

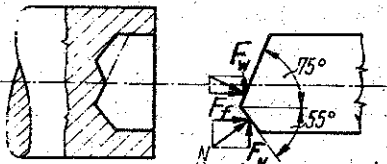
- csőfűrő és
- koronafűrő.

A csőfűrő egyéltű forgácsoló szerszám, melynél a szerszám csúcsa nem esik egybe a középvonallal (13.15. ábra). A szerszám hátlapján furatot találunk, amely furaton a hűtőfolyadékot vezetik nagy nyomással az szerszám éléhez. A nagynyomású hűtőfolyadéknak kettős szerepe van: a forgácsolt átvoltítás és a hűtés. A forgácsoló szerszám hossz tengelye mentén kimunkált horonyban távozik, melyet a nagynyomású hűtőfolyadék visz magával.

A forgács leválasztása igen kis értékű előtolások mellett történik ( $s = 0,1 \dots 0,25$  mm/ford). A forgácsoló főmozgást a tárgy végzi, míg az előtolásirányu mellékmozgást a szerszám.

A szerszám dolgozó része rendszerint gyorsacélból készül, de nagyobb teljesítmény elérésére készítünk keményfémlepkés csőfűrőt is. A surlódó felületek csökkentésére a szerszám vezetése három élen történik. Tömör kivitelben készült csőfűrőnél aláköszörűléssel, keményfémlepkés fűrőknél keményfémbetétekkel biztosítják a három élen való felfekvést (13.15. ábra).

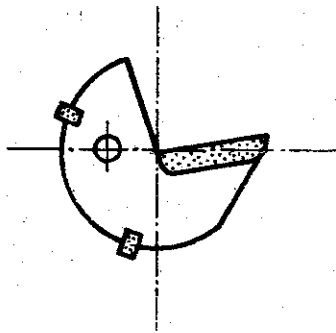
A szerszám egyenesbe vezetését azáltal biztosítják, hogy a forgácsoló élet a szimmetriatengely egyik oldalán képezik ki. Az előtolásirányu erőnek a szerszám tengelyére merőleges komponense a szerszámot a W oldalon a furat falához szorítja, és ezáltal az egyenesben vezetést biztosítja (13.16. ábra).



13.16. ábra  
Egyéltű csőfűrő  
egyenesbevezetése

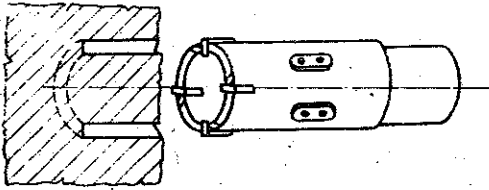
Nagyobb átmérőjű mélyfuratok készítéséhez a koronafűrőt használjuk. Ez a szerszám nem forgácsolja el az átmérőjének megfelelő anyagmennyiséget, hanem az anyagban gyűrű alakú furatot készít. A magrészmegmarad, amelyet átfutás után a szerszám szárából eltávolítanak.

A koronafűrő szabályosan többéltű szerszám (13.17. ábra). A forgácsoló éleket csőszerű testre képezik ki. A szerszám szára cső, melynek hossza a furat mélységétől függ. A szerszám egyenesben veze-



13.15. ábra  
Az egyéltű csőfűrő dolgozó  
részének kialakítása

A csőfűrő az átmérőjének megfelelő anyagot apró darabokra forgácsolja, és ez különösen nagy átmérőknél gazdaságtalan. Ezért használata csak kisebb furatoknál ajánlatos  $\phi 6-60$ -ig.



13.17. ábra  
A koronafuró kialakítása

tését a fogak között elhelyezett vezetősármnyak biztosítják.

A furat fala és a szerszám palástfelülete között történik a hűtőfolyadék hozzávezetése. A forgácsot a távozó hűtőfolyadék a szerszám belső furatán távolítja el. Lényeges, hogy apró forgácsot kapjunk,

mert így a forgácseltávolítás biztosítva van.

A hűtőfolyadék hozzávezetés nyomással történik. A koronafurót  $\varnothing$  60 mm feletti furatok készítésénél használják. A forgácsoló élek készülhetnek gyorsacélból vagy keményfémből. A forgácsoló főmozgást itt is a tárgy végzi.

### 13.323 Süllyesztők

A süllyesztők furatok bővítésére vagy a furatok fenék, ill. homlokfelületének megmunkálására szolgáló szerszámok.

Általánosan használt süllyesztőfajták:

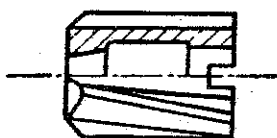
- csigasüllyesztő,
- feltűzhető süllyesztő,
- homlokfelületek megmunkálására szolgáló süllyesztők (felületezők),
- csucssüllyesztő,
- alakos süllyesztők és
- összetett süllyesztők.

A csigasüllyesztő felépítése legjobban a csigafurókhhoz hasonlít. Rendszerint három vagy négy éllel látják el. Nagyobb fogszám jobb vezetést biztosít a szerszámnak, és emellett a lélekvastagság is nagyobb, ezáltal a szerszám merevebb. A szerszám mellékélén ugyanugy, mint csigafurónál szalagot képeznek ki, a surlódó felületek csökkentése érdekében. A csigasüllyesztő perselyben éppúgy vezethető, mint a furó. A szerszám befogórésze általában kúpos.

A szerszám mindig előre kimunkált furatban dolgozik.

A nagyobb méretű feltűzhető süllyesztőket nem egy darabból készítik, hanem a forgácsolórészt külön és azt egy szénacél szárra erősítik. A felerősítés kúposan történik, a nyomatékávitelt pedig keresztékeléssel biztosítják (13.18. ábra). Általában  $\varnothing$  25 ... 80 mm mértékhatárok között készítik.

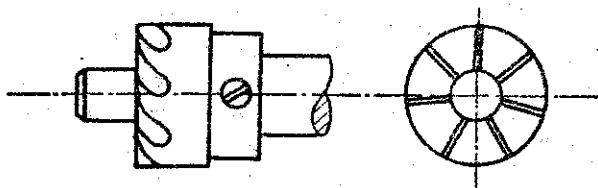
A süllyesztőket egyes esetekben az előmunkált furat vezeti. Ennek érdekében a süllyesztő homlokoldalán vezetősapot célszerű kiszerezhetően elkészíteni. Minthogy a vezetősap az előmunkált furatban forog, futóillesztéssel készítik. Vezetősapos süllyesztő a 13.19. ábrán látható.



