

Forgácsolás

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS

- alapfolyamat
- fő tevékenység
- alkatrészgyártás (alkatrész orientált)
- leválasztó eljárás

Munkadarab

- anyagminőség (összetétel, előgyártás, állapot)
- szilárdsági jellemzők (R_m , HB, stb.)
- geometriai méretek
- a megmunkált felület:
 - ~ pontossága (IT egységekben) és
 - ~ érdessége (R_a , R_z , stb.)

- A **munkadarabról** (M) a felesleges anyagot
- megfelelő **mozgások** révén
- az alkalmas **szerszám** (S)
- kis darabok (**forgács**, CH) formájában választja le.

Mozgások

- **főmozgás** - forgácsolósebesség, v_c , m/min
 - forgács hosszmérete
 - S / M végzi
 - egyenes / forgó / folyamatos / szakaszos
- **mellékmozgások**:
 - a forgács keresztmetszete
 - előtolás - f , mm (több élű S: f_z , mm)
 - fogásvétel - a , mm (jele a_p , a_e is lehet!)

dr. Sipos Sándor

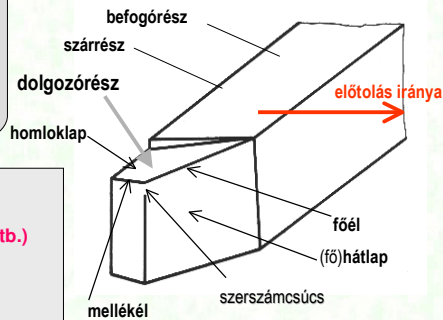
FORGÁCSOLÁS



- A munkadarabról (M) a felesleges anyagot
- megfelelő mozgások révén
- az alkalmas **szerszám (S)**
- kis darabok (forgács, CH) formájában választja le.

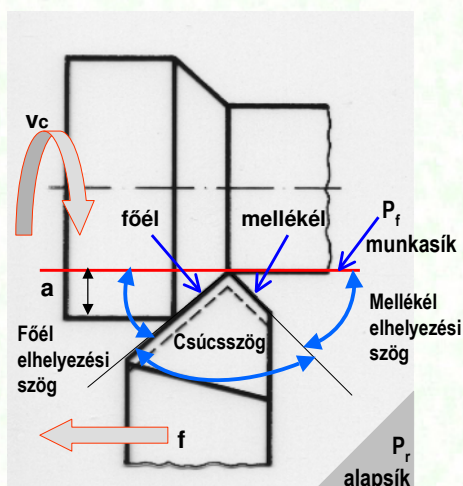
Szerszám

- **rendeltetés** (esztergákés, fúró, maró stb.)
- **élgeometria** (szabályos, statisztikai)
- **élek száma** (1, 2, sok, végtelen sok)
- **élalak** (egyszerű, speciális)
- **kivitel** (tömör / forrasztott / szerelt)
- **élanyag** (acélalapú/ kemény/ szuperkemény)



dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS alapfogalmai



Forgácsolási adatok:

$$a = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} \text{ [mm]}$$

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

$$v_f = n \cdot f \text{ [mm/min]}$$

Élszögek a P_r alapsíkban:

κ_r - főél elhelyezési szög, °

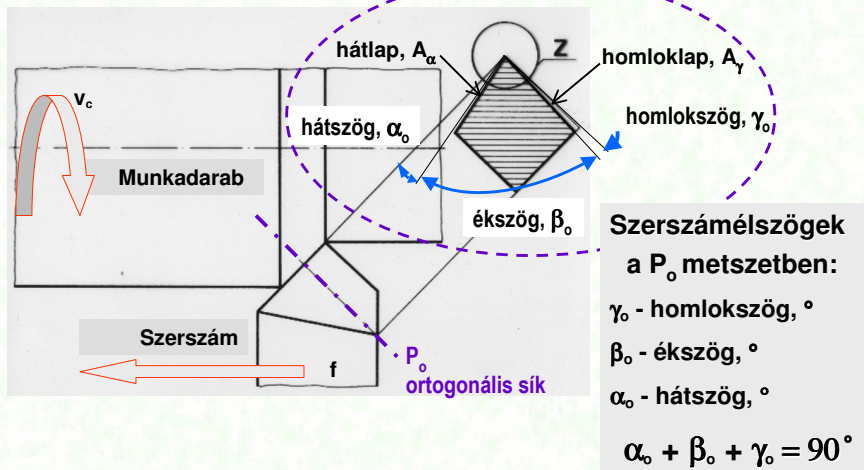
ϵ_r - csúcsszög, °

κ'_r - mellékél elhelyezési szög, °

$$\kappa_r + \epsilon_r + \kappa'_r = 180^\circ$$

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS alapfogalmai



dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS

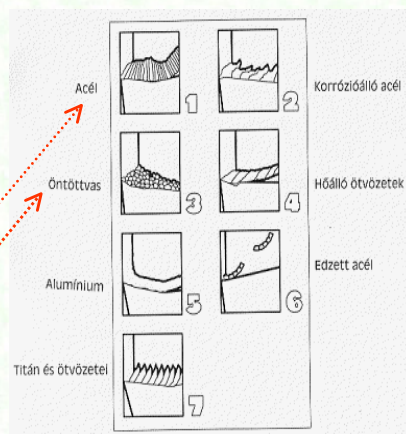


- A munkadarabról (M) a felesleges anyagot
- megfelelő mozgások révén
- az alkalmas szerszám (S)

