képeznek.
A keményfémlapkás forgácsolókések készülhetnek forrasztott vagy váltólapkás kivitelben. Forrasztott-lapkás szerszámkialakítások jellemző típusait a 2-3. ábra szemlélteti. A forrasztott-lapkás kivitel hátránya, hogy a lapka károsodhat a forrasztásnál vagy később a szakszerűtlen élezés következtében. Ezek a hátrányok nem jelentkeznek a váltólapkás, mechanikus rögzítésű szerszámoknál. Egyre növekszik a korszerűnek tekinthető váltólapkás kivitelű szerszámok aránya. A forrasztott váltólapkás kivitelt ma már csak speciális szerszámok (pl. alakos kés) esetében alkalmaznak. A váltólapkás kések alkalmazásának több előnye is van:

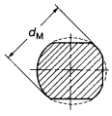
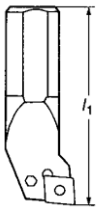
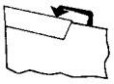
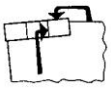
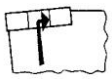
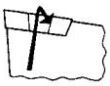
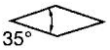
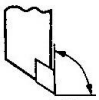
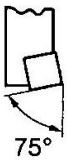
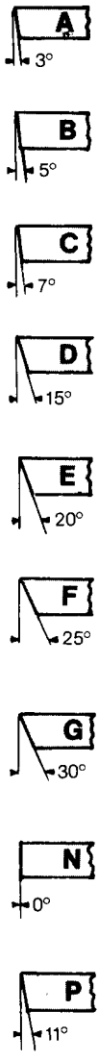
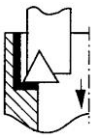
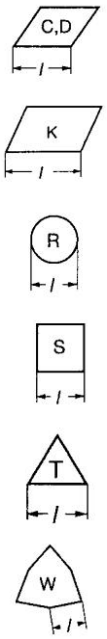
- alacsonyabb fajlagos szerszámköltség, az átélező költségek elmaradnak,
- gyors szerszám (lapka) csere,
- az él minősége nem károsodik forrasztással, élezéssel

A váltólapka több forgácsolóképes éllel rendelkezik, melyek sorra, - az előző elkopása után – a késtestben munkahelyzetbe hozhatók. A váltólapkák választéka igen széles, alakjukat és

méreteiket az ISO 1832 szabvány rögzíti. A 2-5., 2-6. és 2-7. ábrákon a szabványos késeket és lapkákat mutatjuk be.

Rögzítési mód	*Lapka alakja*	*Késszár-forma*	*Lapka hátszög*	*Előtolási irány*	*Késszár magasság*	*Késszár szélesség*	*Szer-szám-hossz*	*Élhossz (mm)*
P	S	L	N	R	16	16	H	09
C Felülről **M** Felülről és a furaton. **P** A furaton **S** Csavarral a furaton keresztül	**C** 80° **D** 55° **K** 55° **R** **S** **T** **V** 35° **W** 80°	75° B 45° D 60° E 90° F 90° G 107°30′ H 93° J 75° K	A 3° B 5° C 7° D 15° E 20° F 25° G 30° N 0° P 11°	**R** Jobbos **L** Balos **N** Semleges	A késszár magasság mm-ben. Egy számjegyű értékeknél, a számjegy elé egy nulla irandó.	A késszár szélesség mm-ben. Egy számjegyű értékeknél, a számjegy elé egy nulla irandó	**A**=32 **B**=40 **C**=50 **D**=60 **E**=70 **G**=80 **H**=100 **J**=110 **K**=125 **L**=140 **M**=150 **N**=160 **P**=170 **Q**=180 **R**=200 **S**=250 **T**=300 **U**=350 **V**=400 **W=450** **X**-különleges	C,D K R S T W
		95° L 63° N 117°30′ Q 75 R 45° S 60° T 72°30′85° V 85° Y						

2-5. ábra. Szabványos váltólapkás esztergakések

Késszár-típus	*Késszár-átmérő*	*Szer-szám-hossz*	*Rögzítési mód*	*Lapka alakja*	*Késszár-forma*	*Lapka hátszög*	*Forgá-csolási irány*	*Élhossz (mm)*
S	32	T	P	T	F	N	R	16
S Acél kés-szár **A** Acél kés-szár hűtő-furattal. **C** Kemény-fém kés-szár **E** Kemény-fém kés-szár hűtő-furattal. **F** Rezgés-csillapító késszár.	 **d_M** 08 10 12 16 20 25 32 40 50 60	 **A**=32 **B**=40 **C**=50 **D**=60 **E**=70 **F**=80 **G**=90 **H**=100 **J**=110 **K**=125 **L**=140 **M**=150 **N**=160 **P**=170 **Q**=180 **R**=200 **S**=250 **T**=300 **U**=350 **V**=400 **W=450** **X**-külön-leges	**C**  Felülről **M**  Felülről és a furaton. **P**  A fura-ton **S**  Csavarral a furaton keresztül	**C** **D** **K** **R** **S** **T** **V**  **W** 	**F** **J**  **K**  **L** **Q** **U** 		**R** Jobbos **L** Balos 	

2-6. ábra. Szabványos váltólapkás furatkések

Lapka alakja	*Lapka hátszög*	*Méret-tűrés*	*Lapka kivitele*	*Élhossz mm*	*Vastagság*	*Csúcs-sugár*	*Élkialakítás*	*Forgácsolási irány*
T	N	M	G	11	03	08	E	R
C 80° **D** 55° **K** 55° **R** **S** **T** **V** 35° **W** 80°	A 3° B 5° C 7° D 15° E 20° F 25° G 30° N 0° P 11°	Megengedett méreteltérés **G** s ±0,13 ic ±0,025 iw±0,025 **M** s ±0,13 ic ±0,05* iw±0,05* **U** s ±0,13 ic ±0,08* iw±0,08* * 10mm névleges méretig. iC iC iC iW s	**A** **G** **M** **N** **R** **T** **W** **X** Különleges	C,D K R S T W l	s s **00** s=1,59 **T1** s=1,98 **02** s=2,38 **03** s=3,18 **T3** s=3,97 **04** s=4,76 **05** s=5,56 **06** s=6,35 **07** s=7,94 **09** s=9,52 **10** s=10,0 **12** s=12,0	r_ε **00** kerek **02** r_ε=0,2 **04** r_ε=0,4 **08** r_ε=0,8 **12** r_ε=1,2 **16** r_ε=1,6 **24** r_ε=2,4	**F** Éles él **E** Lekerekített él **T** Negatív fazetta **S** Negatív fazetta és lekerekítés	**R** Jobbos **L** Balos **N** Semleges

2-7. ábra. Szabványos váltólapkák ISO 1832-1991 szerint

A lapkákat, késszárakat, alkalmazási feltételeket, a forgácsolási adatokat a szabványok és gyártmányismertetők részletesen ismertetik, és ajánlásokat adnak a legjobban megfelelő megoldásra.

A forgácsolókések kiválasztásánál a kés alakját a munkadarab geometriája és az esztergálás változata szerint kell kiválasztani. A kés alakja mellett, a kiválasztásnál ügyelni kell a megfelelő élgeometria kiválasztására is. Az élgeometriát elsősorban a munkadarab anyaga szerint kell választani. A 2-1. táblázat irányadó értékeket tartalmaz a homlokszög, hátszög és a tere-

lószög értékeire a járatos gépipari anyag megmunkálásához. A főélelhelyezési szög κ_r = *45…90°* közötti értékre választható. Természetesen ezt részben a munkadarab kontúrja, részben pedig a megmunkálási feladat jellege befolyásolja. Karcsú tengelyek megmunkálásánál legkedvezőbb a κ_r*=90°*, mert ilyenkor a fogásvétel irányú erő értéke a legkisebb. Szerszáméltartam szempontjából viszont a legkedvezőbb ha κ_r*= 45°*. A csúcssugár (r_ε) kiválasztásánál tudni kell, hogy nagyobb csúcssugár esetén csökken a megmunkált felület érdessége, de egyidejűleg nő a forgácsolóerő és a rezgésveszély. Ezért a gyakorlatban nagyoláskor a csúcssugár javasolt értéke 0,4…0,8 mm , simításkor pedig 0,8…2 mm.

2-1. táblázat. Keményfémlapkás forgácsolókések élgeometriája (Degner nyomán)

A munkadarab anyaga	Szilárdság, keménység R_m [N/mm^2]	Nagyolásnál			Simításnál		
		α_o [°]	γ_o [°]	λ_s [°]	α_o [°]	γ_o [°]	λ_s [°]
Szerkezeti acél	≤500	6	10	-5	6	12	-4
Szerkezeti- és nemesített acélok	500…700	8	10	-5...-6	6	10	-4
	700…1000	6	6…8	-5...-6	6	8	-4
Ötvözött acél	1000…1400	6	0…4	-8	6	4	-4
Rozsdamentes acél	600…700	6	4	-6	6	6	-4
Acélöntvény	500…700	6	2…4	-6	6	6	-4
	>700	6	-5	-6	6	0…2	-4
Öntöttvas	≤200 HB	6	0…6	-6	6	6	-4
	>200 HB	6	0…4	-6	6	4	-4
Rézötvözetek		8	10…12	-4	8	15	-4
Alumínium ötvözetek		8	14	-4	8	14	-4

2.3 MUNKADARAB BEFOGÁS. ESZTERGAKÉSZÜLÉKEK

A befogás feladata a munkadarabok helyzetmeghatározása és menesztése. A munkadarabok alakjától, az esztergálási változattól és pontossági fokozattól függően a munkadarab befogása más és más módszerrel történhet. Az esztergálásnál használatos befogókészülékek a következők:

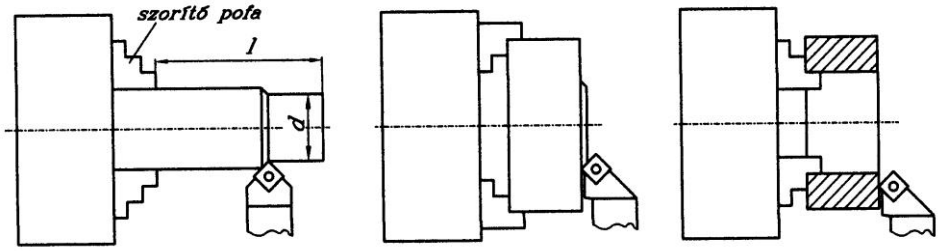
- önközpontosító tokmány
- síktárcsa
- esztergacsúcsok
- felfogó tüske
- támasztóbáb
- menesztő (csúcsok közötti befogásnál, erő- és nyomatékátvitel a munkadarab és a géporsó között)

A megmunkálásra kerülő munkadarabok a hossz/átmérő (l/d) arányának figyelembevételével két nagy csoportba oszthatók:

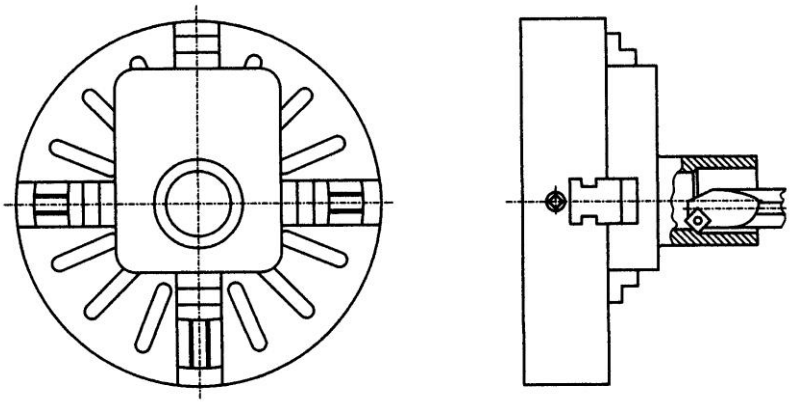
- tárcsaszerű (rövid) munkadarabok (l/d < 3…4),
- tengelyszerű (hosszú) munkadarabok (l/d > 3…4)

A tárcsaszerű és rövid darabokat legtöbbször önközpontosító tokmányba fogjuk be (2-8. ábra). Síktárcsát akkor alkalmazunk, ha valamilyen nem forgástest jellegű darabon kell megmunkálni forgásfelületet (2-9. ábra). A síktárcsán négy szorítópofa van amelyek külön-külön állíthatók. A hosszú munkadarabokat csúcsok közé fogjuk be. Ez természetesen csak úgy lehetséges, hogy előzőleg csúcsfészkeket (központfuratokat) készítünk a munkadarab hom-

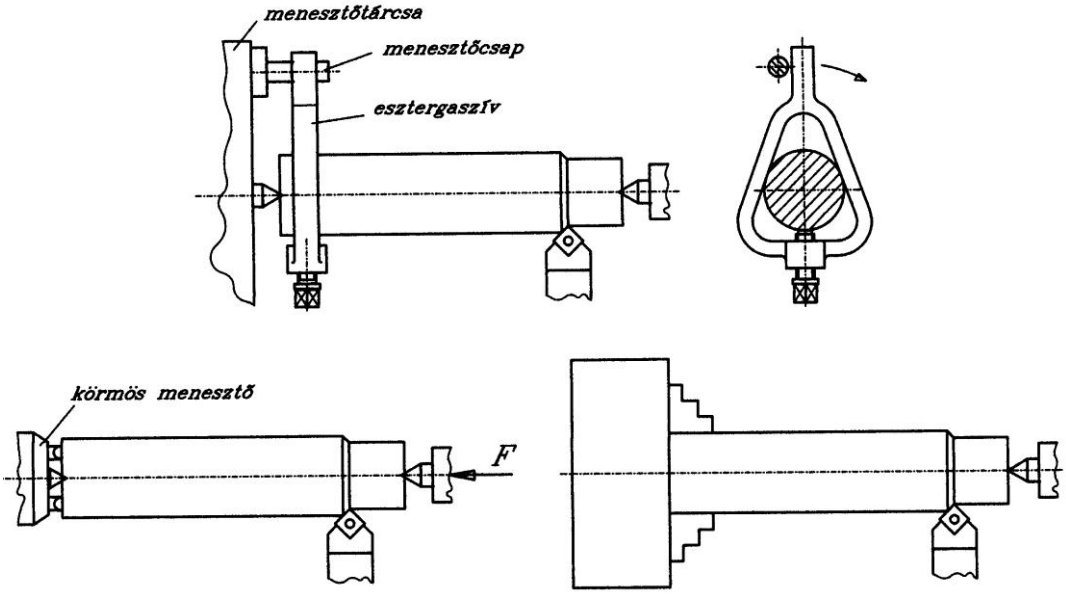
lokfelületeire. Mivel a csúcsok a menesztés feladatát nem tudják ellátni, ezért a menesztésről külön kell gondoskodni. A menesztés történhet esztergaszívvel vagy körmös menesztővel (2-10. ábra). A hosszú darabok befoghatók úgy is, hogy a munkadarab egyik végét tokmányba fogjuk, a másikat pedig csúccsal támasztjuk meg. A munkadarab központosítása így kevésbé pontos, de nincs szükség menesztőre. A hosszú, karcsú munkadaraboknál, amelyeknél az l/d > 8…12 támasztóbábot kell alkalmazni. Támasztóbáb szükséges olyan esetekben is, amikor hosszú darabokon belső megmunkálást kell végezni (2-11. ábra). A támasztóbáb lehet álló (gépágyhoz rögzített) vagy mozgó (a szánhoz rögzített). Felfogó tüskét alkalmazunk olyan esetekben, amikor a munkadarabot egy belső felületen kell központosítani.



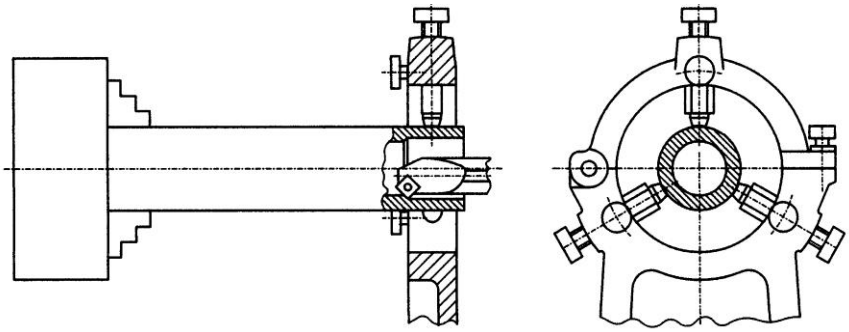
2-8. ábra. Rövid- és tárcsaszerű darabok befogása önközpontosító tokmányba



2-9. ábra. Befogás síktárcsán



2-10. ábra. Tengelyszerű darabok befogása



2-11. ábra. Befogás tokmányban, bábbal megtámasztva.

2.4 FORGÁCSOLÓERŐ, TELJESÍTMÉNY

A forgácsolóerő meghatározását az 1.5 fejezetben tárgyalt módon, a fajlagos forgácsolóerő segítségével, vagy a kitevős képletekkel határozhatjuk meg.

a) A fő forgácsolóerő meghatározása a fajlagos forgácsolóerő alapján

$$F_c = k_c \cdot b \cdot h = k_{c1.1} \cdot b \cdot h^{1-m} \cdot K_F \text{ [N].}$$

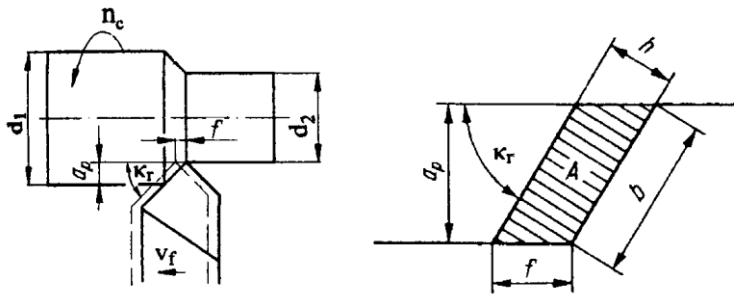
Ahol: $k_{c1.1}$ a fajlagos forgácsolóerő főértéke

m kitevő, értékeik az 1.3 táblázatban találhatók

$K_F = K_{Fsz} \cdot K_{Fv} \cdot K_{F\gamma o} \cdot K_{F\kappa} \cdot K_{Fr} \cdot K_{FVB}$ az összegzett módosító tényező (lásd az 1.5.3.1 pont alatt).

$h = f \cdot \sin \kappa_r$ a forgács vastagsága

$b = \dfrac{a_p}{\sin \kappa_r}$ a forgács szélessége (2-12. ábra)



2-12. ábra. A forgácskeresztmetszet elméleti alakja

b) A fő forgácsolóerő meghatározása kitevős alakú képlettel

$$F_c = C_F \cdot f^{x_F} \cdot a_p^{y_F} \cdot K_F$$

ahol:

C_F erőállandó amely az anyagminőségtől függ

x_F , y_F kitevők. Értékeik az 1.4 táblázatban találhatók. Öntöttvas és acél forgácsolásakor alkalmazhatók az alábbi értékek: $x_F \approx 0{,}75$, $y_F \approx 1$.

A forgácsoláshoz szükséges teljesítmény a forgácsolóerő és a forgácsolósebesség szorzata

$$P_c = F_c \cdot v_c$$

A gépi teljesítmény ennél valamivel nagyobb, mivel figyelembe kell venni a gépen belüli veszteségeket is:

$$P_m = \frac{P_c}{\eta}, \qquad \text{ahol } \eta \approx 0{,}7 \text{ a gép hatásfoka.}$$

2.5 FORGÁCSOLÁSI ADATOK MEGHATÁROZÁSA

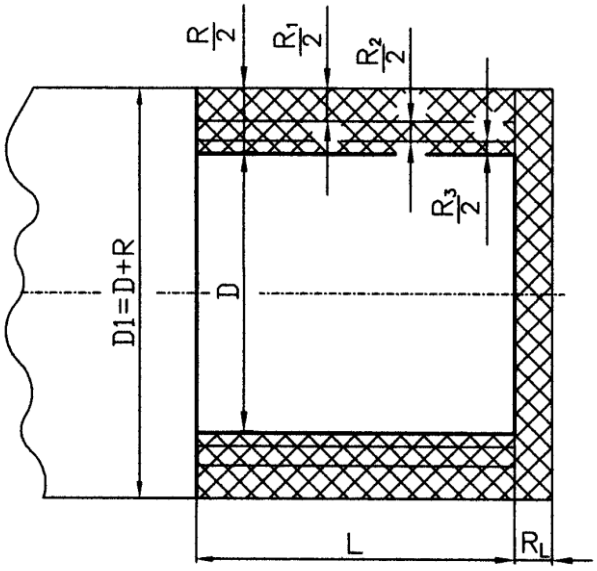
2.5.1 Fogásmélység

A fogásmélység, valamint az előtolás tartományok szerint az esztergálás felosztható simító-, könnyű nagyoló- és goromba (durva) nagyoló esztergálásra. Ezek a tartományok nincsenek egyértelműen meghatározva, némi eltérés tapasztalható különböző források esetén. A Sandvik Coromant, a világ egyik vezető szerszámgyártó cége szerinti felosztás a 2-1. táblázatban látható. Ezek az adatok bizonyos határértékeket adnak, amelyek első megközelítésben irányadók lehetnek.

2-1. táblázat. Fogásmélység és előtolás tartományok

	Fogásmélység a_p [mm]	Előtolás f [mm/ford]
Simítás	0,5…2	0,1…0,3
Könnyű nagyolás	1,5…5	0,2…0,5
Goromba nagyolás	5…15	0,5…1,5

A forgácsolási adatok közül először mindig a fogásmélységet határozzuk meg. A fogásmélység elsősorban a technológiai ráhagyás nagyságától függ, azaz a kiinduló és a megmunkált átmérőtől. A hengeres felületek ráhagyását mindig átmérőre kell érteni, míg oldalazásnál ill. a síkfelületek esetében az egy felületre eső értéket (R_L) (2-13. ábra). Külön kell meghatározni a ráhagyást nagyolásra ($R_{1)}$, simításra (R_2) és finomításra (R_3). A felsorolt megmunkálási fokozatok szükségességét az előírt méretpontosság ill. hőkezelési igény alapján kell megállapítani. A finomítás rendszerint köszörüléssel történik. A ráhagyások és az előgyártmány meghatározása nem képezi e jegyzet tárgyát, csupán a nagyságrendek érzékeléséhez nyújtanak némi betekintést a 2-2. táblázatban adott adatok, amelyek hengerelt előgyártmányok esetére érvényesek.



2-13. ábra. Ráhagyások esztergálásnál

2-2. táblázat. Ráhagyások nagysága, hengerelt előgyártmányok esetében (mm-ben)

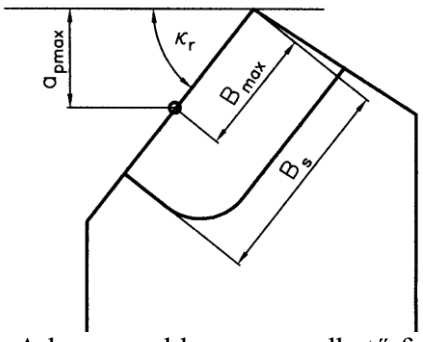
	Munkarab átmérő [mm]	Munkadarab hossza [mm]						
		≤100	100-250	250-400	400-630	630-1000	1000-1600	1600-2500
Ráhagyás nagyolásra	≤10	2,5	2,5	2,5	3,0			
	10-18	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5		
	18-30	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0	
	30-50	3,0	3,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
	50-80	3,5	3,5	3,5	4,0	4,0	4,5	5,5
	80-120	4,0	4,0	4,5	4,5	5,0	5,5	6,0
	120-180	5,0	5,0	5,0	5,5	5,5	6,0	7,0
	180-260	5,0	5,5	5,5	5,5	6,0	7,0	8,0
Ráhagyás simításra	≤10	0,7	0,9	1,2				
	10-18	0,75	1,0	1,25				
	18-30	0,9	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
	30-50	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
	50-80	1,1	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0
	80-120	1,2	1,4	1,55	1,7	1,85	2,0	2,1
	120-180	1,3	1,5	1,6	1,75	1,9	2,0	2,1
	180-260	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2

Mivel a szerszám éltartamát legkevésbé befolyásolja a fogásmélység, a gyakorlatban igyekeznek egy adott megmunkálást minél kevesebb fogásvétellel megoldani.
A legnagyobb megengedhető fogásmélység (a_{pmax}) a szerszám élhosszától és a főélelhelyezési szög nagyságától függ (2-14. ábra):

$$a_{p\,max} = B_{max} \cdot \sin \kappa_r$$

Ahol:

B_{max} a használható élhossz. Forrasztott keményfém lapkás kések esetén, ha a szerszámgyártó másképpen nem írja elő, a következő összefüggés használható $B_{max} = (0{,}63 \ldots 0{,}8)\, B_s$, ahol a B_s a teljes élhossz.
Négyzet alakú lapkák esetében $B_{max} \leq 0{,}75\, l$, ahol l a lapka oldalhossza.
Háromszög alakú lapkák esetében $B_{max} \leq 0{,}5\, l$



2-14. ábra. A legnagyobb megengedhető fogásmélység

Előfordulhat, hogy a leválasztandó anyagréteg vastagsága nagyolásnál nagyobb, mint a legnagyobb megengedhető fogásmélység és ilyenkor az anyagréteget több fogásban távolítjuk el. A fogások előzetes száma nagyolásnál:

$$i' = \frac{D_1 - D}{2 \cdot a_{p\,max}}$$

Ahol:

D_1 a kiinduló átmérő

D a megmunkált átmérő

Mivel a fogások száma csak egész szám lehet, az így kapott érték alapján i értékének a legközelebbi nagyobb egész számot választjuk.

A fogásosztás meghatározása után meghatározható a fogásmélység értéke:

$$a_p = \frac{D_1 - D}{2 \cdot i}$$

A simító esztergálás mindig egy fogásban történik.

2.5.2 Az előtolás meghatározása

Nagyoló megmunkálás esetén az elsődleges célkitűzésünk a minél nagyobb anyagmennyiség leválasztása egy időegység alatt. Nagy anyagleválasztási sebesség (q [cm^3/min]) akkor érhető el, ha nagy előtolás értéket, illetve forgácskeresztmetszetet választunk. Ez természetesen nagy forgácsoló erőt is eredményez, amely terheli a megmunkáló rendszer elemeit, azaz a szerszámot, szerszámgép elemeit, és a munkadarabot. A forgácsolóerő legnagyobb megengedett értékének és egyben az előtolás értékének is, a rendszer leggyengébb eleme szab korlátot. Emellett figyelembe kell venni azt is, hogy egy adott szerszám (lapka) alkalmazása milyen fogásmélység- és előtolás tartományokban alkalmazható forgácstörés szempontjából.
A gyakorlatban rendszerint úgy járunk el, hogy tapasztalatok alapján javasolt értéket választunk (2-3. táblázat), majd ezt követően a kiválasztott előtolást több szempontból is ellenőrizzük. Egyes források a nagyoló előtolás javasolt értékét a szerszámcsúcs lekerekítési sugarával hozzák kapcsolatba és eszerint:

$$f \approx 0{,}5 \cdot r_\varepsilon ,$$

vagy valamivel részletesebben a 2-4. táblázat szerint járhatunk el. Itt hangsúlyozni kell a szerszámcsúcs lekerekítési sugár jelentőségét: nagyobb sugárérték az él stabilitását növeli, de egy értéken felül rezgések jelentkeznek a rendszerben. Nagyolásnál, ha más korlátozó tényező nincs, akkor a csúcssugár (r_ε) legalább 0,8 mm legyen. Tapasztalható, hogy a nagyobb lekerekítési sugárérték növeli a passzív erő (F_p) értékét, ezért hosszú, vékony alkatrészeknél és furatkéseknél jó, ha a csúcssugár nem nagyobb 0,4 mm-nél.
Megfigyelések és kísérletek alapján megállapították, hogy kedvező forgácsleválasztáshoz a fogásmélység és az előtolás viszonyának ($g = \frac{a_p}{f}$) bizonyos határok között kell lennie. Hosszesztergálásnál ennek a viszonyszámnak g = 5…10, illetve keresztesztergálásnál g = 5…20 a javasolt értéke.

2-3. táblázat. Az előtolás javasolt értékei nagyoló hossz- és keresztesztergálásnál [33]

Munkadarab átmérő mm]	Munkadarab anyaga							
	Acél és acélöntvény				Szürkeöntvény és rézötvözetek			
	Fogásmélység a_p [mm]				Fogásmélység a_p [mm]			
	≤3	3…5	5…8	8…12	≤3	3…5	5…8	8…12
	Előtolás f [mm/ford]							
≤20	0,3-0,4				0,4-0,5			
20…40	0,4-0,5	0,3-0,4			0,4-0,5	0,4-0,5		
40…60	0,5-0,6	0,4-0,6	0,3-0,7		0,5-0,6	0,5-0,6	0,5-0,7	
60…100	0,5-0,6	0,5-0,8	0,5-0,9		0,5-0,6	0,5-0,8	0,6-1,0	
100…400	0,5-0,6	0,5-0,8	0,5-0,9	0,6-1,2	0,5-0,6	0,5-0,8	0,6-1,0	0,8-1,2
400…500	0,5-0,6	0,6-1,0	0,6-1,3	0,8-1,5	0,5-0,6	0,6-1,0	0,6-1,3	0,8-1,8

2-4. táblázat. A megengedett előtolás és a szerszámcsúcs lekerekítési sugara (Sandvik Coromant)

Szerszámcsúcs lekerekítési sugár, r_ε (mm)	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4
Javasolt maximális előtolás f (mm/ford)	0,25-0,35	0,4-0,7	0,5-1,0	0,7-1,3	1-1,8

Simító esztergálás esetében az előtolást mindig az előírt felületi érdesség alapján kell meghatározni.

Beszúrás és leszúrás esetében, a fogásmélység megegyezik a késél-, ill. a horony szélességével. Ebből kifolyólag a kés dolgozó részének keresztmetszete igen gyenge, másrészt a kés jelentős hosszúságú, fogásban lévő élhosszal dolgozik és ez rezgésre hajlamossá teszi a szerszámot. Emiatt leszúrásnál csökkentett előtolást és forgácsoló sebességet alkalmazunk. A leszúrókés ill. a lapka szélességét a munkadarab átmérő alapján kell választani (2-4. táblázat). Az előtolás javasolt értékei leszúrás esetére ugyancsak a 2-5. táblázatban találhatók.

2-5. táblázat. Az előtolás javasolt értékei leszúráshoz (Sandvik-Coromant)

Munkadarab átmérő (mm)	<8	8-12	12-16	16-24	24-32	32-40	40-48	48-56
Lapka szélessége (mm)	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
Előtolás (mm/ford)	0,05	0,07	0,08	0,08	0,12	0,15	0,18	0,2

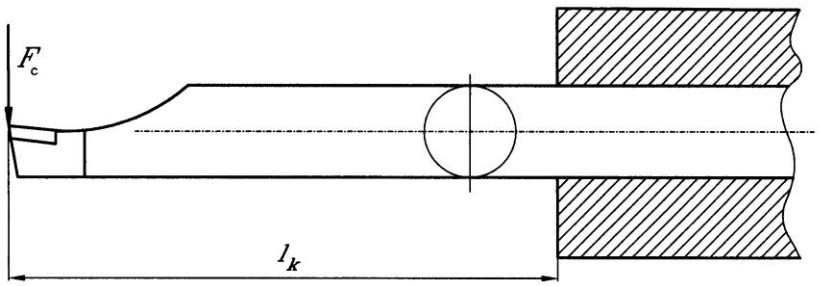
2.5.2.1 Az előtolás ellenőrzése a késszár-keresztmetszet alapján

Az esztergakést befogott tartónak tekinthetjük, amelyet a forgácsolóerők terhelnek. Külső esztergálás esetén a késszár rendszerint kellően nagy keresztmetszetű, és a kés kinyúlását sem kell nagyra választani. Ebből adódóan a késszárban keletkező feszültség és a késszár lehajlása viszonylag alacsony értékű. Más a helyzet furatesztergálásnál: itt a késszár keresztmetszetét a megmunkálandó furatátmérő határozza meg, a kés kinyúlásának pedig a furat mélységének kell megfelelni. Belső megmunkálásnál a késszár szilárdsága ill. behajlása szabhat határt

az előtolás nagyságának. Az előtolás meghatározását végezhetjük a késszár szilárdsága- ill. lehajlása alapján.

a) Az előtolás ellenőrzése a késszár szilárdsága alapján

A késszár szilárdsági ellenőrzéséhez egy leegyszerűsített mechanikai modell alkalmazható amelyben az előtolás irányú- és a passzív erők elhanyagolhatók (2-15. ábra).



2-15. ábra. Az esztergakés, mint befogott tartó

A késszárban ébredő hajlítófeszültség: $\sigma = \dfrac{M}{K} \leq \sigma_{meg}$

Ahol: $M=F_c \cdot l_k$ hajlító nyomaték

K keresztmetszeti tényező

$K = \dfrac{h^2 b}{6}$ téglalap keresztmetszet esetén (h- magasság; b- szélesség)

$K = \dfrac{d^3 \pi}{32}$ kör keresztmetszet esetén

σ_{meg} = 200-250 [MPa] a járatos késszár anyagokra

l_k a kés kinyúlása

Ebből az összefüggésből meghatározható a legnagyobb megengedett forgácsolóerő:

$$F_{cmeg} = \frac{K \cdot \sigma_{meg}}{l_k}$$

Illetve, ha tudjuk, hogy a forgácsolóerő többek között az előtolás függvénye ($F_c = C_F \cdot f^{x_F} \cdot a_p^{y_F} \cdot K_F$), meghatározható az előtolás határértéke:

$$f \leq \sqrt[x_F]{\frac{F_{cmeg}}{C_F \cdot a_p^{y_F} \cdot K_F}}$$

b) Az előtolás ellenőrzése a késszár lehajlása alapján

A megengedett lehajlás rendszerint szigorúbb korlátot szab az előtolás értékének, mint a megengedett feszültség. A kés lehajlása egy bizonyos érték felett rezgések keletkezéséhez vezet, ami mindenképpen elkerülendő. Az előző modellt véve alapul, a lehajlás értéke a következő összefüggéssel határozható meg:

$$\delta = \frac{F_c \cdot l_k^3}{3 \cdot E \cdot I} \leq \delta_{meg}$$

Ahol: E a szár anyagának rugalmassági modulusa

I a keresztmetszet másodrendű nyomatéka

$I = \frac{h^3 b}{12}$ téglalap keresztmetszet esetén (h- magasság; b- szélesség)

$I = \frac{d^4 \pi}{64}$ kör keresztmetszet esetén

δ_{meg} = 0,08-0,25 mm a megengedett lehajlás nagyolás esetére

δ_{meg} = 0,01-0,04 mm a megengedett lehajlás simítás esetére

Az ebből a feltételből adódó legnagyobb forgácsolóerő:

$$F_{cmeg} = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta_{meg}}{l_k^3}$$

Illetve, az előtolás határértéke: $f \leq \sqrt[x_F]{\frac{F_{cmeg}}{C_F \cdot a_p^{y_F} \cdot K_F}}$

2.5.2.2 Az előtolás ellenőrzése a megmunkálási pontosság alapján

A forgácsolási erők hatására a megmunkáló rendszerben rugalmas alakváltozás megy végbe. Ezen belül a munkadarab alakváltozását vizsgáljuk. Az alakváltozás mértéke az erő nagyságától és a befogási módtól, valamint a munkadarab méreteitől és rugalmassági modulusától függ. A jellemző befogási módok, ezek mechanikai modelljei és a rugalmas alakváltozásból adódó alakhibák a 2-16. ábrán láthatók.

A 2-16. ábrán bemutatott mechanikai modellek esetére a tartó maximális lehajlása:

$$\delta = \frac{F \cdot l^3}{\mu \cdot E \cdot I}$$

Ahol: l a tartó hossza

E a munkadarab anyagának rugalmassági modulusa

I a keresztmetszet másodrendű nyomatéka ($I \approx 0{,}05 \cdot d^4$)

d a munkadarab átmérő

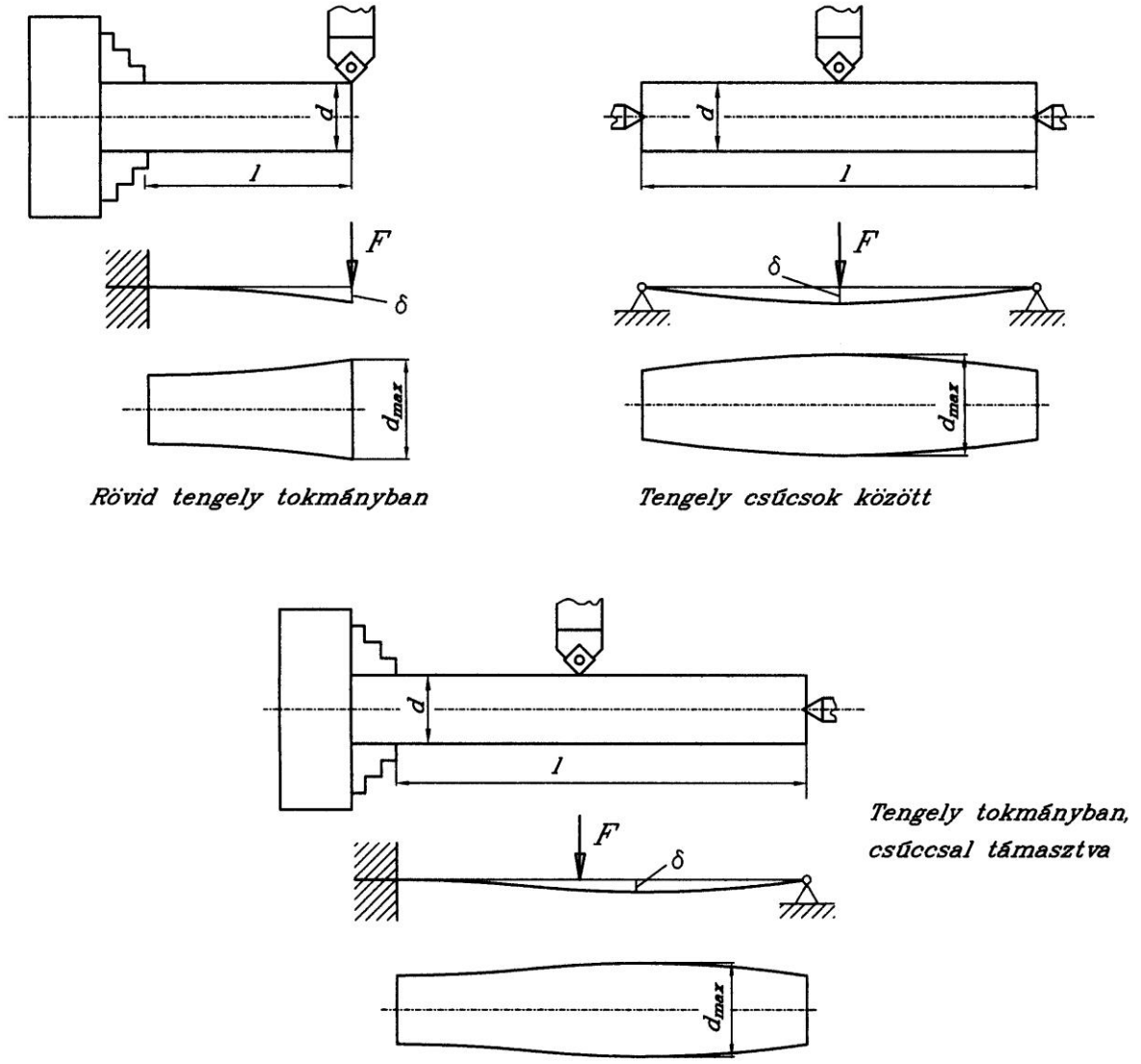
μ modellállandó: $\mu=3$ befogás tokmányban

$\mu=48$ munkadarab befogás két csúcs között

$\mu=102$ befogás tokmányban csúccsal megtámasztva

F a hatóerő.

Az alakváltozási hiba meghatározásánál mértékadó az F_p passzív erő. Ennek értéke ugyan kisebb mint az F_c forgácsolóerő, de a hatására keletkezett lehajlás (behajlás) közvetlenül a munkadarab átmérő hibáját eredményezi (2-16. ábra).



2-16. ábra. Az F_p erőösszetevő hatására keletkező átmérőhiba

A passzív erő meghatározható a forgácsolóerő és egy arányossági tényező segítségével:

$$F_p = \lambda_{cp} \cdot F_c$$

A λ_{cp} arányossági tényező értéke elsősorban a főél elhelyezési szögétől függ. A főél elhelyezési szög (κ_r) növelésével az arányossági tényező értéke csökken. A gyakorlatban használható értékek a 2-6. táblázat szerint választhatók.

2-6. táblázat. A λ_{cp} arányossági tényező értékei [4]

κ_r	30°…45°	60°…75°	90°
λ_{cp}	0,4…0,5	0,32…0,4	0,25…0,32

Ha a munkadarab behajlásából adódó átmérőhiba megengedett értékét (δ_{meg}) meghatározzuk, akkor a passzív erő megengedett értéke is meghatározható, illetve ezáltal az előtolás legnagyobb megengedett értékét határozhatjuk meg.

$$F_{cmeg} = \frac{\mu \cdot E \cdot I \cdot \delta_{meg}}{\lambda_{cp} \cdot l^3}$$

Illetve, az előtolás határértéke: $$f \le \sqrt[x_F]{\frac{F_{cmeg}}{C_F \cdot a_p^{y_F} \cdot K_F}}$$

Az átmérőhiba megengedett értékének (δ_{meg}) meghatározásánál két esetet különböztetünk meg:

a) Befejező megmunkálás esetén a megengedett átmérőhibát az előírt tűrésmező értéke alapján határozzuk meg. Mivel a behajlásból adódó átmérőhiba csak egy a számos hibaforrás közül, így a tűrésmező szélességének egy hatoda vehető δ_{meg} értékének: $\delta_{meg} = \frac{T}{6}$, ahol T a tűrésmező szélessége. Ennek az ellenőrzésnek akkor van értelme amikor a simító megmunkálást nem előzi meg nagyolás.

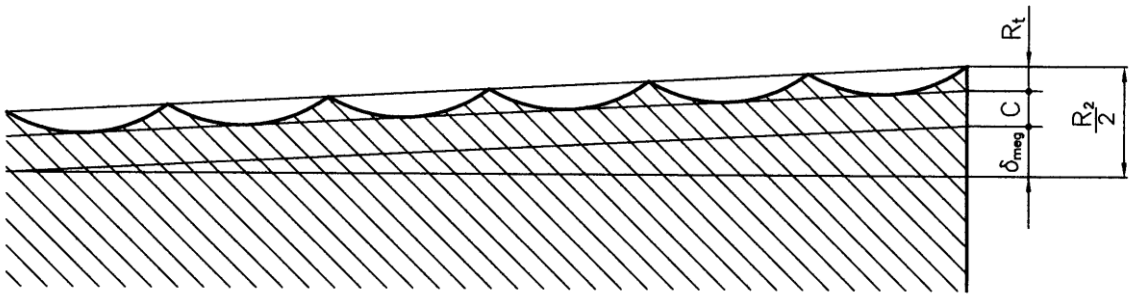
b) Ha a nagyoló megmunkálást simítás követi ugyanabban a befogásban, akkor abból kell kiindulni, hogy a nagyolásnál visszamaradó hibák ne legyenek nagyobbak, mint a ráhagyás nagysága simításnál (R_2) (2-17. ábra).

$$\frac{R_2}{2} \ge \delta_{meg} + C + R_t, \text{ illetve } \delta_{meg} \le \frac{R_2}{2} - C - R_t$$

Ahol: R_2 ráhagyás simításra

R_t elméleti érdesség nagyolás után ($\frac{f^2}{8 \cdot r_\varepsilon}$), értéke 40 és 160 μm között várható. Hogy jól becsültük-e meg, az később ellenőrizhető és nagy eltérés esetén a számítást meg kell ismételni.

C mechanikai és hőhatások miatt meghibásodott anyagréteg vastagsága, durván C=40…80 μm között vehető [32].



2-17. ábra. A megmunkált felület nagyolás utáni hibái

Meg kell jegyezni, hogy a nagyolás utáni méretpontosságot és felületi érdességet műveletközi tűrésekkel is megadhatjuk és ilyen esetben természetesen ezt kell szem előtt tartani az előtolás meghatározásánál.

2.5.2.3 Az előtolás ellenőrzése a felületi érdesség alapján

Simító megmunkálásnál az előtolás értékét rendszerint a munkadarab műhelyrajzán előírt felületi érdesség alapján (R_a) határozzuk meg, az 1.8 fejezetben tárgyalt összefüggések szerint, föltételezve, hogy $R_t \approx 4R_a$:

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_\varepsilon}, \text{ innen} \qquad f = \sqrt{8 \cdot r_\varepsilon \cdot R_t} \approx \sqrt{32 \cdot r_\varepsilon \cdot R_a}$$

Az előtolás végleges kiválasztásánál természetesen csak olyan értéket választhatunk, amely az adott gépen megvalósítható. A számításokkal kapott legkisebb érték a mértékadó, és ez alapján az adott gépen az első kisebb előtolást kell választani.

2.5.3 A forgácsolósebesség meghatározása

A fogásmélység és az előtolás meghatározása után következik a forgácsolósebesség és a főorsó- ill. a munkadarab-fordulatszám meghatározása.
Esztergálásnál forgácsolósebesség alatt a munkadarab kerületi sebességét értjük, annak a szerszáméllel kapcsolatban lévő legnagyobb átmérőjén. A forgácsolósebesség alapján számítható a munkadarab- ill. a főorsó fordulatszáma.

$$v_c = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000} \text{ [m/min]} \qquad n = \frac{1000 \cdot v_c}{d \cdot \pi}$$

A forgácsolósebességet a gyakorlatban leginkább tapasztalatok ill., technológiai táblázatok alapján választjuk. A szerszámgyártók is rendszerint részletes táblázatokat adnak a forgácsoló paraméterek kiválasztásához. A 2-7. és 2-8. táblázat javasolt forgácsoló sebességeket tartalmaz néhány járatos munkadarab anyag estére. A táblázatban adott értékek hosszesztergálásra, a_p=4 mm fogásmélységre, κ=45˚ főél elhelyezési szögre, T=15 min éltartamhoz és hűtőfolyadék alkalmazása esetén érvényesek. A felsorolt üzemi feltételektől eltérő esetekben módosító tényezőket kell alkalmazni (2-10., 2-11. táblázatok).

A forgácsolósebesség meghatározásának korszerű módját, az éltartam összefüggésen alapuló hatványkitevős képletek alkalmazása képezi:

$$v_c = \frac{C_v}{T^m \cdot f^{x_v} \cdot a_p^{y_v}} \cdot K_v$$

Ahol: C_v, x_v, y_v, m állandó és kitevők (2-9. táblázat)
T [min] a szerszám éltartama
$K_v = K_{v\kappa} \cdot K_{vvo} \cdot K_{vH}$ összesített sebesség módosító tényező
$K_{v\kappa}$ főél elhelyezési szög módosító tényező (2-10. táblázat)
K_{vvo} esztergálási változat módosító tényező (2-11. táblázat)
K_{vH} hűtő és kenőanyag alkalmazás módosító tényező.
$K_{vH}=1$ hűtőanyag alkalmazás esetén
$K_{vH}=0,7$ hűtés alkalmazása nélkül

2-7. táblázat. A forgácsolósebesség irányadó értékei keményfém szerszámhoz, T = 15 min éltartamhoz, a_p=4 mm fogásmélység mellett

Munkadarab anyaga	Szerszám anyaga	Az előtolás mm/ford				
MSZ-EN		0,16	0,25	0,4	0,63	1,0
S235JR, S275JR, E295, C10	P10	370	350	330	310	-
	P30	330	300	280	260	240
	P20C[1)]	410	390	365	345	325
E335, C15, C22, C35	P10	275	250	230	210	-
	P30	240	215	185	165	145
	P20C[1)]	300	270	245	220	200
46Cr2, 17Cr3, 16MnCr5, 25CrMo4	P10	230	200	180	160	-
	P30	200	170	145	125	105
	P20C[1)]	265	235	200	180	160
34CrMo4, 42CrMo4, 30CrNiMo8, 20MnCr5, 17CrNiMo6	P10	210	185	160	140	-
	P30	180	150	125	105	90
	P20C[1)]	230	200	175	150	130
GG20, GGG40-3	K01	165	155	140	-	-
	K30	110	100	90	80	70
	K10C[1)]	215	200	180	165	155
GG25, GGG50	K01	140	125	115	-	-
	K30	90	80	70	60	55
	K10C[1)]	175	160	150	135	123
Al-Si (13-15% Si)	K15	450				-
Al-Si (16-22% Si)	K15	300				-
Sárgaréz	K15	500				-
Bronz	K15	300				-
[1)] Bevonatolt váltólapka						

2-8. táblázat. A forgácsolósebesség irányadó értékei gyorsacél szerszámhoz, T=60 min éltartamhoz, a_p=2…5 mm fogásmélység mellett [33]

A munkadarab anyaga		Az előtolás mm/ford				
		0,10	0,2	0,4	0,8	1,6
Acél	R_m<500	82	61	45	34	25
	R_m=500-700	52	40	30	25	15
	R_m=700-900	40	30	20	15	10
	R_m>900	30	22	15	10	8
Öntött-vas	HB<200	60	40	25	15	10
	HB>200	50	30	16	12	9
Sárgaréz		185	125	85	60	35
Bronz		80	60	50	40	30

2-9. táblázat. A C_v sebességállandó és az x_v, y_v, m kitevők értékei keményfém szerszámanyag esetére

A munkadarab anyaga		Keményfém	C_v	x_v,	y_v,	m
Acél	R_m<500	P10	650	0,26	0,10	0,27
	R_m=500-700	P10	490	0,22	0,11	0,29
	R_m=700-900	P10	479	0,21	0,11	0,29
		P30	377	0,27	0,12	0,29
		P20 bevonatos	458	0,22	0,11	0,25
	R_m>900	P10	237	0,29	0,11	0,19
		P30	177	0,37	0,12	0,19
		P20 bevonatos	234	0,31	0,11	0,16
Öntöttvas	HB<200	K10	271	0,15	0,10	0,23
	HB>200	K10	200	0,19	0,10	0,23

2-10. táblázat. A $K_{v\kappa}$ módosító tényező értékei

Szerszám anyaga	Munkadarab anyaga	Főél-elhelyezési szög, κ_r				
		30°	45°	60°	75°	90°
Keményfém	Acél	1,13	1,00	0,92	0,86	0,81
	Öntöttvas	1,20	1,00	0,88	0,83	0,73
Gyorsacél	Acél	1,26	1,00	0,84	0,78	0,68
	Öntöttvas	1,20	1,00	0,88	0,83	0,73

2-11. táblázat. A K_{vvo} módosító tényező értékei

Esztergálási változat	K_{vvo}
Kemény kéreg esztergálása öntvények, hengerelt vagy kovácsolt előgyártmányok esetén (kéregbontás)	0,7-0,8
Furatesztergálás	0,75-0,85
Megszakított felületek-, hegesztés esztergálása	0,8-0,9
Kontúresztergálás, oldalazás, leszúrás	1,3
Menetesztergálás	0,2-025

Az éltartam összefüggés alapján kapott forgácsolósebességnek, ill. fordulatszámnak, korlátot szabhat a gép teljesítménye. Ezt mindig ellenőrizni kell és ha szükséges, akkor kellő mértékben csökkenteni kell a sebességet. A munkagép teljesítménye:

$$P_m = \frac{F_c \cdot v_c}{\eta \cdot 60000}\left[kW\right] \text{, ebből} \qquad v_c \le \frac{60000 \cdot P_m \cdot \eta}{F_c}\left[\frac{m}{min}\right] \text{ vagy}$$

$$n \le \frac{60 \cdot 10^6 \cdot P_m \cdot \eta}{F_c \cdot d \cdot \pi} \text{ min}^{-1}$$

2.6. A GÉPI FŐIDŐ MEGHATÁROZÁSA ESZTERGÁLÁSNÁL

A forgácsoló paraméterek- és a munkadarab méretei ismeretében minden műveletelemhez meghatározható a forgácsoláshoz szükséges gépi főidő.

a) a gépi főidő meghatározása állandó fordulatszámmal történő megmunkálás esetén

$$t_g = \frac{L}{v_f} \cdot i = \frac{L}{n \cdot f} \cdot i$$

Ahol: $v_f = n \cdot f$ az előtolási sebesség

i a fogások száma

L a szerszámút hossza.