13.18. ábra  
Feltűzhető süllyesztő



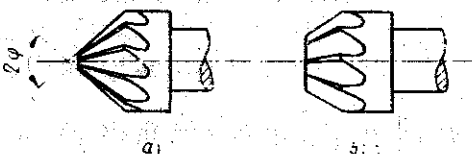
13.19. ábra  
Csapos süllyesztő



13.20. ábra  
Homloksüllyesztő

Homlokfelületek megmunkálására a 13.20. ábrán feltüntetett homloksüllyesztőket használják. Ez a szerszám legjobban a vezetőcsapos süllyesztőhöz hasonlít. A különbség a szerszám fogelrendezésében van, mert a homloksüllyesztőkhöz a homlokfelületen képeznek ki forgácsoló éleket. A homlokfelületek megmunkálására szolgáló süllyesztőket felületozóknak is nevezik, mivel felöntéseket, szemeket munkálnak meg vele. A szerszám általában több darabból szerelt kivitelben készül.

Kuposfejű csavarok, szegecsek fészkeinek kimunkálására csucssüllyesztőket használnak. A csucssüllyesztő csucszöge az igényeknek megfelelően készül  $2\varphi = 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$  és  $120^\circ$ -os kivitelben. Kisebb átmérőknél a fogazás a közép-pontig történik, míg nagyobb méretűknél a fogazott felület csonkakap (13.21. ábra).



13.21. ábra  
Csucssüllyesztők

Alakos felületek megmunkálásakor olyan szerszámot kell használni, amelynél újraélezéskor sem a profil, sem a szerszám élszögei nem változnak. Az alakos süllyesztők általában szerelt kivitelben készülnek. A szerszám dolgozó részét hátraesztergálással képezik ki. A hátraesztergált alakos süllyesztőket a homloklapon kell élezni.

Az összetett süllyesztőket főként sorozatgyártásban használják olyan alakos furatok megmunkálásához, melynek elkészítése több szabványos szerszám használatát igényelné.

### 13.324 Dörzsárák

A csigafuróval vagy sülyesztővel kimunkált furatok felületi érdessége vagy méretpontossága nem minden esetben kielégítő. Ilyen esetben az utánmunkálás vagy a készremunkálás történhet dörzsöléssel.

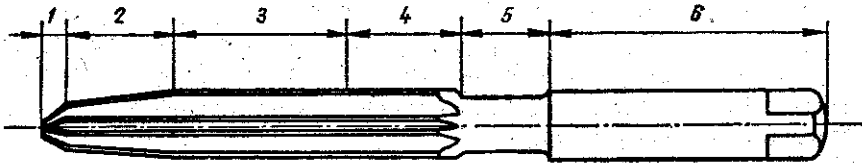
A dörzsölés végezhető egy, vagy több lépésben. Az egy lépésben történő dörzsölésnél elérhető méretpontosság IT9 - IT10, míg két lépésben történő dörzsöléssel elérhető az IT7 - IT8. Dörzsöléssel javíthatjuk a furat méretpontosságát, felületének minőségét

( $R_a = 1,25 \dots 2,5 \mu\text{m}$ ) de nem javíthatjuk a helyzetpontosságát.

A dörzsárat mind kézi, mind gépi forgácsolásnál használják.

A szerszám elvi felépítését a 13.22. ábra szemlélteti. A dörzsár általános részei a következők:

1. vezetőkup
2. vágókup
3. szabályozórész
4. hátsó kup
5. nyak
6. befogórész.



13.22. ábra  
Dörzsárák elvi felépítése

A vágókup a dörzsár elülső része, mely a tulajdonképpeni forgácsolást végzi. A vágókup félkupszöge erősen befolyásolja a forgácsoló közepvastagságot, így megválasztása mindig a megmunkálandó anyagtól függ. Szivós anyagok megmunkálásánál rövid a vágókup és nagy a félkupszög értéke ( $\varphi = 15 \dots 20^\circ$ ). Rideg anyagok megmunkálásánál hosszú a vágókup és kicsi a félkupszög ( $\varphi = 3 \dots 4^\circ$ ).

Ha adott ráhagyás esetén a  $\varphi$  kicsi, akkor a  $(h)$  is kicsi, ami jó felületet, hosszabb éltartamot, de nagy forgácsoló erőt eredményez. A kis  $\varphi$ -vel rendelkező hosszú vágókup jobb vezetést biztosít, de az ilyen dörzsár hajlamosabb a beszorulásra, amely töréshez vezet.

A meredek és rövid vágókup forgácsolás szempontjából termelékenyebb, hiszen kisebb a fajlagos forgácsoló erő is. A felületi simaság szempontjából az ilyen dörzsár kedvezőtlenebb, ezért kell a simitórészt kiképezni (gépi dörzsárák).

A vágókup és a hátsókup közötti szakaszt szabályozó- vagy vezető-résznek nevezzük. Ez a része a dörzsárnak hengeres, a furatban történő vezetést végzi. Míg a vágókup végzi a forgácsolás zömét, addig a szabályozórész a furat végleges méretét határozza meg. A dörzsár gyártási tűrését mindig a készítendő furat tűrésétől teszik függővé. A dörzsár alsó határmérete a furat tűrésmezejének felező méretére kell eszen, míg a felső határméret rendszerint  $0,15$ . Itt nagyságu eltéréssel a furat felső határmérete alá kell készülnön.

A hátsó kup célja, hogy a dörzsárnak a furatból való visszahúzásakor ne sértsük meg a megmunkált felületet, másrészt a hátsókup kialakításával csökkenthető a forgácsolás közbeni surlódás is.

A szerszám élezésénél, a pontos hengeres felület elérése érdekében, csucskok között a palástfelületet is átköszörülük. Természetesen vékony forgácsot választanak le, hogy a dörzsár mérete nagymértékben ne változzék. A palást köszörülése következtében a szabályozórészen élszalag keletkezik, tehát hátszög nincs. Élszalag csupán a szabályozórészen és a hátsó kupon van, amelynek szélessége a dörzsár méretétől függően  $0,1 \dots 0,2$  mm. Az élszalag létezése kedvező perselyben való vezetésnél is.

A dörzsár fogszáma lehet páros és páratlan. A páros fogszámú dörzsár mérése lényegesen könnyebb, mint a páratlan fogszámúaké. A tapasztalat azt mutatja, hogy a páratlan fogszámú dörzsár jobb felületet eredményez. A páros fogszámú dörzsár berezgésre hajlamosabb. Ennek kiküszöbölésére egyenlőtlen fogosztást alkalmazunk. Az egyenlőtlen fogosztású dörzsárat páros fogszámúra készítik.

Gyártás és utánékezés szempontjából az egyenesfogu dörzsárak egyszerűbbek, de nem alkalmazhatók olyan helyen, ahol megszakított felületet kell kimunkálni (horony). Ilyen esetben igen jól használható a ferdefogu dörzsár.

A ferdefogu dörzsárnál a szerszám élei csavarvonal mentén helyezkednek el. Így a fogak nem egyenes vonal mentén érintkeznek a munkadarabbal, miáltal megszakított felület esetén sem nyomódnak félre.