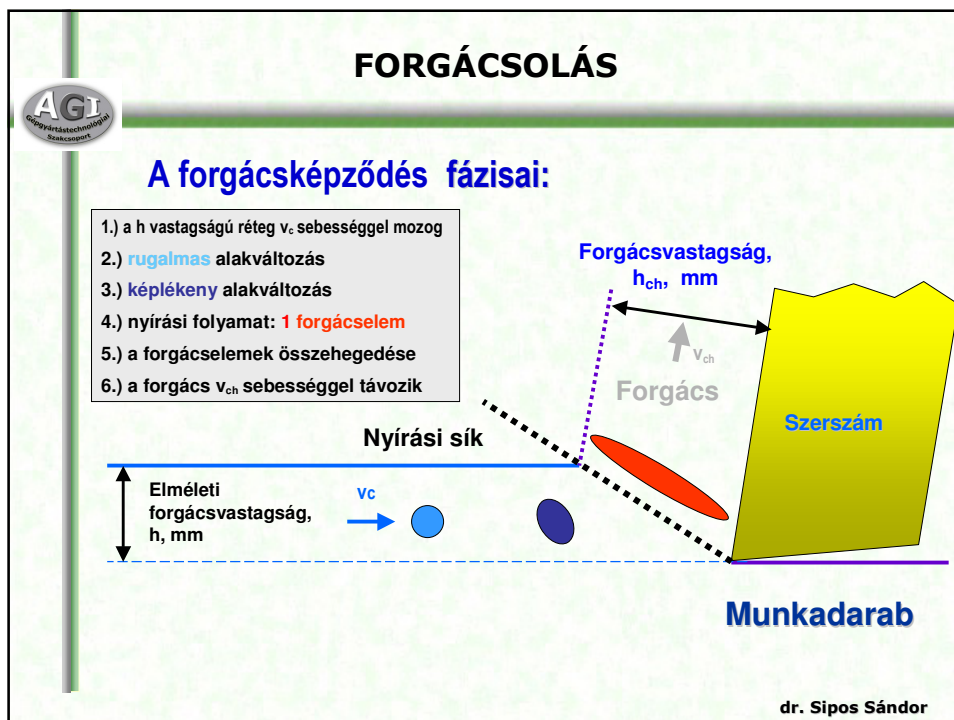
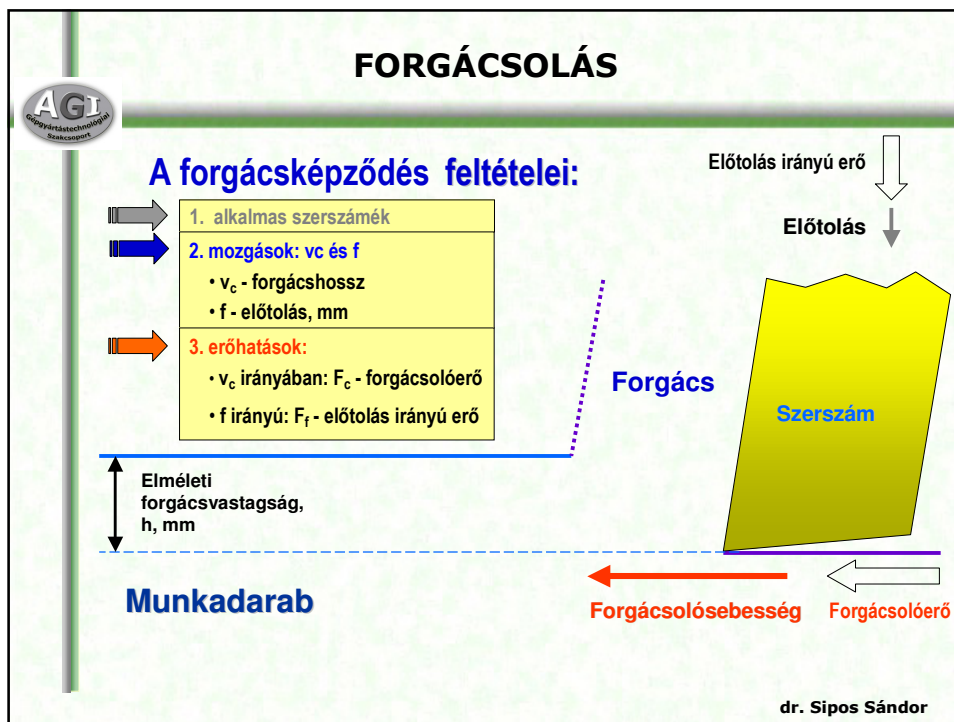
• kis darabok (forgács, CH) formájában választja le.