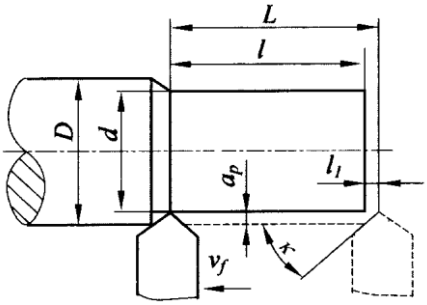
A szerszámút meghatározása hosszesztergálás esetén (2-18. ábra):

$L = l + l_1 + l_2$,

l a megmunkálás hossza

$l_1 = \frac{a_p}{\tan \kappa} + 1 \ldots 2$ mm, a szerszámráfutás hossza

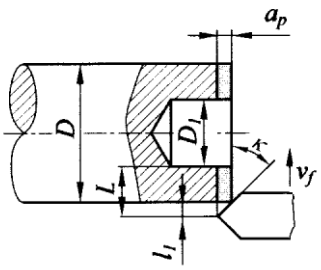
l_2 a szerszámtúlfutás hossza (amennyiben szükséges 1…2 mm)



2-18. ábra. A szerszámút meghatározása hosszesztergálás esetén

A szerszámút meghatározása keresztesztergálás esetén (2-19. ábra):

$$L = \frac{D - D_1}{2} + l_1 + l_2$$

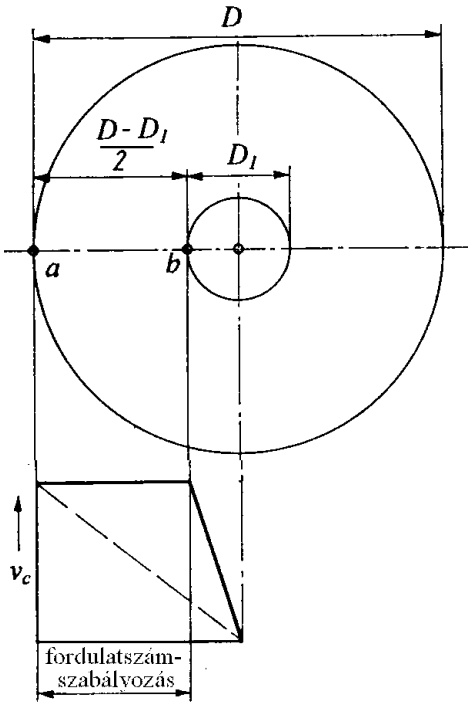


2-19. ábra. A szerszámút meghatározása keresztesztergálás esetén

b) a gépi főidő meghatározása állandó forgácsoló-sebességgel történő keresztesztergálás esetén

Fokozatmentes fordulatszám-szabályozású hajtóművel rendelkező esztergagép esetén célszerű az oldalazást és leszúrást állandó forgácsolási sebességgel (v_c=*const.*) végezni. Ehhez a fordulatszámot folyamatosan növelni kell ahogy a kés a forgástengelyhez közeledik és ez változó előtolási sebességet (v_f) eredményez. Ezt természetesen nem lehet a forgástengelyig (D=0) betartani (n=∞ fordulatszámot eredményezne), mert a gép fordulatszáma csak egy

n_{max} értékre növelhető. Ezért állandó sebességgel csak egy meghatározott körgyűrűt lehet megmunkálni. Így két tartományunk lesz: egy gyűrű (*D* és D_1 átmérőkkel határolt) amelyet állandó sebességgel munkálunk meg és egy körfelület amelyet állandó fordulatszámon (n_{max})munkálunk meg (2-20 ábra).



2-20. ábra. Oldalazás állandó forgácsolási sebességgel

A fordulatszám *D* és D_1 között (*a*-tól *b*-ig) lineárisan változik és így a középértéke a $D_m=(D+D_1)/2$ középátmérőn van, azaz:

$$n_m = \frac{1000 \cdot v_c}{D_m \cdot \pi} = \frac{2000 \cdot v_c}{(D + D_1)\pi}$$

Ezzel a gépi főidő:

$$t_{g1} = \frac{(D^2 - D_1^2) \cdot \pi}{4000 \cdot v_c \cdot f}$$

A megmaradt körfelület megmunkálása állandó fordulatszámmal történik:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot v_c}{D_1 \cdot \pi},$$

így a gépi főidő ebben a tartományban: $t_{g2} = \dfrac{D_1^2 \pi}{2000 \cdot v_c \cdot f}$.

Végül a teljes felület megmunkálásának ideje:

$$t_g = t_{g1} + t_{g2} = \frac{(D^2 + D_1^2) \cdot \pi}{4000 \cdot v_c \cdot f} \cdot i$$

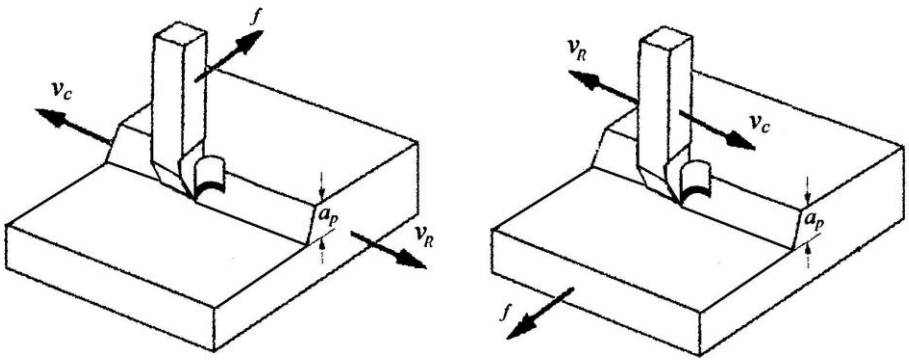
Az időmegtakarítás ezzel az eljárással kb. 47%, ha D_1 = 0,25 *D*.

3. GYALULÁS ÉS VÉSÉS

A gyalulás olyan forgácsolási mód, amelynél a forgácsoló főmozgás és a mellékmozgások is legtöbbször egyenes vonalúak. A folyamat során állandó keresztmetszetű ($A = a_p \cdot f$) forgács szakaszos leválasztása valósul meg egyélű szerszámmal. A gyalulást síkok, hornyok és általában egyenes alkotójú felületek megmunkálására alkalmazzák, hosszú, keskeny alkatrészeken. A gyalulást sok területen a nagyobb termelékenységű marás szorítja ki.
A gyalulásnak két alapváltozatát különböztetjük meg:

- Harántgyalulás
- Hosszgyalulás (rendszerint nagy méretű daraboknál)

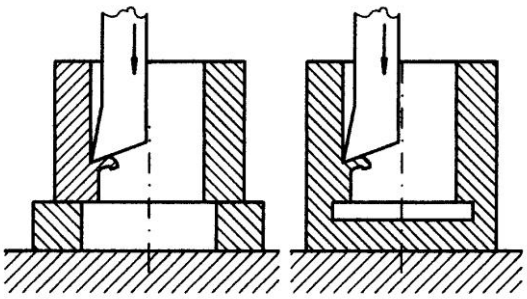
Ezek a fő- és mellékmozgások kiosztásában különböznek (3-1. ábra). Harántgyaluláskor az alternáló egyenes vonalú főmozgást a szerszám végzi, a szakaszos mellékmozgásokat pedig a munkadarab. Hosszgyalulásnál a főmozgást a munkadarab végzi, a szakaszos mellékmozgásokat pedig a szerszám.



a) hosszgyalulás b) harántgyalulás

3-1. ábra. A gyalulás alapváltozatai

A vésés a gyalulás függőleges változatának tekinthető, amelynél az alternáló főmozgást a szerszám, a mellékmozgásokat a munkadarab végzi. Legtöbbször belső felületek megmunkálásánál alkalmazzák. A szerszámkifutását alátéttel vagy kifutóhornnyal kell biztosítani (3-2. ábra). Legtöbbször belső felületek megmunkálásánál alkalmazzák.



3-2. ábra. Vésés

A gyalulás, a munkalöket alatti állapotokat figyelembe véve az esztergálással azonosítható (d=∞). A mellékmozgások a főmozgás ideje alatt szünetelnek.
A gyalukés kialakítása hasonló az esztergakés kialakításához, azzal a különbséggel, hogy a nagyobb kinyúlás és a dinamikus terhelés miatt (minden löket után ütés éri a szerszámot) célszerű nagyobb szárkeresztmetszeteket választani. A szerszám anyagát illetően leggyakrabban gyorsacélt vagy esetenként nagy szívóssággal rendelkező keményfémet alkalmazunk.
A forgácsolási adatokat az esztergálásnál megállapított összefüggések és irányadó értékek szerint lehet meghatározni, azzal, hogy a forgácsolósebesség értékét, a gyalulásnál jelentkező

ütések miatt módosítani (csökkenteni) kell. Az esztergálásra kapott sebesség értéket egy K_{mod} = 0,75 módosító tényezővel kell megszorozni. Az így kapott sebesség sem haladhatja meg a 60 m/min értéket.
A forgácsolási erők és a teljesítmény meghatározása azonosan történik, mint esztergálásnál.

Az alternáló főmozgás miatt a forgácsoló sebesség mellett (v_c) a kettős löket másik jellemzője az üresjárati sebesség (v_R). A termelékenység növelése érdekében arra törekszünk, hogy az üresjárat időtartamát a sebesség növelésével csökkentsük. A munkalöket és az üresjárati sebesség viszonya (μ) a gép mechanizmusának az állandója:

$$\mu = \frac{v_c}{v_R}, \qquad \text{az értéke géptől függően 0,3…0,7 között van.}$$

Gyalulásnál sem a forgácsoló sebesség értéke sem az üresjárat sebessége nem állandó, u.i. irányváltáskor lassuló majd gyorsuló mozgás jelentkezik. Az átlagos (közepes) forgácsolósebesség az alábbiak szerint számítható:

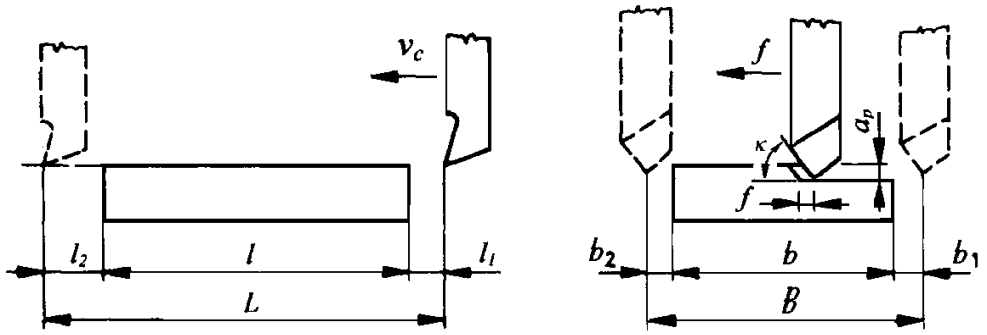
$$v_{cm} = \frac{n \cdot L}{1000}(1+\mu)$$

Ahol: n [k.l./min] a percenkénti kettős löketek száma
$L = l + l_1 + l_2$ a lökethossz
l a megmunkálás hossza;
$l_1 = l_2 = 30 \ldots 300$ [mm] - késkifutás

A gépi főidő meghatározásánál figyelembe kell venni az üresjárati löket idejét is, noha ez alatt forgácsleválasztás nem történik. A 3-2. ábra jelöléseit alapul véve, a gépi főidő a következő képlettel számítható:

$$tg = \frac{B}{f \cdot n} \cdot i \quad [min]$$

Ahol: $B = b_1 + b_2 + b$ a gyalulás szélessége
b a munkadarab szélessége [mm]
$b_1 = \frac{a_p}{tg\kappa} + 1 \ldots 5$ mm, a szerszámráfutás hossza
b_2 a szerszámtúlfutás hossza (amennyiben szükséges 1…5 mm)
f kettőslöketenkénti előtolás $\left[\frac{mm}{k.l.}\right]$
n a percenkénti kettős löketek száma [*k.l./min*]
i a fogások száma (értékét a leválasztandó anyagréteg vastagsága, és a fogásmélység alapján határozzuk meg).



3-2. ábra. Jelölések a gépi főidő meghatározásához

4. FURATMEGMUNKÁLÁS (FÚRÁS, SÜLLYESZTÉS, DÖRZSÖLÉS)

A furatmegmunkálás olyan forgó főmozgású forgácsoló eljárás, amelynél a szerszám forgástengelye azonos a készítendő forgásfelület tengelyével és az előtolás iránya, a furatesztergálástól eltérően, csak a forgástengely irányával azonos lehet. Furatmegmunkálásnál minden átmérő elkészítéséhez külön szerszám kell („méretes szerszámok”).
A belső alakzatok megmunkálása általában nehezebb, mint a külső felületek létrehozása. Ennek okai elsősorban a következők:

- a hűtés-kenés viszonyai kedvezőtlenek
- nehéz a forgács eltávolítása
- a szerszám keresztmetszetét a megmunkált furatátmérő behatárolja
- a forgácsleválasztási folyamat szemmel nem követhető.

4.1 A FURATMEGMUNKÁLÁS VÁLTOZATAI

A jellegzetes furatmegmunkálás változatokat a 4-1, …4-4. ábrák mutatják. Ezek a furat kiindulási állapota, a furat alakja, a furat méretpontossága és a szerszám alakja szerint különböznek egymástól. A furatmegmunkálást négy alcsoportra oszthatjuk (hasonlóan, mint ahogyan a DIN 8589-2 rögzíti): (1) fúrás, (2) síksüllyesztés, (3) profilozó fúrás, (4) menetfúrás.

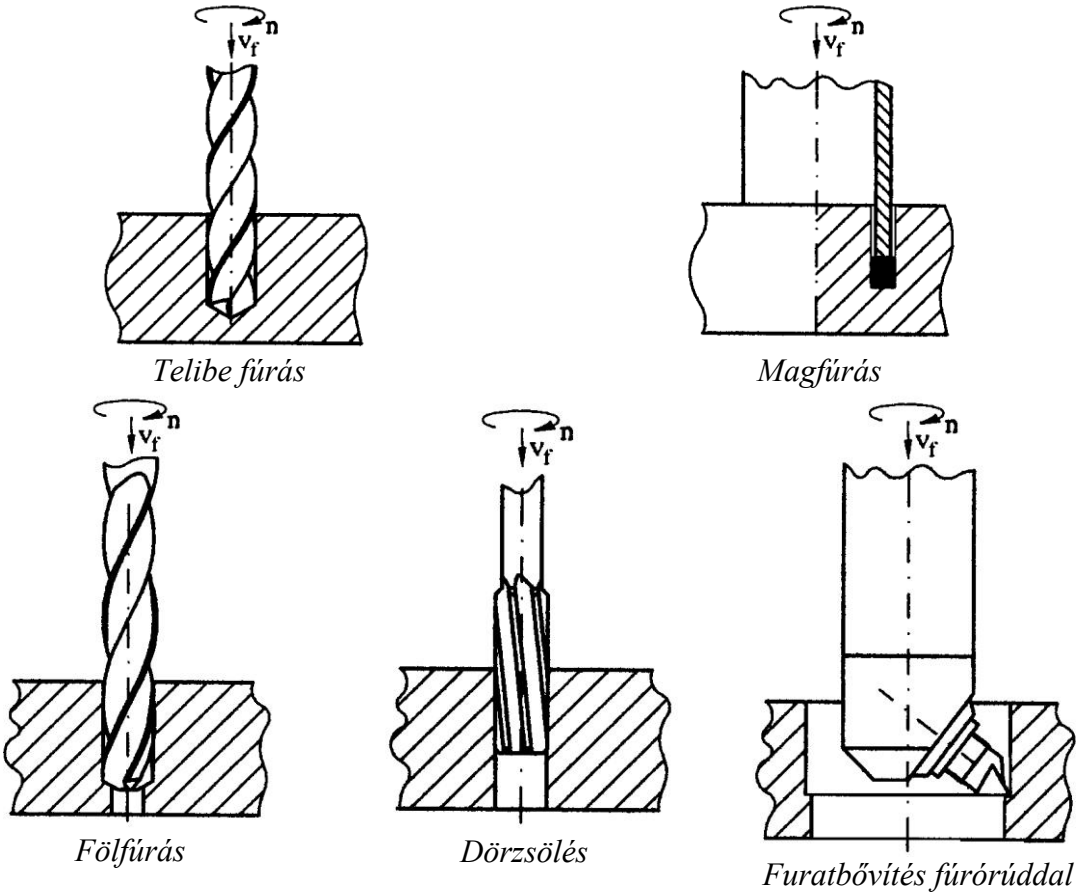
A (kör)fúrás olyan forgácsolási folyamat amely során egy hengeres belső felületet hozunk létre. A kiindulási állapot, ill. a szerszámél és a munkadarab kapcsolata szerint a fúrás lehet (4-1. ábra):

- telibe fúrás
- magfúrás
- fölfúrás
- dörzsölés
- furatbővítés fúrórúddal

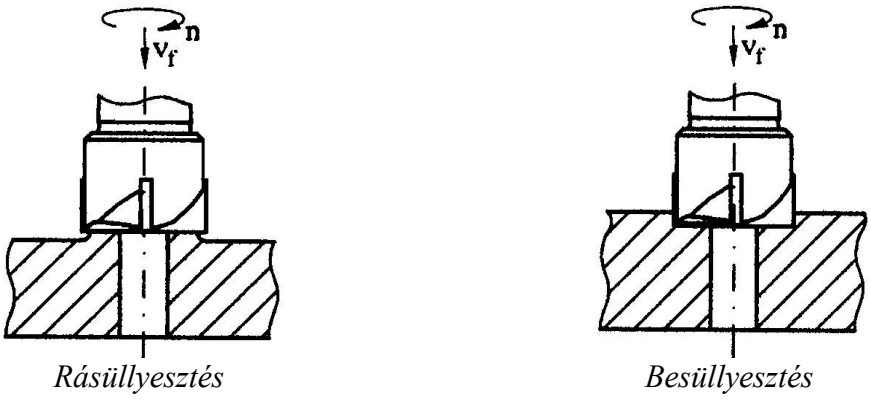
Telibe fúrásnál fúrószerszámmal előfurat nélküli anyagba készítünk furatot. Leggyakoribb szerszáma a csigafúró. Az elérhető méretpontosság IT12 - IT13, a felületi érdesség $R_a > 12$.
A magfúrás olyan fúró eljárás amikor az anyagot csak egy körgyűrű mentén forgácsoljuk és a furattal egyidejűleg egy hengeres mag is keletkezik (megmarad). Szerszáma a magfúró vagy más néven koronafúró.
Fölfúrásnak nevezzük azt a forgácsoló eljárást aminek során egy előzően (öntéssel vagy fúrással) elkészült furat átmérőjét megnöveljük, azaz furatbővítést végzünk. Az elérhető méretpontosság IT 11 esetleg IT10, a felületi érdesség R_a=1,6-6,4.
Dörzsöléssel nagyon kis anyagréteget választunk le azzal a céllal, hogy a már fölfúrt furat méretpontosságát, alakhűségét és felületminőségét növeljük. Szerszáma a dörzsár. Az elérhető méretpontosság IT8, IT7, a felületi érdesség R_a=0,8- 1,6.
Fúrórúddal történő furatbővítést rendszerint 25 mm átmérőnél nagyobb furatoknál alkalmaznak. A forgácsleválasztás folyamata megegyezik a furatesztergálással, de a mozgásrendszert tekintve a fúráshoz kell besorolni. Fúrórúddal végezhető nagyolás, elősimítás és simító megmunkálás. Szerszáma a fúrórúd. Az elérhető méretpontosság simításnál IT7, IT6.

A síksüllyesztés olyan forgácsoló eljárás, melynek során a furat tengelyére merőleges síkfelületet hozunk létre. Megkülönböztetünk rásüllyesztést és besüllyesztést (4-2. ábra). Rásüllyesztéssel a munkadarab felületéből kiálló (pl. ráöntés) kis kiterjedésű síkfelületet hozunk

létre. Besüllyesztésnél a munkadarab felületénél mélyebben fekvő síkfelületet hozunk létre és eközben egy rövid hengeres felület is keletkezik. Mindkét eljárás szerszáma a vezetőcsapos vagy vezetőcsap nélküli síksüllyesztő.



4-1. ábra. Fúrás

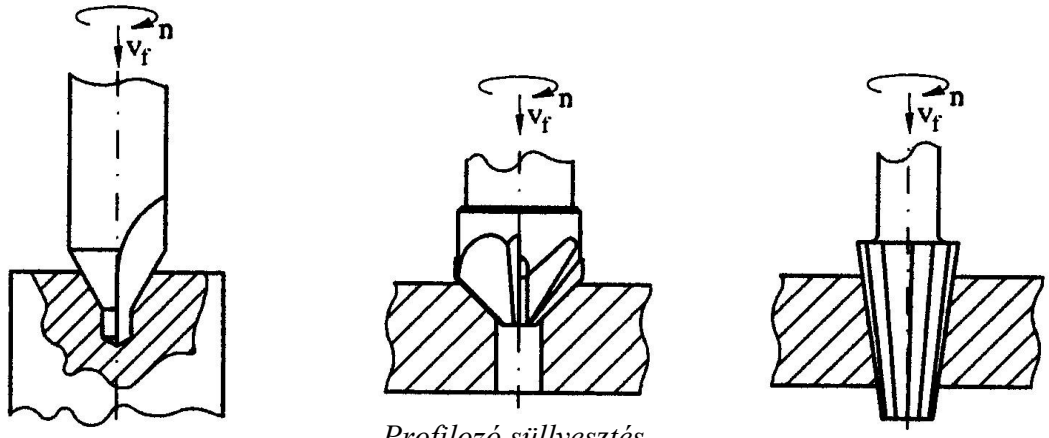


4-2. ábra. Síksüllyesztés

A profilozó fúrás jellegzetes esetei a következők: a profilozó telibe fúrás esetén tömör anyagban alakítunk ki valamilyen forgás-szimmetrikus belső profilt (4-3. ábra). Gyakori esete a központfúrás melynek célja lehet csúcsfészek fúrás tengelyek végébe vagy csigafúró számára kezdőfurat készítése a furat pontos helyzetének biztosítására. Meg kell jegyezni azonban, hogy kezdőfurat készítésre célszerűbb egy röviden befogott laposfúrót (u.n. NC- kezdőfúrót) alkalmazni.

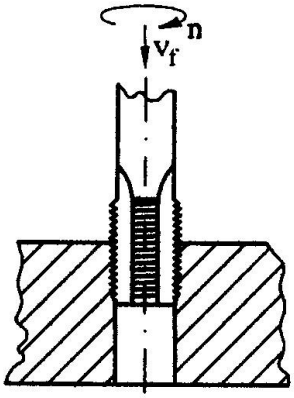
Profilozó felfúrás esetén a szükséges belső profilt a felfúró szerszám profilja adja meg. Például kúpos furat felfúrása kúpos csapszeg beillesztéséhez. További profilozó eljárások a profilsüllyesztés és a profildörzsölés.

A menetfúrás egy előzően kifúrt furat csavarmenet profilú szerszámmal történő fúrása melynek során belső csavarmenetet hozunk létre (4-4. ábra).



Profilozó telibe fúrás *Profilozó süllyesztés* *Profilozó dörzsölés*

4-3. ábra. Profilozó fúrás



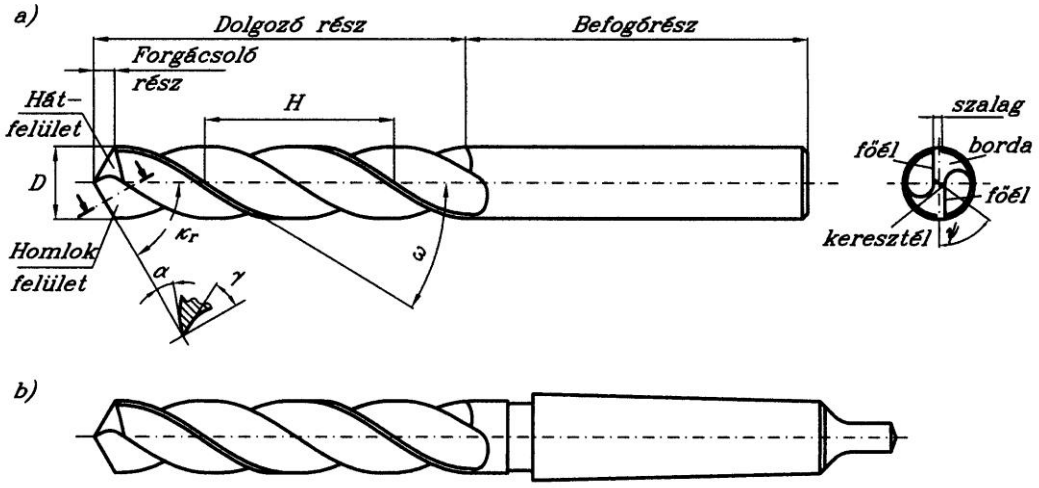
4-4. ábra. Menetfúrás

4.2 A FURATMEGMUNKÁLÁS SZERSZÁMAI

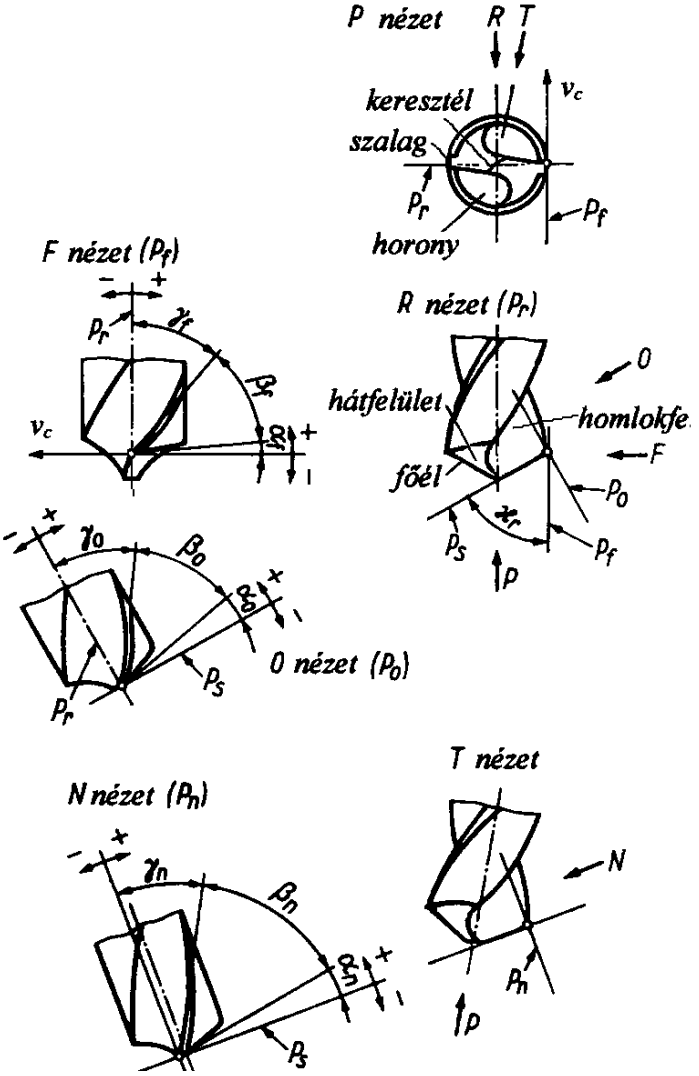
A furatmegmunkálás változatainak sokfélesége folytán a szerszámok is igen sokfélék lehetnek. Anyaguk leggyakrabban gyorsacél, esetenként TiN bevonattal, de vannak váltólapkás fúrószerszámok is. Kis átmérők esetén készülnek fúrószerszámok tömör keményfémből is. A szerkezeti elemek és az élgeometria részletes ismertetésénél a csigafúró esetére szorítkozunk, a többi szerszám általában egyszerűbb kialakítású, élgeometriája a csigafúró estére vezethető vissza.

Csigafúró. A leggyakoribb fúrószerszám amelyet telibe fúráshoz és esetenként fölfúráshoz alkalmazunk. Kialakítását és fő részeit a 4-5. ábra szemlélteti. Készülhet hengeres vagy Morse kúpos szárral, az átmérőt illetően 0,2 …100 mm tartományban készül (a 25 mm -nél nagyobb átmérőket felfúráshoz használják). A két horony jelentősen gyengíti a keresztmetszetét, ezért kis merevsége van. A furat pontos helyzetének biztosítása érdekében csigafúróval

történő fúrás előtt egy egészen csekély mélységű kezdőfuratot kell készíteni, vagy fúrókészülékben kell a fúrót vezetni.

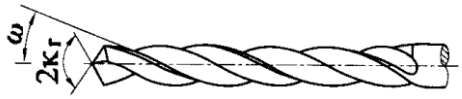
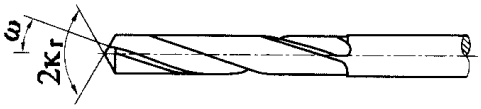
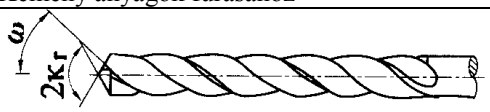


4-5. ábra. Csigafúró kialakítása és fő részei (a- hengeres szárral; b- kúpos szárral)



4-6. ábra. A csigafúró élgeometriája

A csigafúró kétélű, összetett élgeometriájú szerszám (4-6. ábra). A főéleket az u.n. keresztél köti össze, melynek jelenléte kedvezőtlen a forgácskialakítás szempontjából, de a fúró szerkezeti kialakítása miatt elkerülhetetlen. A homlokszög a keresztél mentén negatív (kb. -60˚), majd a főél megjelenésénél nulla, és az átmérő mentén növekedve éri el a horony ferdeségének (ω) értékét. Könnyen belátható tehát, hogy a homlokszög értéke a horonyferdeség- és az él szemlélt pontjának sugárirányú elhelyezkedésének függvénye, ezért élezéssel nem módosítható. A csigafúrókat a horonyhajlásszög szerint N, H és W csoportba sorolják (4-7. ábra).
A már említett kis merevség miatt, csigafúrókkal legfeljebb IT 12 méretpontosság és R_a=25-100 μm felületi érdesség valósítható meg. Problémamentes fúrás $l = 5 \cdot d$ furatmélységig biztosított. Nagyobb furatmélységnél, csökkentett forgácsoló paraméterek és gyakori fúrókiemelés szükséges, ill. speciális mélyfúrót kell alkalmazni.

Fúró típus	Horony-ferdeség $\omega = \gamma_f$	Csúcsszög $2\kappa_r$	A fúrótípus alkalmazási területe
N  Általános rendeltetésű fúrók	18-30˚	118-130˚	Acél, acélöntvény, Al-ötvözetek 11% -nál több Si
H  Kemény anyagok fúrásához	10-15˚	118˚	Mg-ötvözetek, ausztenites acélok
W  Különösen lágy és szívós anyagokhoz	35-45˚	140˚	Réz, rézötvözetek, lágy műanyagok

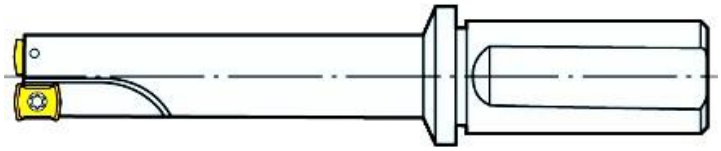
4-7. ábra. Csigafúrótípusok és alkalmazási területeik

Lapos fúró. A legrégibb típusú szerszámok, csak a szerszám vége van lelapolva vagy egy rövid horony van beleköszörülve és azon van az élkialakítás. Ennek következtében rendkívül merev, de csak rövid furatok készítésére alkalmas. A korszerű változatát CNC megmunkáló központokon rendszeresen alkalmazzák kezdőfurat készítésére, a furat pontos helyzetének biztosítása céljából (4-9. ábra). Ezek kezdőfúró vagy „NC-központfúró” néven terjedtek el (4-8. ábra).

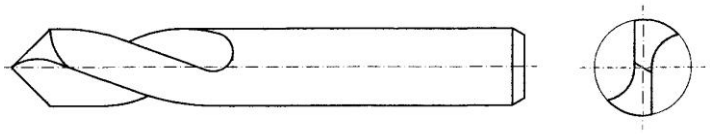
Központfúró. Tengelyvégekbe csúcsfészek készítésére használjuk. A központfúró dolgozó része ill. a főél profilja a csúcsfészek profiljának megfelelően van kialakítva. A hengeres szár és a rövid befogás nagy merevséget biztosít és ezért a központfurat pontos helyzetű lesz (4-8. ábra).

Csigasüllyesztő (vagy süllyesztőfúró). Furatok fölfúrásához használjuk. Kialakítása hasonló a csigafúró kialakításához azzal a különbséggel, hogy három vagy négy főéle van, és nincs keresztéle. A csigafúrónál stabilabb szerszám, az elérhető méretpontosság IT 10, IT11, míg a felületi érdesség középértéke $6{,}4 \geq R_a > 1{,}6$ μm tartományban van.

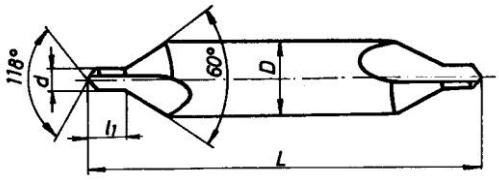
Keményfém-lapkás fúró



Kezdőfúró (NC-központfúró

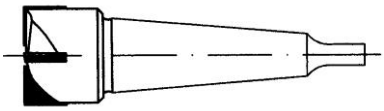


Központfúró

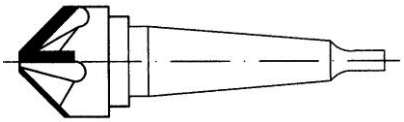


Süllyesztő fúró

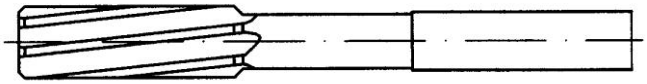
Síksüllyesztő



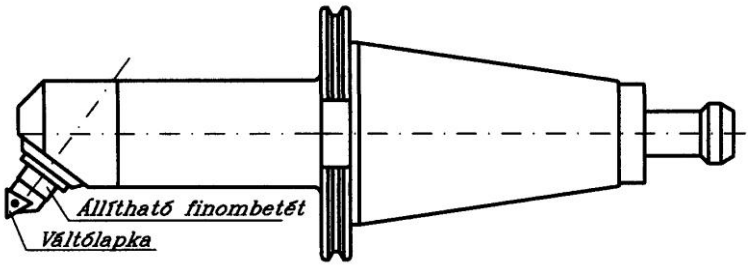
Kúpos süllyesztő



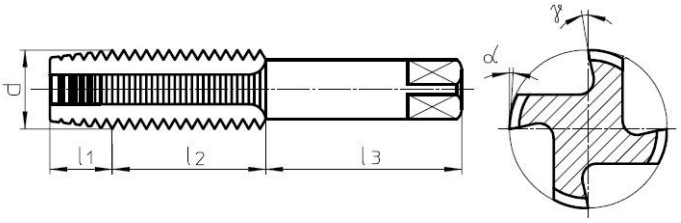
Dörzsár



Fúrórúd meredek-kúpos (SK) szárral



Menetfúró



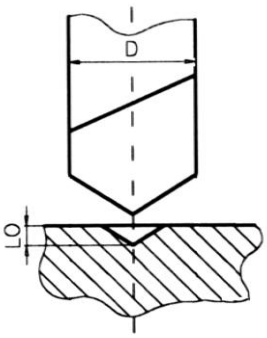
4-8. ábra. Furatmegmunkáló szerszámok

Süllyesztők. A síksüllyesztők készülhetnek vezetőcsappal vagy vezetőcsap nélkül. A vezetőcsapos megoldás esetében a süllyesztőt a csap vezeti az előzően elkészült furatban. A vezetőcsap lehet fix vagy cserélhető. Készülhetnek gyorsacélból, de egyre gyakoribb a keményfémlapkás süllyesztők alkalmazása is.
A kúpos süllyesztőket furatok élletörésére vagy kúpos fejű csavarok, szegecsek fészkének megmunkálására használjuk (4-8. ábra).

A dörzsár a furatok simító megmunkálására alkalmas több élű szerszám. Lehet kézi- és gépi dörzsár Kivitel tekintetében készülhetnek befogó szárral (egy darabból), feltűzhető és állítható változatban, egyenes és csavart horonnyal. Az elérhető méretpontosság IT 8, IT 7, míg a felületi érdesség középértéke $R_a \leq 1{,}6$ μm

A fúrórudak több alkatrészből álló szerelt szerszámok. Rendszerint 25 mm átmérőnél nagyobb furatok bővítésére és simító megmunkálására használjuk. A korszerű fúrórudakat legtöbbször állítható váltólapkás betéttel, moduláris rendszerben forgalmazzák. A simító megmunkálás mindig egyélű fúróruddal történik, a forgácsleválasztás folyamata megegyezik a furatesztergálással. Ennek ellenére téves a „kiesztergálás” elnevezés, mert amíg furatesztergálásnál az átmérőt a furatkés fogásvétel irányú állításával érjük el, addig fúrásnál az átmérő kizárólag a fúrórúd átmérőjétől függ. Az elérhető méretpontosság IT 7, IT 6. Nagyolásnál a termelékenység érdekében kételű-, vagy egészen nagy furatok esetében háromélű fúrórudakat is használunk.

A menetfúró a kis és közepes átmérőjű belsőmenetek kialakításának leggyakrabban használt szerszáma. A menetfúró tulajdonképpen csavar amelyen hornyokkal forgácsoló éleket hoztak létre. A menetfúrók feloszthatók a készítendő menet típusa szerint (métermenet, csőmenet stb.), a felhasználási mód szerint lehetnek kézi és gépi menetfúrók. Egy menetfúró szerkezeti elemei a szerszámszár (l_3) és a dolgozó rész. A dolgozórész bekezdő- (l_1) és szabályozó (l_2) részből áll (4-8. ábra).



4-9. ábra. Kezdőfurat készítése NC- kezdőfúróval

4.3 A FORGÁCSOLÓERŐ ÉS A TELJESÍTMÉNY MEGHATÁROZÁSA

4.3.1 A forgácsolóerő és nyomatéka csigafúróval történő fúrásnál és fölfúrásnál

A forgácsolóerő meghatározásának az 1.5 pont alatt tárgyalt módja fúrásnál is alkalmazható, azaz a fajlagos forgácsolóerő és a forgács keresztmetszete alapján a forgácsolóerő meghatározható. A forgácskeresztmetszet telibe fúrás és fúróval történő fölfúrás esetére a 4-10. ábrán látható.

Telibe fúrás esetén a fogásmélység a fúró átmérőjének a fele: $a_p = \frac{D}{2}$

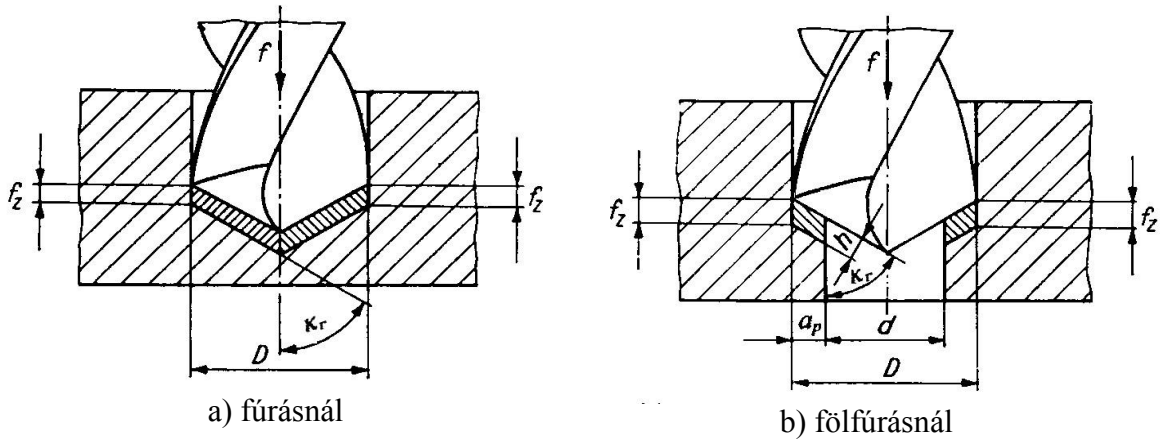
A fogásmélység fölfúrás estén: $a_p = \frac{D-d}{2}$

Két élű fúrónál az egy élre jutó előtolás a fordulatonkénti előtolás felét teszi ki:

$$f_z = \frac{f}{z} = \frac{f}{2}.$$

A forgács vastagsága $h = f_z \cdot \sin\kappa_r = \frac{f}{2} \cdot \sin\kappa_r$;

A forgács szélessége $b = \frac{a_p}{\sin\kappa_r} = \frac{D-d}{2 \cdot \sin\kappa_r}$.



a) fúrásnál b) fölfúrásnál

4-10. ábra. Forgácskeresztmetszet

Az egy élre ható forgácsolóerő

$$F_c = k_c \cdot A = k_c \cdot a_p \cdot f_z \cdot K_F \text{ [N]}.$$

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^m}$$

Ahol: $k_{c1.1}$ a fajlagos forgácsolóerő főértéke

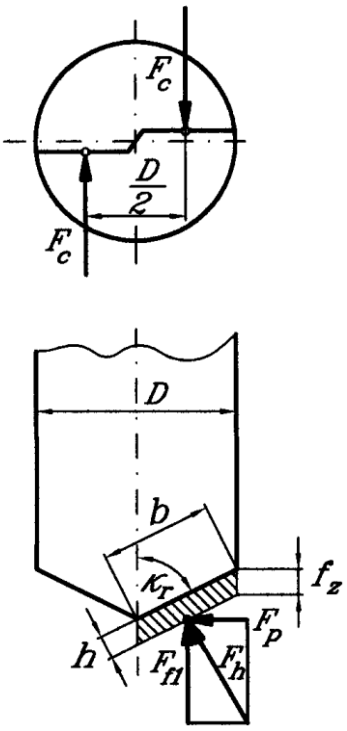
m kitevő, értékeik az 1.3 táblázatban találhatók

$K_F = K_{FVB} \cdot K_{FM}$ az összegzett módosító tényező (lásd az 1.5.3.1 fejezetben. Mivel fúrásnál a befolyásoló tényezők többsége rögzíthető (pl. a szerszám anyaga gyors-

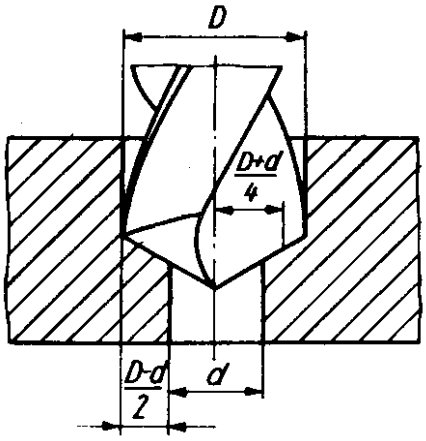
acél, κ_r=59°, γ≈20°, v≈25 m/min), ezek összegzett hatása egynek vehető, kivétel a kopástényező amely $K_{FVB}=1,25...1,4$ között vehető fel. Ezt azonban ki kell bővíteni a K_{FM}, eljárást jellemző tényezővel. $K_{FM}=1$ fúrás esetén, ill. $K_{FM}=0,95$ fölfúrás esetén [6].

A forgácsoló erőre merőleges az F_h forgácsvastagság irányú (mélyítő) erő, amelyet előtolás irányú erőre és passzív erőre bonthatunk (4-11. ábra). A forgácsvastagság irányú erőt a forgácsolóerő ismeretében, arányossági tényező segítségével határozhatjuk meg. Condrons szerint $F_h=(0,7...0,9)F_c \approx F_c$
Mindkét élet figyelembe véve az előtolás irányú erő:

$$F_f = 2 \cdot F_{f1} = 2 \cdot F_c \cdot \sin \kappa_r$$



4-11. ábra. Fúróra ható erők



4-12. ábra. Az erőkar fölfúrásnál

Az F_f előtolás irányú erő a fúrót nyomásra és kihajlásra terheli, míg az F_p passzív erők a két élen közömbösítik egymást, és így elvileg a fúró keresztirányú terhelést (hajlítást) nem szenved. Az egy-egy élen jelentkező F_c forgácsoló erők erőpárt alkotnak, és csak csavaró igénybevételnek teszik ki a fúrót. Az éleken jelentkező megoszló terhelést az él közepén ható koncentrált erőnek tekintve a csavaró nyomaték telibe fúrásnál:

$$M = F_c \cdot \frac{D}{2} = k_c \cdot \frac{D^2 \cdot f}{8}$$

Illetve fölfúrásnál (4-12. ábra):

$$M = F_c \cdot \frac{D+d}{2} = k_c \cdot \frac{(D^2 - d^2) \cdot f}{8}$$

A gyakorlatban csigafúróval történő megmunkálás esetére tapasztalati összefüggéseket is alkalmaznak a nyomaték és az előtolás irányú erő meghatározásához:

Fúrás esetében $M = C_M \cdot D^{w_M} \cdot f^{x_M}$

$$F_f = C_F \cdot D^{w_F} \cdot f^{x_F}$$

Fölfúrás esetében $M = C_M \cdot D^{w_M} \cdot f^{x_M} \cdot a_p^{y_M}$

$$F_f = C_F \cdot f^{x_F} \cdot a_p^{y_M}$$

Ahol: C_M, C_F, x_M, y_M, w_M, x_F, y_F, w_F nyomaték és erőállandó, valamint hatványkitevők. Értékeik néhány járatos anyag esetére a 4-1. táblázatban található.

4-1. táblázat. Nyomaték-, erőállandó és hatványkitevők gyorsacél fúrók esetében

Munkadarab anyaga	Telibe fúrás						Fölfúrás						
	C_M	w_M	x_M	C_F	w_F	x_F	C_M	w_M	x_M	y_M	C_F	x_F	y_F
Szerk. acél, R_m=750 N/mm^2	345	2,0	0,8	680	1,0	0,7	900	1,0	0,8	0,9	333	0,7	1,3
Rozsdamentes acél	370	2,0	0,7	1300	1,0	0,7							
Szürkeöntvény HB=190	210	2,0	0,8	427	1,0	0,8	850	1,0	0,8	0,75	235	0,4	1,2
Bronz HB=100-140	120	2,0	0,8	315	1,0	0,8							
Eltérő szilárdságú acélok esetében C_M és C_F értékeit szorozni kell $K = \left(\frac{R_m}{750}\right)^{0,75}$ tényezővel;													
Eltérő keménységű öntvények esetében C_M és C_F értékeit szorozni kell $K = \left(\frac{HB}{190}\right)^{0,6}$ tényezővel													

4.3.2 A forgácsolóerő és nyomatéka süllyesztésnél

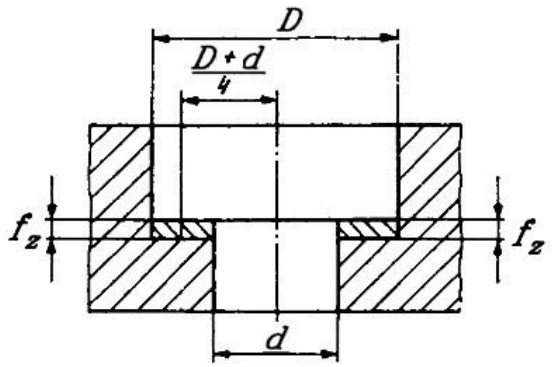
Süllyesztés esetén a forgácsolási viszonyok a fölfúráshoz hasonlóak, így a fölfúrásnál adott erő-meghatározás itt is alkalmazható azzal, hogy süllyesztésnél a szerszámnak mindig kettőnél több éle van. Az egy élre eső előtolás mindig

$$f_z = \frac{f}{z}, \qquad \text{ahol } z \text{ az élek száma}$$

k_c meghatározásánál figyelembe kell venni a forgácsvastagságot, amelyet a $h = f_z \cdot \sin\kappa_r$ képlet segítségével határozunk meg. Síksüllyesztők esetében κ_r=90°, így itt $h = f_z$. Az eljárást jellemző tényező értéke $K_{FM}=1$, a kopástényező pedig $K_{FVB}=1,3$ értékre vehető.

A forgácsolóerők által keletkező forgatónyomaték, a 4-13. ábra szerint:

$$M = F_c \cdot z \frac{D+d}{4}$$



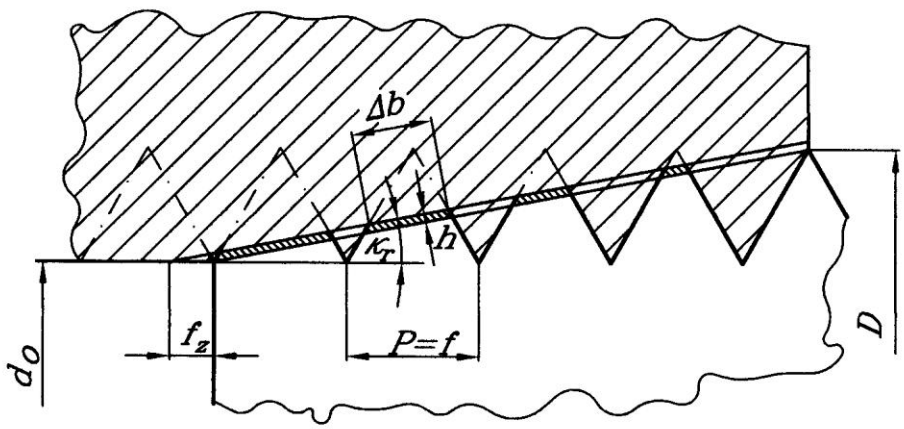
4-13. ábra. Az erőkar meghatározása süllyesztésnél

4.3.3 A forgácsolóerő és nyomatéka dörzsölésnél

Dörzsölésnél a forgácsolóerő számítását nem végezhetjük a fajlagos forgácsolóerő alapján, mert itt a forgácskeresztmetszet igen kicsi és ezért a súrlódásból eredő erők értéke jelentősen nagyobb, mint a tényleges forgácsleválasztásból származó erők. Ilyen számítás legtöbbször nem is szükséges, vagy ha mégis kell, akkor a forgácsolóerő adott esetre, a forgatónyomaték mérésével, vagy a felvett teljesítményből számítható.

4.3.4 A forgácsolóerő és nyomatéka menetfúrásnál

A forgácsolóerő menetfúrásnál is meghatározható a fajlagos forgácsolóerő alapján, ha figyelembe vesszük ennek az eljárásnak a sajátosságait. A menetfúró forgácsolási viszonyait nehéz pontosan modellezni, ezért némi egyszerűsített modellt alkalmazunk, amely még használható eredményeket ad. Gépi menetfúrónál, amikor a készítendő menet hossza nagyobb mint a menetfúró bekezdő szakasza, a 4-14. ábrán látható modell alkalmazható.



4-14. ábra. Egy élre eső forgácskeresztmetszet menetfúrásnál

Az egy élen jelentkező forgácsolóerő:

$$F_c = k_c \cdot A_1 \cdot K_F$$

Ahol: $k_c = \dfrac{k_{c1.1}}{h^m}$; $k_{c1.1}$ és m értékei az 1.3 táblázatban találhatók

$A_1 = h \cdot b$ az egy élre eső forgácskeresztmetszet

$h = f_z \cdot \sin \kappa_r = \dfrac{P}{z} \cdot \sin \kappa_r$

P a menetemelkedés

z az élek (élképző hornyok) száma

$b = \dfrac{(D - d_o)}{4 \cdot \sin \kappa_r}$ az átlagos forgácsszélesség

Ezekkel a kifejezésekkel: $A_1 = \dfrac{P}{4 \cdot z} \cdot (D - d_o)$

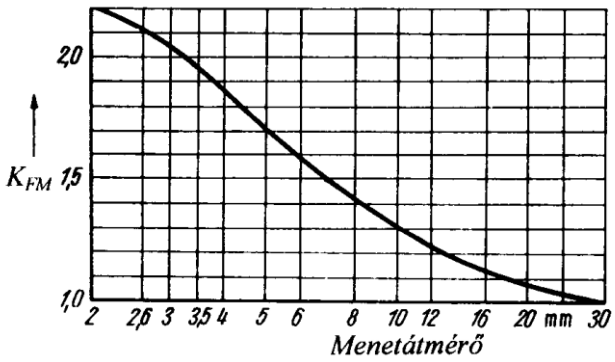
$K_F = K_{FVB}\, K_{FM}$ az összegzett módosító tényező

$K_{FVB} \approx 1{,}5$ a kopástényező

K_{FM} az eljárást jellemző tényező. Öntöttvas megmunkálás esetén $K_{FM}=1,1$. Acél megmunkálás esetén K_{FM} értékét a 4-15. ábrán lévő diagram alapján kell meghatározni.

Ezzel az élen jelentkező forgácsolóerőt meghatározó kifejezés

$$F_c = k_c \cdot \frac{P}{4 \cdot z} \cdot (D - d_o) \cdot K_{FVB} \cdot K_{FM}$$



4-15. ábra. Az eljárást jellemző módosító tényező menetfúrásnál

A menetfúráshoz szükséges forgatónyomaték:

$$M = z \cdot F_c \cdot \frac{D + d_o}{4}$$

4.3.5 A furatmegmunkáláshoz szükséges teljesítmény

A forgatónyomaték és a fordulatszám ismeretében meghatározható a szükséges forgácsoló teljesítmény:

$$P_c = M \cdot \omega = \frac{M \cdot n}{955400} \text{ [KW]}$$

Ahol: $\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$ a főorsó szögsebessége

n a percenkénti fordulatszám

A fúrógép szükséges teljesítménye, a belső veszteségek miatt ennél nagyobb:

$$P_m = \frac{P_c}{\eta}$$

Ahol: η a gép hatásfoka. Szokásos értéke 0,75 és 0,9 között van.

4.4 A FORGÁCSOLÁSI ADATOK MEGHATÁROZÁSA

A forgácsolási adatok meghatározásának sorrendje megegyezik a többi forgácsolási mód esetében szokásos sorrenddel, de vannak bizonyos sajátosságok amelyek fúrásra vonatkoznak.

4.4.1. A fogásmélység meghatározása

Telibe fúrás esetén a fogásmélység a fúró átmérőjének a fele

$$a_p = \frac{D}{2}.$$

A fogásmélység fölfúrás, süllyesztés és dörzsölés esetén az ezeket a műveleteket megelőző fúrás átmérő és a kész furatátmérő különbségének a fele

$$a_p = \frac{D-d}{2}$$

Fölfúrás két okból lehet indokolt:
(1) ha a furatátmérő nagyságából fakadóan adott gépen nem tudjuk egyszeri telibe fúrással adott átmérőre kifúrni a munkadarabot vagy a furatátmérő 25 miliméternél nagyobb. Ilyenkor először kisebb fúrót alkalmazunk, melynek átmérője

$$d \approx 0{,}6 \cdot D.$$

(2) ha a furat méret- vagy helyzetpontosságát vagy felületminőségét nem tudjuk megvalósítani telibe fúrással. Ilyenkor az előfurat átmérőt úgy határozzuk meg, hogy a készméretből kivonjuk a ráhagyás értékét. A ráhagyások irányadó értékei a 4-2. táblázatban találhatók. Ha a furat pontossága fölfúrással sem valósítható meg, akkor fúrás, fölfúrás, dörzsölés megmunkálási sorrendet kell alkalmazni. Ekkor értelem szerűen figyelembe kell venni a dörzsölésre való ráhagyás értékét is, azaz

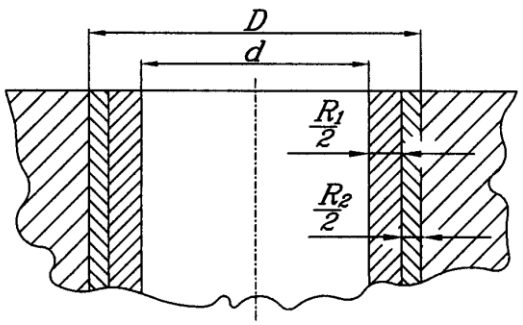
$$d \leq D-(R_1+R_2)$$

Ahol:

R_1 ráhagyás fölfúrásra
R_2 ráhagyás dörzsölésre

4-2. táblázat. Ráhagyások fölfúrásra és dörzsölésre

Furatátmérő [mm]	Fölfúrási ráhagyás R_1 [mm]	Dörzsölési ráhagyás R_2 [mm]
< 6	-	0,1
6…10	1,0	0,1
10…15	1,5	0,15
15…18	1,7	0,15
18…30	2,4	0,20
30…50	3,0	0,25
50…80	4,0	0,30
80…100	5,0	0,35



A felületi érdesség és méretpontosság érdekében, esetenként a dörzsölést két lépésben, „nagyoló-” és finomító szakaszokban végezzük. Ilyenkor a finomító dörzsölésre néhány század milimétert (0,03…0,08) szokás hagyni.