Ferdefogu dörzsárat készítenek jobb és bal menetemelkedéssel. A gyakorlatban általában a bal emelkedésű dörzsárat használják.

A kézi és gépi megmunkálási módnak megfelelően egyaránt készíthet a dörzsár merev és állítható kivitelben. A dörzsár részei kézi és gépi dörzsáraknál némiképpen különböznek egymástól.

Kézi dörzsár aránylag merev kivitelű. Használati területe főként szereléseknél furatok összedörzsölésére, valamint olyan helyeken, ahol a gépi dörzsölés nehezen oldható meg. Furatok helyzetét kézi dörzsöléssel nem tudjuk javítani. A kézi dörzsárra jellemző, hogy hosszú a vágókupja, amely jobb vezetést biztosít. Ezzel szemben szabályozórésze sok esetben nincs, vagyis a vágókup közvetlenül csatlakozik a hátsó kuphoz. Szárvégződése mindig négyszögletes.

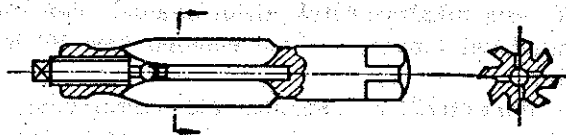
Gépi dörzsár a termelékenység szempontjából lényegesen kedvezőbb a kézi dörzsárnál. Nagy előnye, hogy perselyben vezethető és ezáltal a furatok helyzetét is módunkban van változtatni. Felületi simaság és tőrés szempontjából is kedvezőbb a használata. Jellemzője a rövid vágókup és hosszú simitőrész. A szerszám befogórésze hengeres vagy kupos.

A merev kivitelű dörzsárak elkészítése olcsóbb; a merev dörzsár pontosabb furatot eredményez és termelékeny. A köszörülés következtében beállott méretváltozásokat nem tudjuk utánállítani, ezért ilyen dörzsár csupán bizonyos mérethatárok között használható, mert kevés számú élezést tesz lehetővé. Főként olyan anyagok megmunkálására használják, melyeknek kicsi a kopthatóságuk.

Az állítható dörzsárak előnye, hogy a kopás és köszörülés következtében beállott méretváltozásokat utánállítással ki lehet küszöbölni. Az utánállítható dörzsáraknak két fajtája ismeretes: kis méret-utánállíthatóságu és nagy méretutánállíthatóságu dörzsár.

A kis utánállíthatóságu dörzsárak rendszerint az anyag rugalmas deformációján alapulnak. Általában  $\varnothing 6 \dots 50$  mm mérethatárok között hozzák forgalomba.

A 13.23. ábrán kis méret-utánállíthatóságu dörzsár vázlata látható. A dörzsár tömör kivitelben készül, melyben egy kupos furat van, ami hengeres furatként folytatódik. A kupos furatban csavarral golyót lehet mozgatni. A golyó mélyebbre hatolása következtében a dörzsárat széjjel feszíti, ennek érdekében a dörzsár működő részén a fogak közötti részt felhasítják. A felhasítás történhet minden második fogházban.

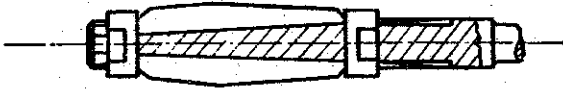


13.23. ábra

Kis utánállíthatóságu hasított dörzsár

A nagy utánállíthatóságu dörzsár több darabból szerelt kivitelben készül. Ez a szerszám nem csupán a kopásból eredő méretváltozás utánállítását teszi lehetővé, hanem bizonyos mérethatárok között dolgozik. Készítik  $\varnothing 6-100$  mm-es mérethatárok között.

A szerszám forgácsoló részét külön lapkák képezik, melyeket a szerszámtestben kimunkált horonyba helyeznek. A horony kupfeltület mentén helyezkedik el (13.24. ábra). A forgácsolólapokat a szerszám két végén elhelyezett anyával lehet rögzíteni. Az utánállítás úgy történik, hogy az anyák segítségével a forgácsolólapokat tengelyirányban elmozdítjuk.



13.24. ábra

Nagy utánállíthatóságu szerelt, betétkéses kézi dörzsár

Különleges esetekben szükséges zsáklyukak pontos elkészítése is. Ilyenkor használják a homlokdörzsárat. A homlokoldalon is fogazott dörzsár vezető és vágókupja teljesen hiányzik.

Nagyméretű furatok dörzsöléséhez a feltűzhető stüllesztőhöz hasonlóan feltűzhető dörzsárat használnak.

### 13.4 Marás

A marás olyan forgácsolási eljárás, ahol a forgó főmozgást a szerszám, a mellémozgásokat a munkadarab végzi. A marás szerszáma szabályosan többéli. Attól függően, hogy a forgácsolóélek a maró homlok- és palástfelületén, vagy csak a palástfelületén helyezkednek el, beszélünk homlok-, ill. palástmaróról.

A homlokmarásnál a szerszám tengelye általában merőleges a megmunkált felületre, palástmaráskor pedig többnyire párhuzamos azzal. A palástmarás lehet egyenirányu, vagy ellenirányu, attól függően, hogy az előtolás iránya megegyezik-e a forgácsolósebesség irányával, vagy ellentétes azzal.

#### 13.41 A forgácsleválasztás körülményei homlokmarásnál

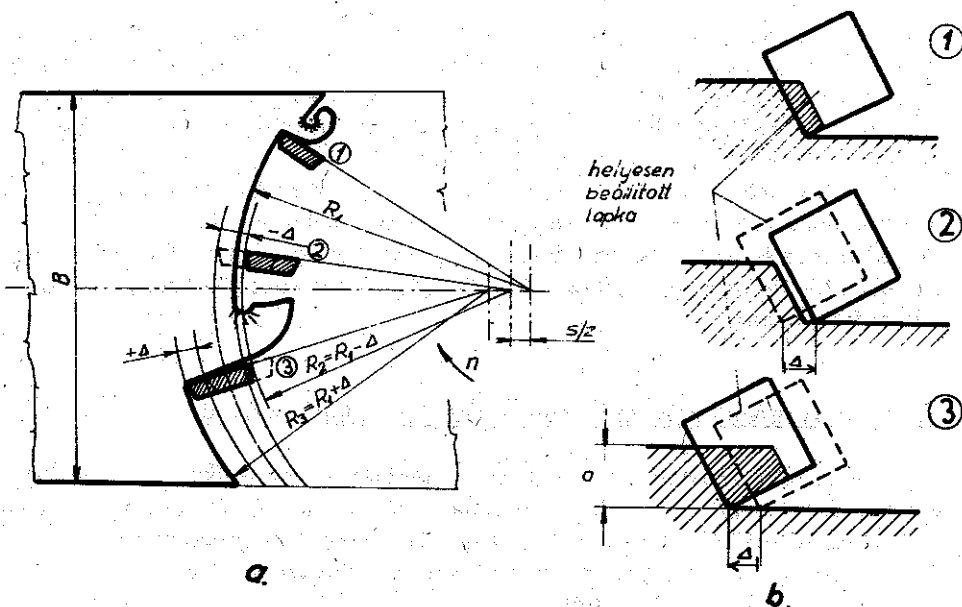
Homlokmaráskor a szerszám átmérőjét a kedvezőbb forgácsolási viszonyok érdekében úgy kell megválasztani, hogy a homlokmaró a megmunkálandó felület szélességénél nagyobb legyen. A gyakorlatban az 5 : 3 ill. a 3 : 2 közötti arányt szokás választani, így  $D = (1,5 \dots 1,7) \cdot B$ , ahol

- D - a szerszám átmérője,
- B - a marási szélesség.