FORGÁCS (chip)

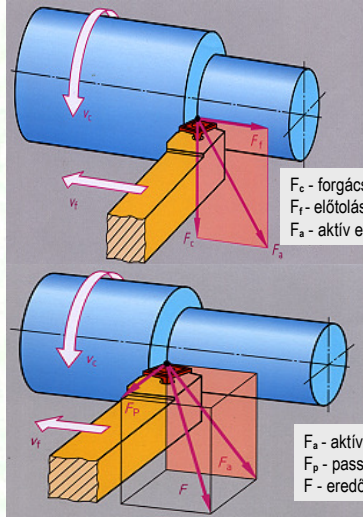
- **típusa:** elemi, lemezes, folyó (acélok)
elemi, töredezett (öntöttvas, rideg anyag)
- **alakja:** a mozgások és a szerszám kialakítása (élszögek, csúcssugár) határozzák meg
- **feladatok:** forgács manipuláció:
~ terelés, ~ osztás, ~ törés



dr. Sipos Sándor



FORGÁCSOLÁS erőigény



Forgácsoló erő:

- a legnagyobb összetevő $\Rightarrow$ teljesítmény (P_c , kW),
- szerszámterhelés, $\sim$ lehajlás.

Előtolás irányú erő:

- a legkisebb összetevő, mivel az F_c 10 ... 30 %-a.

Aktív erő:

- a fentiek miatt: $F_a \approx F_c$!

Passzív erő:

- általában kisebb az F_c -nél (annak 30 ... 60 %-a),
- a szerszám kopásától jelentősen függ,
- a munkadarab pontosságát döntően befolyásolja.

Összefoglalva:

$$F_c : F_p : F_f = 1000 : 300 \dots 600 : 100 \dots 300$$

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS



Kienzle és Victor erőképlete:

$$F_c = k_c \cdot b \cdot h \cdot \prod K_{fcj} = \frac{k_{c1.1}}{h^{q_c}} \cdot b \cdot h \cdot \prod K_{fcj} \text{ [N]}$$

ahol:

k_c - fajlagos forgácsolóerő, N/mm²

b - forgácsszélesség, (a / sin κ_r), mm

h - forgácsvastagság, (f · sin κ_c), mm

K_{fcj} - helyesbítő tényezők

$k_{c1.1}$ - a fajlagos forgácsolóerő ún. főértéke, N/mm²

q_c - kísérleti úton kapott kitevő

Példa:

Munkadarab anyagi	Anyag-csoport	Szerszám anyaga	$k_{c1.1}$ N/mm ²	q_c
C60	szek. acél	keményfém	2130	0,18
Öv250	öntöttvas	keményfém	1160	0,26
ÖAlSi10Mg	alu. ötvözet	keményfém	400	0,27
TiAl6V4	titanötvözet	keményfém	1356	0,22

Teljesítményigény

Főmozgáshoz:

$$P_c = \frac{F_c \text{ [N]} \cdot v_c \text{ [m/s]}}{1000} = \frac{F_c \text{ [N]} \cdot v_c \text{ [m/min]}}{60000} \text{ [kW]}$$

Előtolás irányú mozgáshoz:

$$P_f = \frac{F_f \text{ [N]} \cdot v_f \text{ [mm/s]}}{10^6} = \frac{F_f \text{ [N]} \cdot v_f \text{ [mm/min]}}{6 \cdot 10^7} \text{ [kW]}$$

Fontos szabályok:

- 1.) $P_c \gg P_f$
- 2.) A fogásvétel irányú elmozdulás sebessége zérus, teljesítményigénye: $P_p = 0$

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS



Példa

C45 acél $\Phi 100 \times 300$ mm átmérőjű felületének hosszesztergálását $a=3$ mm, $f=0,25$ mm, $v_c=200$ m/min adatokkal végezzük. A szerszám szögei: $\kappa_r=70$ fok, $r_\epsilon=0,8$ mm. A $k_{c1.1}=2220$ N/mm², $q_c=0,14$.

Mennyi a forgács mérete, az erő- és a teljesítményszükséglet, az előtolási- és anyagleválasztási sebesség, a gépi főidő?

Megoldás:

$$b = 3 / \sin 70 = 3,193 \text{ mm}; \quad h = 0,25 \cdot \sin 70 = 0,235 \text{ mm}$$