4.4.2 Az előtolás meghatározása

Fúrásnál is a lehetséges maximális előtolást kell alkalmazni, majd a gépteljesítmény, a gép kinematikai korlátjai és a szerszám forgácsoló-képességének figyelembe vételével kell a forgácsolósebességet ill. a fúró fordulatszámát meghatározni.
Az előtolás kiválasztásánál a szerszámgyártók által javasolt értékeket, vagy ennek hiányában tapasztalati értékeket kell választani (4-3. táblázat). Az így kiválasztott előtolás alapján ellenőrizni kell a fúró szilárdságát. A fúró, csavaró- és nyomó igénybevételt szenved az M forgatónyomaték és az F_f előtolás irányú erő hatására. A megfelelő csavaró- és nyomó feszültség:

$$\tau_{max} = \frac{M}{K_p}; \qquad \sigma = \frac{F_f}{A}$$

Ahol: A a fúró keresztmetszete
K_p a fúró poláris keresztmetszeti tényezője.

A csigafúró keresztmetszete viszonylag összetett, ezért a keresztmetszeti tényező meghatározásához, A. Avakov által javasolt egyszerűsített képletet használjuk:

$$K_p \approx 0{,}0273 \cdot D^3$$

A csavaró- és nyomó feszültséget helyettesíthetjük egy ideális (ekvivalens) feszültséggel:

$$\sigma_i \approx 1{,}4 \cdot \tau_{max} = 1{,}4 \frac{M}{0{,}0273 \cdot D^3} = \frac{42 \cdot M}{D^3} \leq \sigma_{meg}$$

A megengedett normál feszültség gyorsacél fúró esetében $\sigma_{meg} = 300$ N/mm^2.

Ha a fenti kifejezésbe behelyettesítjük a nyomatékra kapott képletet akkor az előtolás legnagyobb megengedett értéke közvetlenül is kifejezhető:

$$f \leq \frac{8 \cdot D \cdot \sigma_{meg}}{42 \cdot k_c},$$

illetve, ha a kitevős alakú képletet használjuk a nyomaték meghatározásához:

$$f \leq \left(\frac{\sigma_{meg}}{42 \cdot C_M} \right)^{\frac{1}{x_M}} \cdot D^{\frac{3-w_M}{x_M}}$$

Keményfém fúrókkal történő fúráshoz a 4-4. táblázat tartalmaz irányadó technológiai adatokat.

Süllyesztés. Gyorsacél süllyesztőfúróval történő fölfúrásánál használhatók a 4-3. táblázatban javasolt forgácsolási adatok, azzal, hogy az előtolásra (f) adott értékek alsó határt képeznek, amelyek kb. 30% -al növelhetők.
Sík-, kúp- és vezetőcsapos süllyesztők esetében a 4-3. táblázatban adott forgácsolósebesség (v_c) és előtolás (f) értékek 0,6…0,7 -szeresét lehet alkalmazni. Keményfém süllyesztők esetében a forgácsolási adatok a 4-5. táblázatban találhatók.

Dörzsölés esetére az előtolás kiválasztását a gyakorlatban tapasztalati értékek alapján végezzük. Ehhez a 4-6. és 4-7. táblázatok nyújtanak segítséget.

Menetfúrásnál az előtolás nagyságát a menetemelkedés határozza meg, a forgácsolósebesség javasolt értékeit pedig 4-11. táblázat tartalmazza.

4-3. táblázat. Tájékoztató forgácsolási adatok gyorsacél fúrókhoz (Titex)

A munkadarab anyaga	Szilárd-ság R_m [N/mm^2]	v_c [m/min]	Fúróátmérő D [mm]							
			2,5	4	6,3	10	16	25	40	63
			Előtolás f [mm/ford]							
Ötvözetlen acél	≤700	32	0,05	0,08	0,12	0,18	0.25	0,32	0,4	0,56
	>700	20	0,05	0,08	0,12	0,18	0.25	0,32	0,4	0,56
Ötvözött acél	≤1000									
	>1000	12	0,04	0,06	0,1	0,14	0.19	0,25	0,32	0,45
Rozsdamentes acél		10	0,04	0,06	0,1	0,14	0.19	0,25	0,32	0,45
Öntöttvas	≤250	20	0,08	0,12	0,2	0,28	0,38	0,5	0,63	0,85
Öntöttvas	>250	16	0,06	0,1	0,16	0,22	0,3	0,4	0,5	0,7
Réz		32	0,06	0,1	0,16	0,22	0,3	0,4	0,5	0,7
Sárgaréz (rideg)		63	0,08	0,12	0,2	0,28	0,38	0,5	0,63	0,85
Sárgaréz (szívós)		40	0,06	0,1	0,16	0,22	0,3	0,4	0,5	0,7
Bronz		32	0,06	0,1	0,16	0,22	0,3	0,4	0,5	0,7
Alumínium ötv. (Si 11% alatt)		50	0,08	0,12	0,2	0,28	0,38	0,5	0,63	0,85
Alumínium ötv. (Si 11% fölött)		32	0,06	0,1	0,16	0,22	0,3	0,4	0,5	0,7

Megjegyzés:
1. A köztes fúróátmérőknek megfelelő előtolások lineáris interpolációval határozhatók meg.
2. Az adott forgácsolási adatok $5 \cdot d$ furatmélységig érvényesek
3. A hűtő-kenő folyadék acélok, réz, szívós sárgaréz, bronz és alumínium ötvözetek fúrásánál emulzió; Rozsdamentes acéloknál olaj. Öntöttvas és rideg sárgaréz estében az adatok száraz forgácsolásra vonatkoznak.

4-4. táblázat. Tájékoztató forgácsolási adatok keményfém csigafúrókhoz

A munkadarab anyaga	Szilárdság R_m [N/mm^2]	Szer-szám anyaga	Fúróátmérő D [mm]						Hűtő-kenő anyag
			<10		10…20		20…40		
			v_c [m/min]	f [mm/f.]	v_c [m/min]	f [mm/f.]	v_c [m/min]	f [mm/f.]	
Acél	750-1400	K10, K15	40-48	0,03-0,04	48-60	0,04-0,08	60-70	0,06-0,1	Emul-zió
Acélöntvény	500-700		30-36	0,02-0,05	36-40	0,04-0,07	40-45	0,06-0,08	
Rozsdamentes acél			18-25	0,02-0,03	25-30	0,03-0,04	30-40	0,04-0,05	
Öntöttvas	HB≤200		50-60	0,04-0,05	60-75	0,05-0,15	75-80	0,15-0,25	-
Öntöttvas	HB>200		25-33	0,03-0,04	33-38	0,04-0,08	38-45	0,08-0,15	-
Bronz, sárgaréz			90-100	0,05-0,10	100-110	0,08-0,15	110-125	0,15-0,25	-
Alumínium			230-260	0,06-0,10	260-280	0,10-0,12	280-300	0,12-0,15	-
Alumínium ötv. (Si 11% fölött)			50-60	0,07-0,09	60-75	0,08-0,10	75-80	0,09-0,12	-

4-5. táblázat. A forgácsolósebesség és az egy élre eső előtolás keményfém süllyesztők esetében

A munkadarab anyaga	Szilárdság R_m [N/mm²]	Szerszám anyaga	Forgácsoló sebesség v_c [m/min]	Szerszámátmérő D [mm]			
				<10	10-25	25-40	>40
				Egy élre eső előtolás f_z [mm/él]			
Acél	≤1000	K10 K20	15-30	0,05-0,08	0,08-0,12	0,10-0,15	0,15-0,20
	>1000		10-15	0,05-0,06	0,06-0,08	0,08-0,10	0,10-0,15
Acélöntvény	≤500		15-30	0,08-0,10	0,10-0,12	0,12-0,15	0,15-0,25
	500-700		10-25	0,06-0,08	0,08-0,10	0,10-0,12	0,12-0,20
Öntöttvas	≤200 HB		25-35	0,06-0,10	0,10-0,16	0,16-0,20	0,20-0,25
	>200 HB		15-30	0,05-0,08	0,08-0,12	0,12-0,15	0,15-0,20

4-6. táblázat. A forgácsolósebesség és az előtolás gyorsacél dörzsárak esetében

A munkadarab anyaga	Szilárdság R_m [N/mm²]	v_c [m/min]	Dörzsár-átmérő D [mm]				
			5-10	11-15	16-25	26-40	41-60
			Előtolás f [mm/ford]				
Acél	≤500	8-12	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7-1,4
	≤800	6-8	0,06-0,16	0,16-0,25	0,25-0,4	0,4-0,6	0,6-1,0
	>800	3-5					
Rozsdamentes acél		3-5					
Öntöttvas	≤180 HB	8-12	0,2-0,5	0,6-0,9	1,0-1,4	1,4-2	2-3
	>180 HB	7-10					
Sárgaréz, Bronz		12-18					
Alumínium ötvözetek		12-20					

4-7. táblázat. A forgácsolósebesség és az előtolás keményfém dörzsárak esetében

A munkadarab anyaga	Szilárdság R_m [N/mm²]	Szerszám anyaga	Forgácsoló sebesség v_c [m/min]	Szerszámátmérő D [mm]			
				<10	10-25	25-40	>40
				Egy élre eső előtolás f_z [mm/él]			
Acél	≤1000	K10	8-12	0,15-0,25	0,2-0,4	0,3-0,5	0,4-0,8
	>1000		6-10	0,12-0,2	0,15-0,3	0,2-0,4	0,3-0,6
Acélöntvény	≤500		8-12	0,15-0,25	0,2-0,4	0,3-0,5	0,4-0,8
	500-700		6-10	0,12-0,2	0,15-0,3	0,2-0,4	0,3-0,6
Öntöttvas	≤200 HB		8-15	0,2-0,3	0,3-0,5	0,4-0,7	0,5-1,0
	>200 HB		6-12	0,15-0,25	0,2-0,4	0,3-0,5	0,4-0,8

4.4.3 A forgácsolósebesség meghatározása

Az előtolás meghatározása után következik a forgácsolósebesség és a főorsó- ill. a szerszám fordulatszámának meghatározása.

Fúrásnál, a forgácsolósebesség alatt a szerszám kerületi sebességét értjük, annak a munkadarabbal kapcsolatban lévő legnagyobb átmérőjén. A forgácsolósebesség nagyságát a fúró forgácsoló képessége és a fúrógép teljesítménye korlátozzák. A forgácsolósebesség alapján számítható a szerszám- ill. a főorsó fordulatszáma.

$$v_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \text{ [m/min]} \qquad n = \frac{1000 \cdot v_c}{D \cdot \pi}$$

A gyakorlatban a forgácsolósebességet gyakran tapasztalatok alapján, technológiai táblázatok alapján határozzuk meg. A szerszámgyártók is rendszerint részletes táblázatokat adnak a forgácsoló paraméterek kiválasztásához (4-3….4-7, 4-11. táblázatok).

A forgácsolósebesség meghatározásának korszerű módját képezi az éltartam összefüggésen alapuló hatványkitevős képletek alkalmazása.

A fúrás forgácsolósebessége:

$$v_c = \frac{C_v \cdot D^{w_v}}{T^m \cdot f^{x_v}} \cdot K_v$$

A fölfúrás esetében a forgácsolósebesség képlete annyiban különbözik az előzőtől, hogy itt az a_p fogásmélységnek is szerepelnie kell.

$$v_c = \frac{C_v \cdot D^{w_v}}{T^m \cdot f^{x_v} \cdot a_p^{y_v}} \cdot K_v$$

Ahol: C_v, x_v, y_v, w_v, m állandó és kitevők (4-8. táblázat)
T [min] a szerszám éltartama (4-10. táblázat)
K_v furatmélység módosító tényező (4-9. táblázat)

Az éltartam, ill. a szerszám forgácsoló képessége alapján meghatározott forgácsolósebességet ill. fordulatszámot minden esetben ellenőrizni kell a gép-teljesítmény szempontjából is.

$$P_m = \frac{M \cdot n}{\eta \cdot 955400}, \qquad \text{ebből} \qquad n \le \frac{P_m \cdot \eta \cdot 955400}{M}$$

Az így kapott érték alapján az első kisebb szabványos, az adott gépen megvalósítható fordulatszámot választjuk.

4-8. táblázat. A C_v állandó és az x_v, y_v, w_v, m kitevők értékei gyorsacél fúrók esetére

Munkadarab anyaga	Szilárdság R_m [N/mm²]	Előtolás f[mm/for.]	Fúrás				Fölfúrás				
			C_v	x_v	w_v	m	C_v	x_v	y_v	w_v	m
Acél, acélöntvény	<560	≤ 0,2	6,3	0,7	0,4	0,2	12	0,5	0,2	0,4	0,2
		>0,2	8,8								
	600-700	≤ 0,2	5,7				10,9				
		>0,2	7,9								
	700-800	≤ 0,2	5,0				9,5				
		>0,2	7,0								
	800-900	≤ 0,2	4,5				8,6				
		>0,2	6,3								
	900-1000	≤ 0,2	4,1				7,8				
		>0,2	5,7								
Rozsdamen-tes acél			2,55-6,38	0,45	0,5	0,12	-	-	-	-	-
Öntöttvas	180-200 HB	≤ 0,3	10,5	0,55	0,25	0,125	15,2	0,4	0,1	0,25	0,125
		>0,3	12,2	0,4							
	200-220 HB	≤ 0,3	9,5	0,55			13,8				
		>0,3	11	0,4							
	220-240 HB	≤ 0,3	8,4	0,55			12,2				
		>0,3	9,8	0,4							
Bronz	100-140 HB	≤ 0,3	23,2	0,5	0,25	0,125					
		>0,3	23,4	0,4							

4-9. táblázat. A K_v furatmélység módosító tényező értékei

Furatmélység, l	$l=3\cdot D$	$l=4\cdot D$	$l=5\cdot D$	$l=6\cdot D$	$l=8\cdot D$	$l=10\cdot D$
K_v	1,00	0,85	0,75	0,70	0,60	0,50

4-10. táblázat. Gyorsacél fúrószerszámok javasolt éltartama (min)

Munkadarab anyaga	Szerszámátmérő D [mm]						
	5	10	15	20	25	30	40
Acél	30	35	40	45	48	52	60
Öntöttvas	45	52	60	67	74	80	90

4-11. táblázat. Javasolt forgácsolósebesség menetfúráshoz

A munkadarab anyaga	Szilárdság R_m [N/mm^2]	Forgácsolósebesség [m/min]		Kenőanyag
		Szerszámacél	Gyorsacél	
Acél	≤500	8-10	20-25	Olaj
	500-700	4-8	10-15	
	700-900	2-4	6-8	
	>900	1-2	2-4	
Öntöttvas	HB≤150	6-10	12-16	Szárazon, Olaj
	HB>150	4-6	8-12	
Sárgaréz		10-15	25-30	Olaj
Bronz		8-12	20-25	Emulzió
Alumínium		30-ig	50-ig	Olaj

4.5. A GÉPI FŐIDŐ MEGHATÁROZÁSA

A forgácsoláshoz szükséges gépi főidő a forgácsoló paraméterek, a szerszám- és a furat méretei ismeretében határozható meg.

a) a gépi főidő meghatározása fúrásnál és fölfúrásnál

$$t_g = \frac{L}{v_f} = \frac{L}{n \cdot f}$$

Ahol: $v_f = n \cdot f$ az előtolási sebesség

L a szerszámút hossza.

A szerszámút meghatározása telibe fúrás esetén (4-16. ábra):

$L = l + l_1 + l_2$,

l a megmunkálás hossza

$l_1 = x + 1 \ldots 2$ mm, a szerszámráfutás hossza

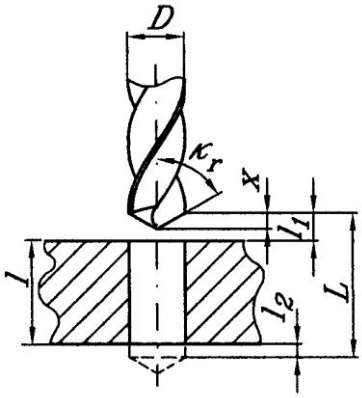
$x = \dfrac{D}{2 \cdot tg\kappa_r}$, acél és öntöttvas megmunkálásánál ($\kappa_r = 59°$) $x \approx 0{,}3 \cdot D$

$l_2 = 1 \ldots 2$ mm a szerszámtúlfutás hossza. Zsákfurat esetében $l_2 = 0$

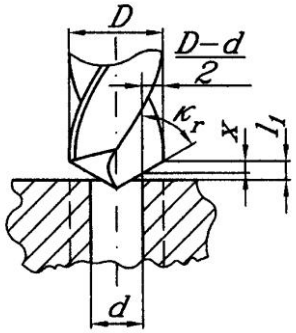
A szerszámút meghatározása fölfúrás esetén (4-17. ábra):

$L = l + l_1 + l_2$,

$l_1 = x + 1 \ldots 2$ mm, $\qquad x = \dfrac{D-d}{2 \cdot tg\kappa_r}$,



4-16. ábra. A szerszámút meghatározása fúrásnál



4-17. ábra. A ráfutás meghatározása fölfúrásnál

b) a gépi főidő meghatározása süllyesztésnél és dörzsölésnél

A gépi főidő meghatározásához itt is érvényes a fúrásnál felírt képlet. Síksüllyesztésnél a ráfutás hossza $l_1=3$ mm; túlfutás nem szükséges ill. $l_2=0$.

Dörzsölésnél a ráfutás és a túlfutás együttesen a szerszám átmérőjével egyezik meg:

$$l_1 + l_2 = D \text{, ill.} \qquad L = l + D$$

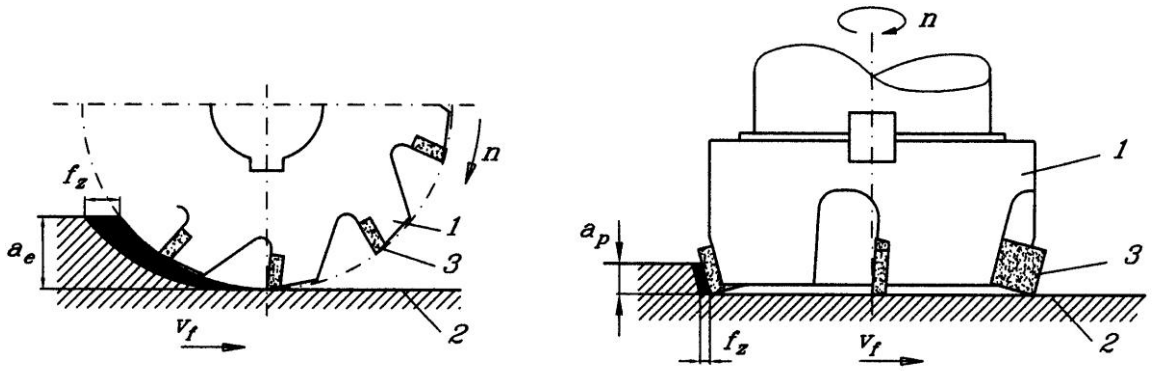
Dörzsölésnél a szerszám kiemelése a munkamenet előtolási sebességével egyezik meg, ezért a főidővel megegyező mellékidővel kell számolni.

5. MARÁS

A marás, többélű szerszám (maró) kör alakú főmozgásával és a munkadarab haladó, előtoló mozgásával megvalósuló forgácsolás. A változó keresztmetszetű forgács leválasztása szakaszos. Síkok, hornyok, hasábfelületek, körhenger előállítására alkalmazzák, de tetszés szerinti felületek létrehozására is alkalmas (profilmarás, kontúrmarás). Széles körben elterjedt eljárás, mivel a legegyszerűbbektől a legbonyolultabbakig minden fajta felület előállítására alkalmas. Előnyős tulajdonságaiként a termelékenységet és az elérhető viszonylag nagy pontosságot kell megemlíteni.

5.1 A MARÁS VÁLTOZATAI

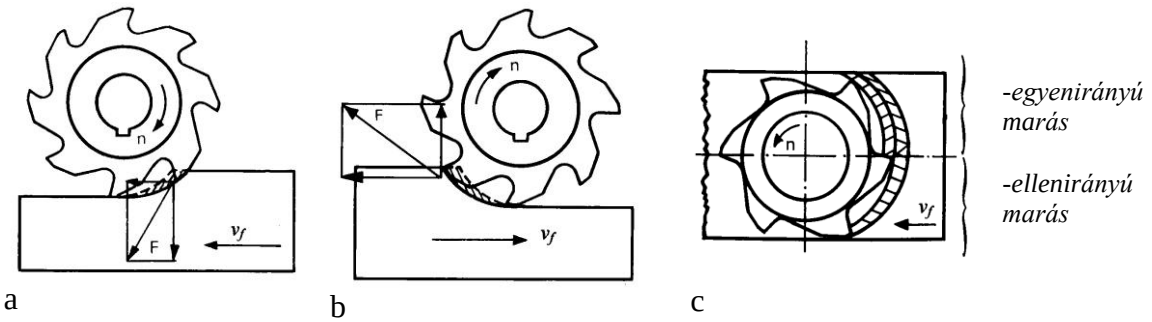
A marásnak nagyszámú változata van, amelyek a megmunkált felület alakja-, a szerszám alakja- és a megmunkálás kinematikai viszonyai szerint oszthatók fel. A forgácsolási folyamat fontos jellemzője, hogy a szerszámél mely része alakítja ki a megmunkált felületet. Eszerint megkülönböztetünk **palástmarást** és **homlokmarást**. Palástmarás esetén a megmunkált felület kialakítását kizárólag a maró palástfelületén elhelyezkedő főélek végzik (5-1. ábra). Homlokmarásnál a forgácsleválasztás szintén a palástfelületen elhelyezkedő főélekkel történik, de a megmunkált felület kialakítását a maró homlokfelületén elhelyezkedő mellékélek végzik. Vannak határesetek is (alakmarás, menetmarás stb.) amelyek mindkét csoportba besorolhatók.



a) *b)*

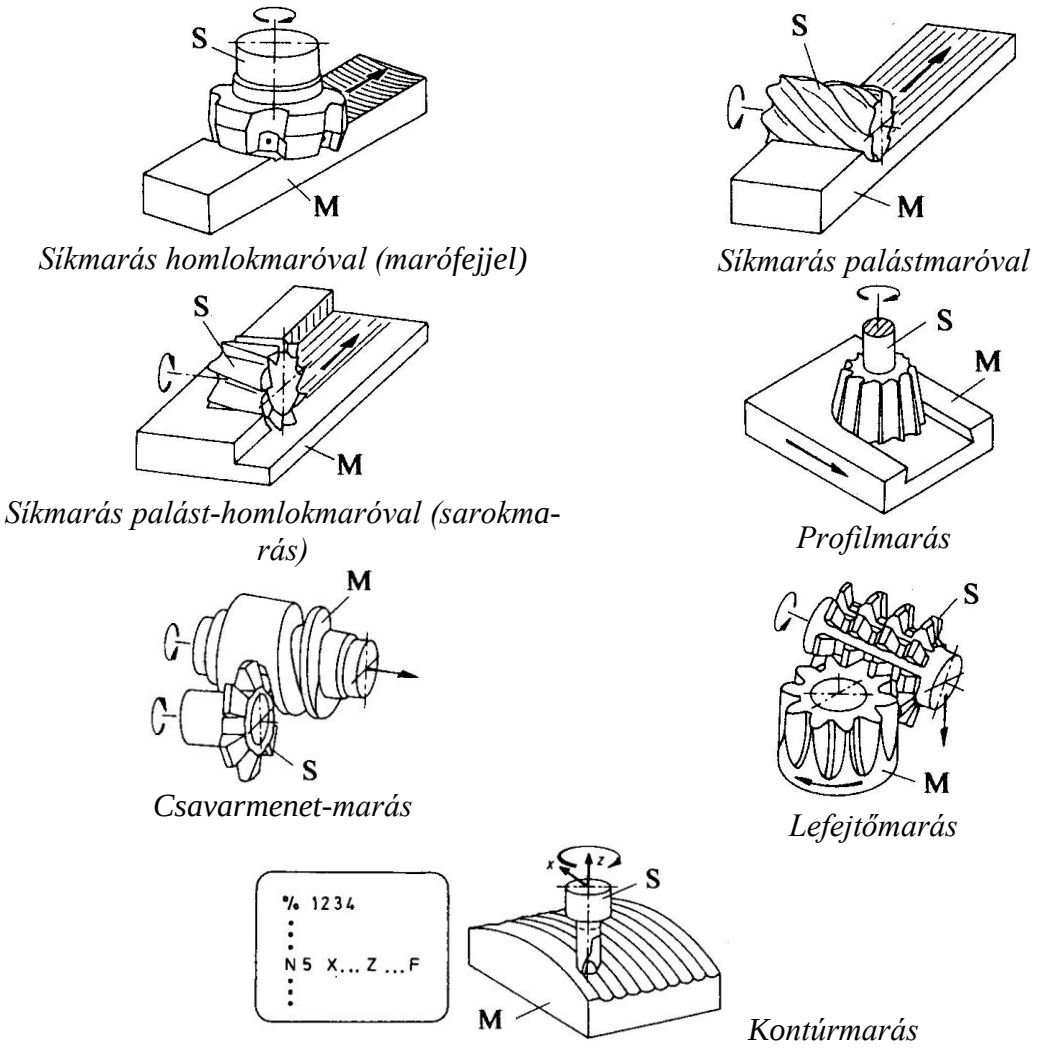
5-1. ábra. A palástmarás és a homlokmarás összevetése: a) palástmarás; b) homlokmarás; 1- szerszám, 2- munkadarab, 3- forgácsolóél

Az előtoló– és a főmozgás viszonyának alapján a marás lehet **ellenirányú** (hagyományos) vagy **egyenirányú** (5-2. ábra). Az egyenirányú marás esetében a munkadarabbal kapcsolatban lévő élek kerületi sebességének iránya és a mellékmozgás iránya „megegyeznek” (van azonos irányú komponensük). Itt élbelépésnél a legnagyobb a forgácsvastagság. Egyenirányú marásnál jobb a felületminősége, a szerszám éltartama hosszabb de csak olyan gépeken alkalmazható, ahol biztosított a hézagmentesség a mellékmozgás kinematikai láncában. Ellenirányú marás esetén élbelépésnél a forgácsvastagság $h=0$, ezért a kezdeti fázisban az anyag rugalmasan deformálódik és a szerszám hátfelületén jelentős súrlódás jelentkezik. Homlokmarásnál a szerszám és a munkadarab viszonylagos helyzetétől függően egyidejűleg felléphet ellenirányú- és egyenirányú marás is (kombinált marás).



5-2. ábra. Egyenirányú- és ellenirányú marás: a) egyenirányú; b) ellenirányú; c) kombinált homlokmarás

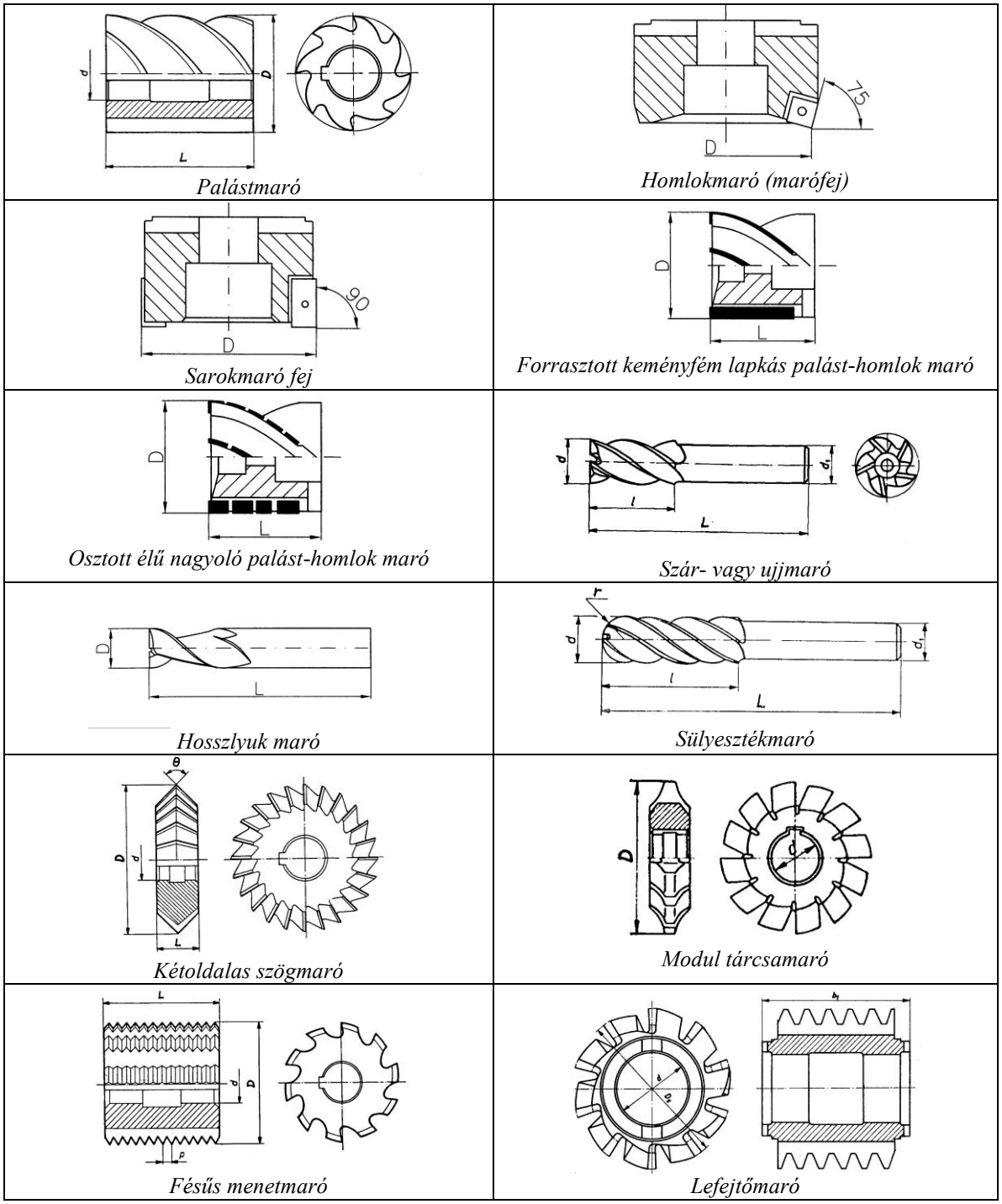
A DIN 8589 szabvány a marásváltozatokat hét alapváltozatba sorolja be (5-3. ábra):
(1) síkmarás homlokmaróval (marófejjel), (2) síkmarás palástmaróval, (3) síkmarás palást-homlokmaróval (sarokmarás), (4) profilmarás, (5) csavarmenet-marás, (6) lefejtőmarás, (7) kontúrmarás (szoborfelület-marás).



5-3. ábra. A marás alapváltozatai DIN 8589 szerint (M- munkadarab, S- szerszám)

5.2 MARÓSZERSZÁMOK

A marószerszámoknak nincs egységes szempont szerinti osztályozása. Szerkezeti és felhasználási jellemzők szerint az alábbi marótípusokat különböztetjük meg (5-4. ábra):
Palástmaró, homlokmaró (marófej), palást-homlok maró, ujj vagy szármaró, tárcsamaró, szögmaró, rádiuszmaró, profilmaró, menetmaró, lefejtőmaró, stb.

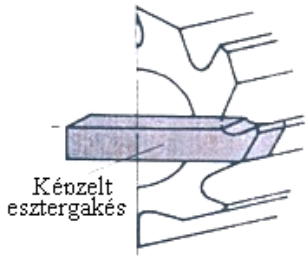


5-4. ábra. Jellemző marószerszám típusok

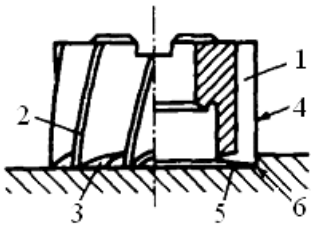
Szerszámanyag tekintetében gyorsacél- és keményfém marókat alkalmazunk. Nagyobb méretű keményfém marók esetén csak az él készül keményfémből. Az élek felerősítése a szerszámtesthez történhet forrasztással vagy mechanikus szorítómegoldással, amelyek lehetővé teszik a lapkák váltását miután azok élei elkopnak. A keményfém anyag és a váltólapkás kivitel részaránya nagy és egyre növekvő tendenciát mutat.

5.2.1 Marószerszámok élgeometriája

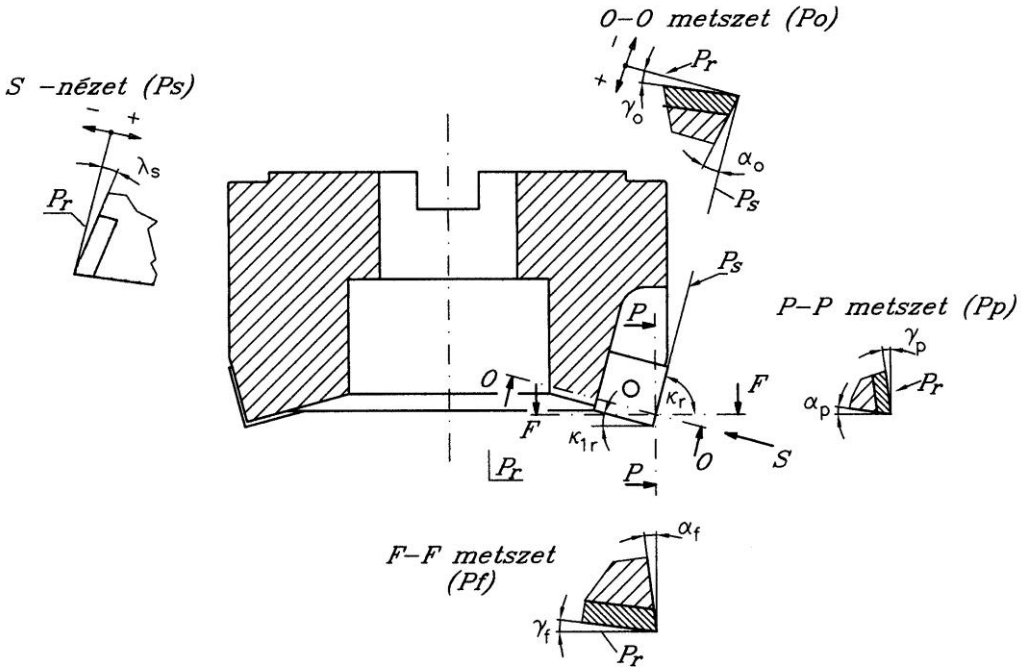
Többélű szerszámnál minden élen (fogon) megállapíthatók az egyélű szerszámra jellemző szögek és felületek (5-5. ábra). A dolgozórész szempontjából a palást-homlokmaró tekinthető általános esetnek, itt ui. az élkialakítás a palást- és a homlokfelületen is megtalálható. A palást-homlokmaró jellemző elemeit az 5-6. ábra szemlélteti. A jellemző élszögeket homlokmaró (marófej) esetére az 5-7. ábra mutatja. Az élszögek értékei, néhány járatos anyag megmunkálásához az 5-1 és 5-2 táblázatokban találhatók.



5-5. ábra. Az egyélű- és többélű szerszám összevetése [22]



5-5. ábra. Palást-homlokmaró felületei és élei: 1 – homloklap, 2 – hátlap, 3 – mellékhátlap, 4 – forgácsolóél, 5 – mellékél, 6 – élcsúcs



5-7. ábra. Marófej élgeometriája

5-1. táblázat. Keményfém váltólapkás marók élszögei fokokban (Degner nyomán)

A munkadarab anyaga		Marófej		Palást-homlokmaró		
		γ_f	γ_p	α_o	γ_o	λ_s
Acél, R_m	≤500	-3…-13	4…7			
	≤600	-9…-16	0…5	6	5	15
	≤850	-13…-22	-1…1	6	5	12
	>1000	-11…-2	-1…0	4	5	6
Öntöttvas	HB<200	0…6	0…10	6	-5	12
	HB>200	0…6	0…10	6	-5	10
Bronz, sárgaréz		0…8	0…11	6	-5	15
Réz, könnyűfémek		9…15	5…17	10	20	25

5-2. táblázat. Gyorsacél marók élszögei

Munkadarab anyaga		Palástmaró			Palást-homlokmaró			Tárcsamaró			Származó			Marófej		
		α_o	γ_o	λ_s	α_o	γ_o	λ_s	α_o	γ_o	λ_s	α_o	γ_o	λ_s	α_o	γ_o	λ_s
Acél	R_m≤600	7	15	45	7	15	25	7	15	20	8	15	30	7	15	15
	≤850	6	12	40	6	12	25	6	12	15	7	10	20	6	10	12
	≤1000	5	8	35	5	8	20	5	7	10	6	6	15	5	6	7
Öntöttvas		6	12	40	6	12	20	6	12	15	7	12	30	6	15	12
Bronz		5	12	40	5	12	20	6	12	15	6	10	30	6	15	12
Réz		6	20	45	6	15	25	6	15	20	6	12	45	6	25	15
Alumínium		8	25	50	8	25	35	8	25	30	10	25	40	8	25	20

5.3 FORGÁCSOLÓERŐ, TELJESÍTMÉNY

5.3.1 Forgácsolóerő homlokmarásnál

Marásnál a forgács leválasztása szakaszos, és a forgácskeresztmetszet állandóan változik. Az F forgácsolóerő fölbontható a munkasíkban ható F_a aktív erőre és a munkasíkra merőleges F_p passzív erőre. Az aktív erő iránya változik a φ helyzetszög függvényében (5-8. ábra). Az aktív erő felbontható a forgácsoló sebesség irányába eső F_c főforgácsoló erőre és a rá merőleges F_h forgácsvastagság irányú erőre. Weilenmann szerint homlokmarás esetén a forgácsolóerő meghatározható a következő gondolatmenetet követve:
A maró egy élére ható forgácsolóerő pillanatnyi értéke az általános erőösszefüggés szerint írható fel:

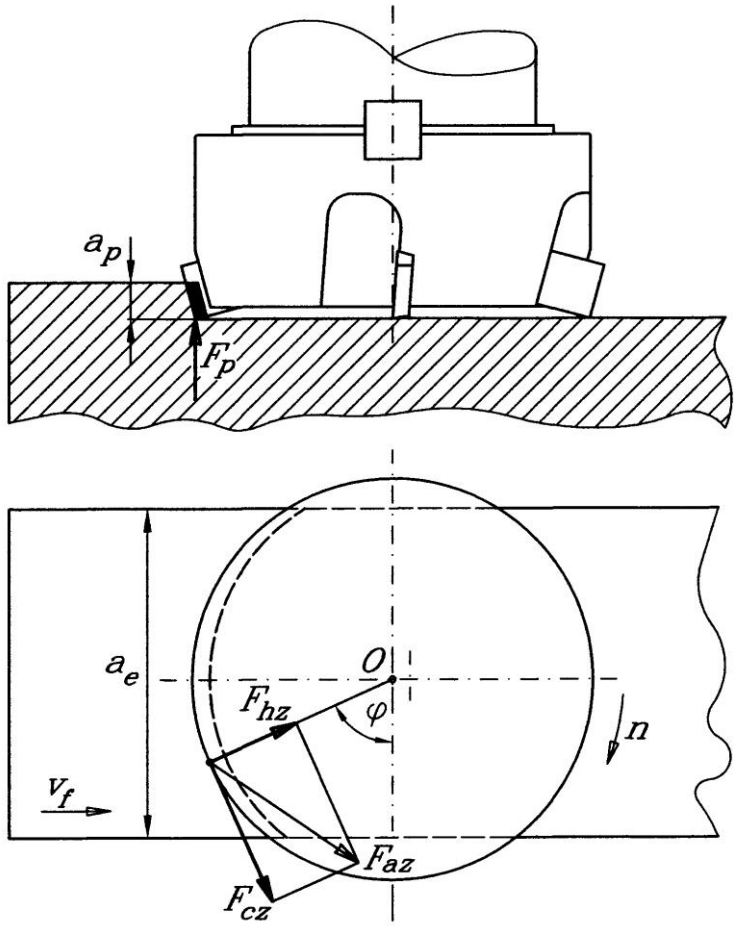
$$F_{cz} = k_c \cdot A = k_c \cdot b \cdot h$$

A fenti egyenletben a forgácsszélesség (5-9. ábra)

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r},$$

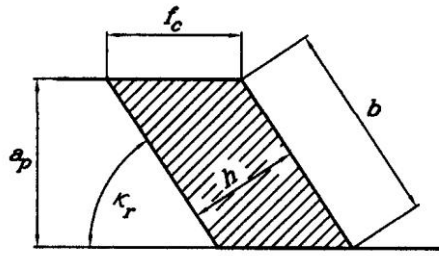
és a forgácsvastagság

$$h = f_c \cdot \sin \kappa_r$$



5-8. ábra. Egy élre ható erők homlokmarás esetén

5-9. ábra. Elméleti forgácskeresztmetszet homlokmarásnál



Az 5-10. ábra szerint a radiális irányú előtolás értéke megközelítően

$$f_c \approx f_z \cdot \sin\varphi$$

ahol: φ a pillanatnyi élhelyzet-szög

$$f_z = \frac{f}{z} = \frac{v_f}{n \cdot z}$$ az egy élre eső előtolás

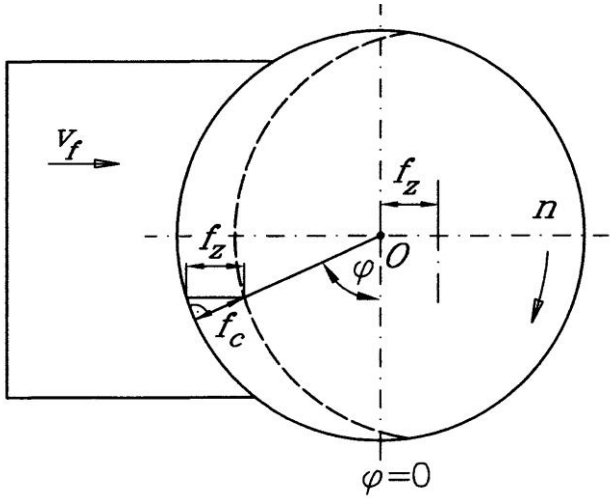
$$f = f_z \cdot z = \frac{v_f}{n}$$ fordulatonkénti előtolás (mm/ford)

z a maró fogszáma

$v_f = f \cdot n = f_z \cdot z \cdot n$ előtolási sebesség (mm/min)

Ezzel a forgácsvastagság pillanatnyi értéke felírható mint:

$$h = f_z \cdot \sin\varphi \cdot \sin\kappa_r$$

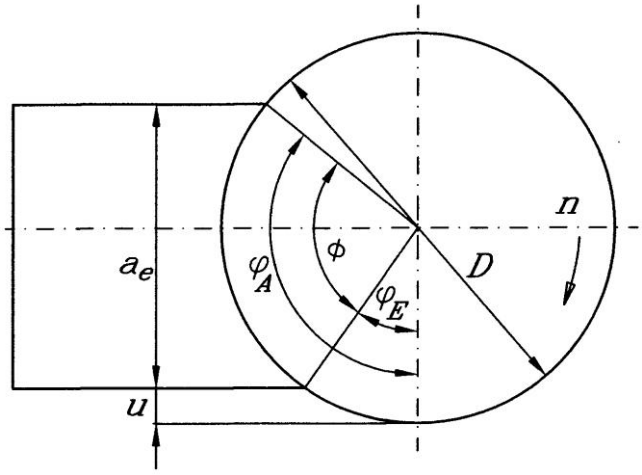


5-10. ábra. A homlokmarás forgácsolási viszonyai

Könnyen belátható, hogy a forgácsvastagság legnagyobb értéke $\varphi=90^\circ$ esetén lesz

$$h_{max} = f_z \cdot \sin \kappa_r$$

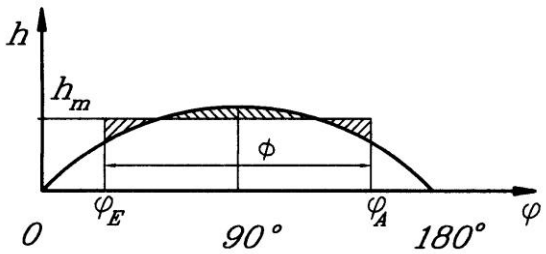
Ezzel meghatározható az egy élre ható forgácsolóerő legnagyobb értéke, de az energetikai számításoknál nagyobb jelentősége van a forgácsolóerő átlagos értékének (középértékének) az élbelépés és élkilépés között, amelyet az átlagos forgácsvastagság alapján határozhatunk meg. Az élbelépés (φ_E) és élkilépés (φ_A) helyzetszögeit, valamint a Φ kapcsolószöget homlokmarás estére az 5-11. ábra szemlélteti.



5-11. ábra. Az élbelépési szög (φ_E), élkilépési szög (φ_A) és a Φ kapcsolószög homlokmarás estén

Ha a forgácsvastagságot a φ helyzetszög függvényében ábrázoljuk az 5-12. ábrán látható görbét kapjuk. A görbe alatti felület megegyezik az alaphossz és az átlagos vastagság alkotta téglalap területével, ahol az átlagos forgácsvastagság

$$h_m = \frac{1}{\Phi}\int_{\varphi_E}^{\varphi_A} h \cdot d\varphi = \frac{f_z \cdot \sin \kappa_r}{\Phi}\int_{\varphi_E}^{\varphi_A} \sin \varphi \cdot d\varphi = \frac{1}{\Phi} f_z \cdot \sin \kappa_r (\cos \varphi_E - \cos \varphi_A)$$



5-12. ábra. A forgácsvastagság változása a φ helyzetszög függvényében

Az élbelépési és élkilépési szögek koszinuszai az 5-11. ábra jelöléseit felhasználva:

$$\cos\varphi_E = \frac{\frac{D}{2} - u}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{2u}{D}, \qquad \cos\varphi_A = 1 - \frac{2(a_e + u)}{D}$$

Ezzel az átlagos forgácsvastagság:

$$h_m = \frac{1}{\Phi} f_z \cdot \sin\kappa_r \cdot \frac{2a_e}{D}$$

A fenti képletben a Φ kapcsolási szög értékét radiánban kell behelyettesíteni.
Az átlagos, egy élre ható forgácsolóerő:

$$F_{czm} = k_c \cdot b \cdot h_m = k_c \cdot a_p \cdot \frac{f_z}{\Phi} \cdot \frac{2a_e}{D}$$

A fajlagos forgácsolóerő meghatározásánál az átlagos forgácsvastagságot vesszük figyelembe.

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h_m^m}$$ ($k_{c1.1}$ és m az 1.3 táblázatban találhatók).

A forgácsolóerőt befolyásoló másodlagos tényezőket marásnál is az összesített korrekciós tényezővel vesszük figyelembe [6].

$$K_F = K_{Fv} \cdot K_{F\gamma o} \cdot K_{FVB} \cdot \ldots$$

Ahol:

K_{Fv} sebesség módosító tényező, értéke az 1-24. ábra szerint határozható meg

$K_{\gamma_o} = 1 - \frac{\gamma_o - \gamma_k}{66{,}7}$ homlokszög módosító tényező. γ_o a maró homlokszöge, γ_k értéke pedig acél esetében 6°, öntöttvas esetében 2°.

K_{FVB}=*1,2…1,4* szerszámkopás-tényező (Weilenmann szerint).

Így az egy élre ható forgácsolóerő középértéke

$$F_{czm} = k_c \cdot b \cdot h_m \cdot K_F$$

A maróra ható kerületi erő (forgácsolóerő) meghatározható, ha az egy élre ható erőt megszorozzuk a kapcsolatban lévő élek számával.

$$F_{cm} = F_{czm} \cdot i$$

Ahol: $i = \frac{\Phi}{\tau}$ az egyidejűleg forgácsoló fogak száma (kapcsolószám)

$\tau = \frac{360}{z}$ a maró szögosztása,

A főforgácsoló erőre merőleges F_h forgácsvastagság irányú (mélyítő) erő értéke hasonló módon meghatározható mint a főforgácsoló erő [13]:

$$F_{hzm} = k_h \cdot b \cdot h_m$$

ahol a $k_h = \frac{k_{h1.1}}{h^{m_h}}$ a fajlagos mélyítő erő.

$k_{h1.1}$ a fajlagos mélyítő erő főértéke

m_h kitevő

A gyakorlatban az F_h erőt arányossági tényező segítségével az F_c erővel határozható meg.

$$F_{hzm} = \lambda_{ch} \cdot F_{czm}$$

A forgácsolóerő és a forgácsvastagság irányú erők eredőjeként meghatározható a munkasíkban ható aktíverő (5-8. ábra):

$$F_a = \sqrt{F_c^2 + F_h^2}$$

Az aktív erő előtolás irányú és rá merőleges irányú összetevőkre bontható, és így meghatározható az előtoláshoz szükséges erő ill. teljesítmény is.

5.3.2 Forgácsolóerő palástmarásnál

A szerszám és a munkadarab kapcsolatát egyenes fogú (élű) maróval történő ellenirányú marás esetére az 5-13. ábra szemlélteti. Az élbelépés a *P* pontban történik, itt a forgácsvastagság nulla. A legvastagabb forgács (h_{max}) élkilépéskor lesz. A homlokmarásnál lefektetett általános érvényű összefüggések ebből adódóan palástmarásnál egyszerűbbek lesznek:

κ_r=90˚, φ_E=0, $\Phi = \varphi_A$, $a_p = b_w$

$$h = f_c = f_z \cdot \sin\varphi$$

$$h_{min} = 0; \qquad h_{max} = f_z \cdot \sin\Phi$$

$$\cos\Phi = \frac{\frac{D}{2} - a_e}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{2 \cdot a_e}{D}; \qquad \sin\Phi = \sqrt{1 - \cos^2\Phi} = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2a_e}{D}\right)^2} \cong 2\sqrt{\frac{a_e}{D}}$$

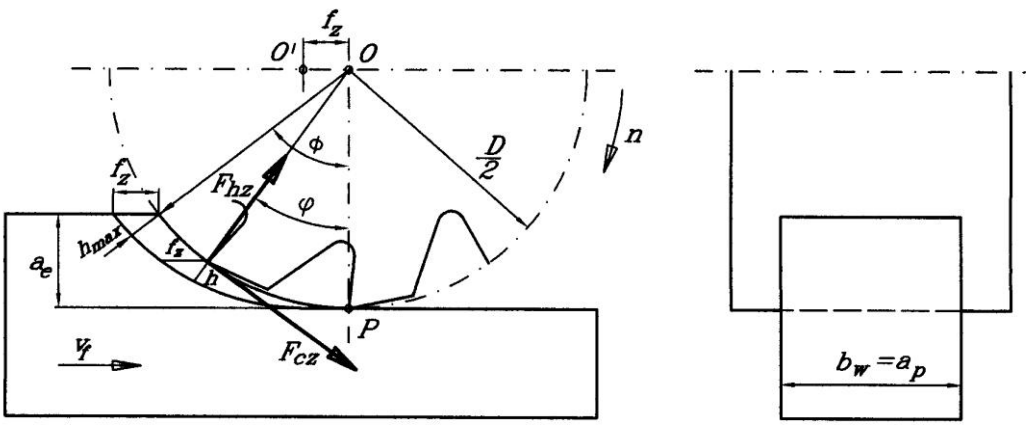
Ezzel a legnagyobb forgácsvastagság: $h_{max} = 2 f_z \sqrt{\frac{a_e}{D}}$

A forgácsvastagság középértéke:

$$h_m = \frac{1}{\Phi} f_z \cdot (\cos\varphi_E - \cos\varphi_A) = \frac{1}{\Phi} f_z \cdot (1 - \cos\Phi) = \frac{f_z}{\Phi} \cdot \frac{2a_e}{D}$$

Kis szögek esetén (Φ<30˚) $\Phi \approx \sin\Phi = 2\sqrt{\frac{a_e}{D}}$

És ezzel a forgácsvastagság középértéke $h_m = f_z \sqrt{\frac{a_e}{D}}$

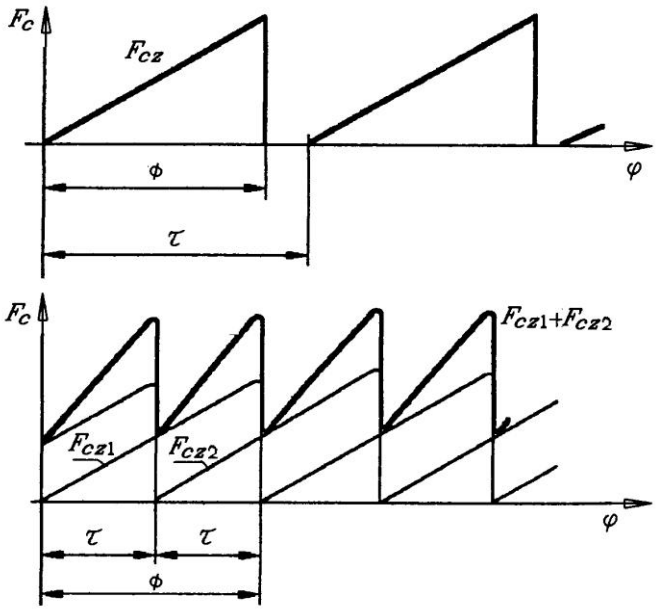


5-13. ábra. A forgácsolóerő és a forgácskeresztmetszet palástmarás esetén

A legnagyobb- és az átlagos forgácsvastagság ismeretében meghatározható a legnagyobb és az átlagos forgácsolóerő:

$$F_{cz\,max} = k_c \cdot h_{max} \cdot b_w; \qquad F_{czm} = k_c \cdot b_w \cdot f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}}; \qquad F_{cz\,min} = 0$$

Figyelembe véve, hogy a változó forgácsvastagság mellett a kapcsolatban lévő élek száma (kapcsolószám) is ingadozik, megállapítható, hogy a marás erősen dinamikus folyamat. Amikor a kapcsolószám egynél nagyobb, a forgácsolóerő egy alsó- és egy felső határ között ingadozik. Ha a kapcsolószám egynél kisebb a forgácsolóerő nulla és egy maximális érték között ingadozik (5-14. ábra).