A szerszám forgómozgása és a tárgy egyenesvonalu előtolásirányu mellémozgása következtében a forgácsleválasztás ciklois görbe mentén megy végbe. (Kör gördül egyenesen.) Számításaink során a ciklois helyett körívvel számolunk; az így elkövetett hiba gyakorlati számításoknál megengedhető.

A forgácsleválasztás törvényszerűségét vizsgálva megállapítható, hogy a forgácsvastagság nem azonos az iv mentén. Be- és kilépéskor a szerszám sugárirányban mérve vékonyabb réteget választ le, mint a munkadarab közepénél. Ha a munkadarab és a homlokmaró kölcsönös helyzete a beállítás során úgy adódik, a szerszám szimmetria-síkja az előtolómozgás irányában egybe esik a mart felület felezősíkjával (szimmetrikus elrendezés), akkor a be- és kilépés helyén azonos nagyságú lesz a forgácsvastagság. A szerszám szimmetriasíkjában viszont a legvastagabb forgács mérhető éppen a fogankénti előtolással ( $s_z$ ) azonos mérettel.

A szimmetrikus elrendezési homlokmarás forgácsleválasztási vázlata a 13.25. ábrán látható. Mivel egyidejűleg több fog is dolgozik, így helyes szerszámbeállítás esetén minden fog azonos méretű és alaku forgácsolt választ le. Az egy fog által leválasztott forgács előtolásirányu vastagságát fogankénti előtolásnak ( $s_z$ ) nevezzük.



13.25. ábra

Szimmetrikus elrendezési homlokmarás forgácsleválasztási vázlata

A marási technológia tervezésekor a fogásmélység megállapítása után mindig az egy fogra eső előtolás megválasztásából kell kiindulni ( $s_z \approx 0,01 \dots 0,25$  mm/fog). A fogankénti előtolásból már kiszámíthatjuk a marószerszám fordulatonkénti ( $s_n$ ) előtolását, és a percnkénti előtolási sebességet ( $v_f$ ) is:



$$s_n = s_z \cdot z \quad [\text{mm/ford}]$$

illetve:

$$v_f = s_n \cdot n = s_z \cdot z \cdot n \quad [\text{mm/min}]$$

ahol  $z$  - a maró fogszáma,

$n$  - a maró percnkénti fordulatszáma.

A marógépeken közvetlenül az előtolási sebességet lehet beállítani.

Maráskor az egy él által leválasztott forgács iv alakú. A forgácsvastagság pillanatnyi értéke a fogankénti előtolásnak és a marófognak a szerszám tengelysíkjaival bezárt középponti helyzetszögének ( $\varphi_x$ ) a függvénye:

$$s_x = s_z \cdot \cos \varphi_x$$

A marófog által leválasztott forgácskeresztmetszet a szöghelyzet függvényében állandóan változik:

$$A_x = b \cdot h_x$$

ahol - a forgácsszélesség:  $b = \frac{a}{\sin \kappa}$

- az elméleti forgácsvastagság pedig:

$$h_x = s_x \cdot \sin \kappa = s_z \cdot \cos \varphi_x \cdot \sin \kappa$$

A gyakorlati számításokhoz az egy fogat terhelő forgácsolóerő pillanatnyi értékét a fajlagos forgácsolóerő alapján a pillanatnyi forgácskeresztmetszet segítségével határozhatunk meg:

$$F_{1x} = k \cdot A_x = k \cdot a \cdot s_z \cdot \cos \varphi_x$$

Mivel a fajlagos forgácsolóerő a közepes forgácsvastagság függvénye, ezért meghatározásához a homlokmarás közepes forgácsvastagságának előzetes ismerete is szükséges.

Szimmetrikus elrendezés esetén a belépési- és a kilépési forgácsív szög ( $\varphi$ ) azonos értékű, így

$$h_k \cdot 2i = s_z \cdot B$$

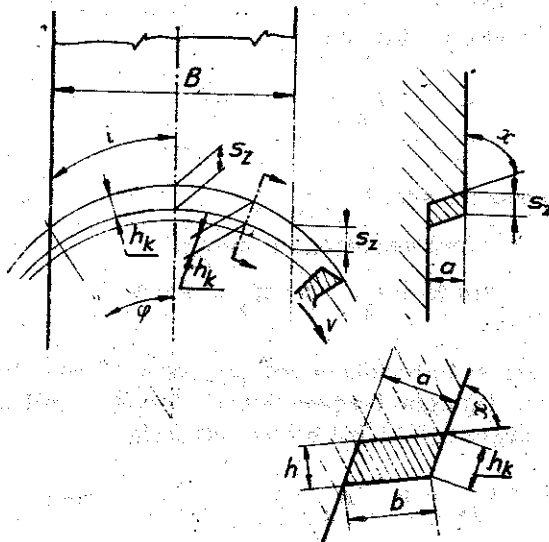
ahonnan a közepes forgácsvastagság:

$$h_k = \frac{s_z \cdot B}{2 \cdot i}$$

A számításba veendő iv hossza:  $i = \frac{D \cdot \pi \cdot \varphi}{360}$

A gyakorlatban ritkán dolgozunk  $\kappa = 90^\circ$ -os elhelyezési szögi maróval. Az így kiszámított ( $h_k$ ) pedig csak az iv menti közepes forgácsvastagságot jelenti, nekünk pedig az élre merőleges mérettel kell számolni, ezért a főélelhelyezési szöget is figyelembe véve a forgács-középvastagság (13.26. ábra):

$$h = h_k \cdot \sin \kappa = \frac{s_z \cdot B}{2 \cdot i} \cdot \sin \kappa$$



13.26. ábra

A közepes forgácsvastagság meghatározása homlokmaráskor

A tapasztalatnak megfelelően az egy fogat terhelő forgácsolóerő változása a forgácsív mentén a forgácskeresztmetszet változásának jellegét követi, tehát szinuszos lefutásu. Az ív mentén változó forgácsolóerő közepes értékét ( $F_{1K}$ ) a következő összefüggés segítségével tudjuk meghatározni:

$$F_{1K} = k \cdot b \cdot h = k \cdot a \cdot \frac{s_z \cdot B}{2 \cdot i} \quad [N]$$

Megmunkálás közben egyidőben több fog is forgácsol. Attól függően, hogy a maró forgása közben éppen milyen helyzetben van, az egyidőben fogásban lévő fogakra külön-külön eltérő nagyságu és irányu erők hatnak. Ahhoz, hogy a forgácsoláshoz szükséges kerületi erő nagyságát meghatározzuk, nem szükséges az eredő erő pillanatról-pillanatra változó nagyságát megismerni, hanem elegendő az átlagos kerületi forgácsolóerő nagyságát kiszámítani.