$$F_c = 2220 \cdot 3,193 \cdot 0,235^{0,86} = 2040 \text{ N}$$

$$P_c = 2040 \cdot 200 / 60000 = 6,8 \text{ kW}$$

$$n = 1000 \cdot 200 / (100 \cdot \pi) = 636,6 \text{ 1/min}$$

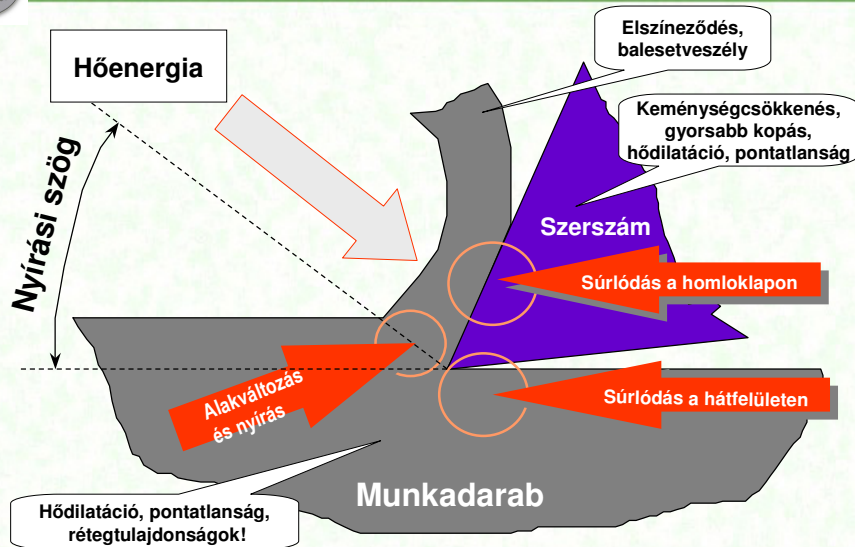
$$v_f = 0,25 \cdot 636,6 = 159,1 \text{ mm/min}$$

$$V' = 0,25 \cdot 3 \cdot 200 = 150 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$t_g = i \cdot L / v_f = 1 \cdot 300 / 159,1 = 1,89 \text{ min}$$

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS energiámérlege



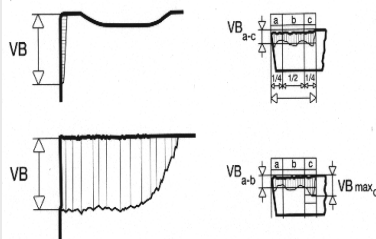
dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS

Hátfelületi kopás (VB)

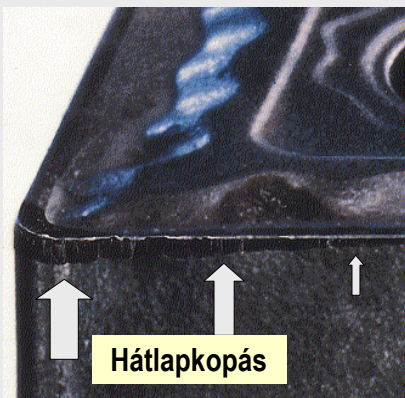
- elsősorban **rideg** anyagoknál (pl. öntöttvas)
- főként **simítás**nál
- az él mentén **változik** a mérete
- a **leggyakoribb** kopásforma!

Értelmezése, méretei:



Hátkopás képe:

bevonatos keményfém váltólapka



dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS

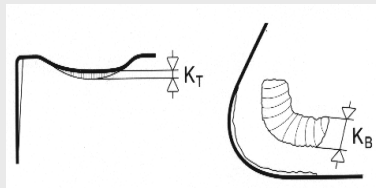
Kráteres kopás (KT, KB)

- a szerszám (lapka) homloklapján
- elsősorban **szívós** anyagoknál (főként acél)
- főként **nagyoláskor** alakul ki
- edzett acélok (HRC>50) PCBN-nel végzett simító és finomesztergálásakor is gyakori

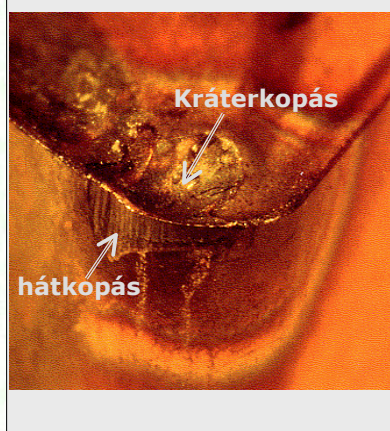
Értelmezése, méretei:

KT - kráter mélység (kolk tiefe), mm

KB - kráter szélesség (kolk breite), mm



Bevonatos keményfém lapka kopásképe



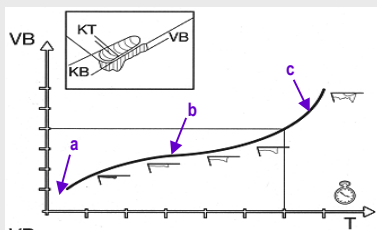
dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS

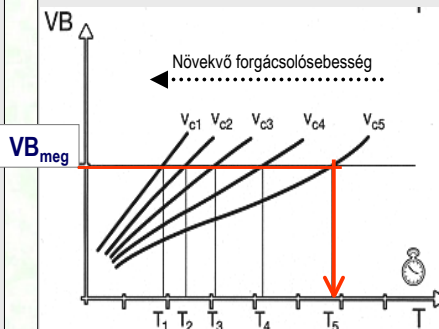
A kopás időbeli alakulása

- **kezdeti** kopás: 1 - 2 perc alatt kialakul (a)
- **állandósult** kopás: egyenletes kopásnövekedés (b)
- **túlkopás**: a szerszám tönkremeneteléhez (c)