5-14. ábra. A forgácsolóerő váltakozása palástmarás esetén [10]

A többi erőösszetevőt a gyakorlatban az F_c főforgácsolóerővel fejezzük ki. Palástmarásnál a forgácsvastagság irányú erő megközelíti a főforgácsoló erő értékét. A gyakorlatban kis eltéréssel használhatók a következő arányok [38]:

- ellenirányú marás esetén $F_h \approx (0{,}6 \cdots 0{,}8) \cdot F_c$
- egyenirányú marás esetén $F_h \approx (0{,}35 \cdots 0{,}6) \cdot F_c$

Ha a legnagyobb értékeket vesszük alapul, akkor az eredő aktív erő a következő összefüggésekkel írható fel:

ellenirányú maráshoz $F = \sqrt{F_c^2 + F_h^2} = \sqrt{F_c^2 + (0{,}8 \cdot F_c)^2} = 1{,}28 \cdot F_c \cong 1{,}28 \cdot F_{czm} \cdot i$

egyenirányú maráshoz $F = \sqrt{F_c^2 + (0{,}6 \cdot F_c)^2} = 1{,}16 \cdot F_c \cong 1{,}16 \cdot F_{czm} \cdot i$

Az erőhullámzás jelentősen csökkenthető ferde élű maró alkalmazásával. Itt az élbelépés és kilépés fokozatosan történik a maró szélessége mentén. Ferde élű marónál jelentkezik a maró tengelyirányába ható erőösszetevő is, amelyet passzív erőnek tekinthetünk, ui. tengelyirányban palástmarásnál semmilyen elmozdulás nincs és így munkavégzés sem történik:

$$F_{ax} = F_c \cdot tg\lambda_s$$

Ahol λ_s az élhajlás szöge.

5.3.3 A forgácsolási- és a gépteljesítmény marásnál

A forgácsoláshoz szükséges teljesítmény meghatározható az átlagos forgácsolóerő és a forgácsoló sebesség alapján:

$$P_c = \frac{F_{cm} \cdot v_c}{1000 \cdot 60} \qquad \text{[kW]}$$

A munkagép teljesítménye ennél nagyobb, a gépen belüli veszteségek miatt:

$$P_m = \frac{P_c}{\eta}$$

A gép hatásfoka $\eta = 0{,}6 \ldots 0{,}8$ között vehető föl.

5.4 A FORGÁCSOLÁSI ADATOK MEGHATÁROZÁSA

5.4.1 A fogásmélység meghatározása

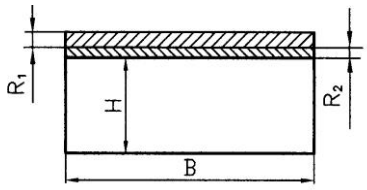
A fogásmélység nagysága elsősorban a ráhagyások méretéből, azaz az előgyártmány méretéből és a megmunkálás utáni méretből adódik. A ráhagyások szokásos értékeit az 5-3. táblázat tartalmazza. Esetenként a leválasztandó anyagréteg vastagságától függően fogásosztást kell végezni nagyolásnál. A fogások száma

$$i = \frac{R}{a_{max}} \qquad \text{egész számra kerekítve}$$

Ahol: R a ráhagyás értéke
a_{max} a megengedett legnagyobb fogásmélység

A simító megmunkálás mindig egy fogásban történik.

5-3. táblázat. Ráhagyások irányadó értékei marásnál és gyalulásnál (mm-ben)

	A darab szélessége *B*	A darab hossza	A darab magassága *H*		
			6…30	30…50	>50
			Ráhagyás		
Ráhagyás nagyolásra R_1	≤200	90…100	1	1	1,5
		100…250	1,2	1,5	1,7
		250…400	1,5	1,7	2
	200…400	90…100	1,2	1,5	1,7
		100…250	1,5	1,7	2
		250…400	1,7	2	2,5
Ráhagyás simításra R_2	≤200	90…100	0,7	1	1
		100…250	1	1	1,3
		250…400	1	1,2	1,5
	200…400	90…100	1	1	1,3
		100…250	1	1,2	1,5
		250…400	1	1,2	1,5

5.4.2 Az előtolás meghatározása

Marásnál az egy élre eső előtolás a mértékadó, ezért először ezt kell meghatározni majd ebből számoljuk a fordulatonkénti előtolást, ill. az előtoló sebességet. A fogankénti előtolást célszerű a szerszámgyártó cégek által javasolt értékre választani. Ennek hiányában tapasztalati értékeket vagy technológiai táblázatok adatait használhatjuk. A forgácsolósebesség és a fogankénti előtolás irányadó értékeit az 5-4. és 5-5. táblázatok tartalmazzák.

5-4. táblázat. A forgácsolósebesség és a fogankénti előtolás értéke marófejjel történő marásnál

Munkadarab anyaga	Keményfém élanyag	Forgácsolósebesség m/min	Fogankénti előtolás mm/fog
Acél R_m≤600 N/mm^2	P20, P30	90-160	0,1-0,28
Acél R_m≤800 N/mm^2	P20, P30	80-140	0,1-0,25
Acél R_m≤1100 N/mm^2	P20, P30	70-120	0,1-0,2
Öntöttvas 180 HB alatt	K20	50-80	0,16-0,36
Öntöttvas 180 HB felett	K10	40-63	0,1-0,25
Réz és rézötvözetek	K10, K20	100-250	0,1-0,2
Alumínium	K20	500-800	0,08-0,2
Edzett alumínium ötvözetek	K10, K20	300-400	0,1-0,25

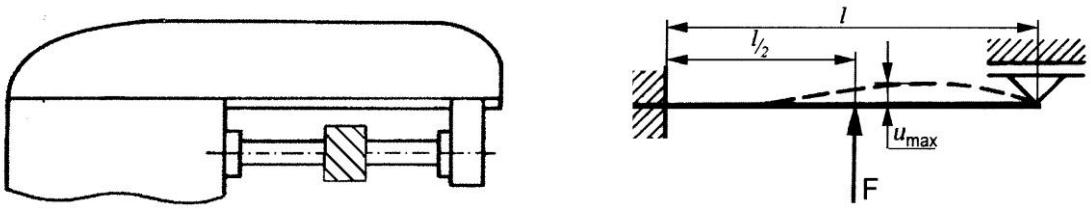
5-5. táblázat. A forgácsolósebesség és a fogankénti előtolás értéke marásnál [22]

Munkadarab anyaga		Forgácsolósebesség m/min		Fogankénti előtolás mm/fog			
		Gyors-acél	Kemény-fém	Palást- és homlok-palást maró	Tárcsamaró	Szármaró	Profilmaró
Acél $R_m \leq 600$ N/mm^2		16-25	100-150	0,1-0,2	0,06-0,08	0,016-0,08	0,04-0,06
Acél $R_m \leq 800$ N/mm^2		10-18	50-100	0,08-0,16	0,05-0,06	0,012-0,06	0,03-0,05
Acél $R_m \leq 1100$ N/mm^2		8-16	40-63	0,05-0,1	0,04-0,05	0,01-0,04	0,02-0,04
Öntöttvas 180 HB alatt		15-25	50-100	0,16-0,25	0,07-0,1	0,02-0,1	0,05-0,08
Öntöttvas 180 HB felett		8-18	30-80	0,1-0,2	0,04-0,06	0,012-0,06	0,03-0,05
Réz		40-63	63-150	0,2-0,25	0,08-0,1	0,018-0,08	0,05-0,08
Sárgaréz Bronz	rideg	40-63	100-160	0,2-0,3	0,07-0,09	0,016-0,07	0,04-0,08
	képlékeny	32-50	80-120	0,16-0,2	0,05-0,06	0,012-0,06	0,03-0,06
Alumínium		120-250	300-500	0,16-0,2	0,06-0,08	0,018-0,09	0,04-0,07
Edzett alumínium ötvözetek		80-160	160-300	0,1-0,16	0,05-0,06	0,016-0,08	0,03-0,06

A kiválasztott előtolás nagyságát ellenőrizni kell a konkrét megmunkálásra vonatkozó adatok alapján. Az ellenőrzés vonatkozhat: (1) a gép egyes részeinek alakváltozására; (2) a szerszám alakváltozására; (3) a munkadarab alakváltozására; (4) a megmunkált felület érdességére stb.

A marótengely behajlásának ellenőrzése

Vízszintes főorsójú marógépnél a marótengelyt befogott, egyik végén támasztott tartónak tekinthetjük, amely a forgácsolóerő hatására rugalmas deformációt szenved (5-15. ábra). Adott gépen és adott szerszám esetén, a behajlás az erő függvénye. A forgácsolóerő viszont az előtolás függvénye, így összefüggés írható fel az előtolás és a marótengely behajlása között. Ha a marótengely megengedett behajlását ismerjük, akkor ebből az összefüggésből meghatározható a megengedett legnagyobb fogankénti előtolás értéke.



a) marótengely *b) a tengely mechanikai modellje*

5-15. ábra. A marótengely mechanikai modellje

A legnagyobb behajlás

$$u_{\max} = \frac{F \cdot l^3}{110 \cdot E \cdot I}$$

illetve

$$F \leq \frac{u_{\max} \cdot 110 \cdot E \cdot I}{l^3}$$

ahol: E a marótengely rugalmassági modulusa
I a tengelykeresztmetszet másodrendű nyomatéka

Ha elfogadjuk, hogy a maróra ható erő

$$F = \sqrt{2} \cdot F_c \cong \sqrt{2} \cdot F_{czm} \cdot i = \sqrt{2} \cdot i \cdot k_c \cdot b_w \cdot f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}},$$

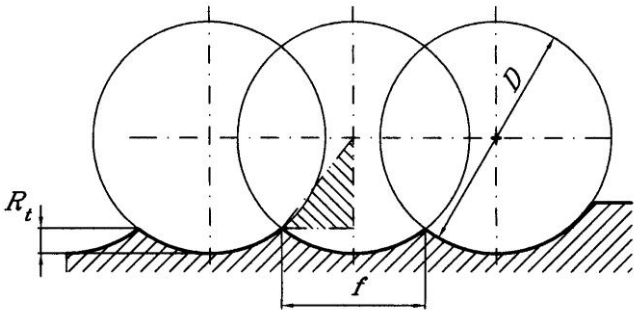
akkor a fenti összefüggésekből kiszámítható a legnagyobb fogankénti előtolás

$$f_z \leq \frac{u_{max} \cdot 78 \cdot E \cdot I}{l^3 \cdot i \cdot k_c \cdot b_w \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}}}$$

A marótengely megengedett behajlása nagyolás esetén $u_{max} \leq 0{,}20$ mm, simítás esetén pedig $u_{max} \leq 0{,}05$ mm.

A felületi érdesség elenőrzése

Palástmarásnál az elméleti érdesség az előtolás és a maróátmérő függvénye. Hasonló módszerrel számítható, mint az egyélű szerszámnál. A maró geometriai hibájából adódóan egy fog amely a legnagyobb átmérőn működik, minden fordulatnál „törli” az előző fogak nyomát, ezért nem a fogankénti előtolást kell mértékadónak tekinteni, hanem a fordulatonkénti előtolást (5-16. ábra).



5-16. ábra. Az elméleti érdesség modellje palástmarás esetén

$$R_t = \frac{f^2}{4D} \quad \text{és ebből} \quad f \leq \sqrt{4D \cdot R_t}$$

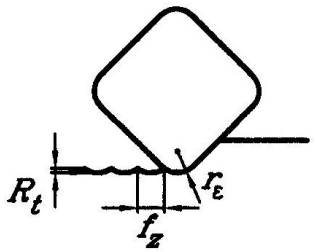
A valódi érdesség ettől eltérő, de az összefüggés jól mutatja, hogy az előtolás és a maró átmérő miképpen befolyásolja az érdesség alakulását.

Egyes szerzők egy módosító tényező bevezetését javasolják, amely a következő összefüggést eredményezi (Stankovic):

$$R_t = 1{,}5 \cdot \frac{f^2}{4D} \quad \text{és így} \quad f \leq \sqrt{2{,}7 \cdot D \cdot R_t}$$

Homlokmarásnál három jellemző esetet kell megkülönböztetni:

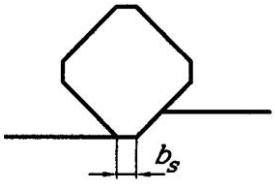
(1) ha a főél és a mellékél átmenete lekerítési sugárral történik vagy a marófej éleit kerek lapkák lépezik akkor az érdességet a fogankénti előtolás és az él (lapka) csúcssugara alapján határozzuk meg (5-17. ábra): $R_t = \frac{f_z^2}{8 \cdot r_\varepsilon}$



5-17. ábra

(2) ha a szerszámél (lapka) fazettával rendelkezik (5-18. ábra), jó ha a fordulatonkénti előtolás kisebb, mint a fazetta szélessége, ui. ilyenkor a legjobban kiálló lapka törli a többi nyomát:

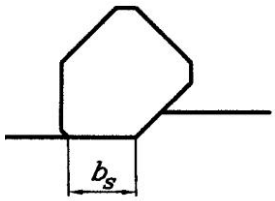
$$f \le b_s$$



5-18. ábra

(3) ha a marófej széles simító foggal rendelkezik (5-19. ábra), az fordulatonként lesimítja az előző fogak nyomát, ezért a simító él hossza szab korlátot a fordulatonkénti előtolás értékének. Javasolt a következő összefüggés betartása:

$$f \le 0{,}6 \cdot b_s$$



5-19. ábra

5.4.3 A forgácsolósebesség és a fordulatszám meghatározása

Marásnál a forgácsolósebesség alatt a maró kerületi sebességét értjük.

$$v_c = \frac{D\pi \cdot n}{1000} \quad \text{innen a maró fordulatszáma} \quad n = \frac{1000 \cdot v_c}{D\pi}$$

A forgácsolósebességre vagy táblázatokból választunk tapasztalati-, ill. szerszámgyártók által javasolt értékeket (5-4, 5-5. táblázat), vagy az éltartam-összefüggés alapján kialakított empirikus képletekkel számítjuk ki.

$$v_c = \frac{C_v \cdot D^{w_v}}{T^m \cdot f^{x_v} \cdot a_p^{y_v} \cdot a_e^{q_v} \cdot z^{u_v}} \cdot K_v$$

Ahol: C_v, x_v, y_v, m, q_v, u_v, w_v állandó és kitevők (5-6. táblázat)

T [min] a szerszám éltartama. A marók drága szerszámok, cseréjük időigényes így az éltartamot nagyobbra választják (T=120…420 min) , mint esztergaszerszámoknál (5-7. táblázat).

$K_v = K_{vm} \cdot K_{v\kappa} \cdot K_{vvo} \cdot K_{vH}$ összesített sebesség módosító tényező

K_{vm} a munkadarab anyagminőségét figyelembe vevő módosító tényező

0,6 %-nál kisebb széntartalmú szénacélok esetében $K_{vm} = \left(\frac{650}{R_m}\right)^n$

0,6 %-nál nagyobb széntartalmú szénacélok esetében

$K_{vm} = 0{,}8 \cdot \left(\frac{650}{R_m}\right)^n$, ahol R_m a szakítószilárdság (N/mm^2) ,

n értékei az 5-8. táblázat szerint választhatók.

Öntöttvas megmunkálásánál a $K_{vm} = \left(\frac{180}{HB}\right)^n$ összefüggés használható.

$K_{v\kappa}$ főél elhelyezési szög módosító tényező (5-9. táblázat)

$K_{v\kappa o}$ marási változat módosító tényező $K_{v\kappa o}=1$ ellenirányú marás esetén;

$K_{vko} \approx$ *1,1…1,25* egyenirányú marásnál (nagyobb értékek nagyobb forgácsvastagság mellett)

K_{vH} hűtő és kenőanyag alkalmazás módosító tényező.

$K_{vH}=1$ hűtőanyag alkalmazás esetén

$K_{vH}=0,8$ ha nem alkalmazunk hűtést

A felsorolt módosító tényezők mellett az további szempontok is szerepet kaphatnak, mint a szerszám élszögei, a szerszámanyag minősége stb.

5-6. táblázat. A C_v állandó és kitevők a sebesség képletben [18], [38]

Marás vál-tozata	Szerszám anyaga	A munkada-rab anyaga	Forgácsolási adatok			Állandó és kitevők értéke						
			f_z mm	a_p mm	a_e mm	C_v	w_v	m	y_v	x_v	q_v	u_v
Sík homlokmarás	Kemény-fém	Acél R_m=650				382	0,2	0,2	0,1	0,4	0,2	0
		Öntöttvas HB 180	_	_	_	396	0,2	0,32	0,15	0,35	0,2	0
	Gyorsacél	Acél R_m=650	≤0,1	_	_	73,5	0,25	0,2	0,1	0,2	0,15	0,1
			>0,1	_	_	46,5	0,25	0,2	0,1	0,4	0,15	0,1
		Rézötvözetek HB=150-200	≤0,1	_	_	95,0	0,25	0,2	0,1	0,2	0,15	0,1
			>0,1	_	_	60,4	0,25	0,2	0,1	0,4	0,15	0,1
Sík palástmarás	Kemény-fém	Acél R_m=650	_	≤2	≤35	448	0,17	0,33	0,19	0,28	-0,05	0,1
			_	>2		510	0,17	0,33	0,38	0,28	-0,05	0,1
			_	≤2	>35	708	0,17	0,33	0,19	0,28	0,08	0,1
			_	>2		805	0,17	0,33	0,38	0,28	0,08	0,1
		Öntöttvas HB 180	≤0,2	≤2,5	_	796	0,37	0,42	0,13	0,19	0,23	0,14
			>0,2		_	507	0,37	0,42	0,13	0,47	0,23	0,14
			≤0,2	>2,5	_	1018	0,37	0,42	0,13	0,19	0,23	0,14
			>0,2		_	647	0,37	0,42	0,13	0,47	0,23	0,14
	Gyorsacél	Acél R_m=650	≤0,1	_	_	62,5	0,45	0,33	0,3	0,2	0,1	0,1
			>0,1	_	_	40,2	0,45	0,33	0,3	0,4	0,1	0,1
		Öntöttvas HB 180	≤0,15	_	_	60,5	0,7	0,25	0,5	0,2	0,3	0,3
			>0,15	_	_	28,3	0,7	0,25	0,5	0,6	0,3	0,3
		Rézötvözetek HB=150-200	≤0,1	_	_	80,8	0,45	0,33	0,3	0,2	0,1	0,1
			>0,1	_	_	52,0	0,45	0,33	0,3	0,4	0,1	0,1
Horonymarás tárcsamaróval	Kemény-fém	Acél R_m=650	≤0,06	_	_	2000	0,2	0,35	0,3	0,12	0,1	0
			>0,06	_	_	757	0,2	0,35	0,3	0,4	0,1	0
	Gyorsacél	Acél R_m=650	_	_	_	77,8	0,25	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1
		Öntöttvas HB 180	_	_	_	75,5	0,2	0,15	0,5	0,4	0,1	0,1
		Rézötvözetek	_	_	_	100,8	0,25	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1
Palást-homlok marás szárma-róval	Kemény-fém	Acél R_m=650	_	_	_	262	0,44	0,37	0,24	0,26	0,1	0,13
	Gyorsacél	Acél R_m=650	_	_	_	53	0,45	0,33	0,5	0,5	0,1	0,1
		Öntöttvas HB 180	_	_	_	75,5	0,7	0,25	0,5	0,2	0,3	0,3
		Rézötvözetek	_	_	_	72	0,45	0,33	0,3	0,2	0,1	0,1
Profil marás	Gyorsacél	Acél R_m=650	_	_	_	60,2	0,45	0,33	0,3	0,2	0,1	0,1
Horony m. h. ly. maróval	Gyorsacél	Acél R_m=650	_	_	_	13,6	0,3	0,26	0,3	0,25	0	0

5-7. táblázat. Marószerszámok éltartamának irányadó értékei T (min)

Maró típusa	A maró átmérő tartománya (mm)											
	≤ 20	25-40	40-60	60-75	75-90	90-110	110-150	150-200	200-225	225-250	250-300	300-400
Homlokmaró		120	180					240			300	420
Palástmaró	-		120	180	---							
Tárcsamaró					120		150	180	240			
Származó	60	90	120									

5-8. táblázat. A K_{mv} módosító tényező meghatározásához szükséges n kitevő értékei

Munkadarab anyaga		Szerszám anyaga				
		Keményfém				Gyorsacél
		Homlokmaró	Tárcsamaró	Palástmaró	Származó	_
Acél	R_m<900	1,0	0,65	1,0	0,8	0,9
	R_m>900			1,5		2
Öntöttvas	-	1,25		0,75	_	0,95

5-9. táblázat. A K_{vK} főél elhelyezési szög módosító tényező marófejek esetére

Szerszám anyaga	Keményfém				Gyorsacél			
Főél elhelyezési szög	90	60	45	30	90	60	45	30
Módosító tényező	0,86	1	1,1	1,28	0,89	1	1,05	1,18

A forgácsoló sebességből számított fordulatszám értékének korlátot szabhat a gép teljesítménye, ezért ezt ellenőrizni kell, és ha szükséges akkor kellő mértékben csökkenteni kell a sebességet. A munkagép teljesítménye:

$$P_m = \frac{F_{cm} \cdot v_c}{1000 \cdot 60 \cdot \eta} \text{ [kW], innen} \qquad v_c \le \frac{60000 \cdot P_m \cdot \eta}{F_{cm}}$$

illetve $$n \le \frac{60 \cdot 10^6 \cdot P_m \cdot \eta}{F_{cm} \cdot D \cdot \pi}$$

5.5 A GÉPI FŐIDŐ MEGHATÁROZÁSA

A forgácsoló paraméterek és a munkadarab valamint a maró méreteinek ismeretében meghatározható minden műveletelemhez a forgácsoláshoz szükséges gépi főidő.

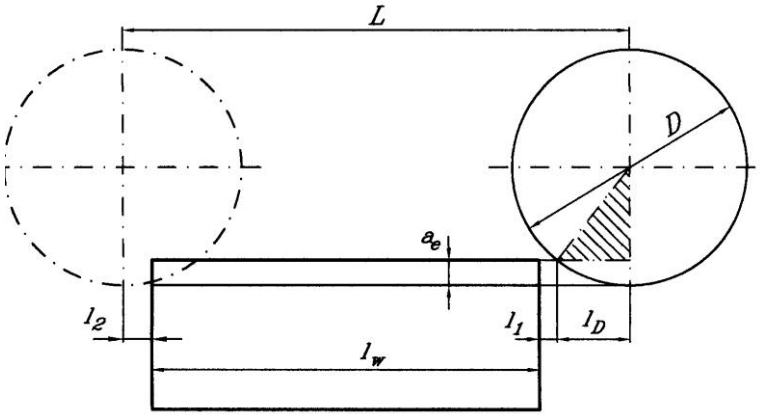
$$t_g = \frac{L}{v_f} \cdot i$$

Ahol: $v_f = n \cdot f = n \cdot f_z \cdot z$ az előtolási sebesség

i a fogások száma

L a szerszámút hossza.

A szerszámút meghatározása palástmarás esetén (5-20. ábra)



5-20. ábra. A szerszámút meghatározása palástmarás esetén

$$L = l_w + l_1 + l_2 + l_D \quad ,$$

ahol

l_w a megmunkálás hossza

$l_1 = l_2 \approx 2...3\ mm$ a szerszám rá- és túlfutás hossza

$l_D = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - a_e\right)^2} = \sqrt{a_e(D - a_e)}$ a maróátmérőből és a fogásmélységből adódó ráfutási hossz.

A szerszámút meghatározása homlokmarás esetén

Nagyoló megmunkálás esetén a szerszámút az 5-21. ábra szerint határozható meg:

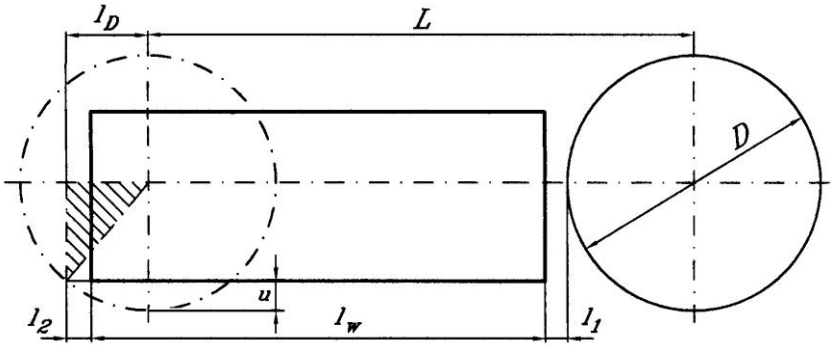
$$L = \frac{D}{2} + l_w + l_1 + l_2 - l_D$$

ahol $l_D = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - u\right)^2} = \sqrt{u(D - u)}$

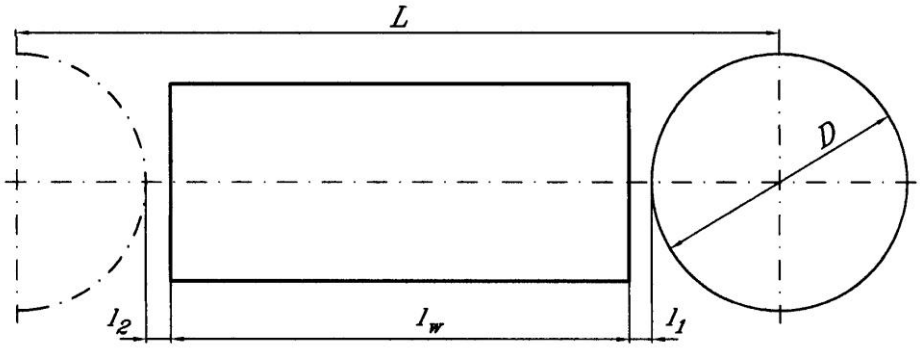
u a maró helyzetét meghatározó méret

Simító homlokmarás esetén a marónak teljes átmérőjével túl kell haladni a megmunkált felületen (5-22. ábra) és ebből adódóan a szerszámút:

$$L = D + l_w + l_1 + l_2$$



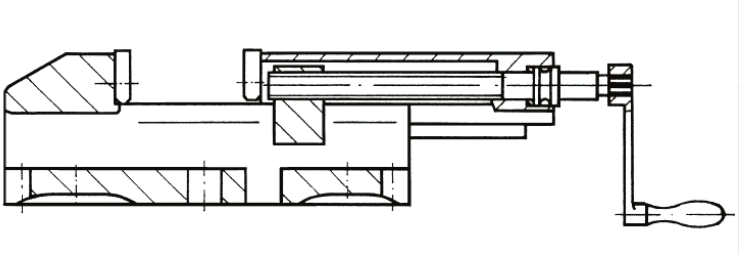
5-21. ábra. A szerszámút meghatározása nagyoló homlokmarás esetén



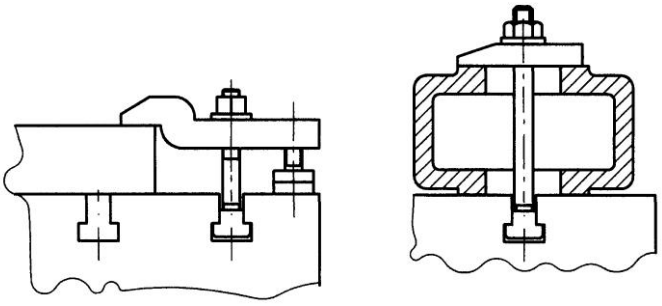
5-22. ábra. A szerszámút meghatározása simító homlokmarás esetén

5.6 A MUNKADARABOK BEFOGÁSA MARÓGÉPEKEN

A marógépek asztalainak munkafelülete rendszerint „T” hornyokkal van ellátva, amelyek segítségével a befogókészüléket, vagy közvetlenül a munkadarabot a gépasztalhoz rögzítjük. Marógépeken a munkadarab sokfélesége és a marási változatok sokféleségéből adódóan a befogás is nagyon sokféle lehet. A viszonylag egyszerű hasábszerű darabok befogása gépi satuval történik (5-23. ábra). A bonyolultabb darabok befogása gyakran speciális befogó készüléket igényel. A munkadarab leszorítása esetenként történhet szorítóvasak alkalmazásával közvetlenül a gépasztalra is (5-24. ábra). Olyan estekben, amikor egy munkadarab több pontján ugyanazt a megmunkálást kell elvégezni, osztókészüléket alkalmazunk. A marógépek rendszeres tartozéka az egyetemes osztófej, amely alkalmas mindenfajta osztási feladat elvégzésére.



5-23. ábra. Gépi satu metszeti rajza (Röhm)



5-24. ábra. Szorítóvasak alkalmazása

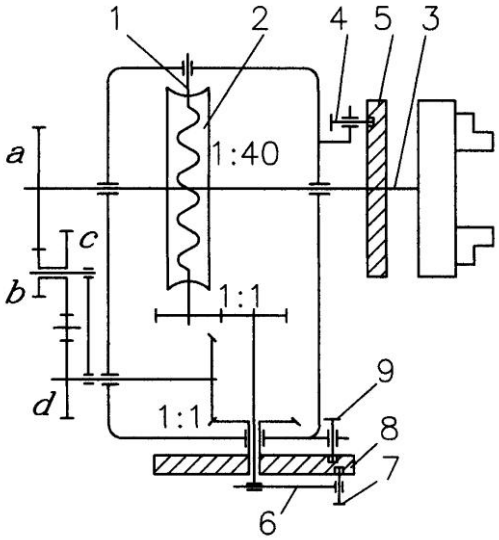
Egyetemes osztófej

Az egyetemes osztófej elvi vázlata a fő alkatrészek megnevezésével az 5-25. ábrán látható. A munkadarabot az osztófej főorsójába (3) fogjuk be, a rászerelt tokmányba, vagy csúcsok közé. Az osztófej főtengelyén egy csigakerék (2) helyezkedik el, amely egy egybekezdésű csigával (1) kapcsolódik. A csigapár áttétele az osztófej legfontosabb jellemzője, legtöbbször 40, estenként 60 ill. 80 is lehet. A csiga forgatását egy 1:1 áttételű kerékpár közvetítésével, a

hajtókar (6) elfordításával végezzük. 1:40 áttételű csigapár esetén a hajtókar 40 fordulata jelent egy főorsó fordulatot. Az osztás három módon történhet.

1. Közvetlen osztás

A főorsó első részére egy osztótárcsa (5) van erősítve (5-25. ábra), amellyel közvetlen osztást végezhetünk oly módon, hogy a rögzítő csapot (4) az osztótárcsa megfelelő furatába vagy bevágásába helyezzük. A közvetlen osztásra szolgáló osztótárcsán legtöbbször 24 furat vagy bevágás van, így ezzel az összes olyan osztás megvalósítható amely a 24-ben maradéktalanul megvan: 24, 12, 6, 3, 2. Vannak olyan osztótárcsák is amelyeken 36, 42, vagy 60 furat van.



5-25. ábra. Az egyetemes osztófej elvi vázlata.
1- csiga, 2- csigakerék, 3- főtengely, 4- rögzítőcsap a közvetlen osztáshoz, 5- osztótárcsa a közvetlen osztáshoz, 6- hajtókar, 7- osztócsap,
8- cserélhető osztótárcsa, 9- reteszelő csap az osztótárcsa rögzítésére.

2. Közvetett osztás

A főorsót a (6) hajtókar segítségével a csigaáttételen keresztül fordítjuk el (5-25. ábra). A hajtókar 40 fordulata eredményezi a főorsó egy teljes fordulatát. Egy adott osztás (z) megvalósításához azt kell meghatározni, hogy mekkora a hajtókar szükséges elfordulása. Az osztófejhez általában három, cserélhető osztótárcsa tartozik amelyek adott körökön a következő furatsorokat tartalmazzák:

I. tárcsán: 15, 16, 17, 18, 19, 20

II. tárcsán: 21, 23, 27, 29, 31, 33

III. tárcsán: 37, 39, 41, 43, 49

Azt kell meghatározni, hogy melyik lyukkörön hány lyukat kell befutnia a hajtókarnak. A hajtási lánc áttétele (módosítása) alapján felírható:

$$\frac{n_k}{n_o} = \frac{40}{1} \qquad \text{innen} \quad n_k = 40 \cdot n_o = \frac{40}{z}$$

ahol: n_k a hajtókar fordulatszáma

$n_o = \frac{1}{z}$ a főorsó egy osztásnyi elfordulása

z az osztások száma

Az eredményként kapott szám egész része azt fejezi ki, hogy a hajtókarral hány egész fordulatot kell megtenni, és ha a tört részt olyan alakra hozzuk, hogy a nevező egy lehetséges lyukkör furatszámának felel meg, akkor a számláló azt mutatja, hogy az egész fordulatok mellett, még hány lyukat kell az adott lyukkörön befutnia a hajtókarnak.

Példa: Az osztások száma z=25

$$n_k = \frac{40}{25} = 1 + \frac{15}{25} = 1 + \frac{3}{5} = 1 + \frac{12}{20}$$

Ez azt jelenti, hogy a hajtókarnak egy teljes kört- és a 20-as lyukkörön 12 lyukat kell befutnia.

3. Differenciál osztás

Abban az esetben, ha az osztások száma prímszám (csak önmagával osztható), az osztást nem tudjuk megoldani egyszerű közvetett osztással. Ilyenkor, egy, az osztáshoz közeli számot (z_1) választunk és ebből indulunk ki. Az ebből adódó hibát (különbséget) pedig az osztótárcsa kiegészítő mozgásával kompenzáljuk a reteszelő csap (5-25. ábra) kioldásával (9) és az *a, b, c, d* cserekerekek beiktatásával. A cserekerekek fogszámát úgy kell megválasztani, hogy éppen olyan mozgást eredményezzenek, amely a különbséget kompenzálja. Ezt a következő összefüggések alapján határozhatjuk meg:

$$n_k = \frac{40}{z_1} + n_d \qquad n_d = \frac{40}{z} - \frac{40}{z_1} = k \cdot n_o \qquad n_o = \frac{1}{z}$$

ahol: $k = \frac{n_d}{n_o} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$ a cserekerekek áttétele, ahol az *a, b, c, d* a kerekek fogszáma.

Ha behelyettesítjük az n_d és n_o fenti kifejezéseit

$$k = \frac{40}{z_1}(z_1 - z) = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

Az *a, b, c, d* értékeit úgy kell megválasztani, hogy azok a rendelkezésre álló cserekerekek fogszámainak feleljenek meg. A cserekerék készlet fogszámai rendszerint 24, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 36 40, 44, 48, 56, 60, 64, 72, 80, 88, 100, és 127.

A kiegészítő mozgás iránya megegyezik a hajtókar mozgásirányával amikor $z_1 < z$, illetve azzal ellentétes amikor $z_1 > z$ (ilyenkor *k* értéke negatív lesz). A forgásirányt közbenső kerék beiktatásával lehet megváltoztatni.

Példa: Az osztások száma z=53

Vegyük fel: $z_1=54$

$$n_k = \frac{40}{54} = \frac{20}{27}$$

Ez azt jelenti, hogy a hajtókarnak a 27-es lyukkörön 20 lyukat kell befutnia. A kiegészítő mozgást létrehozó kerekek módosítása

$$k = \frac{40}{z_1}(z_1 - z) = \frac{40}{54}(54 - 53) = \frac{40}{54} = \frac{4 \cdot 10}{3 \cdot 18} = \frac{64 \cdot 40}{48 \cdot 72} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

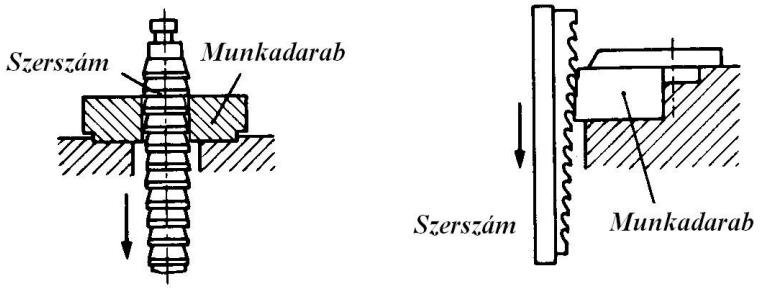
Ez azt jelenti, hogy a cserekerekek fogszáma: a=64, b=48, c=40 és d=72.

6. ÜREGELÉS

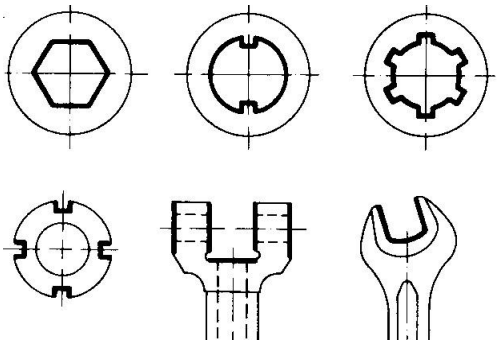
Az üregelés forgácsoló eljárás, amely során az anyagleválasztás olyan több élű szerszámmal történik melynek élei egymás mögött helyezkednek el oly módon, hogy az egymást követő élek egy forgácsvastagságnyira vannak kitolva. Az élek egymáshoz viszonyított kitolásának köszönhetően előtoló mozgás nem szükséges, ill. az előtolás a szerszámba van „beépítve". Üregelő szerszámokkal bonyolult munkadarab-felületek hozhatók létre általában egyszeri áthaladással a munkadarabon. Az egyéb forgácsoló eljárásokkal összehasonlítva, üregelésnél a megmunkálás ideje lényegesen rövidebb, a szerszámköltség pedig lényegesen nagyobb, így az üregelés elsősorban nagysorozat- és tömeggyártásban alkalmazható hatékonyan. A forgácsoló sebesség üregelésnél v_c=1 m/min és v_c=15 m/min közötti tartományban van. Nagysebességű üregelésnél elérheti a v_c=50 m/min értéket is [12].

6.1 AZ ÜREGELÉS VÁLTOZATAI

A megmunkálandó felület alakja (típusa) szerint az üregelés lehet sík-, hengerfelület-, csavarfelület-, profilozó- és alaküregelés.
A megmunkálandó felület helyzete szerint megkülönböztetünk külső- és belső üregelést (6-1. ábra). Külső üregelés elsősorban sík- és profilozó üregelés esetében alkalmazható. A profilozó üregelés összetett belső és külső feletek megmunkálására alkalmazható (6-2. ábra).



6-1. ábra. Belső és külső üregelés

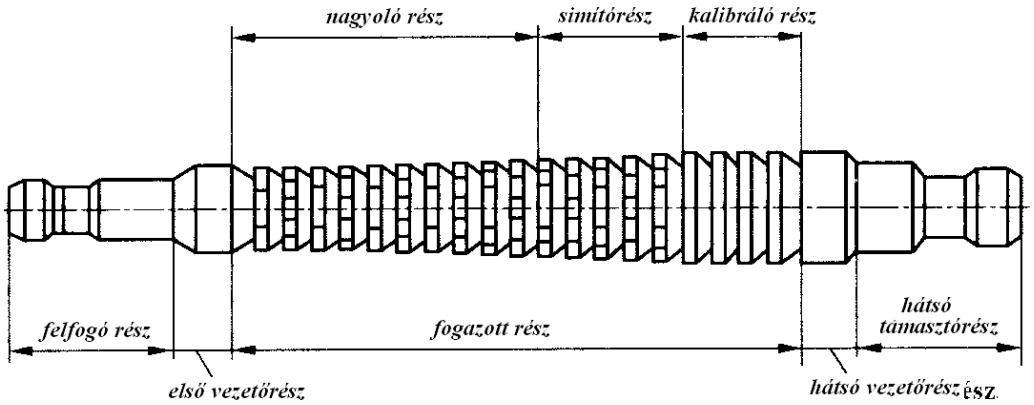


6-2. ábra. Belső és külső üregeléssel előállítható jellegzetes profil felületek

Sík-, hengerfelület- és profilozó üregelés esetén, a szerszám vagy a munkadarab egyenes vonalú forgácsoló mozgást végez. Ha az egyenes vonalú mozgáshoz, egy a szerszám vagy a munkadarab egyenletes forgó mozgása is járul, csavarfelület hozható létre. Ha a szerszám vagy a munkadarab forgó mozgása szabályozott, alaküregelés végezhető.

6.2 ÜREGELŐ SZERSZÁMOK

A belső üregelő szerszámok leggyakrabban egy darabból készülnek, anyaguk általában gyorsacél. Szürkeöntvény megmunkálásához alkalmaznak keményfém betétes üregelő szerszámokat is. Külső felületek üregelésénél, különösen bonyolult felületek esetében a szerszám fogazott része több elemből épülhet. Ezek gyártása, utánélezése könnyebb, esetenként lejtős állítóléc segítségével lehetőség van a pontos utánállításra is.
Egy belső üregelő szerszám (üregelő tüske) felépítése látható a 6-3. ábrán. A szerszám elemei: (1) felfogó rész, (2) első vezetőrész, (3) fogazott rész, (4) hátsó vezetőrész, (5) hátsó támasztórész (befogórész). A felfogó részt befogva húzható át a szerszám a munkadarabon. Az első vezetőrész feladata a munkadarab központosítása. A fogazott rész nagyoló-, simító- és kalibráló részekből áll. A kalibráló rész feladata, hogy az élezésből adódó méretváltozásokat kompenzálja.

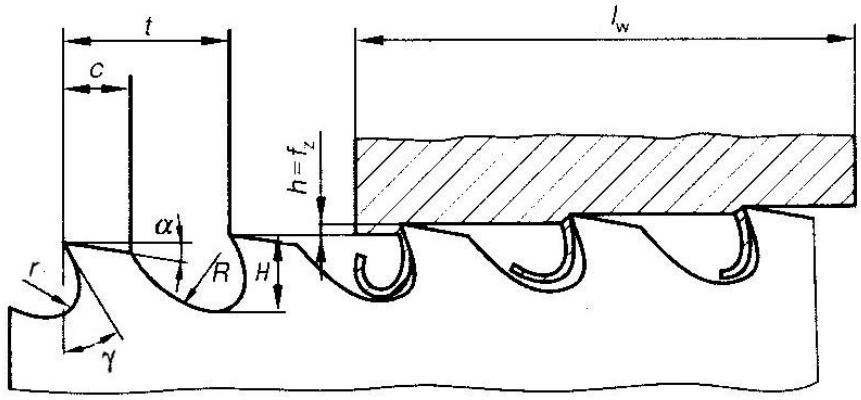


6-3. ábra. Üregelő szerszám részei

Az üregelő szerszám élgeometriáját és a forgácsleválasztás körülményeit a 6-4.ábra szemlélteti. A fogazott rész legfontosabb paramétere a t fogosztás. A fogosztást, ill. a forgácshorony forgácstér térfogatát úgy kell méretezni, hogy az befogadhassa a keletkező forgácsot. A forgácstér szükséges méreteit a h forgácsvastagság, az l_w megmunkálási hossz és az A_k forgácstér-kitöltési tényező alapján határozzuk meg. A fogosztás értékét empirikus képlettel határozhatjuk meg:

$$t = (2{,}5\ldots3)\cdot\sqrt{h\cdot l_w\cdot A_k}$$

Az A_k forgácstér-kitöltési tényező értéke függ a munkadarab anyagától. Profilozó üregelés esetén rideg, törékeny anyagoknál értéke 3 és 6 között-, szívós anyagoknál pedig 4 és 8 között vehető föl. A forgácsvastagság különböző értéke miatt a nagyoló fogak osztása nagyobb lesz. A kedvező forgácskialakítás érdekében az élekbe forgácstörő hornyok is készíthetők. A szerszám egyéb részleteinek kialakítása és a tervezési irányelvek az irodalomban megtalálhatók [9].



α – hátszög, γ – homlokszög, *t*- fogosztás,
$h=f_z$ – forgácsvastagság, *H* – forgácshorony mélysége,
c – hátfelület hossza, l_w – megmunkálás hossza,
R, r – a forgácshorony átmeneti sugarai

6-4.ábra. Az üregelő szerszám élgeometriája és a forgácsleválasztás körülményei

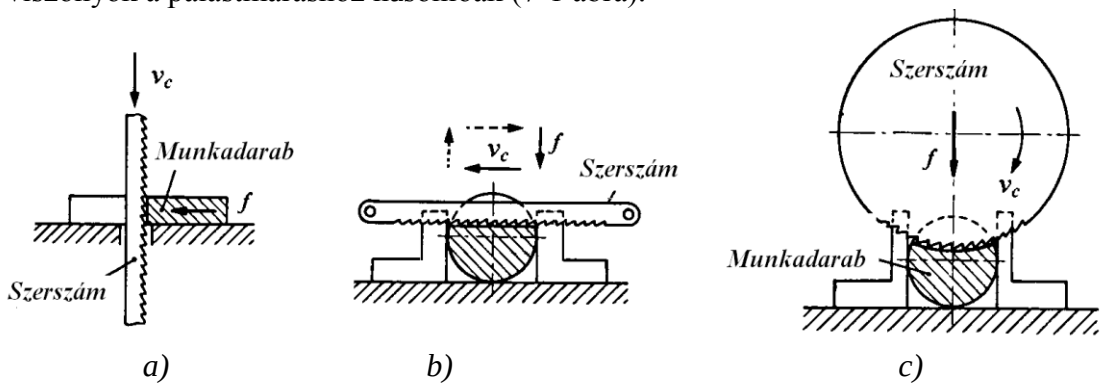
7. FŰRÉSZELÉS

A fűrészelés többélű szerszámmal történő forgácsolás, amelyet rúdanyag- vagy lemezek darabolásához alkalmazunk. A forgácsolási folyamat marásra vezethető vissza, ami legjobban a körfűrészelés esetén érhető nyomon, ahol valójában egy egészen keskeny szerszámmal palástmarást végzünk. A szalagfűrészelés és a fűrészlappal történő fűrészelés végtelenül nagy átmérőjű szerszámmal történő marásnak tekinthető. A forgó-, vagy egyenes vonalú főmozgást a szerszám végzi.

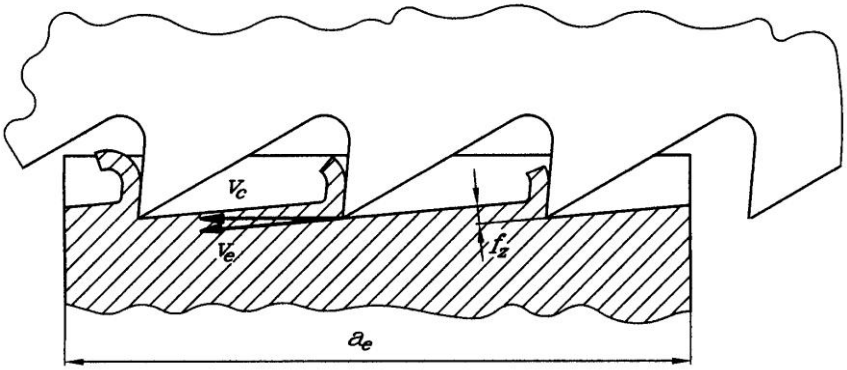
Szalagfűrészelés esetén a szerszám egy fogakkal ellátott végtelenített acél szalag, amely folyamatos mozgást végez. A munkadarabbal kapcsolatban lévő fogak (élek) egyenes vonalú mozgást végeznek (7-1., 7-2. ábra). A szokásos forgácsolósebesség értékei gyorsacél szalagfűrészek estén v_c = 6…45 m/min, míg a fogankénti előtolás f_z = 0,1…0,4 mm tartományban van.

Fűrészlappal történő fűrészelés estén a szerszám egy meghatározott hosszúságú fűrészlap amely alternáló egyenes vonalú mozgást végez. A forgácsolás nem folyamatos, mert forgácsolás csak a munkamenetben van (7-1. ábra).

Körfűrészelés esetén a szerszám kör alakú, fűrésztárcsa. A kapcsolódási- és forgácsleválasztási viszonyok a palástmaráshoz hasonlóak (7-1 ábra).



7-1 ábra. A fűrészelés változatai
a) szalagfűrésszel, b) fűrészlappal, c) körfűrésszel



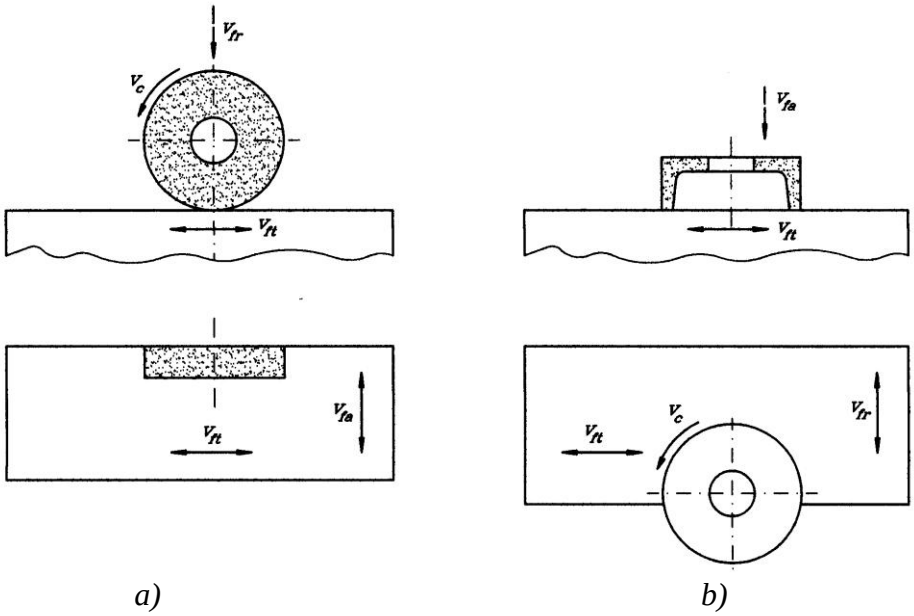
7-2. ábra. A forgácsleválasztás körülményei szalagfűrészelésnél

8. KÖSZÖRÜLÉS

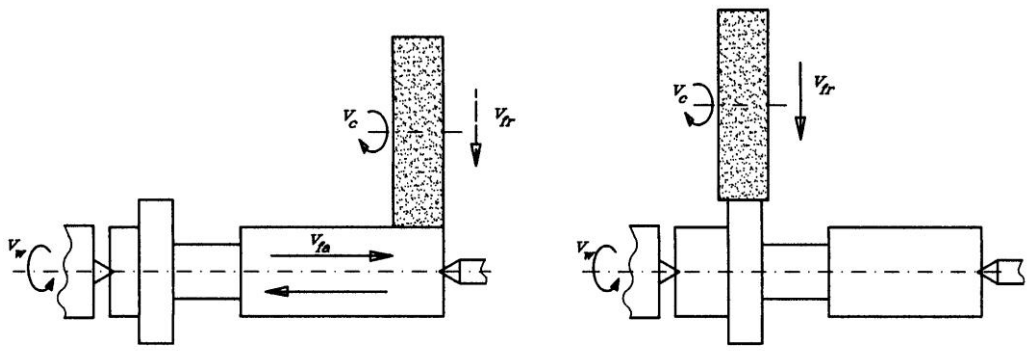
A köszörülés sokélű, a kötőanyagból és az abban véletlenszerűen elhelyezkedő köszörűszemcsékből álló szerszámmal végzett forgácsoló megmunkálás. Az élek alakja geometriailag határozatlan. Az élek nincsenek állandó kapcsolatban a munkadarabbal és a szemcse méretéhez viszonyítva csak jelentéktelen mértékben hatolnak be a munkadarab felületébe. Az abrazív megmunkálások közé tartozik. A gépiparban az alkatrészek méretpontosságának és felületminőségének növelésére, valamint hőkezelt, nagykeménységű munkadarabok megmunkálására alkalmazzuk.