A teljes iv mentén egyidőben fogásban lévő fogak száma a szerszám fogosztása ( $t$ ) és az ivhossz ( $i$ ) ismeretében meghatározható:

$$\psi = \frac{2i}{t} = \frac{2 \cdot D \cdot \pi \cdot \varphi}{360} \cdot \frac{z}{D\pi} = \frac{2 \cdot z \cdot \varphi}{360}$$

A kapcsolási szám figyelembevételével az átlagos kerületi forgácsolóerő az egy fogat terhelő forgácsolóerő közepes értéke ( $F_{1K}$ ) és az egyidejűleg fogásban lévő fogak számának ( $\psi$ ) szorzataként határozható meg:

$$F_K = F_{1K} \cdot \psi = \frac{k \cdot a \cdot B \cdot s_z \cdot z}{D \cdot \pi} \quad [N]$$

Az eddigi számításokat arra az esetre végeztük, amikor feltételezhetően szimmetrikus elrendezést sikerül megvalósítani homlokmaráskor.

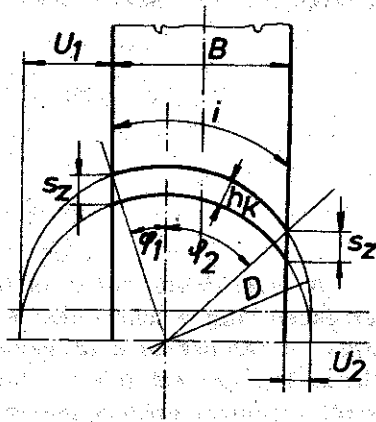
A gyakorlatban a beállítás szemre történik, amely nem biztosítja, hogy a forgácsvastagság a belépésnél és a kilépésnél ugyanolyan méretű legyen.

Aszimmetrikus elrendezés esetén a munkadarab szimmetriatengelyén kívül van a szerszám tengelye, és a szerszámfelület a belépő iv oldalán  $U_1$ , a kilépő iv oldalán pedig  $U_2$  távolságra helyezkedik

el a marási szélességet meghatározó síktól (13.27. ábra). Ennek megfelelően a belépési iv szöge ( $\varphi_1$ ) nem azonos a

kilépési iv szögével ( $\varphi_2$ ). Ebben az ál-

talános esetben a forgácsközepvastagságot a teljes iv figyelembevételével kell meghatározni:



13.27. ábra

Aszimmetrikus elrendezésti homlokmarás forgácsolási vázlat

$$h_k \cdot i = s_z \cdot B$$

ahonnan

$$h_k = \frac{s \cdot B}{i} \quad \text{és} \quad h = h_k \cdot \sin \alpha$$

illetve

$$i = \frac{D \cdot \pi (\varphi_1 + \varphi_2)}{360^\circ}$$

A kapcsolási számot szintén erre az ivre kiszámítva:

$$\psi = \frac{i}{t} = \frac{D \cdot \pi \cdot (\varphi_1 + \varphi_2) \cdot z}{360 \cdot D \cdot \pi} = \frac{z(\varphi_1 + \varphi_2)}{360}$$

Az átlagos kerületi forgácsolóerő ebben az esetben is az

$$F_K = \frac{k \cdot a \cdot s_z \cdot B \cdot 360}{D \cdot \pi (\varphi_1 + \varphi_2)} \cdot \frac{z (\varphi_1 + \varphi_2)}{360} = \frac{k \cdot a \cdot s_z \cdot B \cdot z}{D \cdot \pi} \quad [N]$$

alakú összefüggéssel határozható meg. A belépési forgácsívyszög ( $\varphi_1$ ) ill. a kilépési forgácsívyszög ( $\varphi_2$ ) pedig a szerszámelhelyezésre jellemző méretek segítségével kifejezhetők:

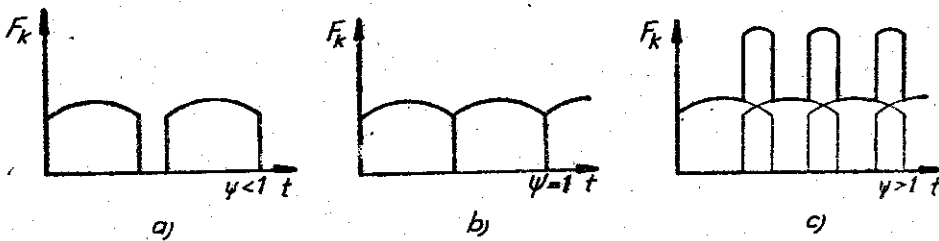
$$\sin \varphi_1 = 1 - \frac{2 \cdot U_1}{D}$$

$$\sin \varphi_2 = 1 - \frac{2 \cdot U_2}{D}$$

A levezetések során is láttuk, hogy a forgácsolóerő értéke nagymértékben függ a kapcsolási számtól. Homiokmaróval való megmunkálásnál, a belépésnél a szerszám csaknem teljes forgácskeresztmetszetet választ le, ami azt jelenti, hogy az egy fogra eső forgácsoló erő belépésnél majdnem eléri a maximális értéket.

A 13.28/a ábrán azt az esetet tüntettük fel, amikor az un. ütőké-  
ses megmunkáláskor a kapcsolási szám kisebb egynél. Ez nagyon kedvezőtlen, mert az erőhullámzás 100%-os. Van idő, mikor a szerszám maximális erővel dolgozik, majd kilépés után a forgácsoló erő értéke nulla. Az ilyen megmunkálást lehetőleg kerülni kell.

A b) ábrán látható diagramnál erőhullámzás alig van. Ez az ideális eset  $\psi = 1$  kapcsolási számmal volna elérhető. Gyakorlatilag azon-



13.28. ábra

A forgácsolóerő változása homlokmaráskor a kapcsolási szám függvényében

ban a  $\Psi = 1$ -et megvalósítani rendkívül nehéz; ilyen csak véletlenül szokott előfordulni.