Kopásgörbe: a kopás időbeli alakulása



A kopás és az éltartam kapcsolata

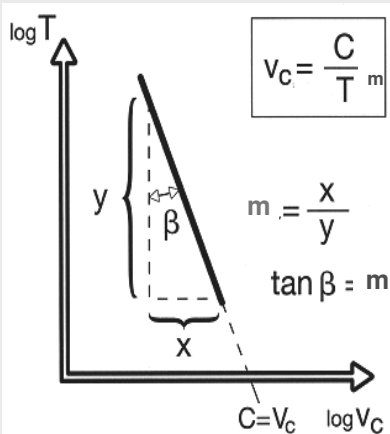


Éltartam: a megengedett kopás (VB_{meg}) eléréséig forgácsolásban töltött idő.

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS

Éltartam - modell



Modell: bővített Taylor-képlet

Esztergálásra:

$$v_c = \frac{C_v}{f^{x_v} \cdot a^{y_v} \cdot T^m} \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$$

Fúrásra:

$$v_c = \frac{C_v \cdot d^{z_v}}{f^{x_v} \cdot T^m} \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$$

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS



Példa

Tengelyszerű munkadarab $\phi 90 \times 400$ mm méretű felületének esztergálását $f=0,25$ mm előtolással végezzük. 320 m/min forgácsolósebességnél a lapkaéltartam két perc, míg $v_c=2,5$ m/s értéknél egy óra. **Mekkora** sebesség ($v_{cT=15}$) mellett kapható 15 perces éltartam? **Hány** darab (n_T) készül el ezalatt?

Megoldás:

$v_{c1}=320$ és $T_1=2$ min; $v_{c2}=150$ m/min és $T_2=60$ min, ezzel a Taylor összefüggés, az éltartamkitevő, a C_v sebességállandó:

$$v_c \cdot T^m = v_{c1} \cdot T_1^m = v_{c2} \cdot T_2^m = C_v = \text{állandó} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right] \quad m = \frac{\lg 320 - \lg 150}{\lg 60 - \lg 2} = \frac{\lg \frac{320}{150}}{\lg \frac{60}{2}} = \frac{0,329}{1,477} = 0,223$$

$$C_v = v_{c1} \cdot T_1^m = 320 \cdot 2^{0,223} = 373,5 \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$$

$$v_{cT=15} = \frac{373,5}{15^{0,223}} = 204,2 \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$$

$$n = \frac{1000 \cdot v_{cT=15}}{d \cdot \pi} = 722 \left[\text{min}^{-1} \right] \quad n_T = \frac{T}{t_g} = \frac{15}{\frac{400}{0,25 \cdot 722}} = 6 \text{ db}$$

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS



A felület minősége

Definíció: a felületminőség komplex fogalom, amely a megmunkált (forgácsolt, alakított stb.) felület **mikrogeometriai** jellemzőit (érdesség, hullámosság), valamint

a **felület alatti**, meghatározott vastagságú **réteg**

- szövetszerkezeti módosulásait (pl. köszörülés)
- mikrokeménységének megváltozását (kilágyulás, felkeményedés)
- maradófeszültség kialakulását (húzó- vagy nyomó jellegű)
- elektromos,
- mágneses, illetve
- vegyi (korróziós) tulajdonságainak módosulását tartalmazza.

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS

A forgácsolt felület elméleti (kinematikai) érdessége

A felület érdessége

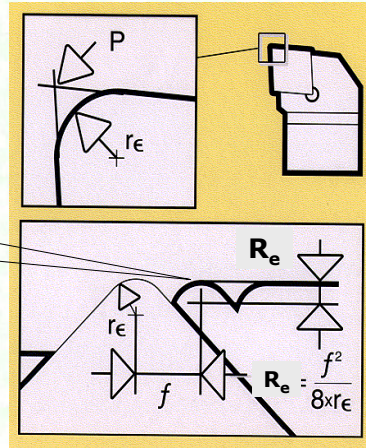
- a szerszám élének nyoma a darabon
- csak az előtolás (f , mm) és a csúcs-sugár (r_ϵ , mm) értékétől függ
- a valós felületi érdességnél **általában** sokkal kisebb
- hasznos összefüggések:

$$R_e = 125 \cdot \frac{f^2}{r_\epsilon} [\mu\text{m}]$$

Nagyoló esztorgálás:

$$R_e \approx R_z \approx 4 \cdot R_a \rightarrow R_a \approx 32 \cdot \frac{f^2}{r_\epsilon} [\mu\text{m}]$$

Simító esztorgálás: $R_z \approx (5 \dots 6) \cdot R_a$



dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS gazdaságossága

Cél: minél termelékenyebben !