8.1 A KÖSZÖRÜLÉS VÁLTOZATAI

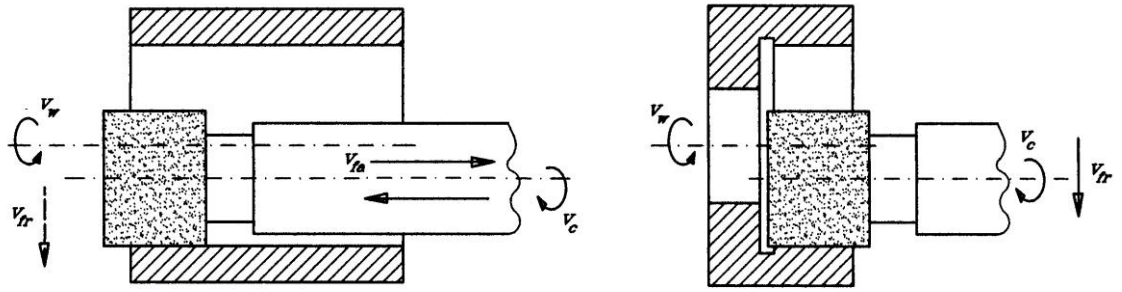
A megmunkálandó felület alakja, a munkadarab és a szerszám viszonylagos helyzete és a mozgásviszonyok szerint, számos köszörülési változat különböztethető meg.
Síkköszörülést síkfelületek megmunkálására alkalmazunk. A forgó főmozgást a szerszám (köszörűkorong) végzi, a mellékmozgásokat pedig a munkadarab. A megmunkálás a korong palástfelületével vagy a homlokfelületével történhet (8-1. ábra).
Palástköszörüléssel forgástest jellegű alkatrészek külső hengeres felületeit munkáljuk meg. A befogott munkadarab (leggyakrabban csúcsok között) palástköszörülése megvalósítható hosszelőtolással vagy beszúró eljárással (8-2. ábra). A csúcsok közötti hosszelőtolásos palástköszörülés esetén a köszörűkorong végzi a forgácsoló főmozgást és a fogásvétel irányú mellékmozgást, míg a munkadarab a szimmetriatengelye körüli forgó-, és a tengellyel párhuzamos irányú mellékmozgásokat végzi. Beszúró palástköszörülés esetén a munkadarab hosszirányú mellékmozgást nem végez, a korong radiális irányban hatol a munkadarab felületébe.
Furatköszörüléssel belső palástfelületek megmunkálását végezzük. Ez is történhet hosszelőtolással vagy beszúrással (8-3. ábra).



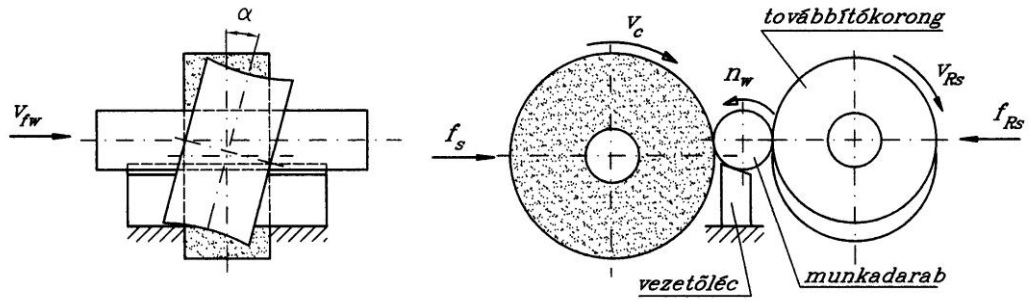
8-1. ábra. Síkköszörülés
a) a korong palástfelületével b) a korong homlokfelületével



8-2. ábra. Palástköszörülés
a) hosszelőtolásos palástköszörülés; b) beszúró palástköszörülés



8-3. ábra. Furatköszörülés
a) hosszelőtolásos furatköszörülés; b) beszúró furatköszörülés



8-4. ábra. Csúcsnélküli köszörülés

Csúcsnélküli külső palástköszörülés esetén a munkadarab nincs befogva, hanem a köszörűkorong és a továbbító korong közé helyezve szabadon fekszik egy vezetőlécen (8-4. ábra). A továbbító korong tengelye nem párhuzamos a munkadarab tengelyével és így a munkadarab tengelyirányú mozgását biztosítja. Ez az ún. áteresztő eljárás amelyet hosszú munkadaraboknál alkalmaznak. Rövid munkadarabok esetén itt is beszúró eljárást használunk.
További köszörülési változatok a **menetköszörülés**, amelyet menetek és csigák köszörülésére alkalmaznak, a **lefejtő köszörülés**, amelyet fogaskerekek köszörülésére alkalmaznak, és a **profilköszörülés**, amikor a korong profilja képeződik át a megmunkált felületre.

8.2 KÖSZÖRŰSZERSZÁMOK

A köszörűszerszám anyaga a köszörülő- és a kötőanyagból áll. A köszörűszemcsék anyagának több követelménynek is eleget kell tenni. Megfelelő keménységgel forgácsoló képességgel kell rendelkeznie ahhoz, hogy a munkadarab anyagából forgácsot választhasson le. A szemcsének szívósnak is kell lennie, hogy a forgácsolás folyamán jelentkező ütésszerű terheléseket is elviselje. Ezzel egyidejűleg a szemcsének olyannyira törékenynek kell lennie, hogy a szemcse tompulásából adódó forgácsolóerő növekedés hatására a szemcse széthasadjon és ezáltal új forgácsoló élek keletkezzenek. A felsorolt, mechanikai követelmények mellett, a köszörűszemcsének megfelelő ellenállást kell tanúsítani a hőhatásokkal- és vegyi hatásokkal szemben is.

8.2.1 A köszörűszemcse anyaga

A köszörűszemcse anyagok eredetük szerint feloszthatók természetes és mesterséges anyagokra. Természetes szemcseanyagokat, kivéve a természetes gyémántot, ma már nem alkalmaznak. Természetes szemcseanyagok a kvarc, gránit, természetes korund és a természetes gyémánt. A mesterséges (szintetikus) szemcseanyagok a korund, szilíciumkarbid, bórnitrid, bórkarbid és a mesterséges gyémánt.

Korund
A korund kristályos alumíniumoxid (Al_2O_3), kis mennyiségben vasoxidot, titánoxidot, szilíciumoxidot valamint különböző szennyező anyagokat tartalmaz. A szennyező anyagok mennyisége nagyban befolyásolja a mechanikai tulajdonságait és eszerint megkülönböztethető: (1) normál korund (barna), (2) félnemes korund és (3) nemes korund (fehér vagy rózsaszín). A szemcsék keménysége és ridegsége a tisztasággal növekszik. Hőállósága kiváló, ellenáll a savaknak és lúgoknak, inert a vasalapú fémekkel. Olcsósága miatt a leggyakrabban alkalmazott szemcseanyag. Szabványos jele az **A** és ezt megelőzheti egy szám amely a korund típusát jelöli (ISO IR 825 – 1966). Néhány járatos korund típus jelét mutatja az alábbi táblázat:

Jel	Korund típus
A	Normál korund, barna színű
31A	Félnemes korund, szürkés kék
42A	Nemes korund , fehér
53A	Nemes korund, vöröses barna
57A	Nemes korund, halvány rózsaszín
64A	Egykristályos alumíniumoxid és nemes korund keverék, rózsaszín

Szilíciumkarbid
A szilíciumkarbid (SiC) keményebb, élesebb és törékenyebb mint a korund. A tisztaságától függően a színe fekete vagy zöld lehet. A fekete színű kb. 98 % tisztaságú, ennek jele **C**, míg a zöld színű 99,5 % tisztaságú és ennek jele **11C**. A szennyező anyagok a keménységét jelentősen nem befolyásolják, viszont a fekete szilíciumkarbid hajlítószilárdsága nagyobb a zöldénél Jól bírja a hőmérséklet változást, savaknak, lúgoknak ellenáll. Elsősorban rideg, nagykeménységű anyagok, mint pl. öntöttvas, keményfém, üveg, kerámia, valamint alumínium és ötvözetei megmunkálására alkalmazzák.

Mesterséges gyémánt
Kémiai képlete: C. A gyémánt a legkeményebb természetes anyag. A mesterséges gyémánt előállítása óta (1955) felhasználása egyre bővül. Jó hővezető, elektromosan szigetel. Keménységét 600 – 700°C elveszíti, ezért hűteni kell. Vaslapú ötvözethez nem használható, mert 700°C-nál a vassal vaskarbiddá alakul át. Keményfémek, színesfémek, kő és műanyag megmunkálására használjuk.

Köbös bórnitrid (Boranzon, CBN)
Képlete B_3H, 1969-ben jelent meg. A gyémántéhoz közeli a keménysége, jelentős a hőállósága és a kémiai ellenálló képessége. Nehezen megmunkálható edzett acélok megmunkálására kiválóan alkalmas. A vízzel való hűtést kerülni kell.

A szemcsék mérete – szemcsefinomság
A szemcsefinomság a szemcse nagyságára jellemző szám, amely az egy collra eső szitalyukak számát jelenti amelyen a szemcse még keresztül esett, de a következő finomabb szitán már fennakadt a szeparáció folyamán.
A nagyobb számok a finomabb szemcsét még a kisebbek a durvább szemcséket jelentik. A gyakorlatban az alábbi szemcsenagyságú korongokat használjuk:

8 – 24	durva szemcséjű
30 – 60	közepes szemcséjű
70 – 180	finom szemcséjű
220 – 800	igen finom szemcséjű

A szemcsenagyság elsősorban a felületi érdességet befolyásolja.

8.2.2 Kötések, kötőanyagok

Feladatuk a köszörűszemcsék szilárd vázba foglalása. A köszörűszemcséknél alacsonyabb olvadáspontú kötő – ragasztóanyag a sajtolást követő égetésnél megolvad és a szemcsék között kötőhidak alakulnak ki.

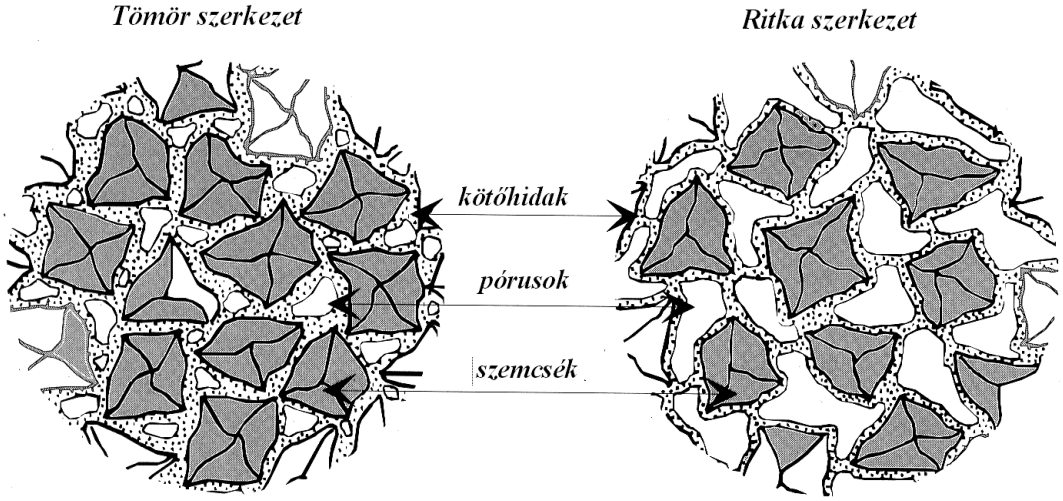
Szervetlen kötések
Keramikus kötés (V) kaolinból, agyagból, földpátból, kvarcból és vízüvegből áll. Jó a kémiai ellenállása, hőálló, rideg, ütésre érzékeny. Az alkalmazott korongok több, mint fele keramikus kötéssel készül.
Szilikát kötést (S) (vízüveg), nagy átmérőjű korongoknál (∅900 mm) alkalmaznak. Az ilyen korongokat nem égetik ki, hanem szárítják (550 – 570 ^{o}K).
Fémes kötést (M) bronz, acél vagy keményfémpor szinterezésével hoznak létre. A legnagyobb kötésbiztonságot biztosítják. Elsősorban gyémánt és bórnitrid szerszámoknál alkalmazzák. Kopásállóságuk nagy, nehezen megmunkálható anyagok esetében (pl. keményfém) alkalmazunk fémes kötéssel készült korongokat. Eltömődésre hajlamosak, hűtés nélküli alkalmazásuk nem ajánlott.

Szerves kötések
A gyantaszerű kötések (B) lehetnek természetes (sellack) vagy műgyanta alapúak. A műgyanták mindinkább kiszorítják természetes gyantákat. Leginkább poliészter- és fenolgyantát használnak. Az ilyen kötőanyaggal készült korongok igen szívósak és nagy szilárdságúak, így kiválóan alkalmazhatók durva munkákra és vágóköszörülésre. A forgácsoló sebesség elérheti a 120 m/s értéket.

A gumi kötés (R) természetes vagy szintetikus kaucsukból készül. Ezek hajlékonyabbak, mint a gyantakötés, de hőállóságuk alacsonyabb. Keskeny korongoknál alkalmazzák, pl. menetköszörülésnél vagy keskeny hornyok köszörülésénél.

A kötőanyag biztosítja a **korong keménységét**, ez alatt a kötőanyagnak azt a tulajdonságát értjük, amellyel az igyekszik a szemcsét a korongban megtartani az erőhatások ellenében. Ennek semmilyen kapcsolata nincs a szemcsekeménységgel és azzal nem tévesztheto össze. A kötés keménységének nagy jelentősége van a köszörülési folyamat szempontjából. Ugyanis minél keményebb a korong, a szemcse jelentős kopás esetén is a kötőanyagban marad. Lágy korong esetén már viszonylag kis kopás után a szemcse kiperdül a kötésből és így új, éles szemcse kerülhet felszínre. Általános szabály, hogy lágy anyagokhoz kemény korongot-, kemény anyagok és igényes köszörüléséhez pedig lágy korongot használunk. A korong keménységét szimbolikusan az ABC betűivel jelöljük: A, B, C, … Z sorrendben növekvő keménységet jelent.

Egy keramikus kötésű **korong szerkezetét** a szemcseanyag-, kötőanyag- és a pórusok képezik. Ezek térfogataránya is jelentősen befolyásolja a köszörűkorong jellemzőit és eszerint a korong lehet ritka vagy tömör (8-5. ábra). A korong keménység függ a kötőanyag mennyiségarányától ill. a „kötőhidak” vastagságától. A kötőanyag térfogatnak



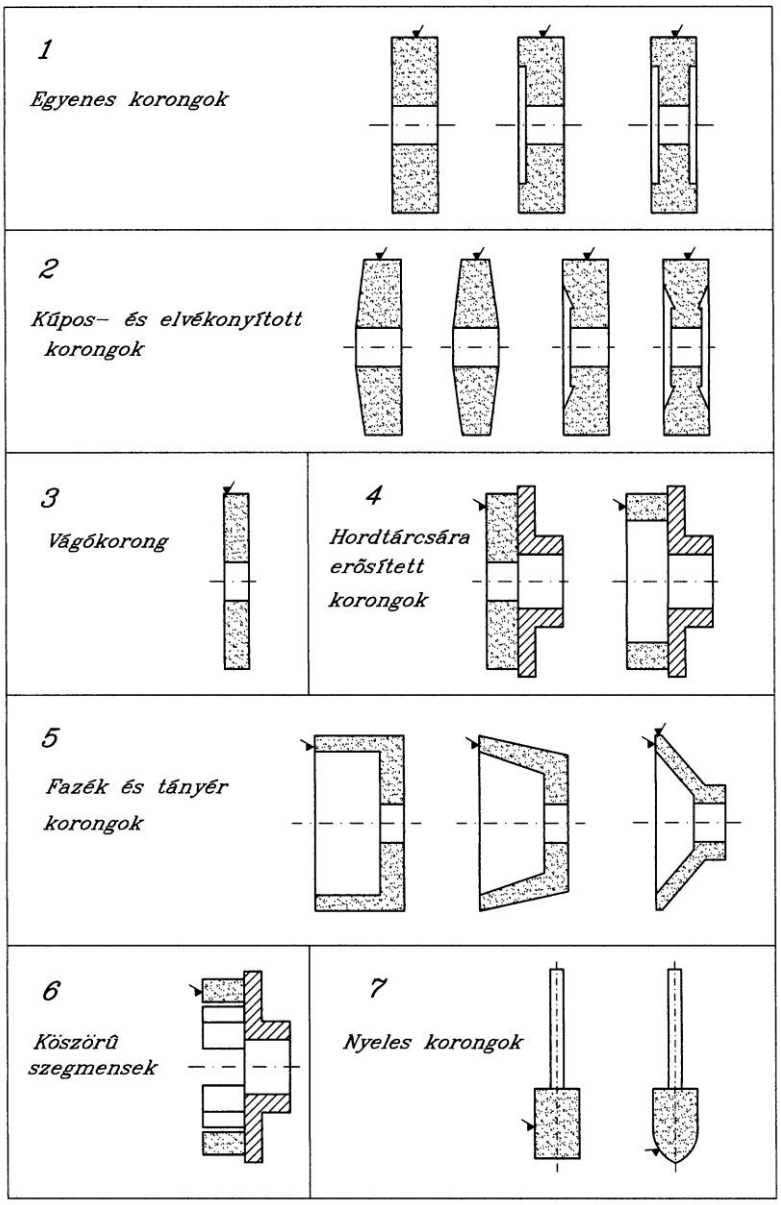
8-5. ábra. Korongok szerkezete (Winterthur)

a pórustérfogat rovására történő növelése a keménységet növeli és fordítva. A kötőanyagnak és pórusok térfogatának a szemcsetérfogat ellenében történő növelése a porozitást fokozza. A szerkezet jellemzője a szerkezetszám, ami a szemcsék egymástól való távolságát, a pórusok nagyságát fejezi ki:

1, 2	nagyon tömör
3,4	tömör
5, 6, 7, 8	közepes
9, 10 11	ritka
12, 13, 14	nagyon ritka szerkezet.

8.2.3 A köszörűkorongok alakja és felfogása

A leggyakrabban használt köszörűkorong típusok a 8-6. ábrán láthatók. A nagyobb átmérőjű korongok rendszerint furattal vannak ellátva, míg a kisméretűek nyeles kialakításúak.



8-6. ábra. Köszörűkorongok alakjai

A korongok jellemző méreteit nemzetközi szabványok írják elő, a fő méretek szabványos értékeit az alábbi felsorolás tartalmazza.

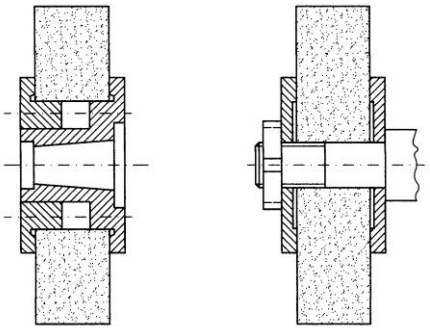
A korong átmérő szabványos értékei: 3; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 115; 125; 150; 180; 200; 225; 230; 250; 300; 350; 400; 450; 500; 600; 750; 800; 900; 1000; 1060 mm

A korongszélesség értékei: 0,5; 0,8; 1; 1,25; 1,60; 2, 2,5; 3,2; 4; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500 mm.

A furatátmérő értékei: 1,6; 2,5; 4; 6; 9,53; 10; 13; 16; 20; 22,23; 25; 32; 40; 50,80; 76,20; 127; 203,2; 304,8 mm.

A nyeles kivitelűeket tokmányba, a furatosokat nagypontosságú köszörűorsóra lehet felfogni (8-7. ábra). A nagy átmérőjű korongokat (D > 175 mm) felfogás előtt ki kell egyensúlyozni. A nyomatékot a korong homlokfelületén fellépő súrlódással lehet átvinni. A rideg szerszámanyag törése papír vagy filc alátéttel akadályozható meg.

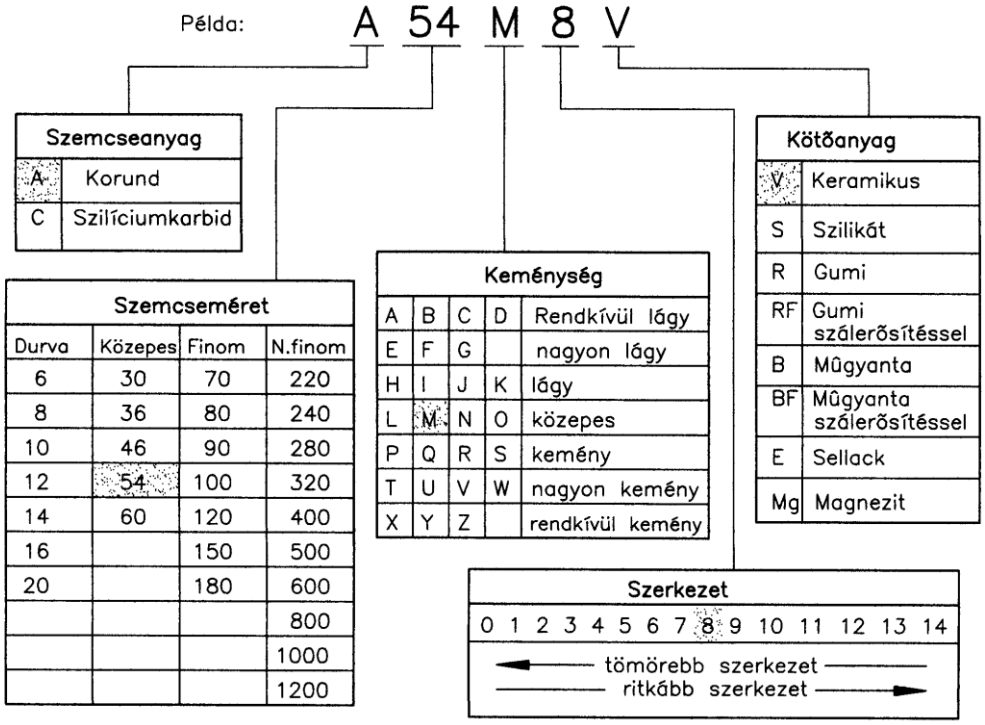
Köszörüléskor rendkívül nagy a balesetveszély, ezért a gépre szerelt köszörűkorongot minden esetben acélból készült védőburkolattal kell ellátni, amelyen csak a munkavégzéshez szükséges nyílás van. A nagy sebességgel forgó korongról az esetleg lepattanó részek, nagy veszélyt jelentenek a környezetre. A korong törésekor a szétrepülő részek halálos balesetet is okozhatnak, ha megfelelő védőburkolat ezt nem akadályozza meg.



8-7. ábra. A korongok felfogása

8.2.4 A köszörűkorongok minősége és jelölése

A köszörűkorongok jelölésrendszerét a ISO 525 nemzetközi szabvány írja elő. Egy korong jele tartalmazza a korong alakját, méreteit, a köszörűanyag jellemzőit és a korong legnagyobb megengedett kerületi sebességét. A köszörűanyag jellemzőinek jelölési rendjét egy példán keresztül a 8-8. ábra szemlélteti.



8-8. ábra. Korund és szilíciumkarbid szemcseanyagú köszörűanyagok jelölésrendje

A köszörűanyag kiválasztását a munkadarab anyaga, annak állapota és keménysége, valamint a köszörülési változat figyelembevételével kell elvégezni. Ez igen nagy körültekintést igénylő feladat, ezért új munkák tervezésénél jó, ha a korong gyártójával is konzultálunk. Irányadó javaslatok a köszörűanyag kiválasztásához a 8-1. és 8-2. táblázatban találhatók.

8-1. táblázat. Köszörűanyag kiválasztása külső palástköszörüléshez (Winterthur)

Munkadarab anyaga		Korongjellemzők			
		Nagyolás	Simítás		Nagypontosságú köszörülés
			D≤500 mm	D>500 mm	
Acél általában	edzetlen	57A46K6V	31A80L6V	31A54L6V	
	edzett	31A46J8V	57A80J7V	53A60J7V	
szerkezeti acél, lágy		31A54L6V	31A80L6V	53A60K5V	64A180J7V
edzett acél 62 HRc keménységig		53A46J7V	57A80J7V	53A60J7V	11C320F20V 42A240K4V
edzett acél 62 HRc felett (pl. HSS, szerszámacél)		31A80L5V 31A80L6V	31A80L5V 31A80L6V	31A80L5V 31A80L6V 64A60H8	11C320F20V 11C240F15V 11C500L3B
Rozsdamentes acél	edzetlen	31A54L6V	31A80L6V	31A60L6V	11C320F20V
	edzett	31A80L6V	53A80L13V 11C80F13V	53A60L13V 11C80F13V	11C320F20V 11C500L3B
Szürkeöntvény		11C60H5V	11C80H5V	11C80H6V	11C100K4V
Acélöntvény		53A46K6V	57A80J7V	53A60J7V	11C100K4V
Gömbgrafitos öntvény		64A60H8V	64A80H8V	64A60H8V	11C100K4V
Nem vasalapú anyagok (alumínium, réz, bronz..)		11C46H15V	11C60H15V	11C60H15V	
Műanyagok		11C46H18V	11C60H15V	11C60H15V	

8-2. táblázat. Köszörűanyag kiválasztása furatköszörüléshez (Winterthur)

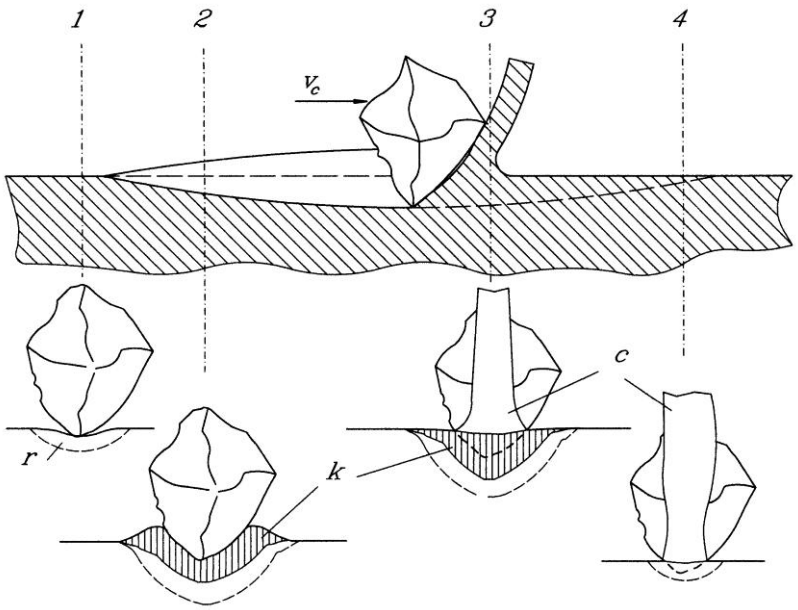
Munkadarab anyaga		Korongjellemzők		
		D≤20 mm	D=21-40	D>40 mm
Acél általában	edzetlen	57A80K5V	57A54K5V	57A54K5V
	edzett	53A120L15V	53A120L15V	53A80L15V
szerkezeti acél, lágy		57A80K5V	57A54K5V	57A54K5V
edzett acél 62 HRc keménységig		64A80H8V	53A120L15V	53A80L15V
edzett acél 62 HRc felett (pl. HSS, szerszámacél)		11C80G6V	11C120H18V	11C60H15V
Rozsdamentes acél	edzetlen	53A120L15V	53A120L15V	53A80L15V
	edzett	11C120H18V	11C120H18V	11C120H18V
Szürkeöntvény		64A80H8V	64A80H8V	64A60H8V
Acélöntvény		64A80H15V	64A80H15V	64A60H15V
Gömbgrafitos öntvény		57A54K5V	53A80L15V	53A46K6V
Nem vasalapú anyagok (alumínium, réz, bronz..)		11C80G6V	11C120H18V	11C60H15V
Műanyagok		11C80G6V	11C120H18V	11C60H15V

8.3 A FORGÁCSLEVÁLASZTÁS KÖRÜLMÉNYEI KÖSZÖRŰLÉSNÉL

A forgácsleválasztás folyamata valamelyest a palástmaráshoz hasonlítható, azonban az abrazív megmunkálás több szempontból különbözik egy szabályos éllel végzett forgácsleválasztástól. Ezek a különbségek elsősorban a szabálytalan élgeometria miatt jelentkeznek és a következőkben foglalhatók össze:

- az egyedi szemcsék szabálytalan alakúak és a korong kerülete mentén véletlenszerű az elhelyezkedésük.
- a szemcsék radiális helyzete is változó
- az általános homlokszög a szemcséken erősen negatív (-60°)
- a forgácsolósebesség nagyon magas, tipikus érték a 25 m/s (1500 m/min)
- a forgács keresztmetszete igen kicsi

A forgács vastagsága olyan kicsi, hogy ehhez viszonyítva a rugalmas alakváltozások nem hanyagolhatók el. A forgácsleválasztás szakaszait a 8-9. ábra szemlélteti. A viszonylag rugalmas kötőanyagban elhelyezkedő szemcsék a munkadarab felületével érintkezve kezdetben elcsúsznak azon és tiszta rugalmas deformációt okoznak (1). A darabba egyre mélyebben behatoló szemcse képlékeny deformációt hoz létre (2). A szemcse további behatolásával a szemcse oldalain létrejövő felgyűrődéssel egyidejűleg bekövetkezik a réteg lenyírása és kialakul a forgács (3). A szemcse kilépés előtti szakaszát már csak rugalmas alakváltozás és nyírás jellemzi (4), nincs képlékenyen deformált réteg. Annak ellenére, hogy van hasonlóság a határozott éllel történő forgácsolással, alapvetőek a különbségek is. Köszörülésnél, az él (szemcse) előtt az anyag oldalirányú folyása (felgyűrődése) is jelen van, ezért itt az alakváltozás térbeli (három tengelyű), szemben a határozott éllel történő forgácsleválasztással ahol kissé leegyszerűsítve, az anyag folyása síkbeli (kéttengelyes) [14], [37].



8-9. ábra. A forgácsleválasztás szakaszai köszörülésnél
r – rugalmas alakváltozási zóna; k – képlékeny alakváltozási zóna; c - forgács

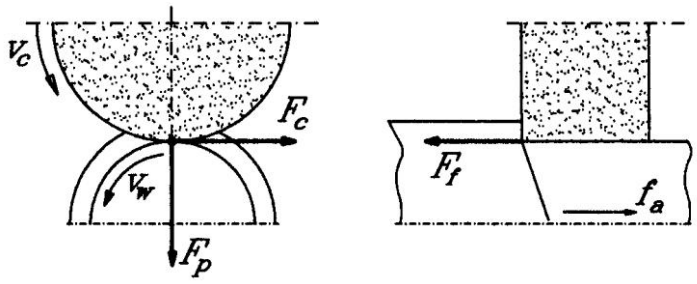
A forgácsolósebesség megegyezik a korong kerületi sebességével:

$$v_c = v_s = d_s \cdot \pi \cdot n_s \text{ (m/s)}$$

ahol: d_s korongátmérő
n_s korong fordulatszáma

8.4 A FORGÁCSÁCSOLÓERŐ MEGHATÁROZÁSA KÖSZÖRŰLÉSNÉL

Az eredő forgácsolóerőt köszörülésnél is a jellemző irányokban ható erőösszetevőkre bontjuk (8-10. ábra). Ezek a korongra érintő irányában ható főforgácsolóerő (F_c), a korongérintőre merőleges irányú passzíverő (F_p) és a hosszelőtolás irányába ható előtolás irányú erő (F_f).

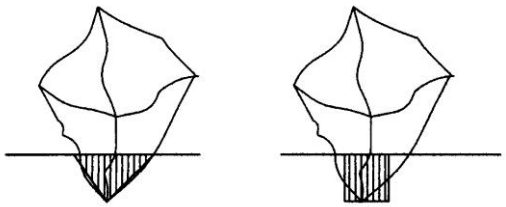


8-10. ábra. A forgácsolóerők hosszelőtolásos palástköszörülés esetén

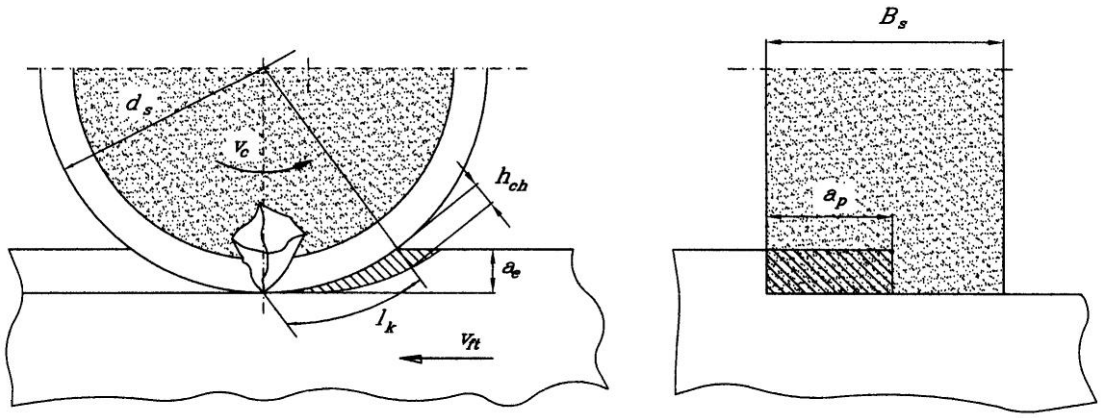
A köszörülés sajátossága, hogy a korongra merőleges passzív erő értéke nagyobb, mint a főforgácsolóerő.

$$F_p = (1{,}5 \ldots 3) \cdot F_c$$

Ez a megmunkálás pontosságát befolyásolja, így mindenképpen figyelembe kell venni.
A forgácsolóerő meghatározásánál problémát jelent, hogy az élek szabálytalan alakjából adódóan a forgács keresztmetszetét csak megközelítően tudjuk meghatározni, továbbá a fogásban lévő élek (szemcsék) számát sem lehet pontosan meghatározni. Emellett a forgácsvastagság igen kicsi (h<<0,05 mm) és ez már a Kinzle féle fajlagos forgácsoló erő módosítását igényli.
Az egy szemcse által leválasztott forgácskeresztmetszet alakja egy háromszöggel vagy egy téglalappal helyettesíthető (8-11. ábra). Az egyidejűleg forgácsoló szemcsék száma függ az l_k kapcsolódási hossztól, a szemcseűrűségtől és az a_p axiális fogásmélység értékétől (8-12. ábra).



8-11. ábra. A forgácskeresztmetszet közelítő alakja



8-12. ábra. A forgácsleválasztás jellemző paraméterei

A szemcseszámok statisztikai módszerekkel határozhatók meg [20] és így elméletileg a forgácsolóerő is meghatározható.
A gyakorlatban viszont, a szemcsék által leválasztott forgácskeresztmetszet összegének ekvivalens értékét az anyagleválasztási sebesség alapján határozhatjuk meg egyszerűbben.

Az anyagleválasztási sebesség egyfelől meghatározható, mint a fő előtolási sebesség és a rá merőleges anyagréteg keresztmetszetének szorzata:

$$Q_w = A_w \cdot v_f \quad [\mathrm{mm}^3/\mathrm{min}],$$

ahol: A_w a leválasztott anyagréteg keresztmetszete az előtolás irányára merőleges síkban.
v_f az előtolási sebesség

Síkköszörülés esetére $A_w = a_e \cdot a_p$; $v_f = v_{ft}$

Az így meghatározott anyagleválasztási sebesség a beállítási paraméterek (a_e, a_p, v_{ft}) függvénye, ezért beállítási anyagleválasztási sebességnek is nevezhetjük (Q_{wp}). Másfelől az anyagleválasztási sebesség definiálható úgy is mint a forgácsoló sebesség (v_c) és a szemcsék által leválasztott forgácskeresztmetszet szorzata (A_{ef}). Ha Kurrein javaslata szerint a forgácskeresztmetszetet a korong szélessége mentén egy keskeny, h_{eq} vastagságú szalagként tételezzük föl, akkor az ún. belső anyagleválasztási sebesség a következő képlettel írható föl:

$$Q_{wi} = A_{ef} \cdot v_c = h_{eq} \cdot a_p \cdot v_c$$

A két módon meghatározott anyagmennyiség azonos: $Q_w = Q_{wp} = Q_{wi}$, illetve

$$Q_w = a_e \cdot a_p \cdot v_{ft} = h_{eq} \cdot a_p \cdot v_c$$

A fenti összefüggésből az ekvivalens (egyenértékű) forgácsvastagság meghatározható:

$$h_{eq} = \frac{Q_w}{a_p \cdot v_c} = \frac{v_{ft}}{v_c} \cdot a_e$$

Az ekvivalens forgácsvastagság egy képzelt mennyiség, a valóságban a forgácsvastagság ennél nagyobb, ui. a korong szélessége mentén nem összefüggő forgács keletkezik, hanem csak a szemcsék választják le azt.

A forgácsolóerő megközelítően a következő összefüggéssel határozható meg:

$$F_c = h_{eq} \cdot a_p \cdot k_{cgrind} = \frac{v_{ft}}{v_c} \cdot a_e \cdot a_p \cdot k_{cgrind}$$

Ahol k_{cgrind} a fajlagos forgácsolóerő középértéke (8-3. táblázat).

A különböző köszörülési változatok esetére a számításhoz használatos paraméterek áttekintését és értelmezését a 8-4. táblázat tartalmazza.
A forgácsoláshoz szükséges teljesítmény a forgácsolóerővel arányos:

$$P_c = F_c \cdot v_c$$

A szükséges motorteljesítményt a munkagép hatásfokának figyelembevételével számíthatjuk ki:

$$P_m = \frac{P_c}{\eta}$$

8-3. táblázat. A fajlagos forgácsolóerő középértéke különböző anyagok köszörülésénél (korongok szemcsefinomsága: 60…120; v_c=30…45 m/sec) (A. H. Fritz és G. Schulze nyomán)

A munkadarab anyag anyaga	k_{cgrind} [kN/mm^2]		A munkadarab anyag anyaga	k_{cgrind} [kN/mm^2]
EN			EN	
S235	30,241		15CrMo5	39,16
E295, C35E	34,03		55NiCrMoV6 (lágy)	29,75
E360	38,05		55NiCrMoV6 (nemesítve)	32,83
C45E, C45	37,96		GG25	18,98
C60	36,42		GS-45	26,33
16MnCr5	35,91		GS-52	29,24
19CrNi8	38,65		Bronzöntvény	30,44
42CrMo4	42,75		Sárgaréz	13,33
34CrMo4	38,30		Alumíniumöntvény	10,94
50CrMo4	37,96		Magnéziumöntvény	4,79

8.5 A KÖSZÖRŰSZERSZÁMOK ELHASZNÁLÓDÁSA ÉS SZABÁLYOZÁSA

A köszörűkorongok munkafelületén a munkadarabbal való kölcsönhatás eredményeként a szemcsék- valamint a kötőanyag kopása jelentkezik. A szemcseanyag kopásánál a következő kopásfajták különböztethetők meg:

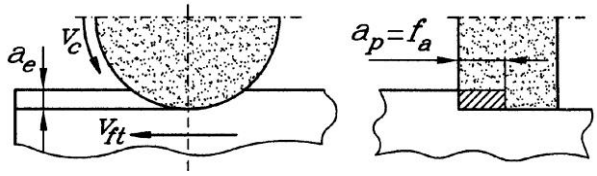
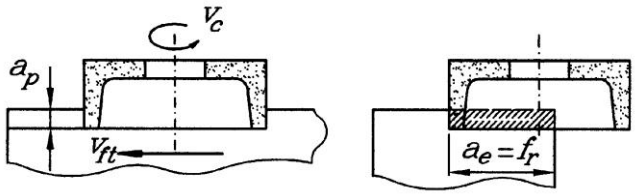
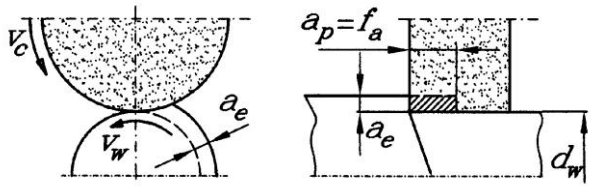
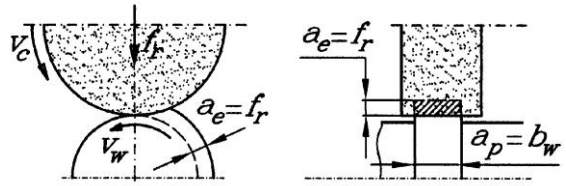
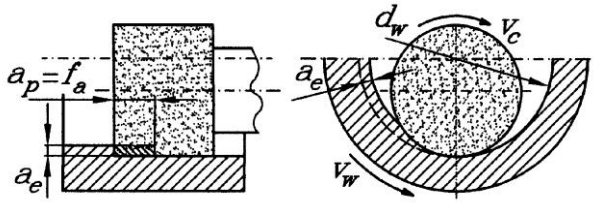
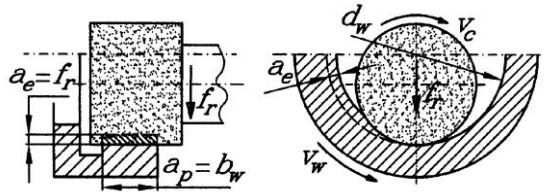
A nyomószilárdság csökkenéséből adódó kopás. Korund szemcséknél jelentkezik, mert ezek olvadáspontja 2050 ºC, de nyomószilárdságuk már 1200 ºC-on a szobahőmérsékleten mért szilárdság egyhatodára esik vissza. Ennek következtében a szemcsék élei lekerekednek, a súrlódóerő jelentősen növekszik és a forgácsolási zónában még erőteljesebb lesz a felmelegedés. A folyamat instabillá válhat.

Abrazív kopás. A szemcse és a munkadarab közötti súrlódás következtében a szemcséről mechanikus úton bizonyos anyagmennyiség lekopik, ami a szemcsék éleinek lekerekedését eredményezi.

Szemcserepedés és kitöredezés. A szemcsék hőigénybevétele-, majd a gyors lehűlése folytán, valamint a mechanikai erőhatások miatt, a szemcsék megrepedeznek, kis részek töre-

deznek ki és ezáltal új, éles élek keletkeznek. Ez a folyamat kedvező, mert a lekopott korong-térfogat nem jelentős és új élek keletkeznek. Ezt önéleződésnek nevezzük.

8-4. táblázat. A forgácsolóerő számításánál alkalmazott paraméterek áttekintése.

Síkköszörülés a korong palástfelületével 	$Q_w = A_w \cdot v_{ft} = a_e \cdot f_a \cdot v_{ft}$ $h_{eq} = \frac{Q_w}{a_p \cdot v_c} = \frac{Q_w}{f_a \cdot v_c} = \frac{v_{ft}}{v_c} \cdot a_e$ $F_c = \frac{v_{ft}}{v_c} \cdot a_e \cdot f_a \cdot k_{cgrind}$
Síkköszörülés a korong homlokfelületével 	$Q_w = A_w \cdot v_{ft} = a_p \cdot f_r \cdot v_{ft}$ $h_{eq} = \frac{Q_w}{a_p \cdot v_c} = \frac{Q_w}{a_p \cdot v_c} = \frac{v_{ft}}{v_c} \cdot f_r$ $F_c = \frac{v_{ft}}{v_c} \cdot a_p \cdot f_r \cdot k_{cgrind}$
Palástköszörülés hosszelőtolással 	$Q_w = A_w \cdot v_{ft} = a_e \cdot f_a \cdot v_w$ $h_{eq} = \frac{Q_w}{a_p \cdot v_c} = \frac{Q_w}{f_a \cdot v_c} = \frac{v_w}{v_c} \cdot a_e$ $F_c = \frac{v_w}{v_c} \cdot a_e \cdot f_a \cdot k_{cgrind}$
Palástköszörülés beszúrással 	$Q_w = A_w \cdot v_{ft} = f_r \cdot b_w \cdot v_w$ $h_{eq} = \frac{Q_w}{a_p \cdot v_c} = \frac{Q_w}{b_w \cdot v_c} = \frac{v_w}{v_c} \cdot f_r$ $F_c = \frac{v_w}{v_c} \cdot b_w \cdot f_r \cdot k_{cgrind}$
Furatköszörülés hosszelőtolással 	$Q_w = A_w \cdot v_{ft} = a_e \cdot f_a \cdot v_w$ $h_{eq} = \frac{Q_w}{a_p \cdot v_c} = \frac{Q_w}{f_a \cdot v_c} = \frac{v_w}{v_c} \cdot a_e$ $F_c = \frac{v_w}{v_c} \cdot a_e \cdot f_a \cdot k_{cgrind}$
Furatköszörülés beszúrással 	$Q_w = A_w \cdot v_{ft} = f_r \cdot b_w \cdot v_w$ $h_{eq} = \frac{Q_w}{a_p \cdot v_c} = \frac{Q_w}{b_w \cdot v_c} = \frac{v_w}{v_c} \cdot f_r$ $F_c = \frac{v_w}{v_c} \cdot b_w \cdot f_r \cdot k_{cgrind}$
$v_w = d_w \pi \cdot n_w$	

Egész szemcsék kitörése. Ennél a kopástípusnál egész szemcsék törnek ki a kötőanyagból. A kötőanyag megtartóereje nem elegendő, a korong túlságosan puha. Jelentős a korong kopástérfogata. Ennek ellenére a korong, a forgácsoló képességét megtartja.
A korong kopásának számszerű értéke a kopástérfogattal (V_s) vagy a korong sugarának változásával (Δr_s) fejezhető ki. A kopástérfogat közvetlen összefüggésben áll a *G* köszörülési viszonyszámmal („grinding ratio”):

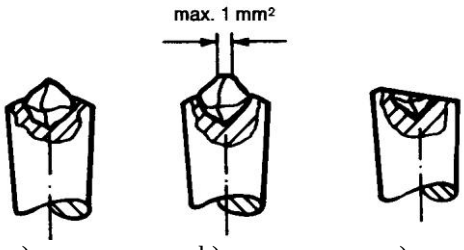
$$G = \frac{V_w}{V_s}$$

ahol: V_w a munkadarabról leköszörült anyagtérfogat
V_s a korongról lekopott térfogat

Bizonyos idő után (szerszáméltartam), a korong elveszíti forgácsolóképességét vagy más kritériumnak nem felel meg (felületminőség, túlzott rezgés, alakhiba stb.) A kopott korongot általában nem cserélik, hanem a megmunkáló gépen felújítással, szabályozással állítják helyre a forgácsolóképességét. A szabályozás lényege az, hogy a korong felületéről eltávolítják a megkopott réteget és így új, ép szemcsék kerülnek a felszínre.

A köszörűgépen használatos szabályozó szerszámok mozgásviszonyukat tekintve felosztathatók álló- és mozgó szabályozó szerszámokra.
Az álló szabályozó szerszámok lehetnek: (1) egyszemcsés gyémánt ; (2); többszemcsés gyémánt szabályozó, (3) szabályozórúd.
A mozgó szabályozószerszámok lehetnek: (1) gyémánt profilgörgő, (2) gyémánt formázó görgő (tárcsa); (3) profilos morzsológörgők.

<u>Az egyszemcsés gyémánt szabályozót</u> egy acél tartóba befoglalt, legtöbbször oktaéder alakú gyémánt szemcse képezi. Ennek több csúcsa is kihasználható, ha a használatban lévő csúcs kopása után a szemcsét újra befoglalják egy új tartóba, amelyből majd egy ép csúcs áll ki. (8-13. ábra).



a) b) c)

8-13. ábra. Egyszemcsés gyémánt szabályozó (Riegger)
a) új állapot, b) kopott szemcse, amely még átfoglalásra alkalmas c) túlkopott szemcse,

A korong szabályozási folyamata esztergálásnak felel meg (8-14. ábra). A korong szabályozott felületének érdességét, és egyben szabályozás sikerét a fogásmélység (a_{ed}), a szerszám működő szélessége (a_{pd}) és az axiális előtolás (f_{ad}) mértéke befolyásolja. A szabályozási folyamat fontos jellemzője az átfedési szám amely a működő szerszámszélesség és az előtolás függvénye:

$$U_d = \frac{a_{pd}}{f_{ad}}$$

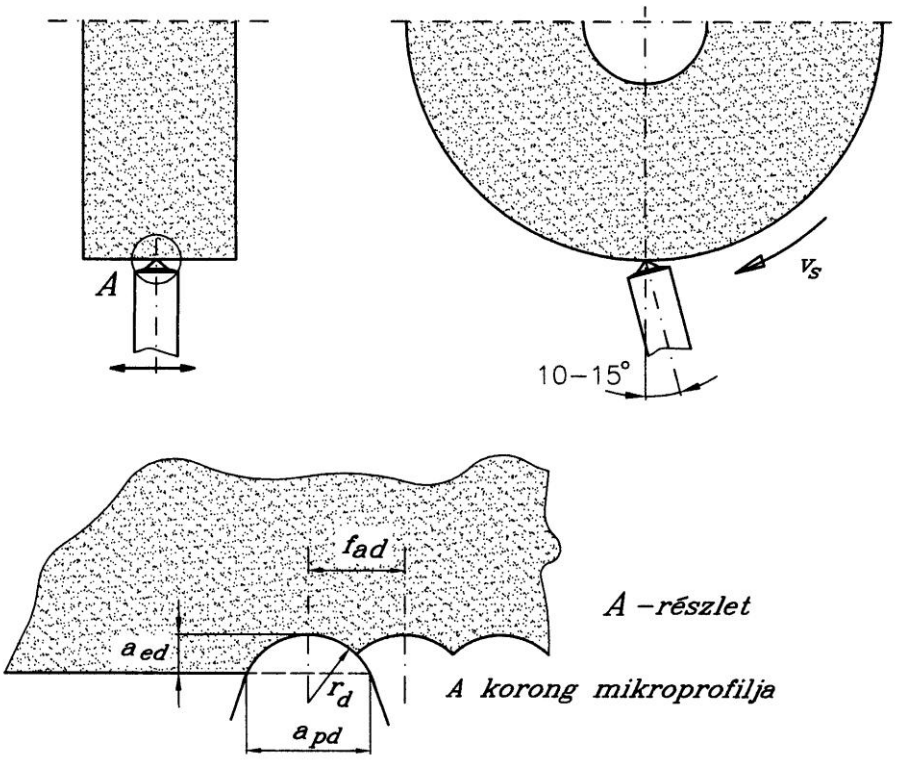
ahol: a_{pd} [mm] a szerszám működő szélessége

f_{ad} [mm/ford] a korong egy fordulatára eső előtolás

Mivel a korong egy fordulatára eső előtolás köszörűgépeken külön paraméterként nem szerepel, a gyakorlatban célszerűbb az átfedés számítását a következő képlettel végezni:

$$U_d = \frac{a_{pd} \cdot n_s}{v_{fad}} \text{ illetve innen } \quad v_{fad} = \frac{a_{pd} \cdot n_s}{U_d}$$

ahol: v_{fad} [mm/min] az axiális előtolási sebesség
n_s [ford/min] a korong fordulatszáma



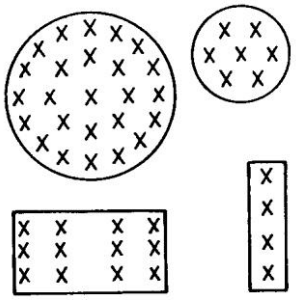
8-14. ábra. Szabályozás egyszemcsés gyémánttal

Az átfedési szám növelésével a korong és egyben a megmunkált felület érdessége is csökken. Messer szerint az átfedési szám legkedvezőbb értékét a következő empirikus képlet alkalmazásával kaphatjuk:

$$U_d = \frac{szemcsemer\ et}{15}$$

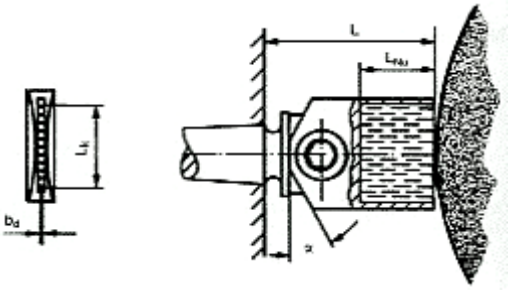
Más szerzők az átfedési számot a megmunkálandó felület érdességétől teszik függővé. Egyszemcsés gyémántszabályozást rendszerint sima korongok esetében alkalmazunk egyedi- és kissorozatgyártásban. A viszonylag kis érintkező felületből adódóan előnyösen alkalmazható furatköszörülésnél, kisméretű- és rezgésre hajlamos korongok esetében. A szabályozás történhet a korong normál- vagy csökkentett fordulatszámán. A fogásmélység 0,01…0,03 mm tartományban szokásos, és legalább 3-4 fogásvételt kell venni. A szabályozási folyamat alatt minden esetben kiadós hűtést kell alkalmazni. Az egyszemcsés gyémántszabályozás alkalmazása nem javasolt nagysorozat- és tömeggyártásban, igénytelen durva munkákhoz valamint kézi szabályozáshoz.

A többszemcsés gyémántszabályozó szerszámok esetében a gyémántszemcséket különböző minták szerint lehet elhelyezni a fémkötésben (8-15. ábra). Mivel az ilyen szemcseelrendezésű szabályozószerszám több ponton érintkezik a korong munkafelületével, nagyobb a szabályozási teljesítmény és fokozott pontossági igények kielégítésére is alkalmasak. A gyémántszemcsék elhelyezkedése többrétegű is lehet, ilyenkor az egyes szemcsék elhasználódása után a mélyebben fekvő szemcsék lépnek működésbe (8-16. ábra). Általában palástköszörüléshez és csúcsnélküli köszörüléshez használatos, nagyméretű korongok szabályozására alkalmasak. Nem javasolt a használatuk furatköszörülésnél.



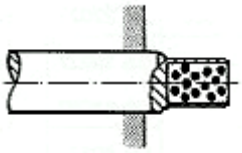
8-15. ábra. Szemcseelrendezési minták többszemcsés szabályozószerszámoknál

A szabályozó lap az egyszemcsés- és a többszemcsés gyémántszabályozó szintézisének tekinthető (8-16. ábra). A gyémánt szemcsék egymásfeletti elrendezése egy keskeny élnek felel meg. Az alkalmazása, nagypontosságú külső palást- és csúcsnélküli köszörülésnél javasolt, egyedi és nagysorozatgyártásban. Nem javasolt furatköszörülésnél és durva munkáknál.