A c) ábrán feltüntetett diagramnál a kapcsolási szám nagyobb egynél. Van idő tehát, amikor egy fog van fogásban, és van idő, amikor kettő vagy esetleg több fog is van fogásban. Gyakorlatilag ezzel az esettel találkozunk legtöbbször. A szerszám megválasztásakor tehát arra kell törekednünk, hogy a kapcsolási szám mindig nagyobb legyen egynél. Általában az értéket 2 ... 3-ra választjuk, mert így az erőhullámnak kedvezőbb.

Mintogy  $\Psi$  az átlagosan fogásban levő fogak számát jelenti, így ez rendszerint nem egész szám, és átlagos forgácsoló erő meghatározásánál nem is kell kerekíteni.

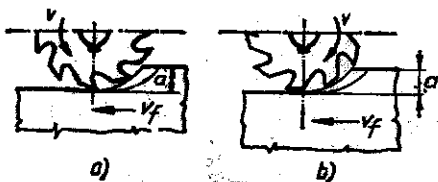
A homlokmarás teljesítményszükséglete a közepes kerületi erő ismeretében a már jól ismert módon: a sebesség és az erő szorzataként határozható meg:

$$P_v = \frac{F_K \cdot v}{60.000} = \frac{k.a.s \cdot B.z}{D \cdot \pi \cdot 1000} \cdot \frac{D \cdot n \cdot \pi}{60.000} = \frac{k.a.B.s \cdot n.z}{60.000.000} =$$

$$= \frac{k.a.B.v_f}{60.000.000} \quad [\text{kW}]$$

### 13.42. A forgácsleválasztás körülményei palástmarásnál

A palástmarásnak két változata ismert: az egyenirányú és az ellenirányú marás (13.29. ábra). Az egyenirányú marásnál az előtolás iránya egyező a főmozgás irányával; ellenirányú marásnál a főmozgás iránya ellentétes az előtolás irányával. Mindkét palástmarási módnál a forgács alakja hasonló, de a megmunkálás feltételei miatt általában az ellenirányú marást használják, **hisz forgácsleválasztáskor, a teljesítmény szempontjából, az egyenirányú marás kedvezőbb, mint az ellenirányú marás.**



13.29. ábra

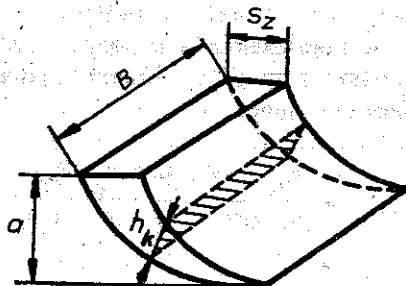
A palástmarás két változata:  
az ellenirányu és az egyenirányu marás

A palástmarás két változata a fogásmélység megválasztását döntően befolyásolja. Ellenirányu marásnál a munkadarabra ható erő igyekszik felemelni a gépasztalt, ezért a kopott ágyvezetékű gép hamar beremeg. It a fogásmélység tehát csak kicsi lehet (nagyoláskor  $a = 3 \dots 6$  mm, simításkor  $a = 0,5 \dots 1,5$  mm). Egyenirányu palástmaráskor a fellépő erő a

munkadarabot az asztalra, ill. az asztalt a vezetékeire szorítja, így a fogásmélység nagyobb is lehet. Ellenirányu marásnál a szerszám nulla forgácsvastagsággal kezd, ezért a nagy fajlagos forgácsolási ellenállás miatt a szerszám gyakran megcsuszlik, hátfelülete gyorsan kopik és a munkadarab felülete is érdesebb lesz. A forgácsolóerő a maró élére hat. Iránya állandóan változik a fog pillanatnyi helyzete szerint. Az ellenirányu marást azért alkalmazzuk, mégis inkább, mint az egyenirányut, mert az erő vízszintes komponense mindig az előtolás irányával szemben hat, és így az asztalmozgató berendezés holtjátékát kiküszöböli.

A palástmarásnál a forgácsolóerő a forgácsív mentén sokkal nagyobb mértékben változik, mint homlokmarásnál. A forgácsolóerő számítását az egyszerűség kedvéért egyenesfogu palástmarónál vizsgáljuk. A forgácsolóerő meghatározásához a forgács sugárirányu keresztmetszetével számolunk, amelyhez adott esetben a közepes forgácsvastagságot is meg kell határoznunk.

Az egy fog által leválasztott forgács vessző alakú (13.30. ábra). A közepes forgácsvastagság a következő módon határozható meg:



13.30. ábra

Az egy fog által leválasztott forgács alakja palástmaráskor

$$A_1 = s_z \cdot a = h_K \cdot i$$

ebből

$$h_K = \frac{s_z \cdot a}{i}$$

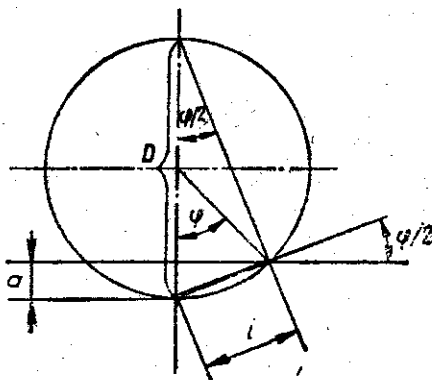
A forgácsív kiszámításakor elhanyagolással élünk és az ívhossz helyett a hurral számolunk (13.31. ábra).

$$i : a = D : i$$

amelyből

$$i = \sqrt{a \cdot D}$$

Ezzel a közelítéssel az elkövetett hiba nagyon kicsi. Természetesen, ha a forgácsívyszög ( $\varphi$ ) nagyobb, pontosabb számítás szükséges, de a hurral közelített ívhosszal meghatározott közepes forgácsvastagság értéke  $\varphi = 30^\circ$ -nál kb. 1%;  $\varphi = 45^\circ$ -nál kb. 2,5%;  $\varphi = 60^\circ$ -nál kb. 4,5%-kal tér el a valóságos értéktől.