1. Minimális gépi főidő

Matematikai alakja:

$$t_g = \frac{i \cdot L}{v_f} \Rightarrow \text{MIN !}$$

2. Minimális darabidő

Matematikai alakja:

$$t_d = \frac{t_{eb}}{n_{sor}} + \sum_i t_{mi} + t_g + t_g \cdot \frac{t_{cs}}{T} \Rightarrow \text{MIN !}$$

3. Maximális termelékenység

Matematikai alakja:

$$Q = \frac{60}{\frac{t_{eb}}{n_{sor}} + \sum_i t_{mi} + t_g \cdot \left(1 + \frac{t_{cs}}{T}\right)} \Rightarrow \text{MAX !}$$

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS gazdaságossága



Cél: minél olcsóbban !

Költségmodell:

Változó költségelemek:

- gépzemköltség (k_G , Ft/min)
- szerszámcsere költsége
- szerszámköltség (K_S , Ft)

Állandó költségelemek:

- előkészületi költség
- mellékidők költségei

$$K_{müvált} = k_G \cdot \left(\frac{t_{eb}}{n_{sor}} + \sum t_m \right) [Ft]$$

$$K_{müvvált} = t_g \cdot \left[k_G \cdot \left(1 + \frac{t_{cs}}{T} \right) + \frac{K_S}{T} \right] [Ft]$$

Minimum!

Kedvező műveleti költség $\neq$ alacsony szerszám-(él)költség !

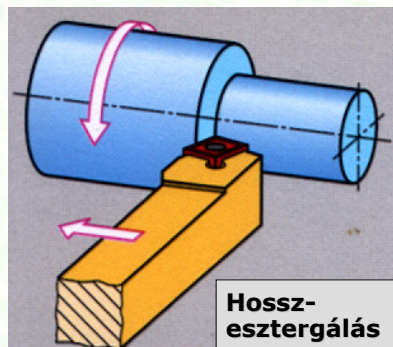
dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS



Hosszesztergálás

- az eddigi elméleti alapok többsége erről szólt
- szerszám: különböző főélelhelyezési szögű szerszámok



Forgácsolóerő, N

$$F_c = k_{c1.1} \cdot b \cdot h^{1-q_c} \cdot \Pi K_{Fi} [N]$$

Nyomatékigény, Nm

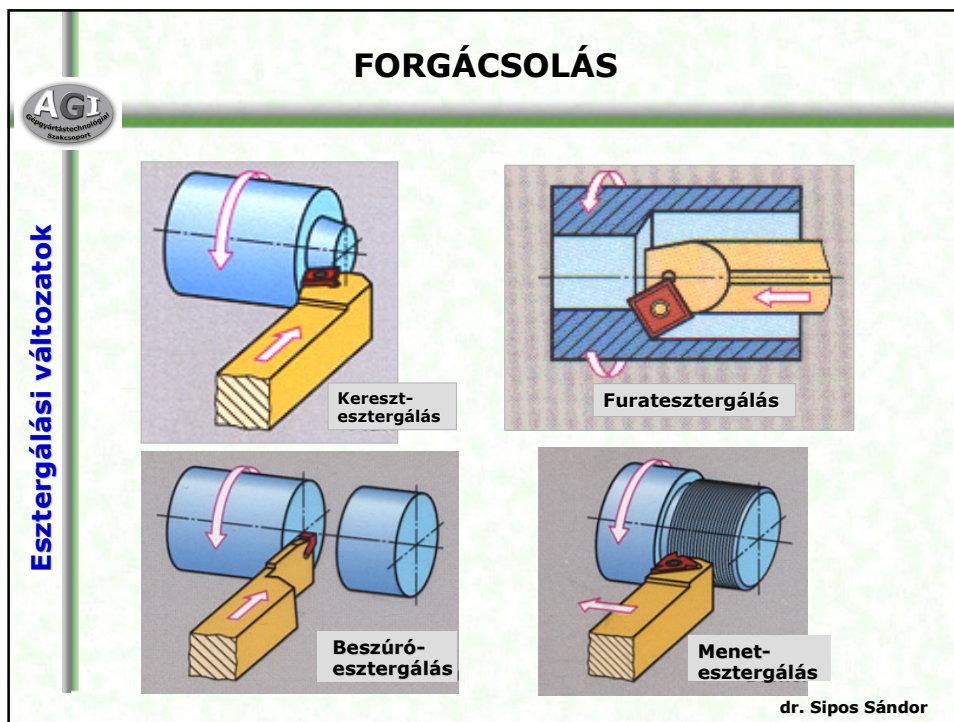
$$M_c = \frac{F_c \cdot d}{2000} [Nm]$$

Teljesítményigény, kW

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60000} = \frac{M_c \cdot n}{9550} [kW]$$

dr. Sipos Sándor

Esztergálás



Üregelés

FORGÁCSOLÁS

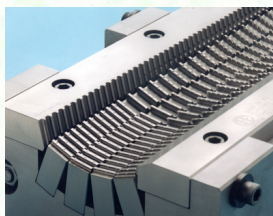
Sajátosságai:

- **főmozgás:** egyenes vonalú, folyamatos, a **szerszám** végzi
- **mellékmozgás:** állandó, a **S** méretei adják!
- **gépelrendezés:** vízszintes / függőleges
- az üregeléssel megmunkálható **felületek:**
 - ↳ **külső** (sík/alakos) ↳ **belső** [hengeres/alakos (bordás, ékes stb.)]
- alaki korlátozások (belső felület: csak átmenő jellegű)
- a ráhagyás nagyságától függően az **eljárás** lehet:
 - ↳ **nyomó** (kis ráhagyás, rövid **S**) ↳ **húzó** (nagy ráhagyás, hosszú **S**)
- nagy ráhagyás / pontos felület (IT7) esetén több lépésben: **nagyoló** + **simító** fokozat
- a **szerszám:** bonyolult, drága (anyag- és gyártási költség)
- **alkalmazása:** sorozat / nagysorozat / tömeggyártásban

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS

Szerszámai:



Munkadarab



Szerszám



dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS

Főmozgás: forgó, a **S** végzi (mélyfúrásnál: **M**)

Mellékmozgás: egyenes, a **S** végzi (mélyfúrásnál: **M**)

Forgácsolóél: elhelyezkedése kúpfelület mentén, ezért az él mentén a forgácsolósebesség **változik** ($0 \Rightarrow v_c$)

Változatai:

hengeres furatok



Telibe
fúrás



Felfúrás



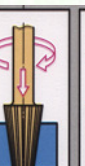
Dörzsárazás



Központ-
fúrás



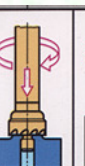
Alakos
süllyesztés



Alakos
dörzsárazás



Menet-
fúrás



Sík
süllyesztés



Csapos
süllyesztés

dr. Sipos Sándor

Fúrás

FORGÁCSOLÁS

- a leggyakrabban alkalmazott furatmegmunkáló eljárás
- kis pontosságú furatok ($IT \geq 10$) befejező megmunkálására
- pontos, vagy nagy átmérőjű furatok előmunkálására

d - fúró átmérő, mm
f - előtolás, mm
n - fordulatszám, min^{-1}
 v_c - forgácsolósebesség: $v_c = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000} \text{ [m/min]}$

Forgácsolóerő: $F_c = 2 \cdot F_{c1} = k \cdot \frac{f \cdot d}{2} = \frac{k_{c1.1}}{h^{q_c}} \cdot \frac{f \cdot d}{2} \text{ [N]}$

Fúrési nyomaték: $M_c = \frac{k_{c1.1}}{(0,5 \cdot \sin \sigma / 2)^{q_c}} \cdot \frac{f^{1-q_c} \cdot d^2}{8000} \text{ [Nm]}$

Teljesítményigény: $P_c = \frac{M_c \text{ [Nm]} \cdot n \text{ [min}^{-1}]}{9550} \text{ [kW]}$

dr. Sipos Sándor

Marás

FORGÁCSOLÁS

Sajátosságai:

- **főmozgás:** állandó sebességű **forgó** mozgás, **szerszám** végzi
- **forgácsleválasztás:** szakaszos (egy fog be- és kilép)
változó keresztmetszetű a forgács, ezért „duplán” dinamikus jellegű
- **szerszáma:** **maró** átmérője: ϕd , mm; fogszáma: z
- **mellékmozgások:**
 - ◆ előtolás irányú: a szerszám és/vagy a munkadarab végzi a főmozgástól független (főorsótól nem függ)
 $v_f = f \cdot n = z \cdot f_z \cdot n \text{ (mm/min)}$,
ahol: f_z - fogankénti előtolás, mm
 z - a maró fogszáma
 n - a maró fordulatszáma, min^{-1}
 - ◆ fogásvételi mozgások: a szerszám és/vagy a munkadarab végzi
 a_e - sugárirányú fogásvétel, mm
 a_p - passzív (tengelyirányú) fogás, mm

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS



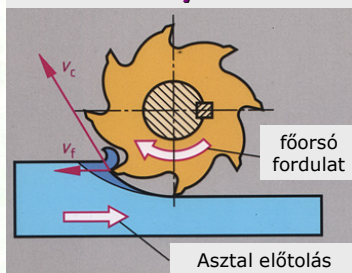
Marás

Palástmarás

elérhető pontosság: IT9-11 ; Ra= 1,6-25 µm

a szerszám: a palástfelületén elhelyezett fogakkal forgácsol,
tengelye a felülettel párhuzamos,
foghossza nagyobb a munkadarab szélességénél ($a_p = b_w$, mm)

Ellenirányú marás



- forgácsvastagság növekszik, ezért
- egyre nagyobb a forgácsolóerő
- az eredő erők emelő hatásúak
- rosszabb felületi érdesség
- nagyobb szerszámkopás
- kedvezőtlenebb éltartam
- régi gépen is alkalmazható
- kopott gépen is alkalmazható