8-16. ábra. Gyémánt szabályozólap (Riegger)

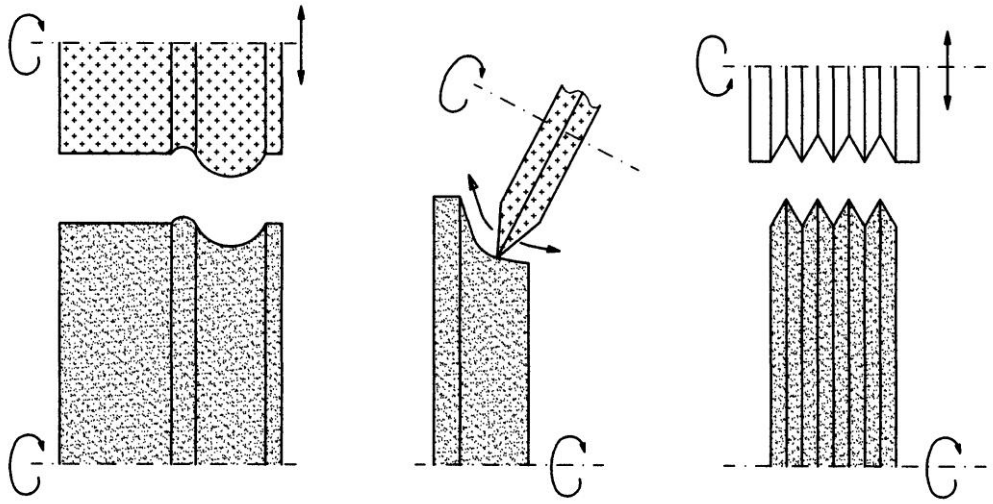
Szabályozórúd esetében a gyémántszemcsék a kötőanyagban, véletlenszerűen helyezkednek el egy fémcsőben. Csak egyszerű munkafelületeknél javasolt az alkalmazása (8-17. ábra).



8-17. ábra. Sokszemcsés gyémánt szabályozórúd

Gyémánt profilozó görgőt alakos munkafelületű korongok szabályozására használnak (8-18. ábra). Ezek a szabályozószerszámok igen drágák, ezért csak tömeggyártásban használhatók gazdaságosan. A gyémántszemcsék egy alakos acélgörgő felületén helyezkednek el, fém vagy galvanikus kötésben. A szabályozógörgőt rendszerint külön meghajtó rendszer forgatja,

ehhez párosul a görgő kis értékű sugárirányú előtolása, melynek során, a görgő felületén elhelyezkedő sok gyémántszemcse létrehozza az előírt korongprofilt.



a) *b)* *c)*

8-18. ábra. Mozgó szabályozó szerszámok
a) gyémánt profilgörgő, b) gyémánt formázó tárcsa, c) profilos morzsoló

A gyémánt formázó görgő a korong profilját a görgő- és a szabályozó berendezés CNC vezérelt mozgásrendszere által hozza létre (8-18. ábra). Ez természetesen időigényesebb, mint a profilozó görgővel történő szabályozás, de egyedi és kissorozat gyártásban is alkalmazható, természetesen csak CNC köszörűgépeken.

A morzsológörgő keményfémből vagy nagykeménységű acélból készül (8-18. ábra). Itt a „kemény a kemény ellen” elv helyett a „szívós a kemény ellen” elv érvényesül. A felülete lehet sima hengeres vagy tetszőleges profilúra köszörült. A morzsológörgő meghajtását rendszerint a szabályozó készülék végzi ($n = 60…150\ min^{-1}$) és viszonylag nagy nyomással (kb. $60…100\ N/mm^2$) a koronghoz nyomva súrlódás által forgatja a korongot is, amely ilyenkor szabadon forog. A nyomás hatására a görgő a korong felületét morzsolja, elsősorban egész szemcséket kitörve, eltávolítja a megkopott réteget. A meghajtás másik módja, hogy a korongot forgatják miközben a morzsológörgő szabadon forog. A korong egy fordulatára eső sugárirányú előtolás 0,003…0,03 mm között lehet. Síkköszörülésnél és külső palástköszörülésnél alkalmazható sorozatgyártás esetén.

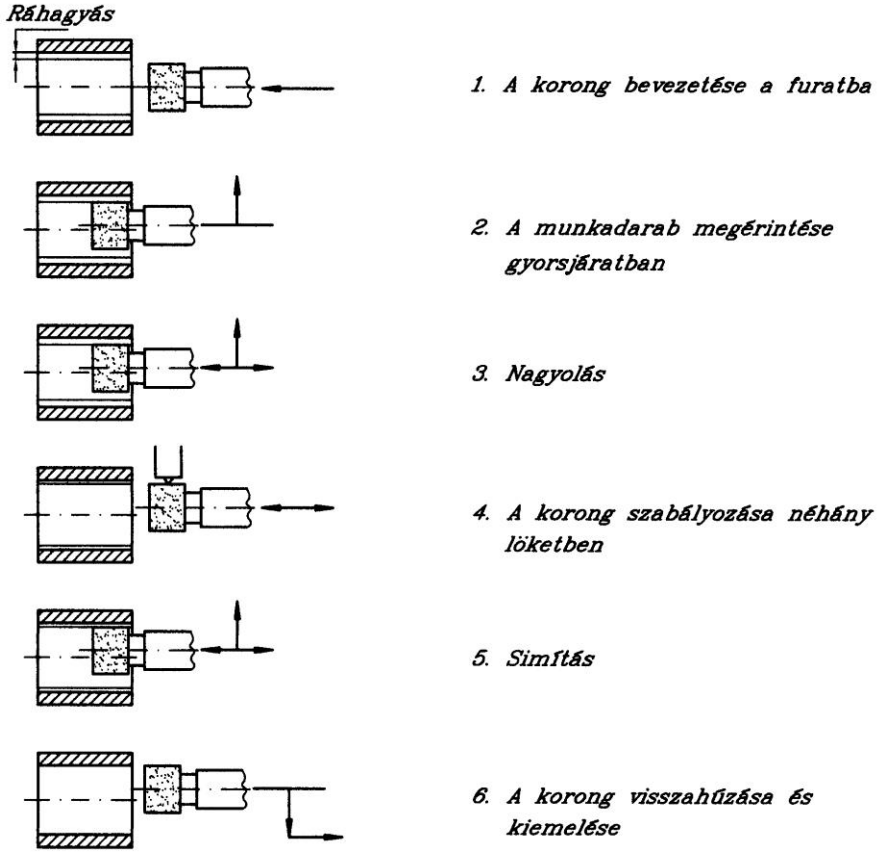
A korong szabályozás a köszörülés technológia szerves- és igen fontos részét képezi. Maga a megmunkálási folyamat váltakozó köszörülési és szabályozási részfolyamatokból tevődik össze. Rendszerint a szabályozás ideje alatt szünetel a köszörülés, de meg kell említeni, hogy a korszerű CNC vezérelt gépeknél esetenként lehetőség van folyamatos, köszörülés közbeni ún. CD szabályozásra is (Continuos Dressing).

8.6 A TECHNOLÓGIAI ADATOK MEGHATÁROZÁSA

A többi megmunkálási módhoz hasonlóan, a technológiai adatokat azok a paraméterek képezik, amely meghatározzák a folyamat fő- és mellékmozgásainak értékét. Ezek meghatározásához célszerű a gyakorlatban jól bevált irányadó értékeket figyelembe venni.

8.6.1 A fogásmélység meghatározása

A fogásmélység javasolt értékei különböző köszörülési változatok esetére a 8-5. táblázatban találhatók. Köszörülésnél a fogásmélység értéke rendkívül kicsi, ezért a megmunkálást mindig több fogásban (löketben) kell elvégezni.
A megmunkálási folyamat gazdaságosságának növelése érdekében a köszörülési folyamatot nagyoló-, simító- és kiszikráztatási szakaszokra bontjuk (8-19. ábra.). A ráhagyás nagyobb részét (kb. 70…80%) nagyoló köszörüléssel, azaz nagyobb fogásmélységgel távolítjuk el, és ilyenkor az a cél, hogy viszonylag nagy anyagleválasztási sebességet (Q_w) érjünk el. Ezt egy simító köszörülés követi kisebb fogásmélységgel, amelynek az a célja, hogy az előírt méret- és alakpontosságot, valamint a felületi érdességet megvalósítsuk.



8-19. ábra. A furatköszörülési folyamat szakaszai

Ha a köszörülés nagyoló és simító szakaszban történik, a fogások száma a nagyoló- és simítófogások számának összege

$$i = i' + i'' = \frac{0{,}8R_3}{a'} + \frac{0{,}2R_3}{a''}$$

ahol: i' fogások száma nagyolásnál (egész számra kerekítve)
i'' fogások száma simításnál (egész számra kerekítve)
a' fogásmélység nagyolásnál
a'' fogásmélység simításnál
R_3 köszörülési ráhagyás (8-6. táblázat)

8.6.2 Az előtolás meghatározása

A köszörülési változattól függően az előtolás iránya és jellege több féle lehet. Függetlenül attól, hogy a mozgást a korong vagy a munkadarab végzi, az egységes szemlélet kialakításának érdekében a mellékmozgás irányait a koronghoz viszonyítva definiáljuk és eszerint az előtolás lehet:

- tangenciális (f_t)
- radiális (f_r)
- axiális (f_a)

Az előtolás nagyságát a munkadarab egy fordulatára- vagy egy löketére vonatkoztatjuk és ha ezt megszorozzuk a percenkénti fordulatok ill. löketek számával megkapjuk az előtolási sebesség értékét a jellemző irányokban (v_{ft}, v_{fr}, v_{fa}).

A tangenciális irányú előtolási sebesség palástköszörülésnél és síkköszörülésnél megegyezik a tárgysebességgel:

$$v_{ft} = v_w$$

A tárgysebesség irányadó értékeit, különböző köszörülési változatok és munkadarabanyagok esetére a 8-9. táblázat tartalmazza.

A tárgysebesség meghatározásának egy másik lehetséges módja az, amikor a forgácsolósebesség és a tárgysebesség viszonyszámát (v_s/v_w) választjuk ki és miután a forgácsolósebességet meghatároztuk, a viszonyszám segítségével a tárgysebesség kiszámítható. A forgácsolósebesség és a tárgysebesség viszonyszámait a 8-10. táblázat tartalmazza. A tárgysebesség meghatározásához az irodalomban találhatók különböző empirikus képletek is, de ezek tárgyalását a jegyzet terjedelme nem teszi lehetővé.

A sugárirányú előtolás értéke beszúró köszörülésnél megegyezik a fogásmélység értékével (8-5. táblázat): $f_r = a_e$ (mm/ford).
Az axiális irányú előtolás értékét hosszelőtolásos palástköszörülésnél és síkköszörülésnél a korong palástfelületével, a korongszélesség függvényében szokásos meghatározni (8-5. táblázat):

$$f_a = \left(\frac{2}{3} \cdots \frac{3}{4}\right) \cdot b_s \qquad \text{nagyolásnál és}$$

$$f_a = \left(\frac{1}{4} \cdots \frac{1}{2}\right) \cdot b_s \qquad \text{simításnál}$$

8-5. táblázat. A fogásmélység irányadó értékei

Köszörülési változat		Előtolás f_a (mm/ford), (mm/löket)	Fogásmélység a_e (mm)
Palástköszörülés hossz-előtolással	nagyolás	f_a =(0,6…0,75) b_s	0,008-0,04
	simítás	f_a =(0,25…0,5) b_s	0,001-0,015
Palástköszörülés beszúrással	nagyolás		0,002-0,03
	simítás		0,001-0,005
Furatköszörülés	nagyolás	f_a =(0,5…0,75) b_s	0,008-0,03
	simítás	f_a =(0,25…0,5) b_s	0,001-0,015
Síkköszörülés a korong palástfelületével	nagyolás	f_a =(0,6…0,75) b_s	0,01-0,05
	simítás	f_a =(0,25…0,5) b_s	0,003-0,015
Síkköszörülés a korong homlokfelületével	nagyolás		a_p= 0,01-0,03
	simítás		a_p= 0,003-0,015

Megjegyzés:

1. Az adott tartományokon belül a kisebb értékeket kisebb korongátmérők és nagyobb tárgysebességek esetén kell alkalmazni.
2. A kiszikráztatás néhány löketben történik, fogásvétel nélkül

8-6. táblázat. A munkadarab átmérőre vonatkozó ráhagyások irányadó értékei csúcsok közötti palástköszörülés esetére (mm-ben)

	Munkarab átmérő [mm]	Munkadarab hossza [mm]						
		≤100	100-200	200-300	300-500	500-800	800-1200	1200-2000
Edzetlen acél köszörülése	≤10	0,2	0,2	0,2	0,3			
	10-18	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3		
	18-30	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	
	30-50	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6
	50-80	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7
	80-120	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7
	120-180	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8
	180-260	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9
	260-360	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9
	360-500	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0
Edzett acél köszörülése	≤10	0,3	0,3	0,3	0,4			
	10-18	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5		
	18-30	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	
	30-50	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7
	50-80		0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,9
	80-120	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	0,9
	120-180	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	180-260	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,1
	260-360	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
	360-500	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,2

8-7.táblázat. A munkadarab átmérőre vonatkozó ráhagyások irányadó értékei furatköszörülés esetére (mm-ben)

	Munkadarab átmérő [mm]	A furat hossza [mm]				
		≤50	50-100	100-200	200-300	300-500
Edzetlen acél köszörülése	≤10					
	10-18	0,2	0,3			
	18-30	0,3	0,3	0,4		
	30-50	0,3	0,3	0,4	0,4	
	50-80	0,4	0,4	0,4	0,4	
	80-120	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6
	120-180	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	180-260	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
	260-360	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
	360-500	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Edzett acél köszörülése	≤10	0,2				
	10-18	0,3	0,4			
	18-30	0,3	0,4	0,4		
	30-50	0,4	0,4	0,4	0,5	
	50-80	0,4	0,5	0,5	0,5	
	80-120	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
	120-180	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7
	180-260	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
	260-360	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9
	360-500	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9

8-8. táblázat. Ráhagyások irányadó értékei síkköszörülésnél (mm-ben)

	A köszörülendő hossz	A köszörülendő szélesség		
		<100	100-200	>200
Edzetlen acél	100	0,2		
	250	0,25	0,3	
	500	0,35	0,4	0,4
	1000	0,4	0,5	0,5
Edzett acél	100	0,25		
	250	0,3	0,4	
	500	0,4	0,5	0,5
	1000	0,5	0,55	0,6

8-9. táblázat. A tárgysebesség irányadó értékei

Köszörülés változata		Tárgysebesség v_w (m/min)				
		Edzetlen acél	Edzett acél	Öntöttvas	Sárgaréz	Alumínium
Külső palástköszörülés	nagyolás	12…15	14…18	12…15	18…21	40…60
	simítás	8…12	8…12	9…12	15…18	20…40
Furatköszörülés		18…21	21…24	21…24	21…27	30…40
Síkköszörülés	palást	10…18	8…12	10…18	15…25	15…25
	homlok	6…25	6…25	6…30	20…45	20…45

8-10. A forgácsolósebesség és a tárgysebesség viszonyszámai

Köszörülés változata		$\frac{v_s \cdot 60}{v_w}$			
		Edzetlen acél	Edzett acél	Öntöttvas	Könnyű fémek
Külső palástköszörülés		125	125	100	50
Furatköszörülés		80	80	63	32
Síkköszörülés	palást	80	80	63	32
	homlok	50	50	40	20

8.6.3 A forgácsolósebesség és a korongfordulatszám meghatározása

A forgácsolósebesség alatt a korong kerületi sebességét értjük. Megállapítható, hogy köszörülésnél a forgácsolósebesség értéke összehasonlíthatatlanul nagyobb, mint az eddig tárgyalt megmunkálási módoknál (esztergálás, fúrás, marás). Természetesen itt is a minél nagyobb sebesség alkalmazására törekszünk, mert ez a megmunkálási folyamat termelékenységét növeli. A köszörülés sajátossága, hogy a forgácsolósebességet nem a szerszám éltatartama korlátozza, hanem kötőanyag szilárdsága, ill. a korong szétrepülés elleni ellenállása. A szétrepülés veszélyét elsősorban a jelentős centrifugális erők és a korong hőterhelése okozza. A korong szétrepülése igen nagy veszéllyel járna, ezért minden korongtípushoz ill. kötőanyaghoz meghatározott legnagyobb megengedett kerületi sebesség tartozik, amelyet nem szabad túllépni (8-11. táblázat). A forgácsolósebesség javasolt értékeit korund szemcseanyag és keramikus kötőanyag esetére a 8-12. táblázat tartalmazza.

8-11. táblázat. A köszörűkorongok legnagyobb megengedett sebessége v_s (m/s)

Kötőanyag	Az előtolás módja	Korongátmérő és alak			
		$d_s \leq 150$ mm		$d_s > 150$ mm	
		tárcsaszerű	egyéb	tárcsaszerű	egyéb
Magnezit	kézi	15	15	15	12
	gépi	25	25	20[1)]	15
Keramikus, szilikát, szerves	kézi	30	25	25	20
	gépi	35	30	30	25

[1)] 1000 mm-nél nagyobb korongátmérőnél a legnagyobb sebesség 15 m/s gépi előtolás esetén is

8-12. táblázat. A forgácsolósebesség javasolt értékei korund szemcseanyag és keramikus kötőanyag esetére v_s (m/s)[1)]

Köszörülés változata		A forgácsolósebesség v_s (m/s)				
		Acél	Öntöttvas	Kemény-fém	Bronz, sárgaréz	Könnyű fémek
Külső palástköszörülés		32	25	8…15	25…32	32
Furatköszörülés		25	25	8…15	25	20
Síkköszörülés	palást	32	25	8…15	25	25
	homlok	32	25	8…15	-	20
Szerszámélezés		25	-	8…20	-	-

[1)]Szilíciumkarbid szemcseanyag esetében valamivel kisebb sebességek javasoltak

8.7. A GÉPI FŐIDŐ MEGHATÁROZÁSA

A forgácsolási paraméterek, a szerszám- és a megmunkálandó felület méretei ismeretében meghatározható a forgácsoláshoz szükséges gépi főidő.

1. **A hosszelőtolású palást- és furatköszörülés gépi főideje**

   a. Köszörülés löketenkénti fogásvétellel

$$t_g = i \cdot \frac{L \cdot k}{f_a \cdot n_w}$$

   b. Köszörülés kettős löketenkénti fogásvétellel

$$t_g = i \cdot \frac{2 \cdot L \cdot k}{f_a \cdot n_w}$$

Ahol:

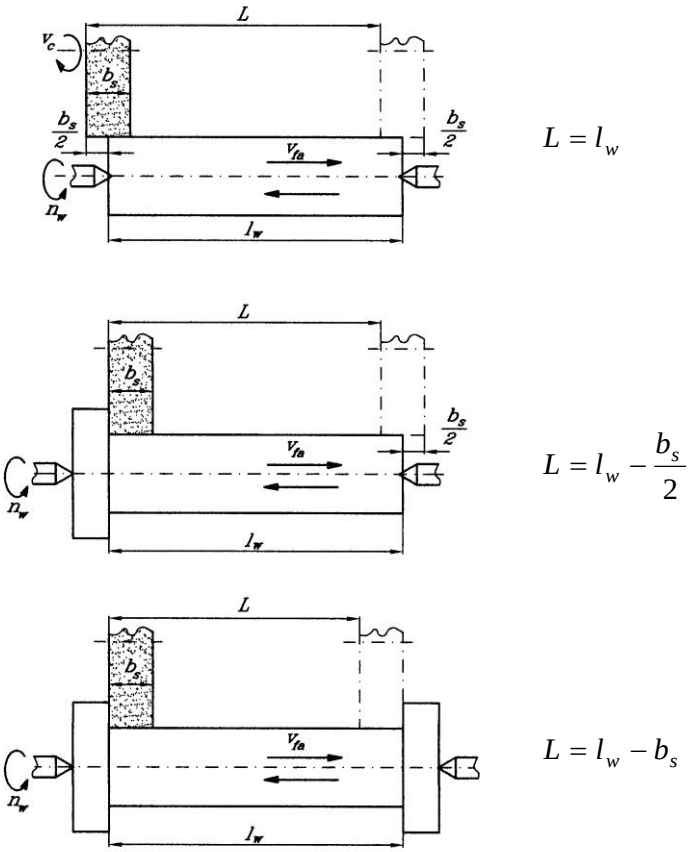
i a fogások száma
L lökethossz, a 8-20. ábra szerint számítandó (mm)
f_a axiális irányú előtolás (mm/ford)
n_w tárgyfordulatszám (min^{-1})
k módosító tényező, amellyel figyelembe vesszük a kiszikráztatáshoz és a korongszabályozáshoz szükséges időt. Értéke k =1,2 kemény korongoknál illetve nagyolásnál és k =1,6 lágy korongoknál ill. simításnál.

2. **A beszúró palást- és furatköszörülés gépi főideje**

$$t_g = \frac{R \cdot k}{2 \cdot f_r \cdot n_w}$$

Ahol:

R az átmérőben mért köszörülési ráhagyás (mm)
f_r radiális irányú előtolás (mm/ford)



8-20. ábra. A lökethossz meghatározása palástköszörülésnél

3. A gépi főidő síkköszörülésnél a korong palástfelületével

$$t_g = i \cdot \frac{B \cdot k}{f_a \cdot n_L}$$

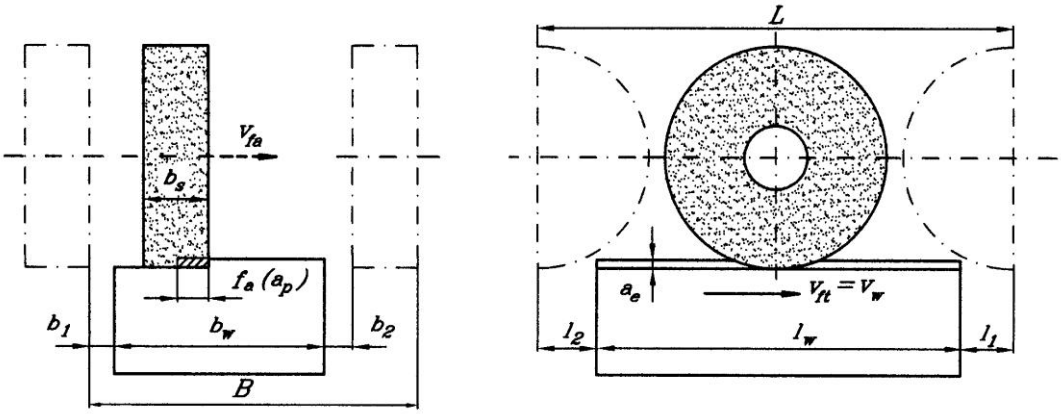
Ahol:

$B = b_w + b_1 + b_2$ a köszörülési szélesség (mm), (8-21. ábra)

f_a axiális irányú előtolás (mm/löket)

$n_L = \frac{v_w}{L}$ a percenkénti löketek száma (löket/min)

$L = l_w + l_1 + l_2$ lökethossz (8-21. ábra)



8-21. ábra. Jellemző méretek síkköszörülésnél

4. A gépi főidő síkköszörülésnél a korong homlokfelületével

a. A korongátmérő nagyobb a köszörülési szélességnél

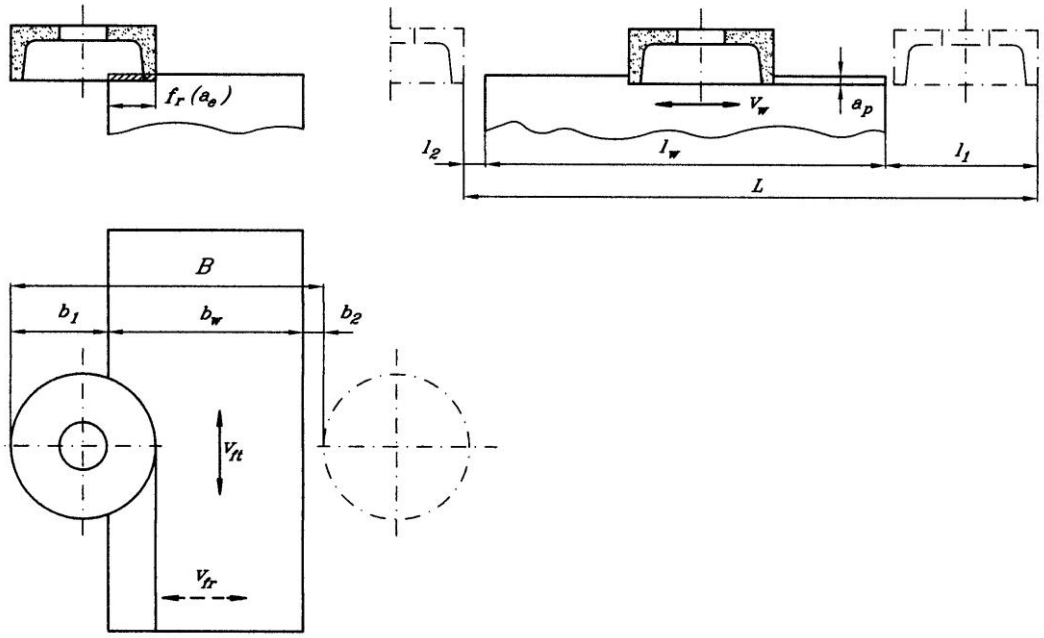
$$t_g = i \cdot \frac{L \cdot k}{v_w}$$

A szükséges szerszámút (L) meghatározása a homlokmarásnál ismertetett módon történik (5-21. és 5-22. ábra).

b. A korong átmérő kisebb a köszörülési szélességnél

$$t_g = i \cdot \frac{L \cdot k}{v_w} \cdot \frac{B}{f_r}$$

A köszörülési hossz (L) és köszörülési szélesség (B) meghatározásához a 8-22. ábra nyújt áttekintést.



8-22. ábra. Jellemző méretek síkköszörülésnél a korong homlokfelületével

9. FORGÁCSOLÓ SZERSZÁMGÉPEK

A gépipar számára a szerszámgépek a legfontosabb gyártóeszközök. Közös jellemzőjük, hogy a szerszám és a munkadarab egymáshoz viszonyított mozgása és meghatározott erőkifejtés közben alakítják a munkadarabot. Felépítésük és automatizáltságuk szerint nagyon sok féle megoldással találkozhatunk. A szerszámgépek felépítése az utóbbi 50 évben jelentős változásokon ment át. A fejlesztés ma is folyik és egyfelől a gépek egyes részegységeinek új, korszerű megoldásait alkalmazzák (pl. motoros főorsó, vagy lineáris motorok alkalmazása a szánok mozgatására stb.), másfelől olyan gépek épülnek, amelyeknél megmunkálási módok (változatok) koncentrációja hallatlan méreteket ölt (pl. esztergaközpontok, amelyeken még lefejtő fogaskerékmarás is lehetséges). A szerszámgépek automatizálása terén mérföldkőnek kell tekinteni az NC, majd a CNC gépek megjelenését. A terület részletes ismertetése több kötetnyi terjedelmet kívánna, ebben a fejezetben csak a legismertebb forgácsoló szerszámgépek rövid áttekintésére, szorítkozunk.
A szerszámgépek több szempontból is feloszthatók. A megmunkálási (forgácsolási) mód szerint lehetnek:

- esztergák,
- gyalugépek,
- fúrógépek,
- marógépek,
- alakhúzó gépek,
- fűrészgépek,
- köszörűgépek,
- fogazógépek.

A szerszámgépek megmunkálási mód szerinti felosztása mellett feloszthatók az alkalmazott automatizálási szint szerint is. Az automatizálási szint szerint a gyártórendszerek lehetnek:

- Kézi vezérlésű egyetemes gépek
- Programvezérlésű gépek
  - Mechanikus vezérlésű gépek (görbepályás, bütykös, ütközős)
  - Számjegyvezérlésű gépek (NC, CNC rendszerek)
- Megmunkáló központok
- Rugalmas gyártócellák
- Rugalmas gyártórendszerek

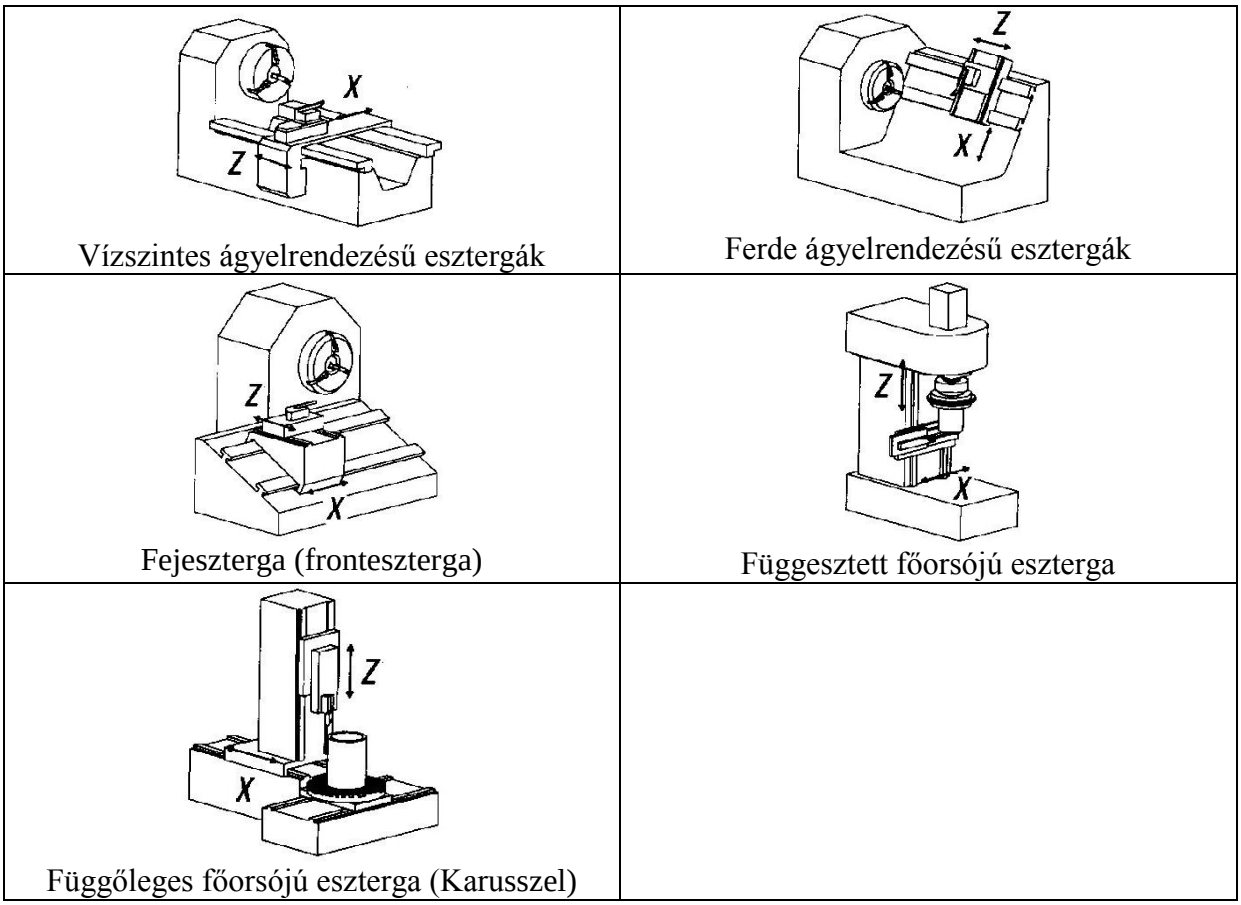
9.1 ESZTERGÁK

Az esztergák elsősorban forgástest jellegű alkatrészek megmunkálására szolgálnak. A forgácsoló főmozgás a munkadarab forgó mozgása, míg a szerszám a munkasíkban (a forgácsoló sebesség vektorára merőleges sík) egyenes vonalú vagy haladó mozgást végez. A korszerű esztergák revolverfej vagy szerszámtár alkalmazásával több szerszám befogadására képesek, amelyeket a megmunkálási folyamatnak megfelelően hoznak egymásután munkapozícióba.
Az esztergák felosztásának, megnevezésének számos szempontja lehet, mint pl.:

- A főorsó helyzete
  - Vízszintes
  - Függőleges
- A főorsók száma
  - Egyorsós
  - Többorsós
- Szerszámrendszer

- Elérhető pontosság („ultrapreciziós eszterga”)
- Automatizáltsági szint

Az esztergák jellegét, alakját elsősorban a szánok és a főorsó-szekrény helyzetét biztosító állványszerkezet határozza meg. A jellegzetes eszterga konstrukciók egyszerűsített vázlatait mutatja a 9-1. ábra.



9-1. ábra. A jellegzetes eszterga konstrukciók egyszerűsített vázlatai ([13])

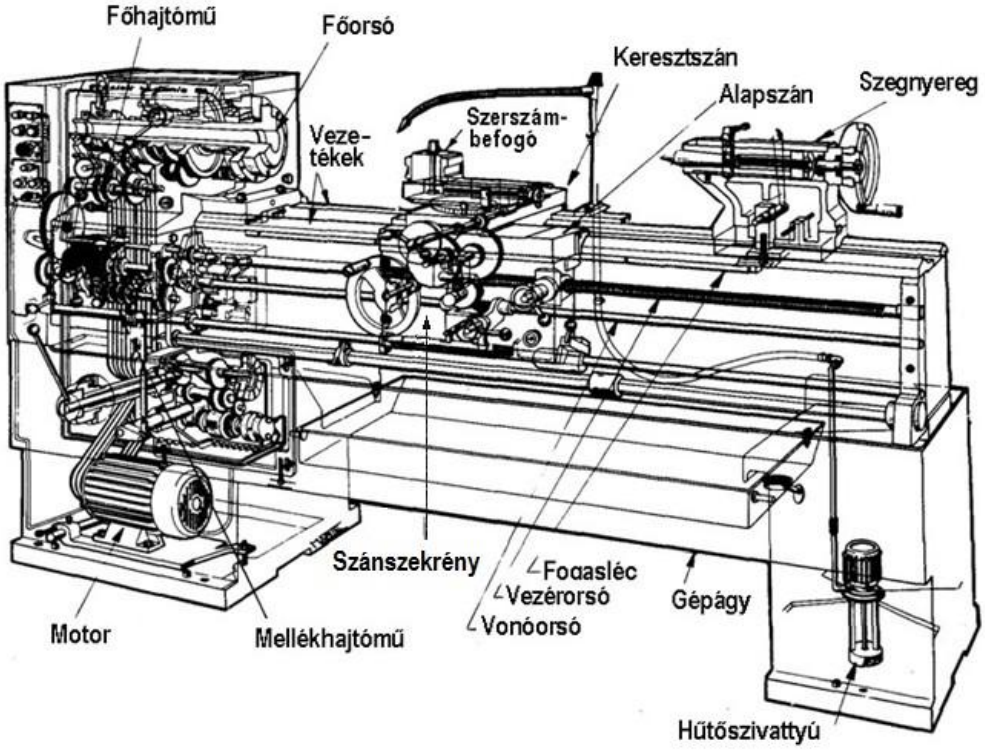
9.1.1 Egyetemes eszterga

A 9-2. ábra egy kézi vezérlésű egyetemes eszterga nézeti képeit és fő egységeit mutatja. Elsősorban egyedi gyártás esetén alkalmazzuk, az esztergálási változatok mindegyike (lásd a 2.1 fejezetet) kivitelezhető vele. Az egyetemes eszterga egyaránt alkalmas rövid és hosszú forgástest jellegű darabok megmunkálására is. A rövid darabokat tokmányba-, a hosszú darabokat pedig két csúcs közé vagy tokmányba és csúccsal megtámasztva fogják be. Ezért ezeket a szerszámgépeket csúcsesztergának is nevezik. Az egyetemes eszterga fő részei a következők: gépágy, főhajtómű, mellékhajtómű, főorsó, szegnyereg, szerszámtartó, hossz- és keresztszán, vezérorsó, vonóorsó, fogasléc, lineáris vezetékek, hűtőfolyadék szivattyú, villanymotor.
A munkatér jellemző méretei:

- Csúcstávolság
- A legnagyobb esztergálható átmérő
- A főorsó áteresztése (furata)

A főorsó végződésére szerelik a tokmányt, vagy csúcsot helyeznek a főorsó kúpos furatába.

A forgácsoló főmozgást a főorsó forgómozgása képezi. Ennek létrehozására villanymotor és a fogaskerekes főhajtómű szolgál. A szükséges fordulatszám kiválasztása kapcsolókarok megfelelő kézi beállításával lehetséges.

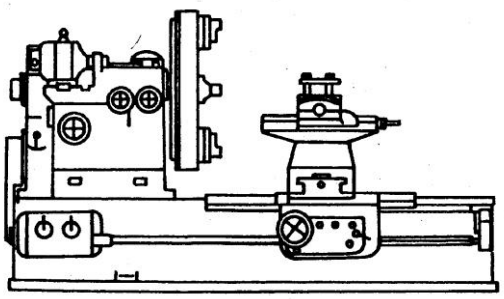


9-2. ábra. Egyetemes eszterga [19]

A hossz- vagy keresztirányú mellékmozgás megvalósítása a mellékhajtómű feladata, melynek bemenetét a főhajtásról leágazással valósítják meg. Az előtoló mozgás mértékének beállítása a vonó- vagy vezérorsók fordulatszámának kiválasztásával érhető el. A vezérorsó és a vonóorsó keresztül megy a szánszekrényen. A szánszekrény rendeltetése, hogy a szánok gépi és kézi úton történő mozgatását biztosítsa. A vonóorsót a forgácsoló megmunkálások gépi előtolásához, a vezérorsót pedig kizárólag menetvágáshoz használjuk.
A mozgás átvitele a vezérorsóról, amely egy trapézmenettel ellátott menetes orsó, egy két részből álló anyamenet (záranya) összezárása által létrehozható orsó-anya pár segítségével történik.
A vonóorsón egy elcsúsztathatóan reteszelt kerék van, amely egy csigapár illetve fogaskerék és fogasléc segítségével mozgatja a szánt.

9.1.2 Síkesztergák

A rajtuk esztergált munkadarabok átmérője általában nagy a tengelyirányú mérethez viszonyítva.

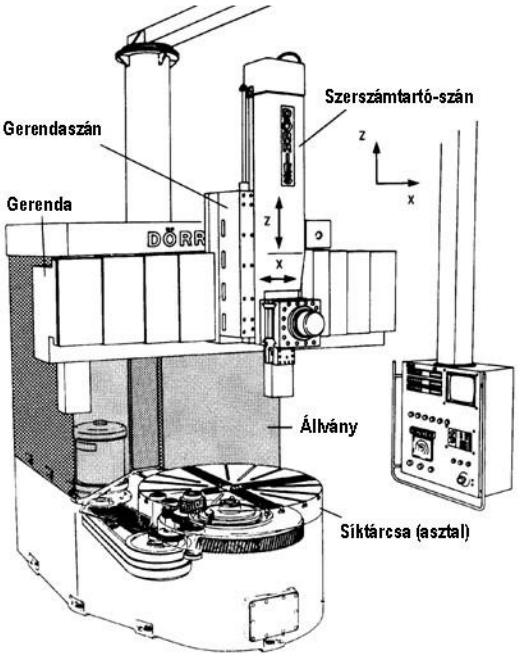


9-3. ábra. Gépágyas fejeszterga

A munkadarabok befogása csak tokmánnyal vagy síktárcsán lehetséges.
Jellemző típusai:

- Vízszintes főorsójú fejesztergák (9-3. ábra)
- Függőleges főorsójú karusszel esztergák (9-4. ábra)

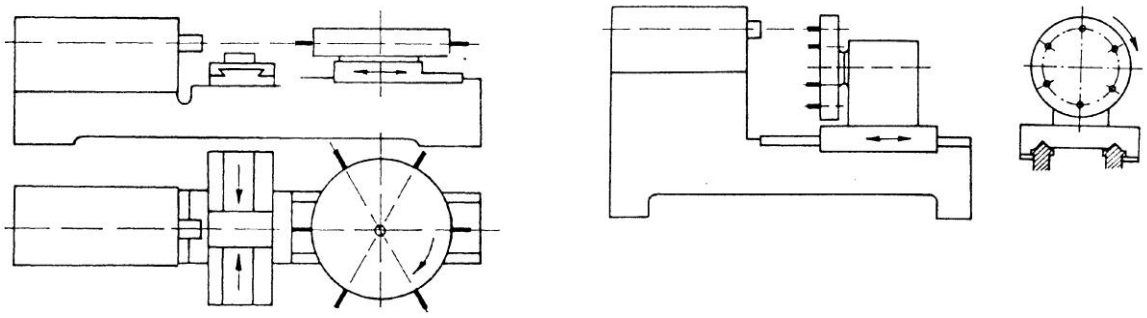
A függőleges főorsójú kialakítás jelentős előnye, hogy a nagyméretű munkadarabok befogása egyszerűbb, a munkadarab súlyának felvétele kedvezőbb (nincs hajlításnak kitéve az orsó).



9-4. ábra. Egyállványos karusszel eszterga [39]

9.1.3 Revolveresztergák

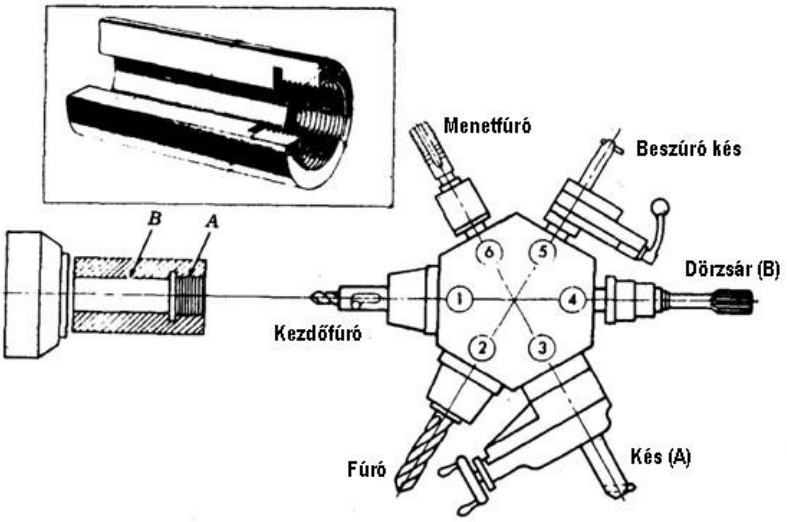
A szerszámcsere ill. váltás feladatát a gép elnevezését adó különféle revolverfejek könnyítik meg. A revolver fejek elvi felépítését mutatja a 9-5. ábra, amely szerint készülhetnek függőleges vagy vízszintes forgástengellyel. A szakterminológiában a torony- ill. dobrevolver elnevezések is használatosak.
Az előzetesen beállított szerszámokat a revolverfej furataiba helyezik (9-6.ábra). A megmunkálási folyamat során, a revolverfej elfordításával mindig a folyamatnak megfelelő szerszámot kell munkapozícióba hozni. Ezáltal a szerszámcserékhez szükséges mellékidők jelentősen csökkenthetők. A szánmozgások és így a munkadarab méretek beállítását/határolását mechanikus ütközők és előtolást megszakító szerkezetek végzik.



Dobrevolver

Toronyrevolver

9-5. ábra Revolverfejek elvi felépítése



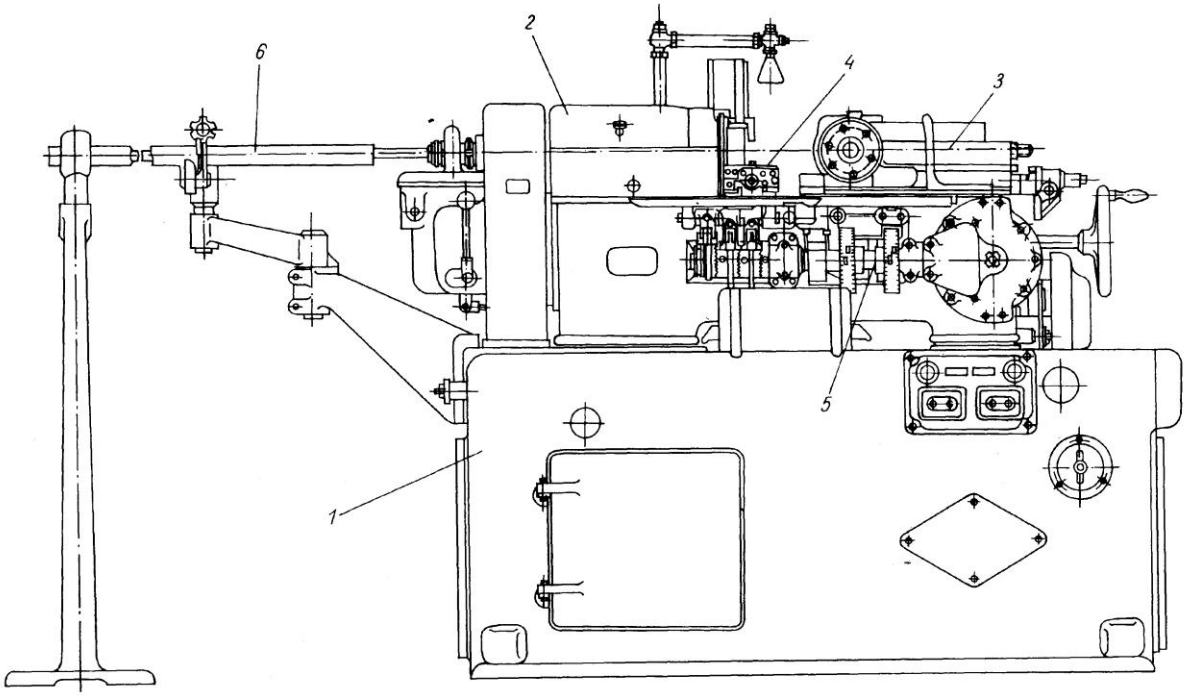
9-6. Revolverfej felszerszámozása adott munkadarabhoz [19]

9.1.4 Automata (programvezérelt) esztergák

Azokat a szerszámgépeket, amelyek az összes lehetséges mozgást önműködően végzik, automatáknak nevezzük.

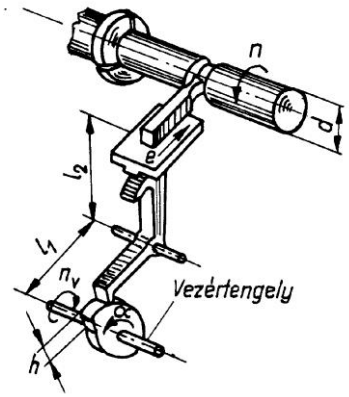
Mechanikus automaták

Az automatizálás kezdeti időszakában mechanikus elemeket alkalmaztak a szerszámgépek vezérléséhez (vezértárcsa, vezérdob, ütközők stb.). A mechanikus automaták rendkívül bonyolult szerkezetű szerszámgépek, a különféle mechanizmusok tárházát jelentik. A hosszú előkészületi idő miatt, ezek alkalmazása csak tömeg- és nagysorozatgyártásban gazdaságos. A 9-7 ábrán egy revolver automata nézeti képe látható, a 9-8. ábra pedig egy keresztszán működési elvének térbeli vázlatát mutatja.



9-7. ábra. Revolver automata vázlata [41]

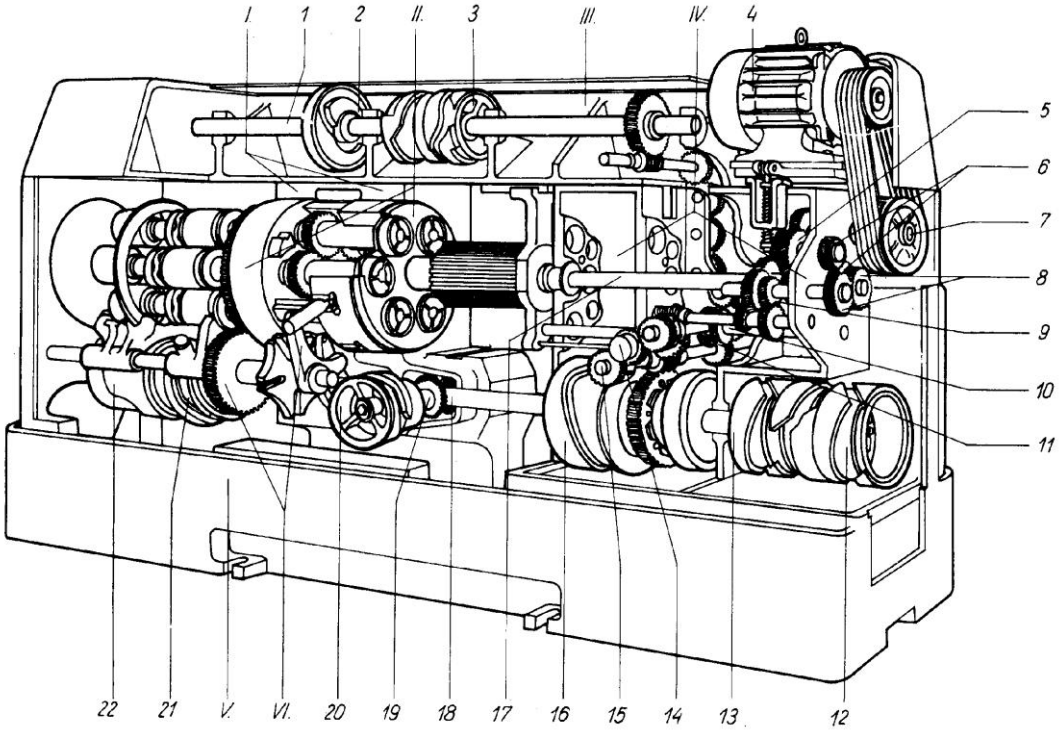
1- ágy, 2- orsóház, 3-revolverszán, 4- keresztszán, 5- vezértengely, 6- rúdvezető berendezés



9-8. ábra. Keresztszán mozgatása

Többorsós automaták

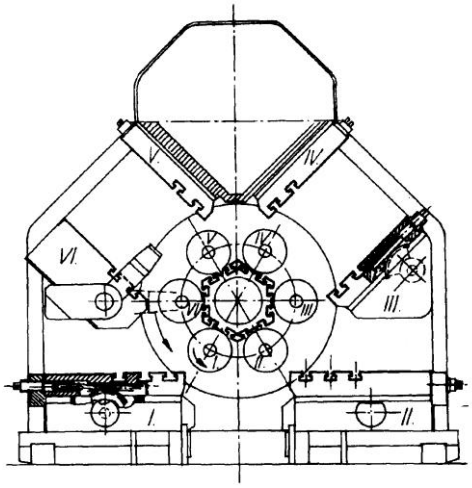
A többorsós automaták több (kettőtől nyolcig) főorsóval rendelkeznek és egyidejűleg több orsóval dolgoznak (9-9. ábra).



I – orsóház
II – orsódob
III – felsőrész
IV – fogaskerékszekrény
V – alsórész
VI – orsódob váltása és reteszelése
1 – felső vezértengely
2 – vezértárcsák az oldalszánokhoz
3 – vezértárcsák a felső szánokhoz
4 – meghajtómotor
5 – főhajtómű
6 – cserekerekek (főorsó fordulatszám beállítás)
7 – szíjtárcsa
8 – cserekerekek (vezér-tengely fordulat-beállítás)
9 – mellékhajtómű
10 – hajtótengely a szánok mozgatásához
11 –gyorsjárati tengelykapcsoló
12 – tartalék vezérlőtárcsák
13 – vezérlőtárcsa a független előtoló egységekhez
14 – csigakeréktengely
15 – a munka és a beállító menet tengelykapcsolói
16 – vezértárcsa a központi szán mozgatásához
17 – középtengely (főorsók meghajtása)
18 – alsó vezértengely
20 – vezértárcsák az alsó szánokhoz
21 – vezértárcsa a munkadarab patronos szorításához
22 – vezértárcsa a dob előtolásához

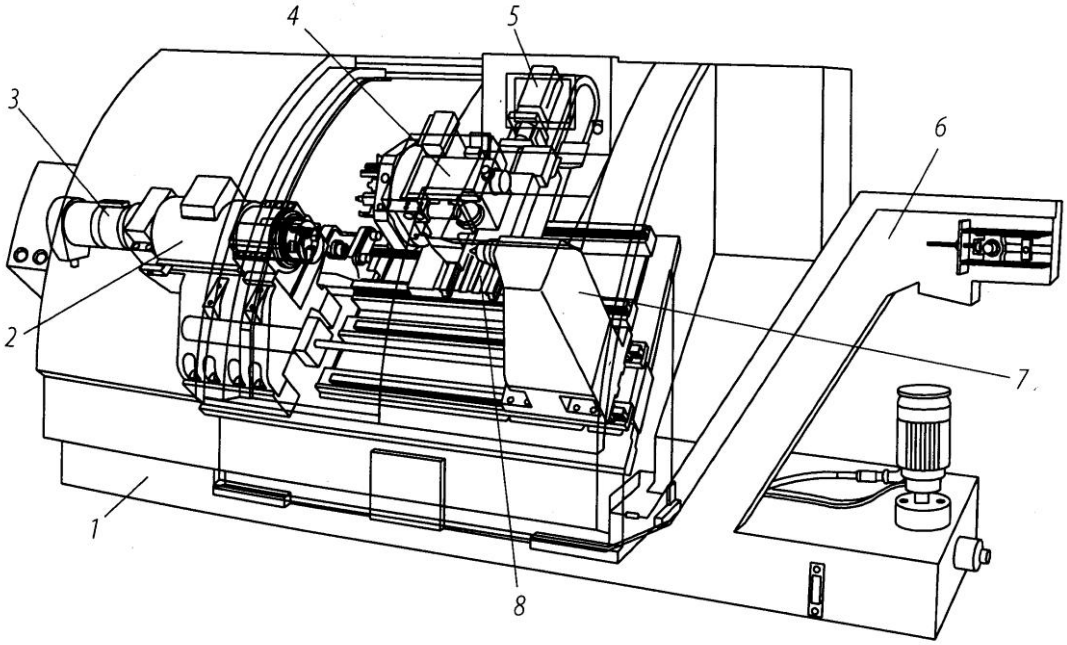
9-9. ábra Hatorsós automata [41]

Minden orsóhoz hossz- és keresztirányú szánrendszer tartozik (9-10. ábra). Az orsók egy orsódobban vannak beágyazva, amelynek elfordítása új munkapozícióba váltja ezeket. A megmunkálás egyidejűleg több pozícióban történik. A megmunkálás lehet soros, amikor az orsók azonos munkadarab egymás utáni műveleteit végzik vagy párhuzamos, amikor egyidejűleg több munkadarabon, egy-egy pozícióban a teljes munkafolyamat lezajlik. Az említett két eset kombinációja is lehetséges, ezt vegyes megmunkálásnak nevezzük.
A többorsós automaták termelékenysége rendkívül magas, de alkalmazásuk csak nagy darabszán esetén gazdaságos.