13.31. ábra

A forgácsív kiszámítása palástmarásnál

$$h_k = \frac{s_z \cdot a}{\sqrt{aD}} = s_z \cdot \sqrt{\frac{a}{D}}$$

A kapcsolási szám meghatározásához is ugyanezzel a közelítéssel élhetünk:

$$\psi = \frac{i}{t} = \frac{z \cdot \sqrt{aD}}{D \cdot \pi} = \frac{z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{a}{D}}$$

Mindezek alapján a közepes forgácsolóerő palástmaráskor a kapcsolási szám figyelembevételével:

$$F_K = k \cdot h_K \cdot B \cdot \psi = k \cdot B \cdot s_z \cdot \frac{z}{\pi} \cdot \frac{a}{D} \quad [N]$$

A palástmarás teljesítményszükséglete pedig:

$$P_v = \frac{F_K \cdot v}{60.000} = \frac{k \cdot B \cdot a \cdot s_z \cdot z}{D \cdot \pi \cdot 1000} \cdot \frac{D \cdot n \cdot \pi}{60.000} = \frac{k \cdot B \cdot a \cdot s_z \cdot z \cdot n}{60.000 \cdot 000} =$$

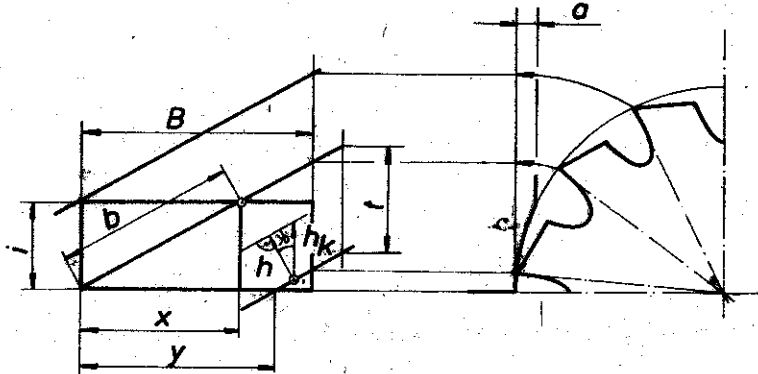
$$= \frac{k \cdot B \cdot a \cdot v_f}{60.000 \cdot 000} \quad [kW]$$

Az egyenesfogu palástmarók használata nagy erőingadozással jár, mert a kapcsolási szám növelése csak strófogazatu szerszámmal lehetséges, amellyel csak kismennyiségű forgács választható le. Az egyenlőtlen járás mind a szerszámgep, mind a forgácsolási teljesítmény

szempontjából hátrányos jelenség. Az erőhullámzás csökkentése elérhető ferdefogu palástmarók felhasználásával.

Ha síkba terítjük a ferdefogu palástmaró által forgácsolt ívet és a szerszám palástját (13.32. ábra), akkor látható, hogy a marók fogai csak bizonyos szélességben dolgoznak. Mivel ferdefogu palástmaróknál is az élre merőleges forgácsközépvastagságot kell meghatározni, a forgácsközépvastagság csökkentése a csavarvonal hajlás-szögétől ( $\lambda$ ) függ.

$$h = h_k \cdot \cos \lambda$$



13.32. ábra

A közepes forgácsvastagság és a kapcsolási szám meghatározása ferdehornyu palástmaráskor

A forgácskeresztmetszet kiszámításához szükség van még a fogásban lévő élvonalhossz meghatározására is, az ábra alapján

$$b = \frac{i}{\sin \lambda}$$

Ezzel az egy él által leválasztott forgácskeresztmetszet

$$A_1 = h \cdot b = h_k \cdot i \frac{\cos \lambda}{\sin \lambda} = h_k \cdot i \cdot \operatorname{ctg} \lambda$$

Az egyidőben fogásban lévő fogak számának meghatározásához a következő aránypár írható fel:

$$\psi = \frac{B}{y} \quad \text{és} \quad t : y = i : x$$

Mivel



$$x = i \cdot \text{ctg } \lambda ,$$

ezért

$$y = \frac{t \cdot x}{i} = \frac{t \cdot i \cdot \text{ctg } \lambda}{i} = t \cdot \text{ctg } \lambda$$

A kapcsolási számra kapjuk, hogy

$$\psi = \frac{B}{t \cdot \text{ctg } \lambda}$$

A ferdefogu palástmaróra levezetett összefüggéseket a közepes kerületi erő képletébe behelyettesítve:

$$\begin{aligned} F_K &= k \cdot A \cdot \psi = k \cdot h_k \cdot i \cdot \text{ctg } \lambda \cdot \frac{B}{t \cdot \text{ctg } \lambda} = \\ &= k \cdot s_z \cdot \sqrt{\frac{a}{D}} \cdot \sqrt{aD} \cdot \frac{B \cdot z}{D \cdot \pi} = \frac{k \cdot s_z \cdot a \cdot B \cdot z}{D \cdot \pi} \end{aligned}$$

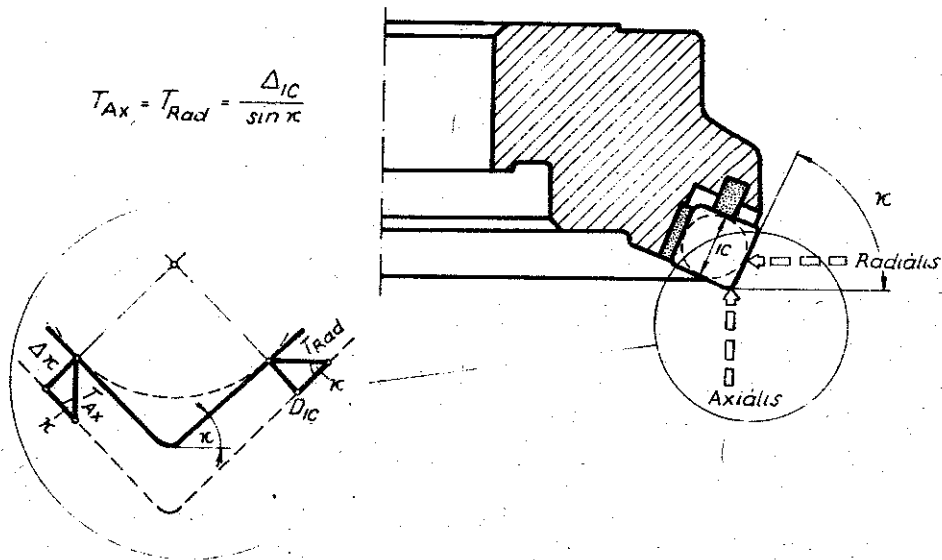
láthatjuk, hogy alakra valamennyi marási módra azonos kifejezést kapunk, s csupán a közepes forgácsvastagság (h) és a hozzá tartozó fajlagos a forgácsolóerő esetenkénti meghatározásában kell eljárunk a forgácsleválasztás sajátosságainak megfelelően.

### 13.43 A gazdaságos forgácsolási adatok meghatározása maráskor

A mart felület a megmunkálás után mindig barázdált. A felületi érdességet nagymértékben befolyásolja a marószerszámok ütéspontossága. Jó felület csak abban az esetben keletkezik, ha a szerszám élei azonos átmérőn dolgoznak, és a fogak csucspontjai egy síkban vannak. A megmunkált felület minőségét befolyásolja a marószerszám beállítása is (13.33. ábra).

Ha például a homlokmaró tengelye a megmunkálandó felületre merőleges, akkor a forgó szerszám élei a már megmunkált felülettel érintkeznek, és marás után a felületen egymást keresztező karcok látszanak. Ennek kiküszöbölése céljából a maró tengelyét az előtolás irányában megdöntik. A szerszámtengely döntése következtében a forgácsoló felület nem sík, hanem kissé homorú lesz. Azonban ez az eltérés az 1°-nál kisebb döntés következtében elenyészően kicsi.