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS

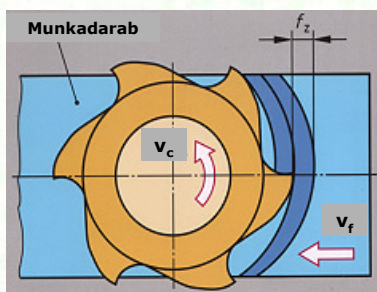


Marás

Homlokmarás

elérhető pontosság: IT9-11 ; Ra=1,6-25 µm

a szerszám: a palástfelületén elhelyezett fogakkal forgácsol,
tengelye a felületre merőleges,
átmérője nagyobb a munkadarab szélességénél ($a_e = b_w$, mm)



- forgácsvastagság változó, ezért
- a forgácsolóerő növekszik, majd csökken
- korszerű szerszáanyagok: bevonatos keményfém, kerámia, kőbő, bórnitrid, gyémánt
- a felület érdessége változó
- a legtermelékenyebb marási változat
- nagyteljesítményű gépeken előnyös
- finommarás: IT7, IT8 ; Ra = 0,8-1,6 µm

A marási átlagos
erőigénye:

$$\bar{F}_c = \bar{k} \cdot a_e \cdot a_p \cdot f_z \cdot \frac{z}{d \cdot \pi} \text{ [N]}$$

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS

Köszörülés

- abrazív (koptató) eljárás
- nagyon sok, kis méretű, kötött abrazív részecske (szemcse) dolgozik
- a „forgácsolóélek” statisztikus elrendezésűek és élszögűek
- a forgó főmozgást mindig a szerszám végzi
- nagy forgácsolósebesség: $v_c \sim 20 \dots 50 \text{ (150) m/s}$
- szakaszos forgácsleválasztás, változó forgácskeresztmetszet, magas forgácsolási hőmérséklet, izzó forgács („szikra”)
- csekély ráhagyás leválasztása kis fogásmélységgel
- a szerszám:
 - többalkotós és porózus szerkezetű
 - korlátozott önéleződés (forgácsolókéesség megújulás)
 - szabályozással a forgácsolókéesség megújítható
 - kölcsönös megmunkálás történik: a leválasztott anyag és a szerszámkopás összemérhető térfogatú

dr. Sipos Sándor

FORGÁCSOLÁS

Köszörülési változatok

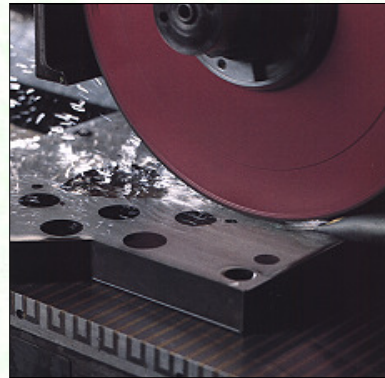
Külső palástköszörülés

- hosszelőtolásos
- beszuró



Síkköszörülés

- alternáló
- forgóasztalos
- mélyköszörülés

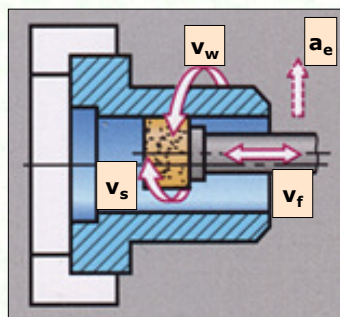


dr. Sipos Sándor

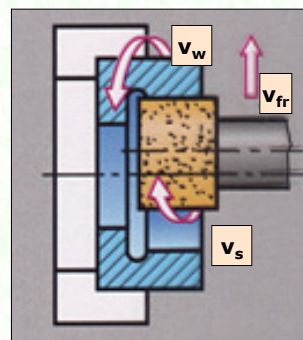
FORGÁCSOLÁS

Köszörülési változatok

Hosszelőtolásos furatköszörülés



Beszúró furatköszörülés



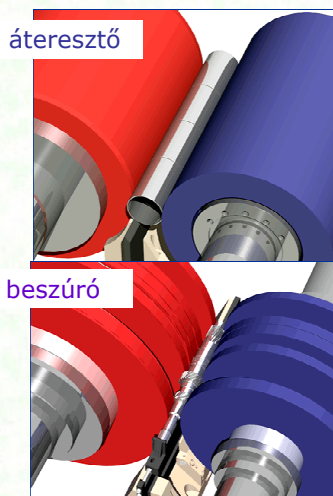
A szerszám megnevezése: jelölés + specifikáció
Sima köszörűkorong 1A 400 × 50 × 127 89A 80 J 5 V127

dr. Sipos Sándor

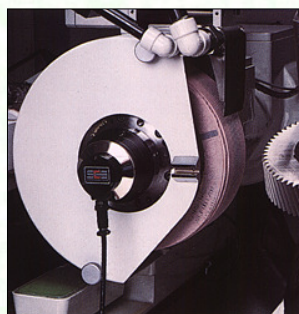
FORGÁCSOLÁS

Köszörülési változatok

Csúcsnélküli köszörülés



Alakköszörülés (ábra: fogazat)



- lefejtő
- profilozó
- Továbbá:**
 - menet-,
 - profil-,
 - egyéb
- változatok

dr. Sipos Sándor