9-10. ábra. Hatorsós automata szánelrendezése

CNC- (NC) esztergák
A CNC (Computerised Numerical Control) gépek olyan szerszámgépek, amelyeknél a szánok mozgását, a gép egyes funkcióit és a megmunkálás folyamatát számszerű információkkal vezérlik (számjegyvezérlés).



9-11. ábra. CNC eszterga felépítése és szerkezeti egységei (Gildemeister). 1-gépágy; 2-főorsóház; 3-befogószerkezetet működtető henger; 4-szerszámtartó (revolverfej); 5-a keresztszánt mozgató motor és mozgatórendszer; 6-forgácsszállító; 7-szegnyereg; 8-keresztszán.

A CNC gép két fő részből áll: a szerszámgépből és vezérlésből, amelynek központi része egy mikroprocesszor. Az információk (utasítások) bevitele digitális formában történik (pl. lyukszalag, mágnesszalag, mágneslemez), majd ezeket a vezérlőrendszer dekódolja és a vezérléshez előkészíti. A vezérléshez szükséges információk összessége, egy adott gyártási feladatnak megfelelő NC programot alkot. A program beolvasása és a CNC-gép átállítása egy új munkafeladatra jóval rövidebb, mint az átállás egy mechanikus automata esetében, így a CNC gépek már kis darabszám esetén is gazdaságosan alkalmazhatók („rugalmas automatáknak" is nevezik ezeket a gépeket). Általában revolverfej képezi a szerszámtartót, amelybe a megmunkálási folyamat igénye szerint, több szerszám is elhelyezhető (általában 6-12 között). Példaként egy CNC eszterga lehetséges felépítését és szerkezeti egységeit vázlatosan a 9-11. ábra mutatja.

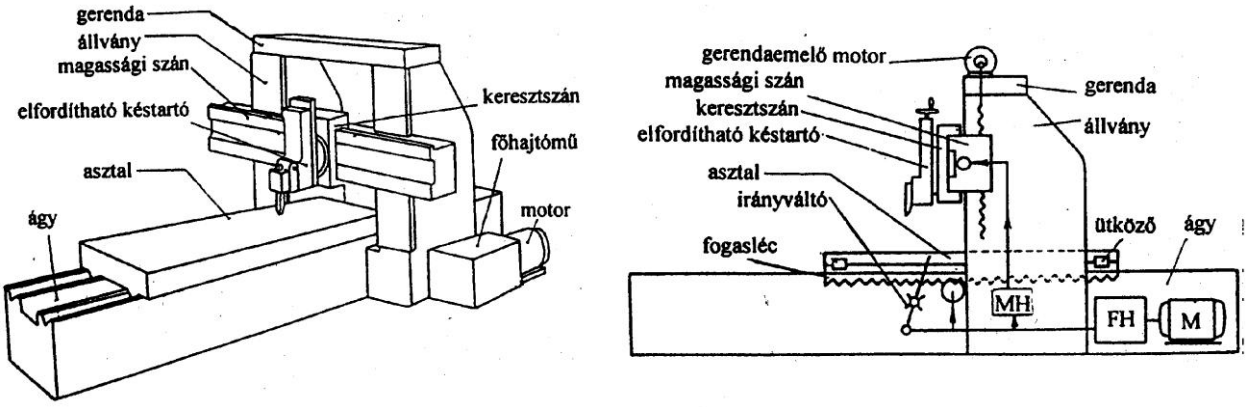
9.2 GYALUGÉPEK

Gyalugépeket elsősorban síkfelületek megmunkálására használunk. Megmunkálhatók különböző profilú hornyok és belső felületek is, amelyek esetében előzőleg megfelelő furat kialakítása szükséges. Termelékenységük alacsonyabb, mint a marógépeké, ezért a korszerű üzemekből szinte eltűntek és általában csak ott alkalmaznak gyalugépeket ahol nem helyettesíthetők marógépekkel (pl. horonymegmunkálás belső felületeken, stb.).
A gyalugépeken a forgácsoló főmozgás és a mellékmozgások is legtöbbször egyenes vonalúak. A fő- és mellékmozgások kiosztása szerint a gyalugépek lehetnek:

- Hosszgyalugépek
- Harántgyalugépek
- Vésőgépek (függőleges harántgyalugépek)

A gyalugépekhez sorolhatók a horonyhúzó gépek is (9-15 és 9-16 ábrák).

Hosszgyalugépek
Hosszgyalugépeknél a forgácsoló főmozgást a gépasztal végzi, a szakaszos mellékmozgást pedig a keresztszánon elhelyezett késtartó. A hosszgyalugép vázlatát a 9-12. ábra mutatja. A hosszgyalugépeket hosszú és nagysúlyú alkatrészek megmunkálására alkalmazzák. A gép helyigénye jelentős, mivel a gépágy hossza legalább az asztal hosszának a kétszerese. A viszonylag nagy tömegű asztal megfelelő forgácsoló-sebességgel történő mozgatásához, valamint a mellékidő

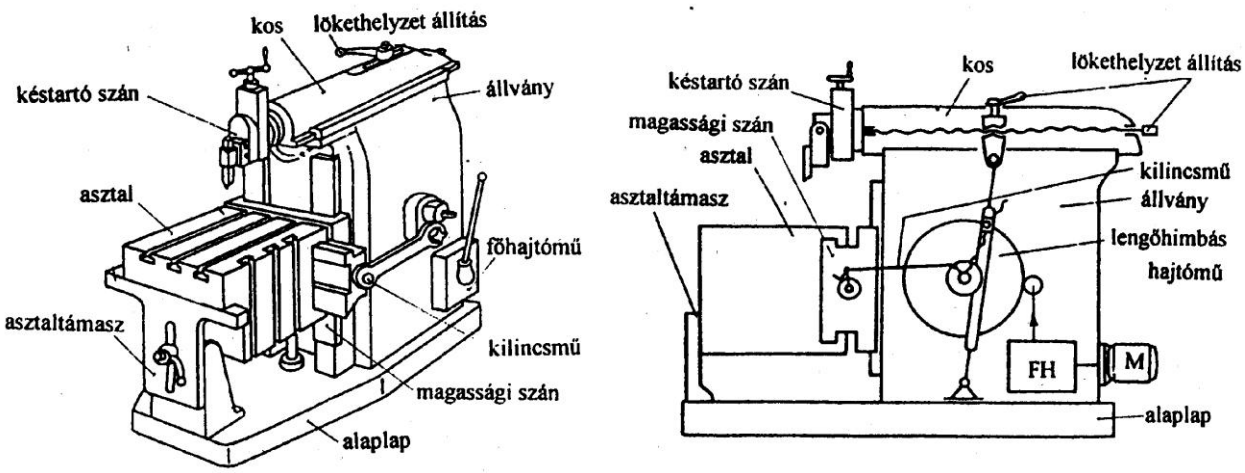


9-12. ábra. A hosszgyalu nézeti és kinematikai ábrája (M – motor, FH – főhajtómű, MH – mellék hajtómű) [41]

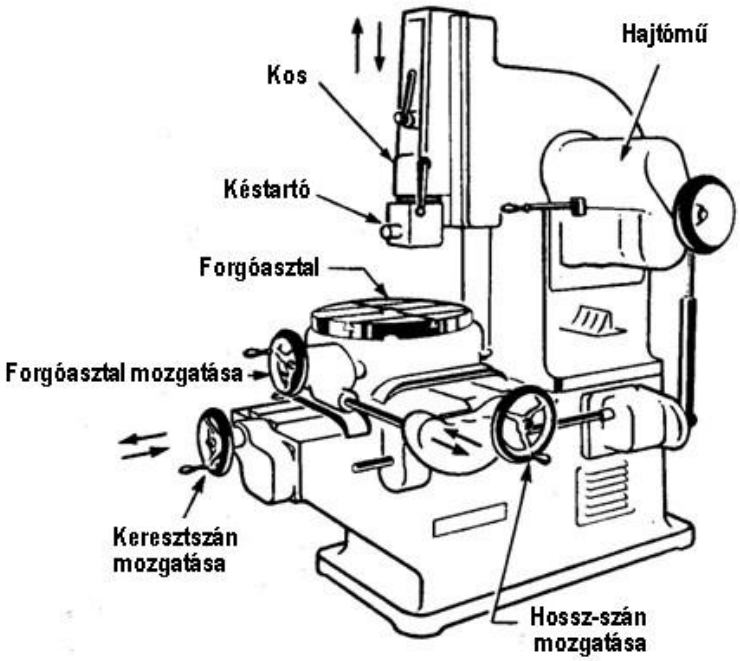
(hátramenet) minimalizálása érdekében minél nagyobb hátrameneti sebesség eléréséhez, a főhajtás nagy teljesítménnyel készül. A főhajtás lehet elektromechanikus vagy hidraulikus. A mellékhajtás szakaszos működésű, amit menetes orsó-anya pár és egy kilincsmű hozza létre.

Harántgyalugépek

Harántgyalugépeken a forgácsoló főmozgást a kés végzi, amelyet a kosra helyezett késtartóba kell befogni. A munkadarabon mélyen fekvő felületek, valamint a belső felületek megmunkálása sokszor csak harántgyalugépeken lehetséges, mivel a viszonylag karcsú gyalukésnek nem nagy a helyigénye. A harántgyalu vázlatát a 9-13. ábra mutatja. A főhajtást egy lengőhimbás mechanizmus képezi. A mellékhajtás szakaszos, ezt menetes orsó-anya pár és egy kilincsmű hozza létre. A főhajtás megvalósítható hidraulikus hajtással is.



9-13. ábra. A harántgyalu nézeti és kinematikai ábrája (M – motor, FH – főhajtómű) [41]



9-14. ábra. Vésőgép vázlatos ábrája [19]

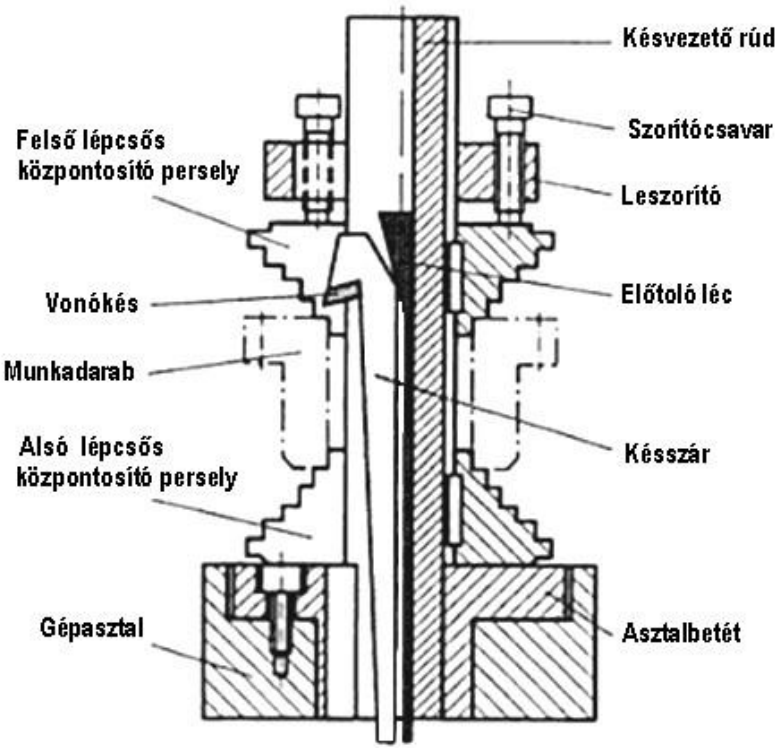
Vésőgépek
A vésőgépeknél is a szerszám végzi az alternáló egyenesvonalú mozgást, de függőleges irányban (9-14. ábra). A munkadarabot körasztalra fogják be, amely egy keresztszánon helyezkedik el és így a vízszintes síkban mozgatható. Különböző alakú sík- és idomfelületek, külső és belső hornyok, egy oldalon zárt hornyok megmunkálására alkalmas. A korszerű gépek CNC vezérléssel vannak ellátva.

Horonyhúzó gépek
Ezeket a gépeket belső hornyok készítésére használjuk. A főmozgás általában függőleges irányú és a horonyhúzó gépek többségének főhajtása hidraulikus (9-15. ábra). A működésük megértését segíti a 9-16 ábra. Egy kettős löket a következő eseményeket foglalja magába:

- a lefelé irányuló munkalöketet, forgácsleválasztást
- a szerszám kiemelését a horonyfenékről (az él sérülését elkerülendő) a késszár és az előtoló léc viszonylagos elmozdításával
- a kés visszahúzását (együtt mozog a késszár és az előtolást biztosító léc)
- fogásvételt, az él radiális irányú elmozdításával, az előtoló léc függőleges elmozdítása révén

(A http://www.froemag.com/nutmaschinen_prinzip1.html címen egy animáció szemlélteti a folyamatot.)
Ezek a gépek rendszerint húzzák a szerszámot. vannak azonban olyan gépek is, amelyek a szerszámot tolva végzik a megmunkálást, ezeket zsákfuratokban kialakítandó hornyok esetében alkalmazzuk.
Osztókészülék alkalmazásával egy furatba több hornyot is készíthetünk (pl. bordás tengely-agy kötéshez). Készülnek forgóasztallal és NC vezérléssel ellátott horonyhúzó gépek is. Ezek technológiai lehetőségei kiterjednek a csavarvonalat képező hornyok megmunkálására is.

9-15. ábra. Horonyhúzó gép (Frömag)



9-16. ábra. A szerszám és a munkadarab elrendezése horonyhúzó gépen

9.3 FÚRÓGÉPEK

Fúrógépeken a forgácsoló főmozgás a szerszám forgómozgása. A mellékmozgás kizárólag a szerszám forgástengelye mentén valósul meg, általában a szerszám végzi, de végezheti a munkadarab is.

9.3.1 Kézi fúrógépek

A kézi fúrógépeket gyakran a háztartásokban is alkalmazzuk, hordozhatóságuknak köszönhetően ipari alkalmazásuk is jelentős elsősorban javításoknál és szerelésnél. Elektromos- vagy pneumatikus meghajtással készülnek. Velük szembeni követelmények: (1) egyszerű kezelhetőség, (2) kis tömeg és (3) csendes járás.

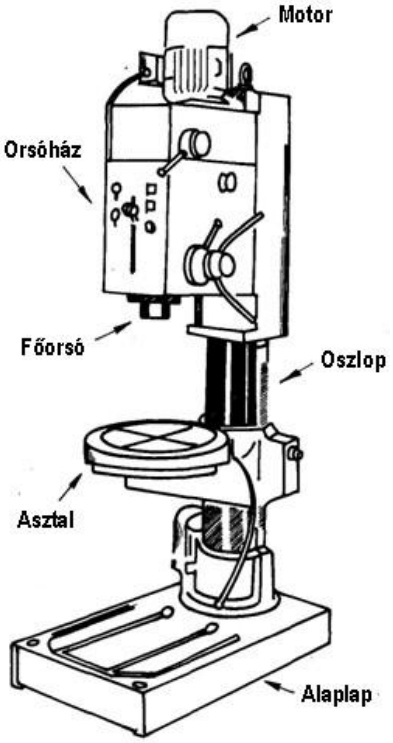
9.3.2 Egyorsós fúrógépek

Az üzemi fúrógépek általában függőleges főorsóval készülnek. Megkülönböztetünk oszlopos és állványos kivitelt.
A kisméretű oszlopos fúrógépet munkaasztalon kell elhelyezni, így ezeket **asztali fúrógépnek** nevezzük. Ezek kis teljesítményű gépek, a fúrható átmérő nem haladja meg a 16 millimétert. A munkadarab beállítása vízszintes síkban kézzel történik. A mellékmozgás is kézi előtolással valósítható meg.

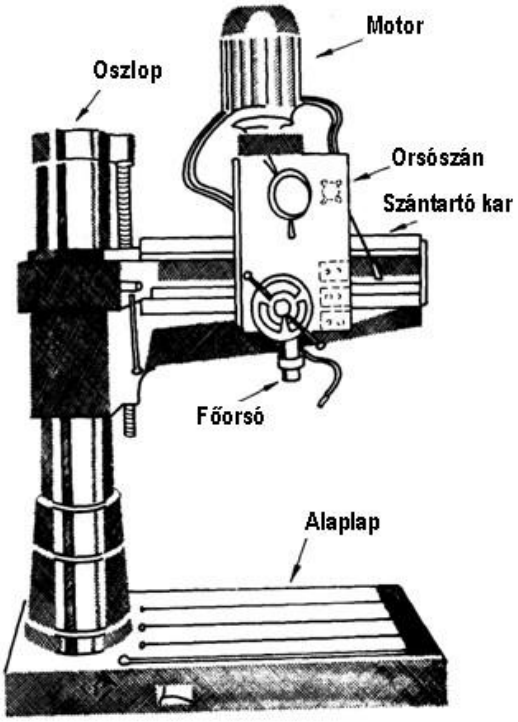
A nagyobb méretű **oszlopos fúrógépek** alaplapon állnak (9-17. ábra). Közepes teljesítményűek, a fúrható átmérő általában 30-40 mm. A munkadarab függőleges beállítása az asztal mozgatásával történik, míg vízszintes síkban a beállítás kézzel történik. Az előtolás gyakran kézzel történik, de a nagyobb gépeken gépi előtolás is van.

Az **állványos fúrógépek** szekrényszerű állványkialakítása nagy merevséget biztosít számukra. Egyébként sok tekintetben hasonlítanak az oszlopos fúrógépekhez, de nagyobb méretű és súlyosabb munkadarabokba készíthetők furatok általában 75 mm furatátmérőig.

Nagysúlyú, ill. nagyméretű munkadarabok furatainak megmunkálására **sugárfúrógépet** alkalmazunk (9-18. ábra). Itt a fúrót ill. főorsót lehet a furat fölé helyezni, ugyanis az alaplapon egy oszlop található, amelyre egy 360 fokos szögben elforgatható szántartó kar van felszerelve és ez hordozza a vízszintes irányban mozgatható fúrószánt. Emellett a szántartó kar mozgatható függőleges irányban is. A munkadarab elhelyezhető közvetlenül az alaplapra vagy az alaplapra egy gépasztal kerül és erre teszik a munkadarabot.



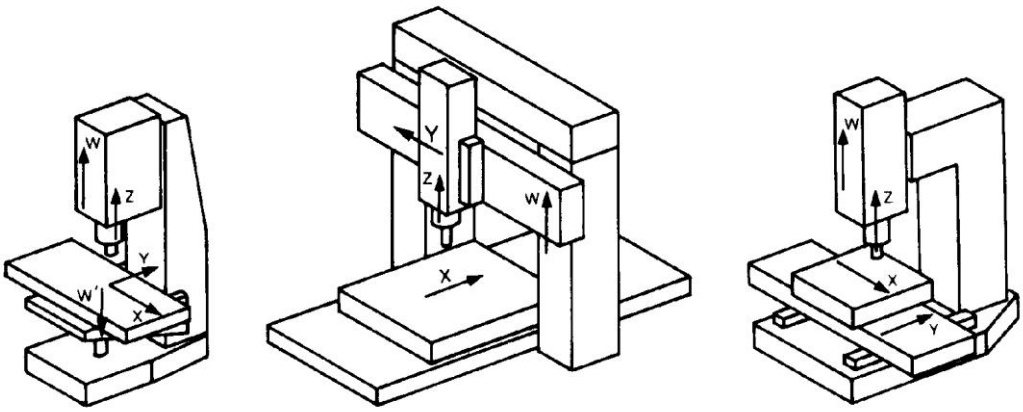
9-17. ábra. Oszlopos fúrógép



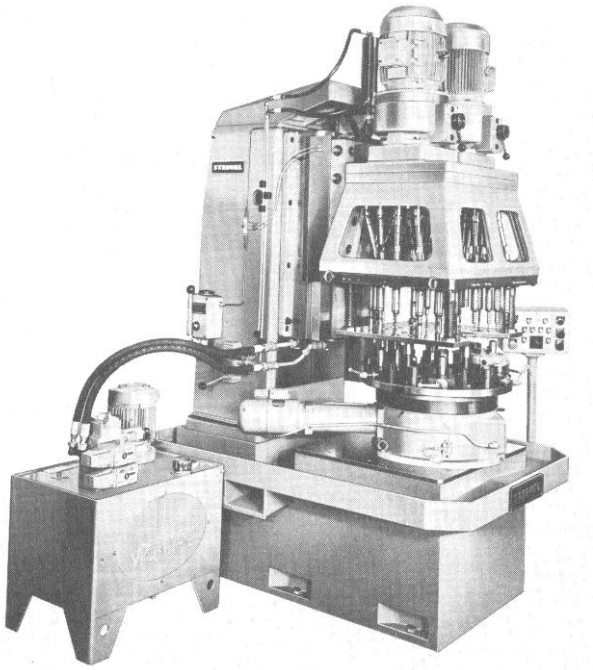
9-18. ábra. Sugárfúrógép [19]

Koordináta-fúrógépek (Helyzetfúrómű)

Nagy helyzetpontosságú furatok (± 2-8 μm), süllyesztések megmunkálására alkalmasak. Ennek érdekében a szánok mozgatásának hézagmentesnek kell lennie. A hordozószerkezetek nagy merevséggel készülnek. A hőingadozásokból eredő méretváltozások csökkentése érdekében ezeket a gépeket általában klimatizált helyiségben kell elhelyezni. A koordináta fúrógépek lehetséges felépítését mutatja a 9-19. ábra. A korszerű koordináta-fúrógépek CNC vezérléssel készülnek.



9-19. ábra. Koordináta fúrógépek felépítési vázlatai



9-20. ábra. Többorsós fúrógép

9.3.3 Többorsós fúrógépek

Többorsós fúrógépeken egyidejűleg több furatot tudunk megmunkálni. A többorsós fúrógépeket a termelékenység növelése érdekében alkalmazzuk, elsősorban sorozatgyártásban, amikor a munkadarabon több azonos furat van. A 9-20. ábra egy többorsós fúrógépet mutat, amelyen egyidejűleg akár 40 furat is megmunkálható. A meghajtó motor egy hajtómű segítségével párhuzamosan működteti az összes orsót. A fúróágak (orsók) teleszkópos tengellyel vannak kialakítva, így a helyzeteik különböző furatminta alakzat szerint állíthatók be. A furatok helyzetének biztosítása beállító karok-, vagy orsóvezető lap segítségével történik.

9.4 MARÓGÉPEK

A fúrógépekhez hasonlóan a forgácsoló főmozgás itt is a szerszám forgómozgása, de marásnál a mellékmozgás általában a szerszám forgástengelyére merőleges irányú. Marógépeken a fúrás mozgásviszonyai is egyszerűen létrehozhatók, így természetesen fúrásra is alkalmasak, de a fúrógépektől jelentősen bonyolultabb és drágább gépek, ezért tiszta fúróműveletre az

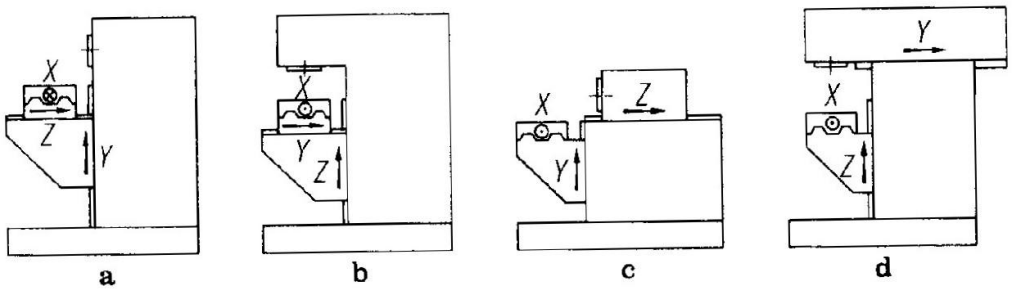
alkalmazásuk nem célszerű. Marógépekkel szinte minden felülettípus megmunkálható, viszonylag nagy pontosságúak. A gyalugépeknél termelékenyebbek, ezért ezeket szinte teljesen kiszorították az üzemekből. Alkalmazást nyernek egyedi-, sorozat- és tömeggyártásban is.

A marógépeknek számos változata van. A gép felépítése szerint két alapváltozatot különböztetünk meg: (1) Konzolos marógép, amelyeknél a szánrendszer „konzolnak" nevezett része az állványon függőleges irányban állítható és magán viseli a keresztszánt is, (2) Síkmarógép (ágyas marógép), amelyeknél az asztal egy síkban a gépágyon mozog. A főorsó helyzete szerint lehetnek vízszintes vagy függőleges marógépek. A marógépek fő jellemzőit a gépasztal méretei, a főorsó végződés méretei (Morse- vagy meredekkúp mérete, jele) és a gép munkaterének méretei képezik.

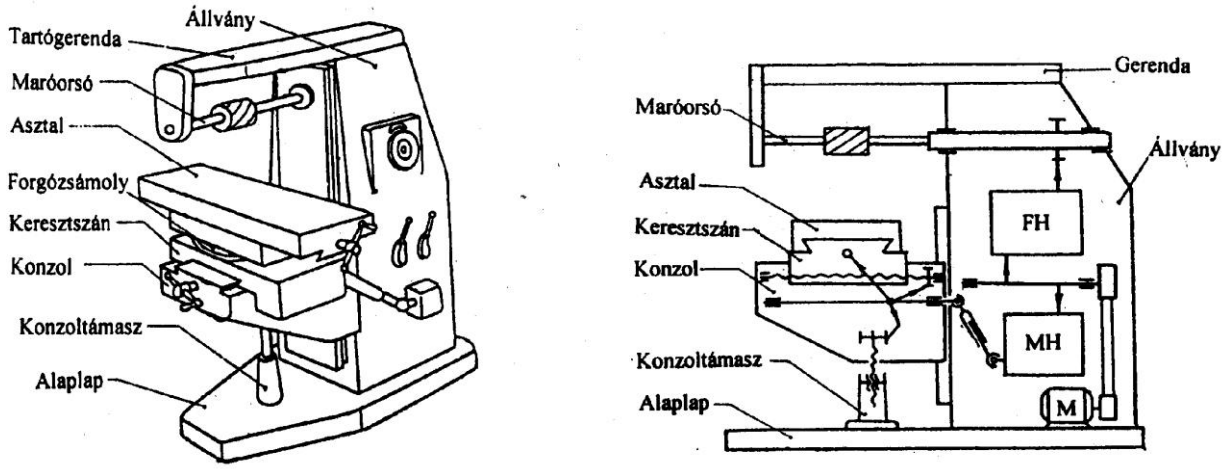
Konzolos marógépek

A konzolos marógépeket az jellemzi, hogy általában minden mellékmozgást, de mindenképpen a függőleges mozgást a munkadarabot tartó asztal végzi egy konzolos szánrendszer segítségével (9-21. ábra). A főorsó elrendezése lehet vízszintes vagy függőleges.

A konzolos vízszintes marógépek közül a legszélesebb körben alkalmazott az egyetemes marógép (9-22. ábra). Ez annyiban tér el a vízszintes marógéptől, hogy az egyetemes marógép tárgyasztala a vízszintes síkban forgózsámolyon ±45º-kal elfordítható. Az állvány felső részén vízszintes vezetékben állítható a marótengelyt kitámasztó gerenda.



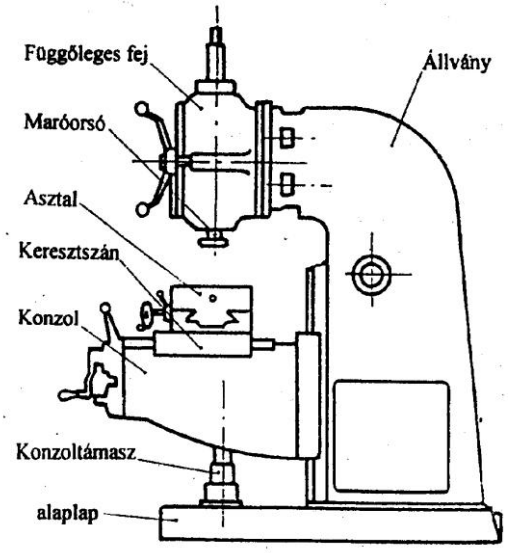
9-21. ábra. Vízszintes és függőleges konzolos marógépek rendszerezése ([13])
a, b –mindhárom szán a konzolon, c, d -két szán konzolon és egy az orsószekrényen



9-22. ábra. Egyetemes marógép vázlata [41]

A konzolos függőleges marógép (9-23. ábra) hasonló szerkezeti egységekből tevődik össze, mint a vízszintes marógép. Az állványban foglal helyet a főhajtómű. Az állvány felső részén helyezkedik el a függőlegesen a marógépfej. A marófej általában elfordítható és az orsó kis-

mértékben tengelyirányban kézzel állítható. A konzol az állvány függőleges lapos vezetékén függőleges irányban állítható. A konzolon helyezkedik el a kereszt- és a hossz-szán. A 9-24. ábra egy korszerű CNC konzolos marógépet mutat.

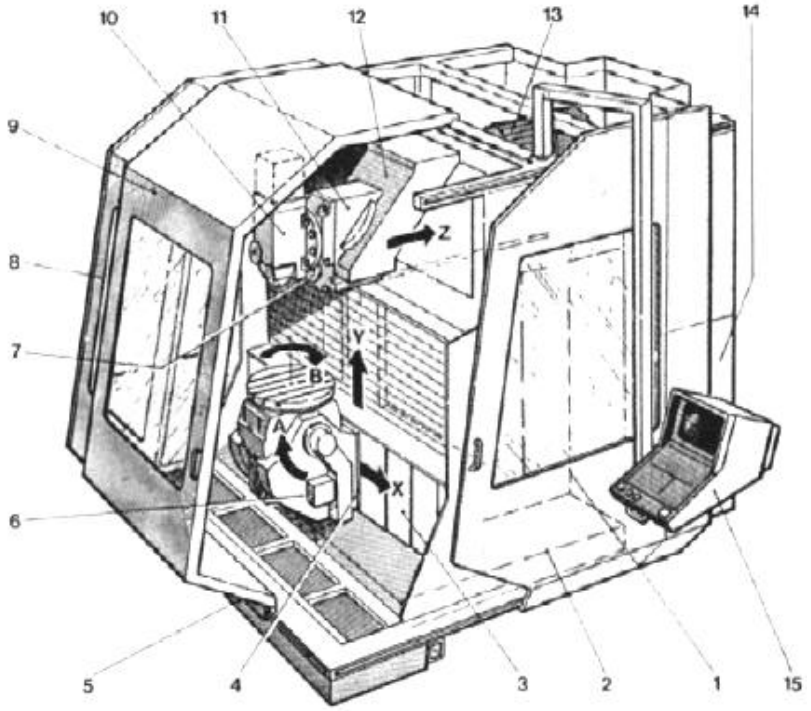


9-23. ábra Függőleges konzolos marógép vázlata

Síkmarógépek (ágyas marógépek)

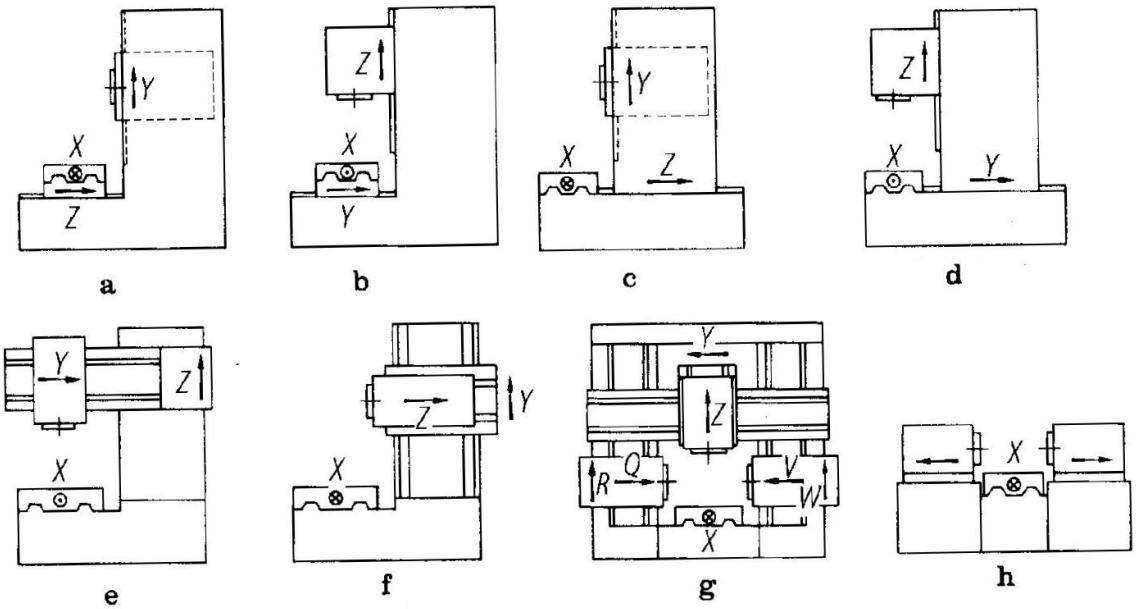
A síkmarógépek felépítése merevebb, mint a konzolos marógépeké, mert az asztal lealapozott ágyon csak a vízszintes síkban (egyes megoldásoknál csak egy irányban) mozog. A lehetséges mellékmozgás kiosztásokat és a főorsó elhelyezkedését mutatja a 9-25. ábra. A síkmarógépek fő egységei messzemenően alkalmasak tipizálásra. A tipizált építőelemekből (ágy, asztal, állvány, kereszttartó, keresztgerenda, orsóház, előtoló-egység) sokféle gépváltozat építhető.

A 9-26. ábra egy korszerű egyállványos ágyas CNC marógépet mutat.

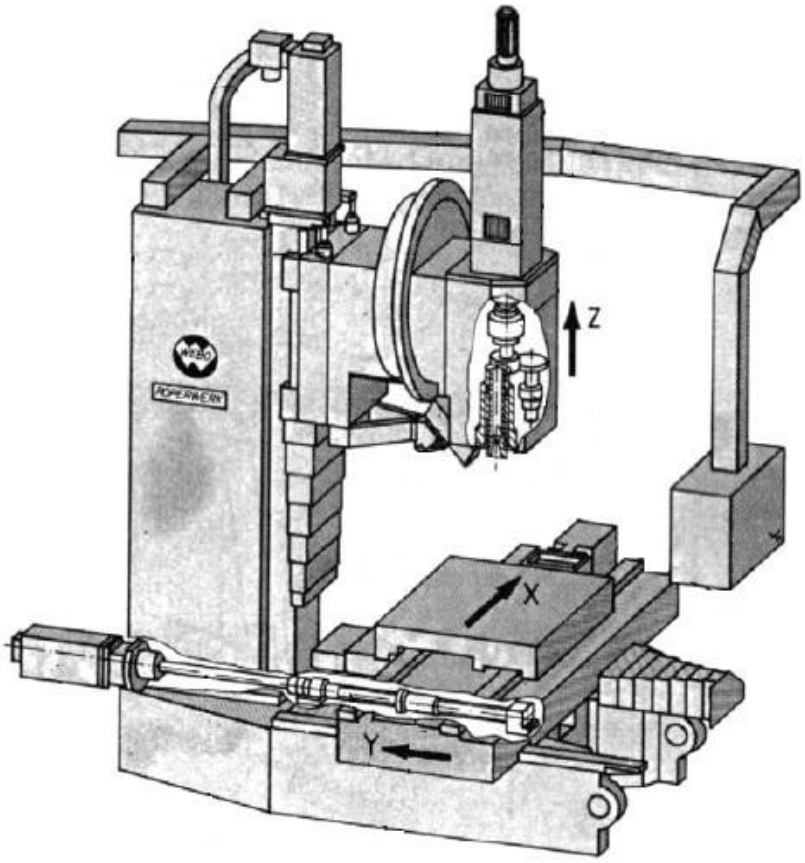


1- Állvány
2- Lábazat
3- Hossz-szán
4- Függőleges szán
5- Hűtőfolyadék-tartály
6- CNC körasztal
7- Vízszintes orsó
8- Védőkabin
9- kabinajtó
10- Függőleges marófej
11- Fejfordító
12- Orsószekrény
13- Főhajtó-motor
14- Elektromos szekrény
15- Vezérlőpult

9-24. ábra. Konzolos felépítésű CNC marógép (Maho)

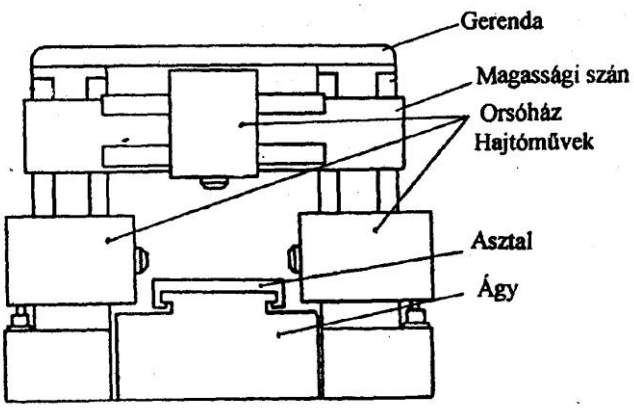


9-25. ábra. Vízszintes és függőleges ágyas marógépek rendszerezése ([13])
a, b – keresztszán a gépágyon és egy szán az orsószekrényen, c, d – egy-egy szán az asztalon, állványon és az orsószekrényen, e, f – egyállványos hosszmarógép, g – portál marógép, h - síkmarógép



9-26. Egyállványos ágyas CNC marógép keresztszános kivitelben (Röperwerk)

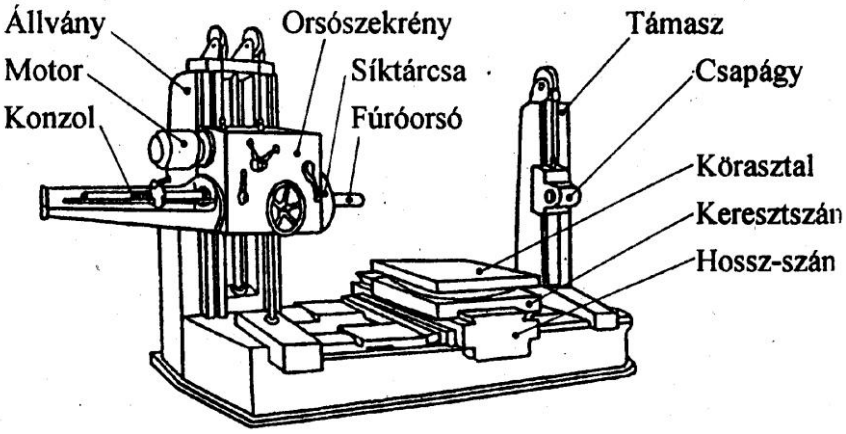
A portálmarógépek több orsóházzal rendelkeznek, így ezek a munkadarab több oldalát is képesek egyidejűleg megmunkálni (9-27. ábra).



9-27. ábra. Portálmarógép vázlata

9.5 VÍZSZINTES FÚRÓ-MARÓMŰ

A vízszintes fúró-marómű egy kombinált szerszámgép, amelyet akkor célszerű alkalmazni, ha a munkadarabon pontos furatokat és sík felületeket kell megmunkálni a munkadarab különböző oldalain, egy befogásban. Elsősorban nagyméterű szekrényszerű darabok (gépágyak, gépházak stb.) megmunkálására alkalmazzák. Az orsóház függőleges irányban mozgatható az állványon kialakított vezetékeken. A vízszintes fúróorsó forgó mozgás mellett előtoló mozgást is végezhet a forgástengely mentén. Hosszú fúrórudak vagy marótengelyek megtámasztására szolgál a támasz, amely a gépágyon hosszirányba elmozdítható és ezen helyezkedik el a támasztócsapágy, amely függőleges irányban állítható a támaszon. A gép ágyazatán helyezkedik el a hossz- és a keresztszán és ezen a gépasztal amelyre a megmunkálandó darabot fogják fel. Az asztal körasztal megoldású, így elfordítható.
Kézi vezérlésű, hagyományos fúró-maró művet mutat a 9-28. ábra. Ezeket ma már a vízszintes főorsójú megmunkáló központok (lásd 9.9 fejezet) kiszorítják az üzemekből.

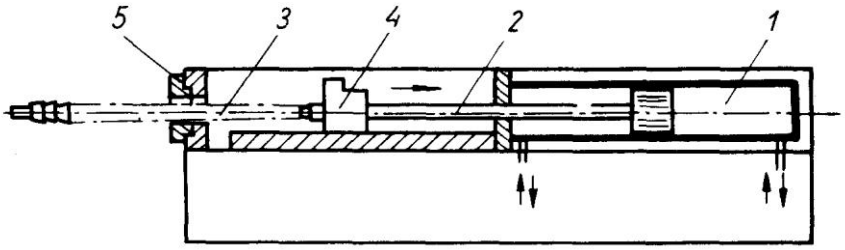


9-28. ábra. Fúró-marómű vázlata [41]

9.6 ÜREGELŐ (ALAKHÚZÓ) GÉPEK

Üregeléssel bonyolult munkadarab-felületek hozhatók létre általában egyszeri áthaladással a munkadarabon. Az üregelőgép szerkezete viszonylag egyszerű, mert a szerszám-élek egymáshoz viszonyított kiemelkedésének köszönhetően előtoló mozgás nem szükséges, ill. az előtolás a szerszámba van „beépítve”. Nagy termelékenységű eljárás, de igen drága egyedi

szerszámot igényel, ezért csak sorozat- és tömeggyártásban gazdaságos. A külső és belső üregelőgépek egyetemes jellegűek és vízszintes vagy függőleges elrendezésűek lehetnek.

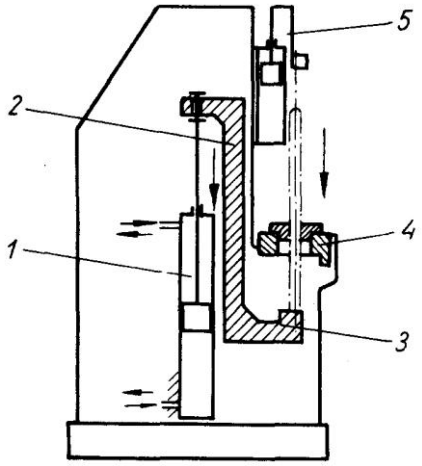


9-29. ábra. Vízszintes elrendezésű belső üregelőgép

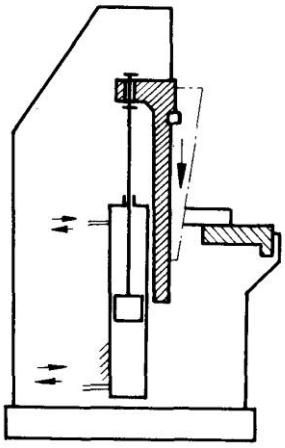
A vízszintes belső üregelőgépet szemlélteti a 9-29. ábra. Ez a leggyakoribb gépkialakítás. A gépágyban van kialakítva a húzórendszer, amelynek fő elemei egy hidraulikus henger (1), a dugattyúrúd (2) (vonórúd) amelynek a végén helyezkedik el a szerszámbefogó fej (4). A szerszámot (3) a munkadarab (5) furatába helyezve a befogófejbe rögzítik és áthúzzák a munkadarabon.

A függőleges üregelőgépek helyigénye jelentősen kisebb, mint a vízszintes gépeké, de hátrányuk a kisebb lökethossz és a korlátozott munkadarabméret. Kialakításuk szerint lehetnek nyomó- vagy húzó üregelő gépek. A 9-30. ábra egy függőleges, húzással működő üregelőgép elvi vázlatát mutatja. A hidraulikus henger (1) mozgatja a szánt (2) és a rajta lévő befogófejet (3). Megmunkálás előtt a szerszám az ún. adogatóba (5) van befogva. A munkadarabot a gépasztalra (4) fogják fel készülékben. A munkadarab felerősítése után az adogató a szerszámot leereszti és átereszti a munkadarab furatán. A szerszámbefogó fej az üregelőtüske alsó részét automatikusan megfogja, ugyanakkor az adogató a tüske felső részét elengedi és elindulhat a megmunkálás folyamata. A megmunkálás befejezése és a munkadarab levétele után a szán visszafut, az adogató a szerszámot megfogja és a befogófej automatikus oldása után kiemeli az asztal furatából.

A 9-31. ábra egy külső üregelőgép elvi felépítését mutatja. A szerszám a szánra mereven van rögzítve. A munkadarab a munkalöket végén kismértében eltávolodik a szerszámtól. Ezt az elmozdulást a szán vezérli.



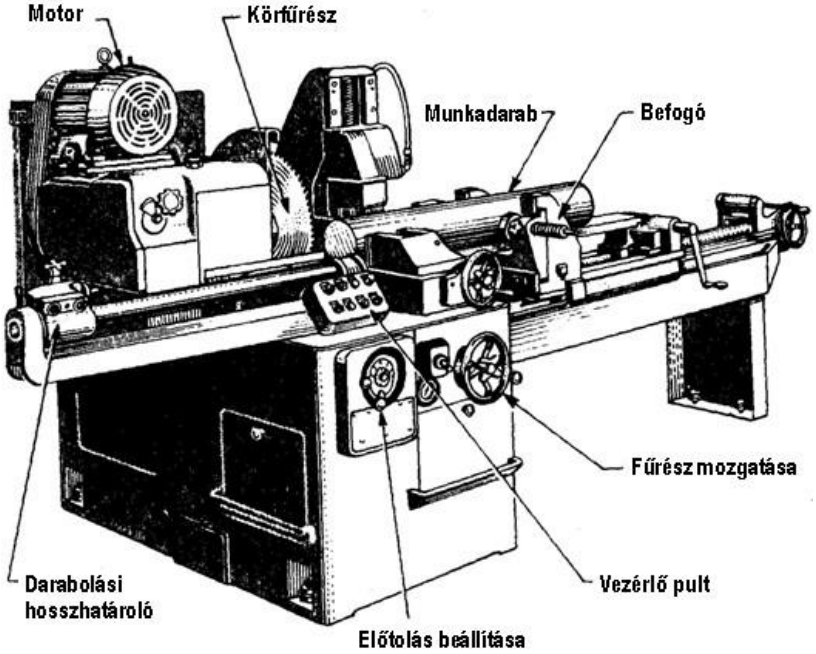
9-30. ábra. Függőleges elrendezésű belső üregelőgép



9-31. ábra. Függőleges elrendezésű külső üregelőgép

9.7 FŰRÉSZELŐ GÉPEK

A fűrészelő gépeket rúdanyag- vagy lemezek darabolásához alkalmazzuk. Három alapvető típusuk terjedt el: körfűrész, keretes fűrész és szalagfűrész. A 9-32. ábra egy körfűrészt mutat. Itt a főmozgás a fűrésztárcsa forgómozgása, a mellékmozgás egyenes vonalú, amelyet szintén a szerszám végez. A hidraulikus előtolómű automatikusan működik (előtolás, megállás, visszafutás). Rendszerint a munkadarab megfogása is hidraulikus szorítókkal történik



9-32. ábra. Körfűrészgép [19]

A 9-33. ábra egy vízszintes szalagfűrész gépet mutat. A főmozgás ezeknél a gépeknél egyenes vonalú. A szerszám egy 20-50 mm széles végtelenített, fogazott élekkel ellátott acél szalag. A fűrészszalag két tárcsán fut, amelyek egy közös tartóba vannak beépítve. A tartó billenő mozgásával valósul meg az előtoló mozgás. A forgácsolóél függőleges irányát fordítógörgők biztosítják.

9-33. ábra. Automata vízszintes szalagfűrész (AMADA HA250W)

A 9-34. ábra egy keretes fűrészgépet mutat. Az egyenesbe vezetett fűrészkeretet forgattyús mechanizmus mozgatja. A lökethossz állítható. Az előtolást a fűrésznek az anyagra kifejtett nyomása határozza meg.

9-34. ábra. Keretes fűrészgép

9.8 KÖSZÖRŰGÉPEK

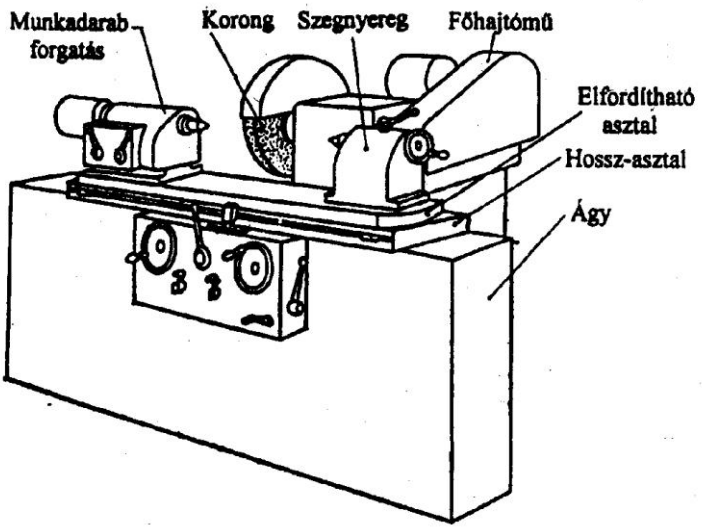
A köszörűgépeket befejező (finomító) megmunkálásra használjuk. Ezt vagy a munkadarab méretpontossága (IT8 vagy annál finomabb), ill. felületminősége (R_a = 0,8 vagy finomabb) vagy a hőkezelés utáni nagy keménysége teszi indokolttá. Köszörüléssel általában csak a köszörülési ráhagyást (néhány tized milliméter) távolítsuk el. A megmunkálandó felület alakja, a köszörülés módozata és mozgásviszonyai alapján a köszörűgépeknek sok változata van. Ezek közül a leggyakoribbak: körköszörű-gépek (lehetnek palást- vagy furatköszörű), síkköszörű, szerszámélező gépek, speciális köszörűgépek (menetköszörű, fogazatköszörű). Nagyon fontos, hogy a korong szétrepülésének veszélye miatt a köszörűkorongot mindig védőburkolattal kell ellátni.

A főmozgást mindig a köszörűkorong végzi, a mellékmozgásokat a felület alakjától és a munkadarab méreteitől függően, vagy a munkadarab vagy a köszörűkorong végzi.

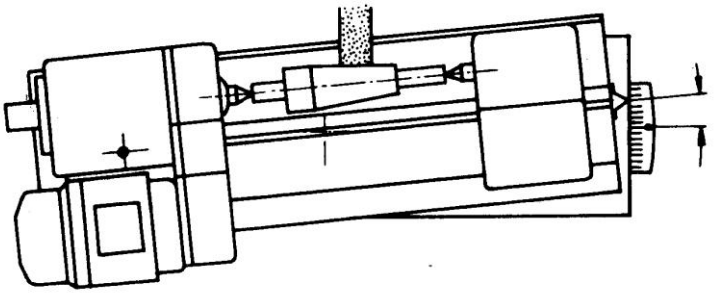
Körköszörűgépek

A körköszörű gépek között különbséget teszünk a külső hengeres felületek megmunkálására alkalmas ún. palástköszörű-gépek és a furatköszörű-gépek között. Esetenként a palástköszörű-gépeket ellátják furatköszörű-orsóval is, amelyek adalékként felszerelhetők vagy billentéssel munkapozícióba hozhatók. Az ilyen palástköszörűt egyetemes palástköszörűnek nevezik.

Palástköszörűgép elvi vázlatát mutatja a 9-35. ábra. A munkadarab forgatását a tárgyorsó végzi, a darabot csúcsok közé vagy tokmányba fogják be. A hosszelőtolást a gépasztallal a munkadarab végzi. A fogásvétel irányú mozgást a korongorsó-ház végzi. Az egyszerű palástköszörű-gépeken csak külső hengeres felületeket, vagy beszúró eljárással a korong profiljának megfelelő forgásfelületet lehet köszörülni. A palástköszörű-gépek másik változatánál, a tárgyasztalt a függőleges tengely körül el lehet fordítani és így kúpfelületek is megmunkálhatók a gépen (9-36. ábra).

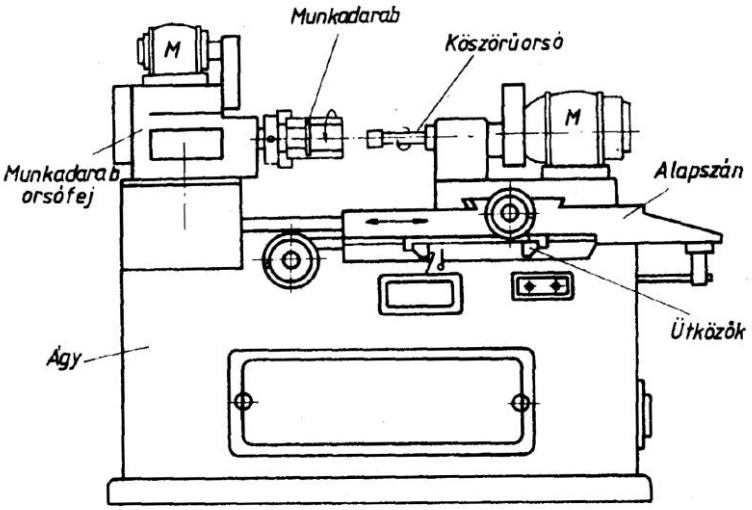


9-35. ábra. Palástköszörűgép elvi vázlata



9-36. ábra. Kúpfelület köszörülése

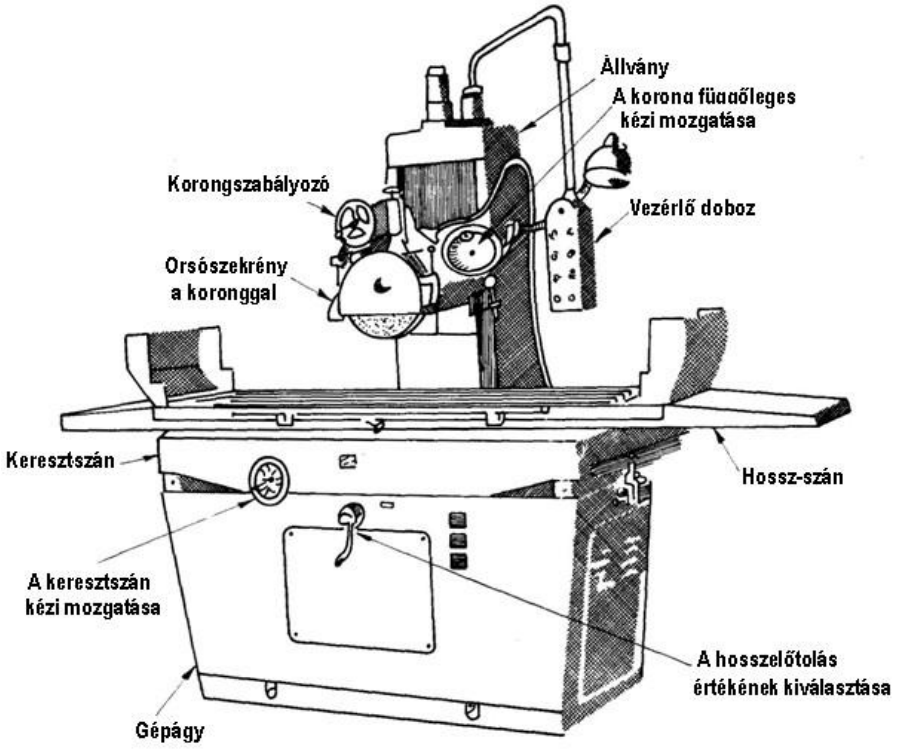
Furatköszörűgéppel hengeres és kúpos furatok köszörülhetők. Furatköszörülés sajátossága, hogy kis furatátmérők esetén rendkívül nagy fordulatszámú korongorsó szükséges. Ezért általában a 6 milliméter átmérő alatti furatok a gépek többségén nem munkálhatók meg. A 9-37. ábra egy furatköszörű elvi vázlatát mutatja. A munkadarabot tokmánnyal fogják be a tárgyorsóba, esetenként ha a darab hossza indokolja, bábbal is megtámasztják. A külön motorral hajtott köszörűorsó a keresztszánra, ez pedig a hosszmozgást végző alapszánra van szerelve. Az alapszánt általában hidraulikus hajtómű mozgatja.



9-37. ábra Furatköszörűgép elvi vázlata

Síkköszörűgépek

Síkköszörűgépekkel sík felületek munkálhatók meg. A síkköszörülést végezhetjük a korong palástfelületével vagy a homlokfelületével. A főorsó helyzete szerint pedig megkülönböztetünk vízszintes és függőleges kialakítású gépeket. A tárgytartó asztal vagy hosszirányú, vagy forgó mozgást végez. Vízszintes tengelyű, korongpalásttal dolgozó köszörűgép szerkezeti felépítését mutatja a 9-38. ábra. Az orsóház a koronggal az állvány függőleges vezetékén fogásvétel irányú elmozdulást végez. A hosszasztal alternáló egyenes vonalú mozgása és a keresztszán szakaszos mozgása teszi lehetővé a megmunkálandó felület bejárását. A tárgyasztalra helyezik a munkadarabot. A munkadarab befogásához gyakran mágnesasztalt lehet alkalmazni. A korongszabályozó egység az orsóházra van felszerelve.



9-38. ábra. Korongpalásttal dolgozó síkköszörűgép

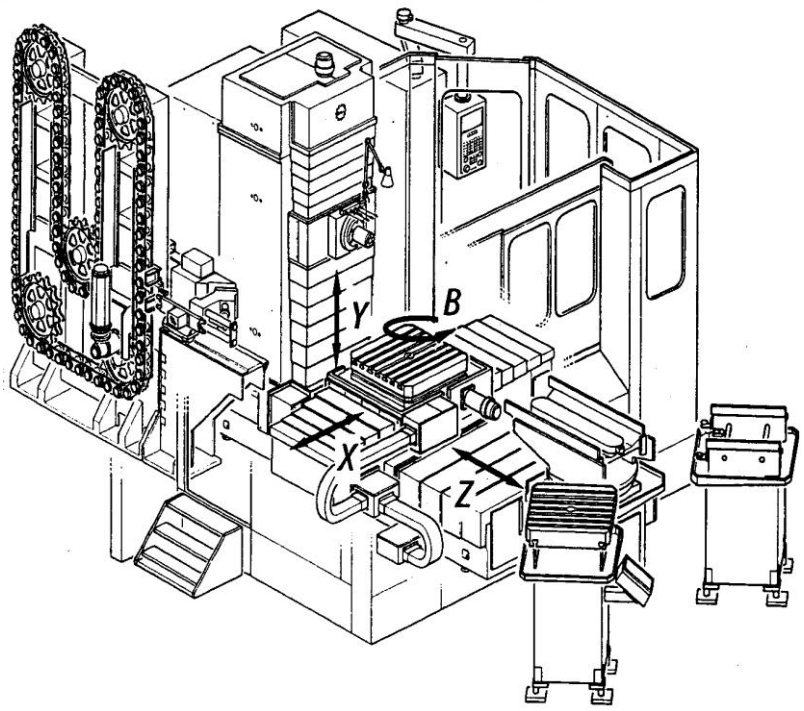
9.9 MEGMUNKÁLÓ KÖZPONTOK

A megmunkáló központok alapvető jellemzői a következők:

- Több megmunkálási mód megvalósítására alkalmasak, leggyakoribb kombinációk:
  - Fúrás, marás (Megmunkáló központ)
  - Esztergálás, fúrás, marás (Esztergaközpont)
- Szerszámtárral rendelkeznek
- Automatizált szerszámváltásra képesek
- CNC vezérlésük van.

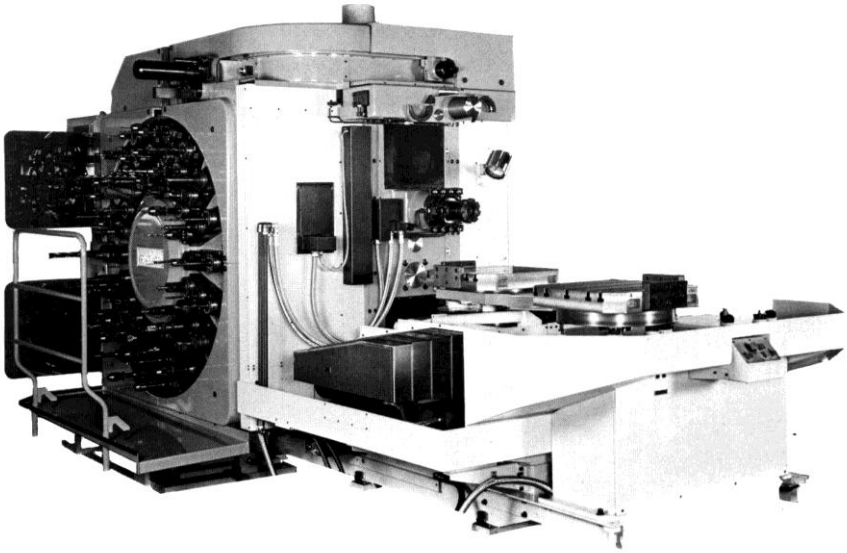
Megmunkáló központok (maró-fúró)

A főorsó helyzete szerint lehetnek vízszintes- vagy függőleges főorsójú megmunkáló központok. Ez igen fontos jellemzője a gépnek, ui. a vízszintes főorsójú gépek elsősorban szekrényszerű alkatrészek komplett megmunkálására alkalmasak, míg a függőleges főorsójú gépeket elsősorban lapszerű darabok megmunkálására célszerű alkalmazni. Fontos további jellemzői ezeknek a gépeknek még a vezérelt tengelyek száma (2½ D, 3D, 4D, 5D), a gép munkatere, az asztal méretei, a szerszámtár férőhelye (kapacitása) és a munkadarab legnagyobb megengedett tömege.



9-39. ábra. Vízszintes főorsójú megmunkáló központ felépítése [13]

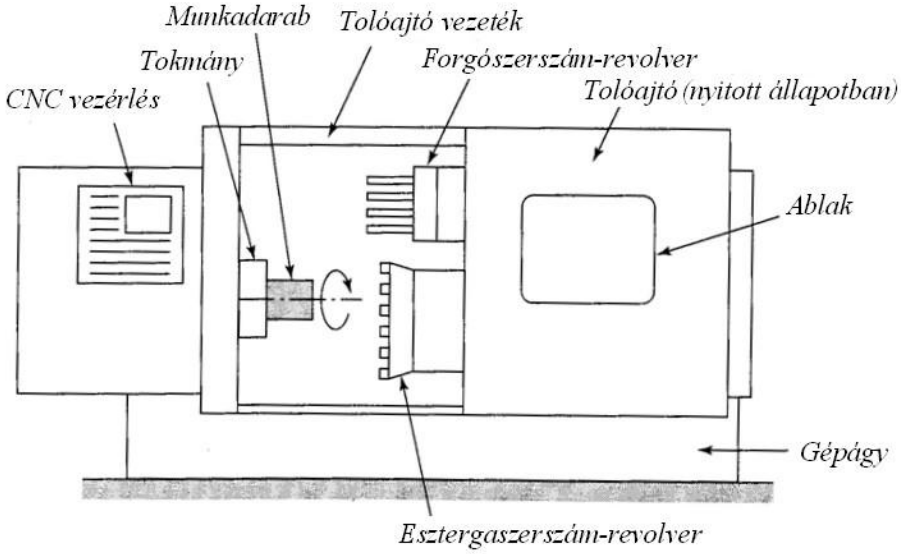
A vízszintes főorsójú megmunkáló központok általában osztó, vagy folyamatos forgatású NC-asztallal rendelkeznek és így egy befogásban a munkadarab négy oldala megmunkálható. Ez azt jelenti, hogy egy bonyolult szekrényszerű darab két befogásban megmunkálható. Ezek a gépek alkalmasak egyedi- és sorozatgyártásban is, így a hagyományos vízszintes fúró-maró műveket lassan kiszorítják az üzemekből. A 9-39. ábra egy vízszintes megmunkáló központ elvi felépítését mutatja, a 9-40. ábrán pedig a MACINO cég MC65 géptípusának a fényképe látható.



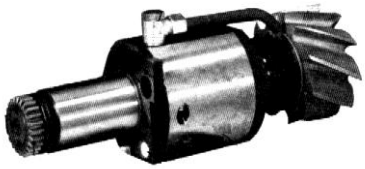
9-40. ábra. Vízszintes főorsójú megmunkáló központ paletta cserélővel (MACINO).

Esztergaközpontok

Ha az eszterga meghajtott szerszámokkal is rendelkezik, akkor az esztergálás mellett maró és fúró műveletek végrehajtására is alkalmas, ezeket esztergaközpontnak nevezzük (9-41. ábra). A 9-42. ábra egy meghajtott szerszámot mutat. A meghajtást a revolverfejbe beépített hajtómű és a szerszámszár végén elhelyezkedő fogaskerék biztosítja.



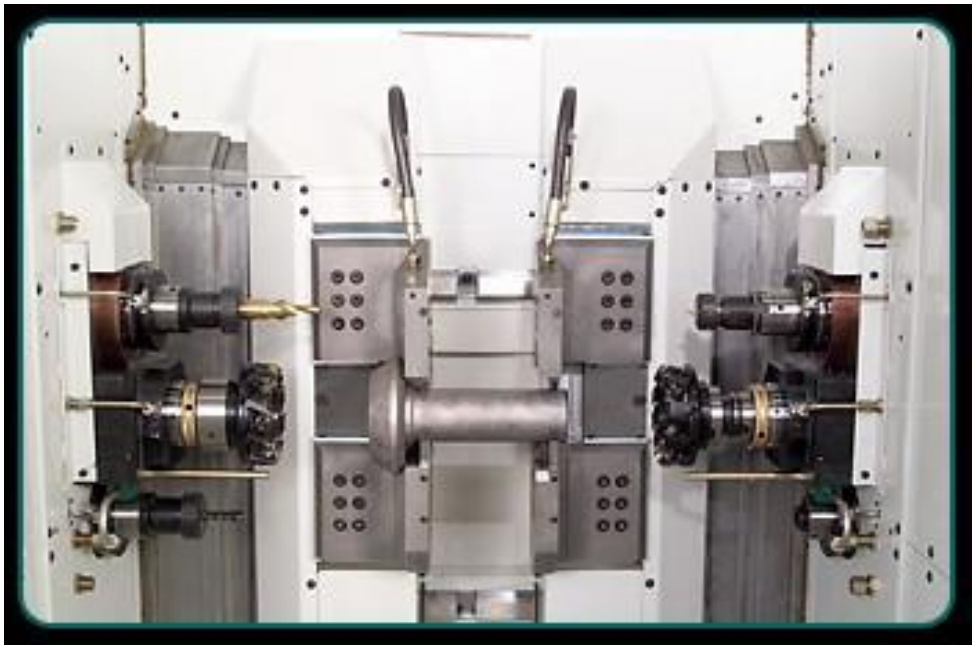
9-41. ábra. Esztergaközpont elvi felépítése [42]



9-42. ábra. Revolverfejbe helyezhető marószerszám

9.10 TENGELYVÉG MEGMUNKÁLÓ CÉLGÉPEK

A tengelyvég megmunkáló gépek a célgépek csoportjába tartoznak, mégis meg kell említeni őket. Tengelyek sorozatgyártása esetén kimondottan kívánatos, hogy a tengely két végébe a csúcsfészkek megmunkálása egy befogásban történjen, mert a csúcsfészkek csak ebben az esetben lesznek egytengelyűek. Ez a feladat csak tengelyvég megmunkáló célgépen végezhető el. Ezek a gépek általában a csúcsfészek fúrását megelőzően a tengelyek homlokfelületeit is megmunkálják, általában marófejjel vagy ritkábban síksüllyesztéssel. Ez úgy oldható meg, hogy vagy több munkaállomással (általában három), vagy szerszámváltó berendezéssel rendelkeznek. A tengely két végének a megmunkálása általában egyidejűleg történik, de olyan megoldások is vannak amelyeknél a munkadarabot fordítják el 180 fokkal. A 9-43. ábra egy tengelyvég megmunkáló gép munkaterét mutatja, ahol a munkadarab hidraulikus működtetésű központosító-prizmás befogókészülékben van.



9-43. ábra. Tengelyvég megmunkáló gép munkatere (Hirscheider)

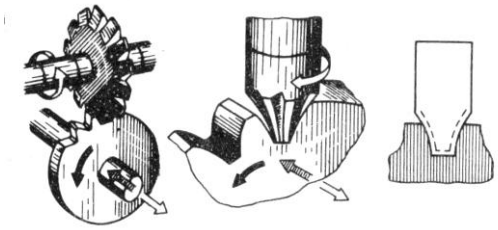
9.11 FOGAZÓGÉPEK

A különböző fogaskerekek fogazatának előállítása viszonylag bonyolult gyártási feladatnak számít. Ezt sorozatgyártásban csak fogazás előállítására kifejlesztett gépeken lehet megoldani. A gyártandó fogaskerék típusa az eljárást, és így a fogazógép felépítését lényegében meghatározza.

A fogazógépeket két nagy csoportba sorolják: (1) hengeres fogazatok fogazógépei, (2) kúpos fogazatok fogazógépei. A készíthető fogazat pontossága, felületi minősége szempontjából nagyoló-, simító- és finomfelületi megmunkálásról, ill. eljárásról beszélhetünk.

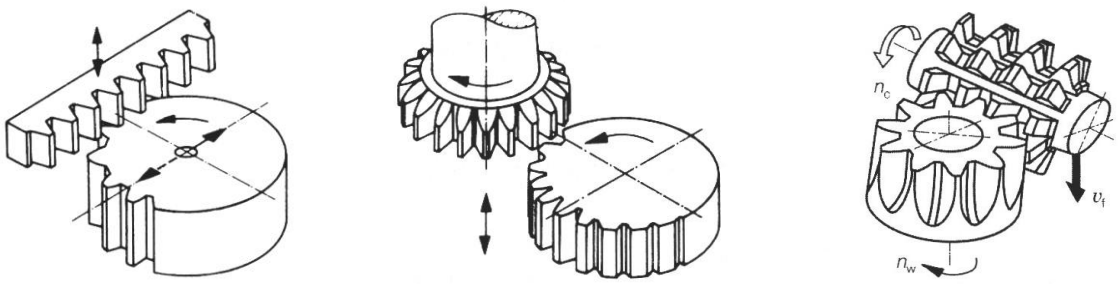
9.11.1 Hengeres fogazatok nagyoló- és simító fogazógépei

A fogfelületek kialakításának két alapvető módszere van: profilozás és lefejtés. A lefejtő eljárás lehet szakaszos vagy folyamatos.



9-44. ábra. Profilozó fogazás tárcsás modulmaróval és ujjmaróval

A profilozó eljárás alapja a fogárok profiljának megfelelő alakos szerszám (maró vagy üregelő szerszám), amellyel a fogakat egyenként munkálják ki (9-44. ábra). Egy fogárok kimunkálása után a munkadarabot pontos osztókészülékkel egy fogosztásnak megfelelően el kell fordítani. Kis termelékenységű és korlátolt pontosságú eljárás, de egyetemes marógépeken is elvégezhető.
A lefejtő eljárások alapelve az, hogy a szerszám osztóvonalán (amely valamilyen metszetében fogaslécet vagy fogaskereket testesít meg) legördítik a gyártandó kerék osztókörét. A legördítés egyes eljárásoknál szakaszos (Maag), másoknál folyamatos (Fellows, Pfauter). A lefejtő eljárások elvi vázlatát a 9-45. ábra mutatja.

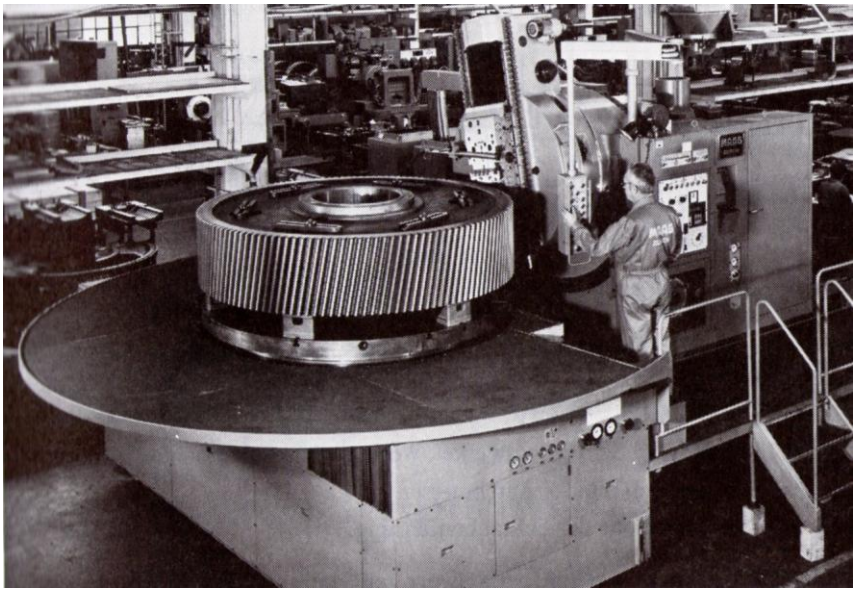


Lefejtő gyalulás (Maag) Lefejtő vésés (Fellows) Lefejtő marás (Pfauter)

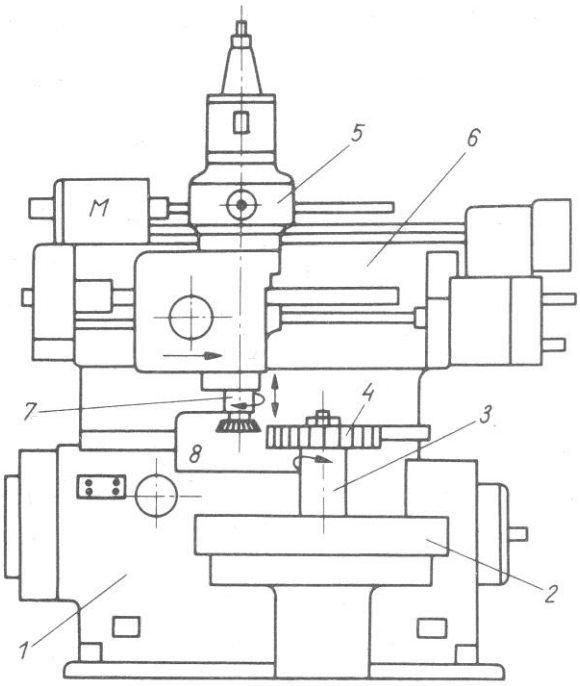
9-45. ábra. Hengeres fogazatok lefejtő eljárásai

A MAAG féle foggyalulás szakaszos lefejtő eljárás amelynél a fogasléc szerszámon a munkadarab forgó-, haladó mozgást végezve gördül le. A gyaluló főmozgást végző szerszám véges hossza miatt, bizonyos fogszám elkészülte után a munkadarabot pontos osztásszámnak megfelelő mértékben vissza húzzák, majd a legördítés folytatódik. Egyenes és ferde, külső fogazatú hengeres kerekek esetén alkalmazható. A munkadarab gördítése mindig a szerszám felső holtpontjában történik (ennek mértéke hozzávetőlegesen a fogosztás század része). Lassú, de pontos eljárás. A 9-46. ábra nagyméretű fogaskerék lefejtő gyalulását mutatja.

A Fellow féle fogvésőgép (9-47 ábra) esetében a legördülés mozgásviszonya megegyezik egy olyan párhuzamos tengelyű fogaskerékpár forgómozgásával, amelynél a kerekek fogszáma megegyezik a szerszámot megvalósító metszőkerék és a gyártandó fogaskerék fogszámaival. Az egyenes vonalú, alternáló főmozgást a szerszám végzi. Külső és belső fogazatú hengeres kerekek megmunkálására is alkalmazható. Általában belső fogazásra alkalmazzák, valamint olyan külső fogazatok előállítására ahol kevés hely van a szerszámkifutására (pl. csoportkerekek megmunkálására).



9-46. ábra. Nagyméretű fogaskerék lefejtő gyalulása (Maag)



1- ágyazat
2- asztal
3- központozó tüske
4- munkadarab
5- vésőfej
6- kereszttartó
7- tüske
8- metszőkerék

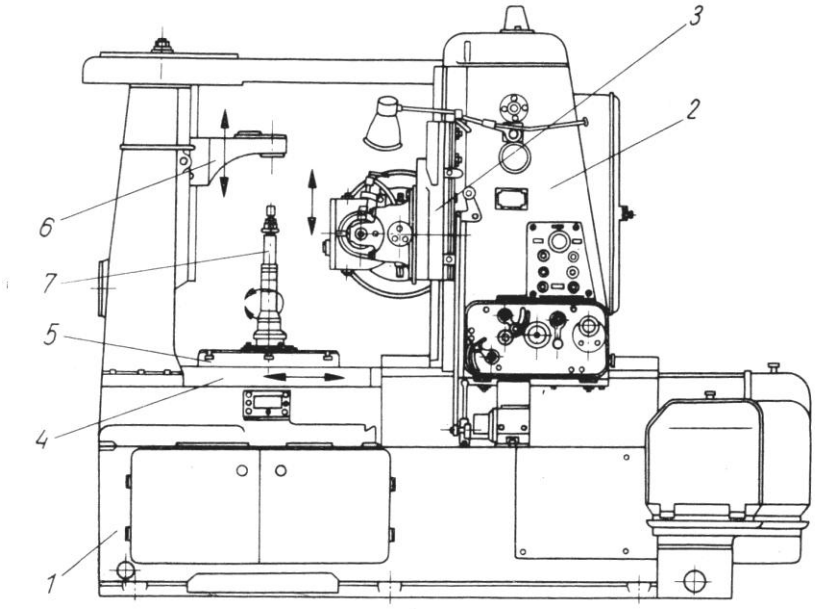
9-47. ábra. Fogvésőgép szerkezeti felépítése [41]

Mivel ezzel az eljárással belső fogazatú kerekek is gyárthatók, az eljárást fogvésésnek- a gépeket fogvéső gépnek nevezzük. Ferde fogazás esetén ferdefogú metszőkereket kell alkalmazni és a szerszámnak a tengelyére erősített vezető pályákkal a fogferdeségnek megfelelő pótmozgást (elfordulást) kell adni. A fogvésőgép szerkezeti egységeit vázlatosan a 9-47. ábra szemlélteti.

A legördülést biztosító kinematikai kényszerkapcsolatot a hagyományos gépeknél viszonylag összetett mechanikus hajtáslánc valósítja meg. A mozgásviszonyok változtatása cserekerekekkel lehetséges. A korszerű CNC gépeknél minden mozgást külön meghajtó motor létesít, amelyek koordinálását a vezérlés biztosítja (9-48. ábra).

9-48. ábra. CNC fogvéső gép (Lorenz)

A lefejtő marás folyamatos lefejtő eljárás, igen nagy termelékenysége és sokoldalú alkalmazhatóságának köszönhetően a lefejtő marógépek a legelterjedtebb fogazó gépek. A maró főmozgása képezi a forgácsoló főmozgást. Egyetlen lefejtő maróval és a gép megfelelő beállításával tetszőleges fogszámú-, profileltolású-, foghajlásszögű fogaskerék munkálható meg.



1- ágyazat
2- állvány
3- marószán
4- szán
5- asztal
6- kitámasztó-kar
7- munkadarab-felfogó tüske

9-49. ábra. Lefejtő-marógép szerkezeti egységei [41]

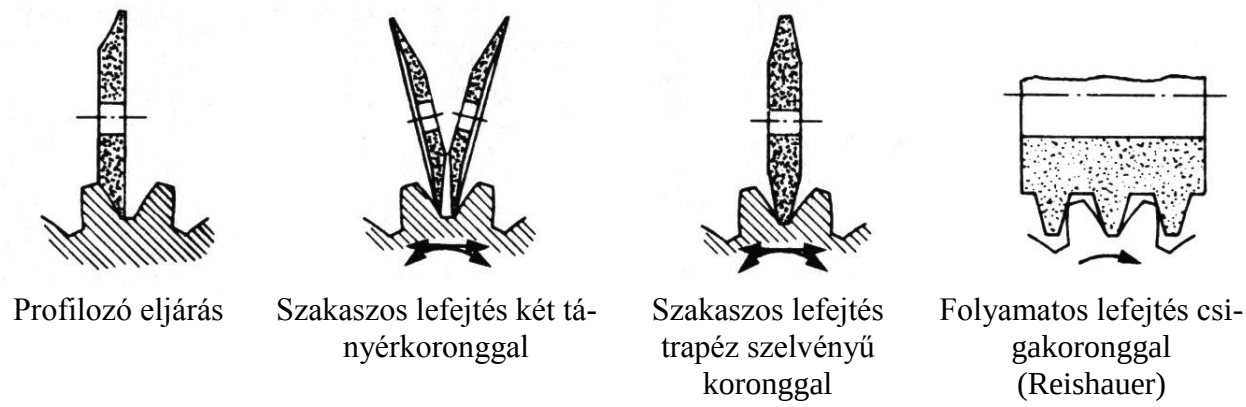
A lefejtő maró geometriai szempontból egy- vagy több bekezdésű csiga, amelynek a felületén a forgácsoló éleket kialakító hornyok vannak, és a munkadarabbal egy csigapárt képez. A forgómozgás mellett a csigamaró a munkadarab tengelyével párhuzamos irányú mellékmozgást is végez, és ezáltal a munkadarab teljes szélességén kialakítja a fogárkokat. A lefejtőmarógép körvonalrajzát és fő egységeit a 9-49. ábra mutatja. A legördülést biztosító kinematikai kényszerkapcsolatot a hagyományos gépeknél összetett mechanikus hajtáslánc valósítja meg. A korszerű CNC gépeknél minden mozgást külön meghajtó motor létesít, amelyek koordinálását a vezérlés biztosítja.

Lefejtő marógépeken csigakerekek is gyárthatók, emellett ezekkel a gépekkel megfelelő szerszámkialakítás mellett tetszőleges profilú fogak készíthetők, mint pl. lánckerekek, különböző bordázatok stb.

9.11.2 Hengeres fogazatok finomfelületi fogazógépei

A fogfelületek edzés vagy nemesítés utáni finom megmunkálása általában köszörüléssel történik. A fogköszörülésnek is, mint a fogazásnak két alapvető eljárása van: (1) profilozás és (2) lefejtés. A jellegzetes fogköszörülési eljárásokat a 9-50. ábra mutatja.

A profilozó fogköszörülés szerszáma olyan köszörűkorong amelynek működő profilja megegyezik a fogárok profiljával. A profilköszörű működő felülete lehet egyoldalas, amely egyidejűleg csak egy fogoldalt munkál meg, vagy kétoldalas, amely egy fogárok mindkét fogoldalát egyszerre köszörüli. A profilozó eljárás termelékeny, de a korong profilozása nagyon bonyolult és emiatt alkalmazása kevésbé terjedt el. Erre a problémára a korszerű CNC korong-lehuzó berendezések jelentenek megoldást.

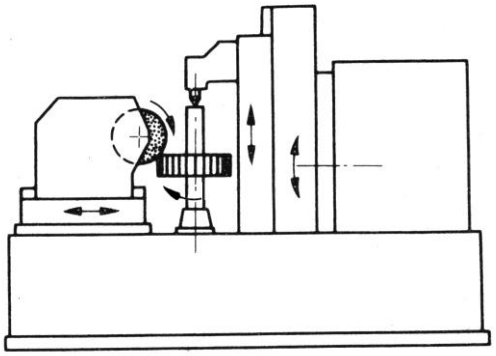


9-50. ábra. A fogköszörülés eljárásai

A gyakorlatban inkább a lefejtő köszörülési eljárások terjedtek el.

A szakaszos lefejtő köszörülés a foggyalulás elvén alapuló tányérkorongokkal végzett un. Maag-féle eljárás. A fogak köszörüléséhez az alábbi összehangolt mozgásokra van szükség: (1) a korong forgó mozgása, (2) a munkadarabnak a köszörűkorongokkal összeegyeztetett forgó- és haladó mozgása, (3) a munkadarab tengelyirányú alternáló mozgása (a fogak hosszirányában), (4) a munkadarab fogankénti osztása.

A folyamatos lefejtő köszörülés elve megegyezik a lefejtő maráséval. Az eljárás igen termelékeny, ma a fogköszörülés csúcstechnológiájának számít. A csigakorongos lefejtő fogköszörű gép körvonalrajza és mozgásrendszere a 9-51. ábrán látható.



9-51. ábra. Csigakorongos lefejtő fogköszörű gép

9.11.2 Kúpkerekek fogazógépei

A kúpkerekek fogazása bonyolultabb feladat, mint a hengeres kerekeké, mert a fogárok a kerék csúcsa irányában szűkül, a fogmagasság csökken. Ezért profilozó eljárással nem lehet helyesen kapcsolódó kúpfogazást készíteni. Kúpkerekek megmunkálására két eljárás létezik: (1) másolás és (2) lefejtés.

9.11.2.1 Kúpkerék-gyalugépek

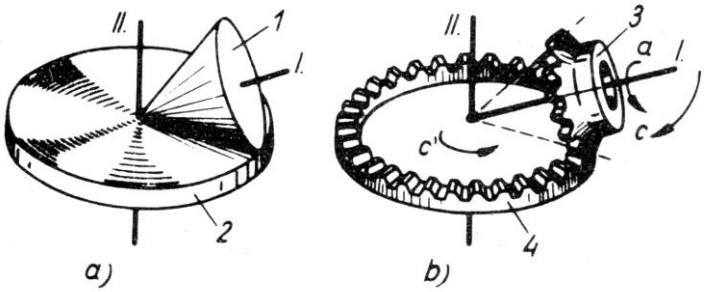
A kúpkerekek másoló gyalulása elsősorban nagyméretű kúpkerekek egyedi gyártásánál használatos speciális másoló gyalugépeken, nagyon lassú eljárás. A sablon által meghatározott helyzetből induló gyalukés kúpalkotó irányban haladva forgácsol.

A lefejtő eljárások a kúpkerék (munkadarab) és a síkkerék kapcsolódásán alapulnak. Ahogy a hengeres kerekek lefejtő eljárásai esetében a fogaslécet megtestesítő szerszámon gördül le a munkadarab, úgy a kúpkerekek lefejtő eljárásainak elvi alapját a síkkereket megtestesítő szerszám és a munkadarab (kúpkerék) legördülése (összeforgása) képezi. Minden evolvens fogazatú kúpkerékhez szerkeszthető olyan síkkerék amellyel helyesen kapcsolódik, és a síkkerék fogait síklapok határolják. A síkkeréknek megfelelő fogazószerszám olyan kés, amelynek forgácsolóéle egyenes. A kés fogirányú lökete a forgácsoló főmozgás. A kúpkerekek fogiránya lehet egyenes, ferde vagy ívelt.

A kés egyenes éle a képzelt síkkerék fogoldalának síkját írja le (súrolja). Mialatt a kés fogirányban előre-vissza mozog szaporán váltakozva, azalatt a munkadarab és az elképzelt síkkerék (ténylegesen pedig a szerszámot hordozó szerkezet) lefejtő mozgást végez, amely olyan elmozdulás, mintha a munkadarab gördülőkúpja a síkkerék gördülősíkján gördülne.

Az egyenes és ferde fogazású kúpkerekek lefejtő megmunkálását lehet gyalulással végezni, míg az ívelt fogazást csak marással.

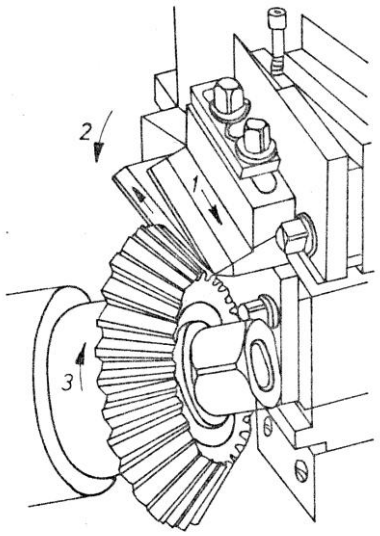
A legördülés mozgáskiosztásának lehetséges változatait szemlélteti a 9-52. ábra. Ha a megmunkálandó 3 fogaskerék saját *I* tengelye körül elfordul *a* nyíl irányába, akkor egyidejűleg fogaskerék *I* tengelyének el kell fordulnia a *II* tengely körül a *c* nyíl irányába vagy a 4 síkkeréknek kell elfordulnia saját *II* tengelye körül *c´* irányba. A Bilgram-módszer az előző mozgáskiosztást alkalmazza (*a* és *c*), míg a Gleason- módszer az utóbbit (*a* és *c´*).



9-52. ábra. Kúpkerék legördülése a síkkeréken
a) gördülőkúp és gördülősík kapcsolata
b) kúpkerék és síkkerék kapcsolódása

A Bilgram-Reinecker rendszerű foggyalu gépek egy késsel dolgoznak. A szerszám az álló síkkerék egy fogát képviseli, a munkadarab ehhez viszonyítva végzi a teljes lefejtő mozgást. Egy fogárok kimunkálása után osztókészülék segítségével fordítják el egy fogosztásnyit a munkadarabot. Mivel a rendszer egy késsel dolgozik, a munkadarab egy fordulata után csak a fogak egyik oldala készül el, majd ezt követően kerül sor a fogak másik oldalának megmunkálására. Ezzel a módszerrel a megmunkálás rendkívül lassú, ezért ma már nem alkalmazzák.

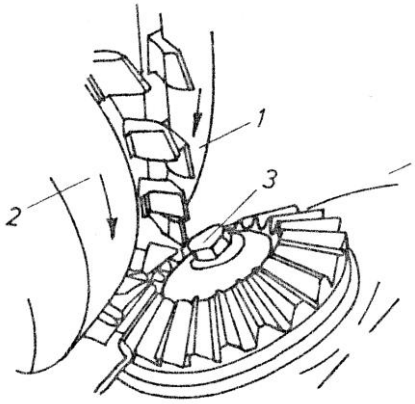
A Heidenreich&Harbeck által kifejlesztett foggyalu két késsel dolgozik, a Gleason módszeren alapul. A két kés két síkkerékfognak egy-egy oldalát testesíti meg és a kúpkerék egy fogát két oldalt fogja közre (9-53. ábra). A kések váltakozó irányban mozognak. A teljes kapcsolóvonal mentén oda-vissza gördül a kúpkerék és ennek megfelelően fordul el a késeket hordozó tartó (bölcső). A fogak egyenként készülnek el. Egy fog elkészülte utána egy osztókészülék segítségével a munkadarab átáll a következő fogra. Ezzel az eljárással egyenes- és ferde fogazat készíthető. A fogankénti legördítés miatt, az eljárás lassú. Megjegyzendő, hogy a szerző 1979-ben járt a Heidenreich&Harbeck cégnél és már akkor leállították az ilyen típusú gépek gyártását.



9-53. ábra. Kétkéses foggyalulás

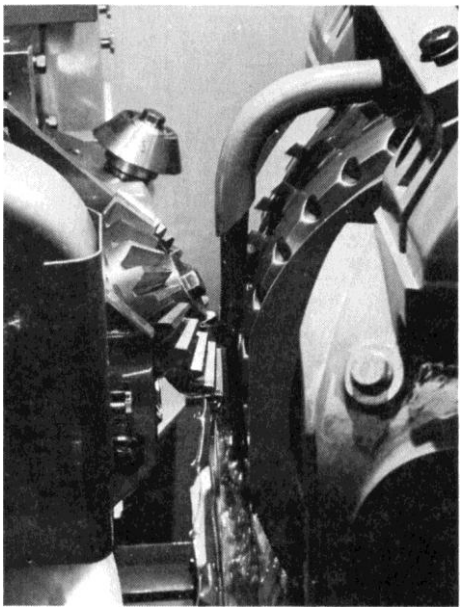
9.11.2.1 Kúpkerék-marógépek

A kéttárcsás kúpkerék marási eljárással (Klingelnberg) egyenes és ferde fogazatú kúpkerekek gyárthatók. A síkkerék fogát két nagyátmérőjű tárcsamaró testesíti meg. A tárcsamarók egymáshoz képest a kapcsolószög kétszeresével be vannak döntve. A tárcsamarók fogai mintegy egymásba fonódnak (a baloldali tárcsa két foga közt a jobb oldali tárcsa egy foga van és fordítva, (9-54. ábra). A tárcsamarók betétkései könnyen cserélhetők. A betétkések élei annak a képzelt síkkeréknek egy fogát testesítik meg, amelyen a gyártandó kúpkerék gördül le.

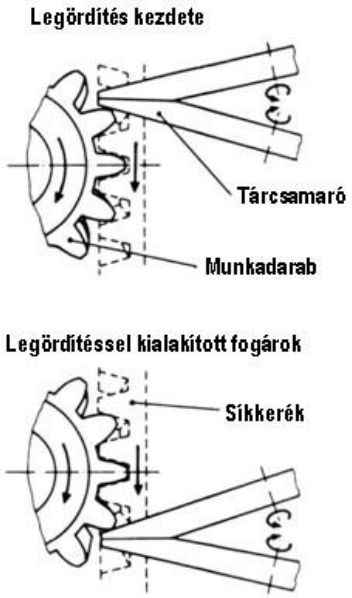


9-54. ábra. Kéttárcsás kúpkerék-marás vázlata

A 9-55. ábra egy ilyen gép munkaterét mutatja. Kis modulú kerekeknél a tárcsamarók először az álló munkadarabba belemarnak, majd ezt követi a legördítés, amelynek kezdeti- és befejező szakasza a 9-56. ábrán látható. A kúpkerék gördülősíkja a síkkerék gördülősíkján gördül le. A fogankénti legördítés a síkkereket megtestesítő szerszámtartó (ún. bölcső) elfordításával valósul meg. Egy fogárok elkészülte után osztószerkezet fordítja el a munkadarabot egy fogosztásnyira. Nagy modulú kerekek esetében először bemerülő marással a fogárkok nagyolását végzik el és csak ezt követi egy újabb menetben a fogárkok simítása legördítéssel.



9-55. ábra. Kéttárcsás kúpkerék-marógép munkatere (Klingelnberg)



9-56. ábra. A legördítés kezdeti- és befejező szakasza

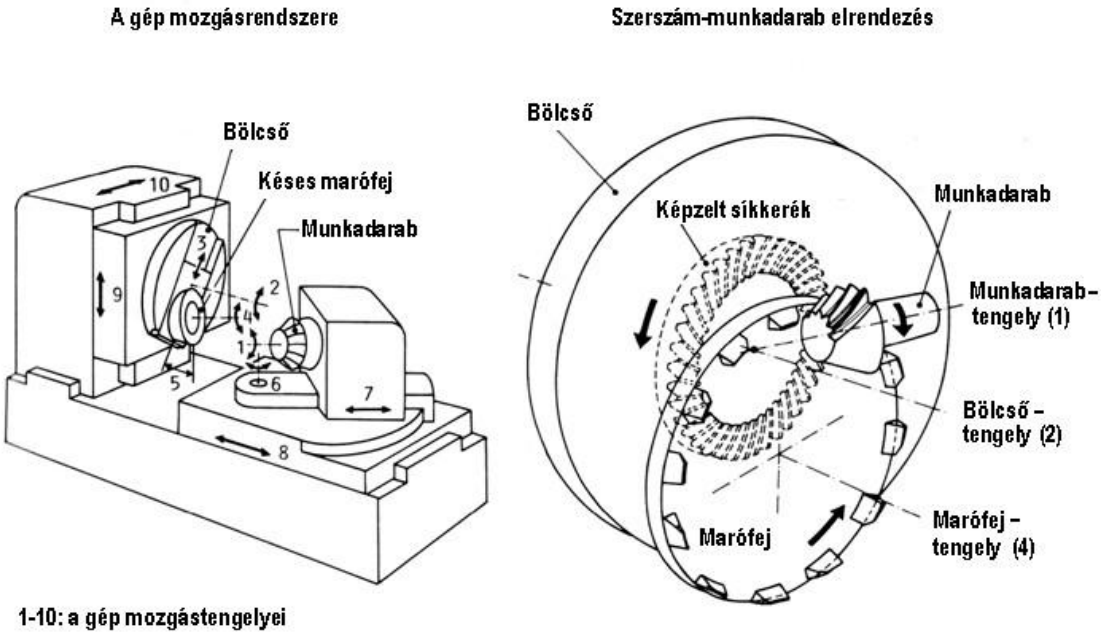
Fogirányú előtolást a szerszám nem végez ezért kissé ívelt lábkúpot munkál meg, de a nagy maróátmérőknek köszönhetően ez a megengedett hibán belül van. A bemerülő- és legördülő előtolások fokozatmentesen beállíthatók.
A betétkések univerzálisak. Egy bizonyos modultartományon belüli kerekek azonos szerszámmal fogazhatók és ennek köszönhetően ezek a gépek már kissorozatok esetében is gazdaságosan alkalmazhatók.

Az ívelt kúpfogazatok fogazógépei folyamatos vagy szakaszos legördülés elvén működnek és három csoportba sorolhatók attól függően, hogy a szerszám milyen fogiránygörbét munkál meg:

(1) köríves fogazást készítő kúpkerék-marógépek
(2) epiciklois ívű fogazást készítő kúpkerék-marógépek
(3) evolvens ívű fogazást készítő kúpkerék-marógépek

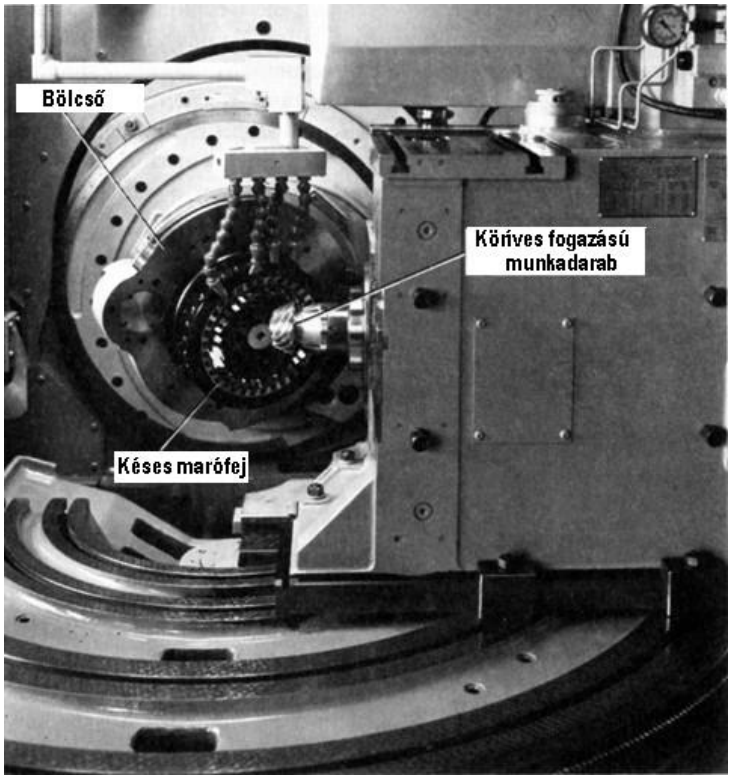
E jegyzet keretein belül csak a köríves fogazást készítő kúpkerék-marógépek rövid bemutatására kerül sor

A Gleason kúpkerék-fogazó marógép köríves fogazást készít, a gép vázlatát és működési elvét mutatja a 9-57. ábra. Ez a gép szakaszos legördítéssel alakítja ki a kúpkerék fogazatát. A szerszám forgó mozgású késfej, amelynek kései egy kör vonalán helyezkednek el és a képzelt síkkerék egy fogát testesítik meg. A munkadarab a képzelt síkkeréken gördülő mozgást végez, amely a fogprofil lefejtését eredményezi. A megmunkálás közbeni legördülő mozgást a (2) bölcső- és a (1) munkadarab elfordulása jelenti. A forgácsoló főmozgás a késfej (4) tengelye körüli forgómozgása. A kések bemerülését a munkadarabba a (8) szán előtoló mozgása biztosítja. A (3) marófej-szán elmozdításával állítható be a fogirány hajlásszöge (a marófej átmérő figyelembevételével). A (6) munkadarab-szán elfordításával állítható be a gyártandó kúpkerék osztókúp szöge. Az ábrán jelölt többi mozgástengely a munkadarab méreteire jellemző adatok szerinti beállításokat szolgálják, mint amilyenek az osztó- és visszahúzó mozgások, kúptávolság és az esetleges fogprofil módosításokhoz szükséges elmozdulások. Egy fogárok elkészülte után a marófej eltávolodik a munkadarabtól, ezután az osztókészülék egy osztásnyira elfordítja a munkadarabot, majd a következő fogárok kimunkálásával folytatódik a megmunkálás.



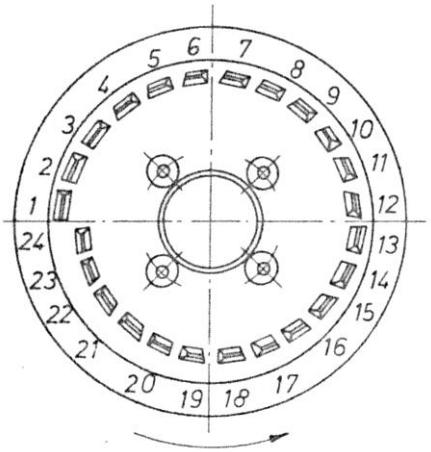
9-57. ábra. Köríves fogazást készítő kúpkerék-marógép elvi vázlata és mozgásrendszere [39]

A 9-58. ábrán egy CNC vezérelt szakaszos legördítés elvén működő kúpfogazó marógép munkatere látható.



9-58. ábra. Köríves fogazást készítő CNC kúpkerék-marógép munkatere (Gleason)

A Fiat-Mammano fogazásnál a kések egybekezdésű archimédeszi spirál mentén helyezkednek el, folyamatosan növekvő fogmagassággal (9-59. ábra). A fog iránygörbéje epiciklois. A maró forgómozgása és az osztókészülék egy hajtóművel van összekötve, így a gép folyamatosan dolgozik (a marófej egy fordulata egy fogárkot hoz létre, a folyamatos osztás révén a következő fordulat már a következő fogárkot munkálja meg).



9-59. ábra. Betétkéses marófej

A Fiat-Mammano módszert az **Oerlikon** cég fejlesztette tovább, oly módon, hogy a késeket több bekezdésű spirál mentén helyezte el.

A kúpos fogazatok finomfelületi megmunkálására kevés eljárás ismeretes. Elméletileg bármelyik eljárás nagyoló-simító szerszámát ugyanolyan felépítésű köszörűszerszámmal helyettesíthetjük. A gyakorlatban a kétkéses foggyalulásnak megfelelő, egyenes és ferde fogazat köszörülésére alkalmas gépek (Hitachi), valamint a Gleason köríves fogazat köszörülésére alkalmas gépek terjedtek el.

IRODALOM

[1] Ambrusné Alady M., Galla Jánosné, Sipos S.: A gyártástechnológia alapjai I., Bánki Donát Műszaki Főiskola, Budapest, 1995.

[2] Ambrusné Alady M., Árva J., Nagy P. S.: Forgácsoló eljárások, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2003.

[3] Angyal B., Dobor Lászlóné, Palásti Kovács B., Sípos S.: A forgácsolás és szerszámai,. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1988.

[4] Bali J.: Forgácsolás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1985.

[5] G. Bootroyd, W. A. Knight: Fundamentals of Machining and Machine Tools, Taylor & Francis Group, Broken, NW, 2006.

[6] W. Degner, H. Lutze, E. Smejkal: Spanende Formung, Carl Hanser Verlag, München Wien, 2000.

[7] Dénes M., Őrfy P., Rudas J.: Forgácsoláselmélet – Forgácsolótechnika II., Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.

[8] Dér Gy., Dudás Gy.: Forgácsolás, Gyártástechnológia VI, Pollack Mihály Műszaki Főiskola, Pécs, 1993.

[9] Dudás I.: Gépgyártástechnológia I, Miskolci Egyetem, 2002.

[10] Dudás I.: Gépgyártástechnológia II, Miskolci Egyetem, 2001.

[11] A. Frischherz, H Piegler: Fémtechnológia 2, B+V Lap- és Könyvkiadó Kft., Budapest, 2002.

[12] A. H. Fritz, G. Schulze: Fertigungstechnik, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006.

[13] K. H. Grote, J. Feldhusen: Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005.

[14] R. S. Hahn: On the nature of the grinding process. Proceeding, third Int. MTDR Conference, September, 1962, Oxford, pp. 129-154.

[15] E. Hering, K. H. Modler: Grundwissen des Ingenieurs, Fachbuch Verlag Leipzig, Carl Hanser Verlag, München Wien, 2002.

[16] Horváth M., Somló J.: A forgácsoló megmunkálások optimálása és adaptív irányítása, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.

[17] Horváth M., Markos S.: Gépgyártástechnológia, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2006.

[18] B. Ivković: Obrada metala rezanjem, Građevinska knjiga, Beograd, 1979.

[19] Kalajdžić M.: Tehnologija mašinogradnje I, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1986.

[20] W. König: Köszörülés, dörzsköszörülés, tükrösítés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.

[21] Köves E., Moser M., Almásy P.: Köszörülés és finommegmunkálás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.

[22] D. Milikić: Tehnologija obrade rezanjem, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 1999.

[23] Rábel Gy.: Gépipari technológusok zsebkönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.

[24] Rajić F.: Rezni i stezni alati, Tehnička knjiga, Beograd, 1984.

[25] A. Richter, K. H. Tempelhof: Gesetzmäßigkeiten der Spanbildung und der Kräfte beim Walzfräsen im Gegenlauf und Gleichlauf –Teil 1, 2, 3, Fertigungstechnik und Betrieb, 19. Jahrgang, Heft 3, pp. 283-288; Heft 8, pp. 473-480, 1969; 20. Jahrgang Heft 1, pp. 54-58, 1970.

[26] Sandvik Coromant, Technisches Handbuch der Metallzerspannung, AB Sandvik Coromant, 2005.
[27] E. Smejkal: Betrachtungen zur Kraftberechnung beim Stirnfräsen nach Weilenmann, Fertigungstechnik und Betrieb, 16. Jahrgang, Heft 4, pp. 225-227, 1966.
[28] M. Stampfer: Integrated Set-up and Fixture Planning System for Gearbox Casings, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 26, pp.310-318, 2005.
[29] Stampfer M. : Strategija izbora ubušivača u ekspertnom sistemu za projektovanje tehnologije izrade kućišta prenosnika, Proceedings of the 7th Internetional Conference on Flexible Technologies, MMA 2000, June, 2000, Novi Sad, Yugoslavia, pp. 153-154.
[30] Hodolic J., Stampfer M.: Tool selection within a process-planning expert system for gearbox casings, International Conference TOOLS ’99, 1999, Bratislava, Slovakia.
[31] Stampfer Mihály: A munkadarab-befogás megoldásainak tipizálhatósága szekrényes alkatrészek esetében, Gépgyártás, XLV évfolyam, 4. szám, pp. 15-19, 2005.
[32] P. Stanković: Mašinska obrada, Obrada metala rezanjem, Građevinska knjiga, Beograd, 1979.
[33] J. Stanić, D. Nikolić, T. Jovanović, V. Gajović: Mašinska obrada – priručnik za proračun merodavnih režima mašinske obrade rezanjem, Privredni pregled, Beograd, 1972.
[34] V. V. Svarc: Képes Műszaki Kisszótár, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989.
[35] Szabados M.: Mechanikai technológia IV, Kézirat, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1994.
[36] Szabó A., Dutkai Gy.: Gépgyártástechnológia III., Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskola, Kecskemét, 1990.
[37] H. K. Tönshof, B. Denkena: Spanen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006.
[38] S. Urošević: Proizvodno mašinstvo, I deo, Naučna Knjiga, Beograd, 1984.
[39] M. Weck: Werkzeugmaschinen, Band I, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1988.
[40] Winterthur Schleiftechnik, Technical Grinding Information, E93/6
[41] Nagy P. Sándor: Megmunkálógépek, Bánki Donát Műszaki Főiskola jegyzete, 1978
[42] M. P. Groover: Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2001.