A marófej megdöntése a kisebb érintkezési felületet eredményező szerszámbeállítással a hűtési viszonyok kedvezőbbé válását is magával



13.33. ábra

A marószerszám sugárirányú és tengelyirányú beállítása

hozza. A marófog üresjáratú fordulata alatt a szerszámél veszít hőmérsékletéből. A hőterhelésnek ez a századmásodpercenkénti ingadozása a szerszámél kifáradását okozhatja. Ezért rendkívül fontos a marószerszámok megfelelő hűtése.

A marók előállítása és élfelujtása költségesebb, mint az egyéltű szerszámoké, ezért a gazdaságos éltartamidő is nagyobb, mint a forgácsolókésekénél ( $T = 40 \dots 480 \text{ min}$ ).

A gazdaságos forgácsolási sebességet a szokásos alaku összefüggéssel lehet meghatározni:

$$v = \frac{C_{vMAR} \cdot D_{vM}^z \cdot K_{vMAR}}{T_M^m \cdot s_z^x \cdot a_{vM}^y \cdot B_{vM}^r \cdot z_{vM}^p}$$

A kézikönyvek és táblázatok a képletben szereplő állandók és kitevők értékeit a marási mód, a marószerszám és a megmunkálandó anyag függvényében adják meg.

### 13.44 Marószerszámok

Felhasználás szempontjából a következő marótípusokat különböztetjük meg:

- palástmarók;
- homlokmarók;
- horonymarók;
- profilmarók;
- szármarók;
- fűrész-tárcsák.

A marók szabvány által is követett osztályozása a forgácsoló fogak kialakítása szerinti felosztásban vizsgálja a marószerszámokat.

E szerint a következő marófajtákat különböztetjük meg:

- martfogazású marók;
- hátraesztérgált fogú marók;
- forrasztott- vagy ragasztott lapkás marók;
- betét- vagy váltólapkás szerelt marók.

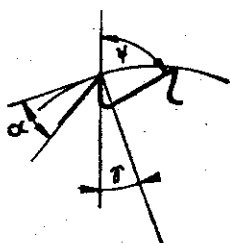
A felsorolt valamennyi marófajta alakja szerint lehet száras, vagy furatos maró.

#### 13.441 Martfogazású marók

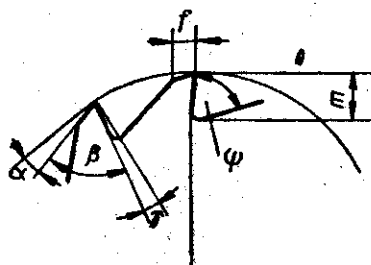
A martfogazású marók általánosan használt szerszámok. A legelterjedtebb többéli forgácsoló szerszámok, így a dörzsárak, stüllesztők, menetfurók is martfogu kivitelben készülnek. A foghorony kimarását a fog alakjától függően egy- vagy kétoldalas szögmaróval, bonyolultabb profil esetében alakmaróval végzik.

A fogak kiképzése szempontjából legegyszerűbb a hegyesfog, mivel gyártása és újraélezése egyszerű. Működés szempontjából a hegyesfogu szerszám használata kedvezőtlen, mivel hátszöge nagy, és kopás következtében az átmérője változik. Ezért a hegyesfogu marókat csak kis teljesítményű forgácsoló szerszámok, pl. fűrész-tárcsák készítésekor használják (13.34. ábra).

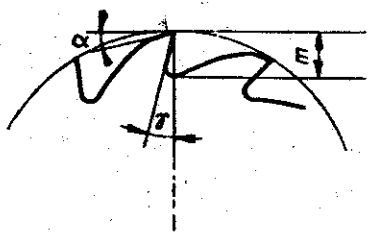
A trapéz alaku fogkiképzés az előbbiek módosított kivitele, (13.35. ábra). A hátszög értéke kopás szempontjából kedvezőbb, de szilárdságilag az a fog sem kielégítő. Az újraélezések következtében az (m) fogmagasság állandóan csökken, mely a forgácutér szempontjából kedvezőtlen. A trapéz alaku fogkiképzést főként kisebb memmységű forgács leválasztásakor használják, pl. tárcsás horonymaróknál.



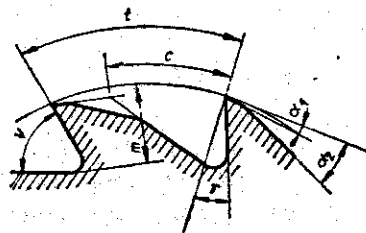
13.34. ábra  
Hegyes fogu  
fogkialakítás



13.35. ábra  
Trapéz alakú fogkialakítás



13.36. ábra  
Parabolikus hátlapu szerszámfog



13.37. ábra  
Kettős hátlapu martfogu marófog

Szilárdság szempontjából a parabolikus hátlapu szerszám használata a kedvező. Ennek a szerszámnak elkészítése nehézkes, mivel a forgácstér kialakítása szabványos szerszámokkal nem valósítható meg (13.36. ábra).

Az egyenszilárdságu fogalakat kettős hátlap kiképzésével szokás biztosítani, amely mind szilárdsági, mind elkészíthetőség szempontjából megfelelőnek mondható. A 13.37. ábrán feltüntetett kettős hátlapu maró általánosan használt fogkiképzés, ahol a fogak terhelése nagy.

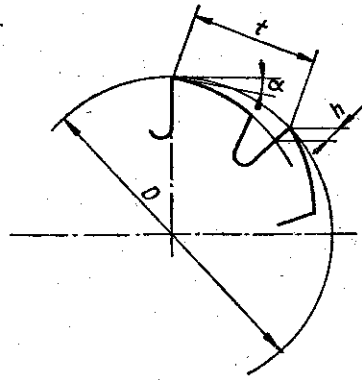
Ez a legáltalánosabb marófogalak, mivel a kettős hátlapu fogkiképzés egyszerűen kimunkálható. A martfogu marók családjába a következő marótípusok tartoznak: palástmarók, palást-homlokmarók, tárcsamarók, ujjmarók, reteszhoronymarók, T-horonymarók, szögmarók, hosszlyukmarók és fűrész tárcsák.

#### 13.442 Hátraesztergált fogu marók

A martfogu maróknak hátránya, hogy utánélezéskor az élszögek és a maró méretei megváltoznak. Így a martfogu marók olyan felületek megmunkálására nem alkalmasak, amelyek a szerszám profiljától feltétlen alakhűséget követelnek meg, valamennyi utánélezést követően. Alakos felületek megmunkálására ezért a hátraesztergált fogu marók terjedtek el.

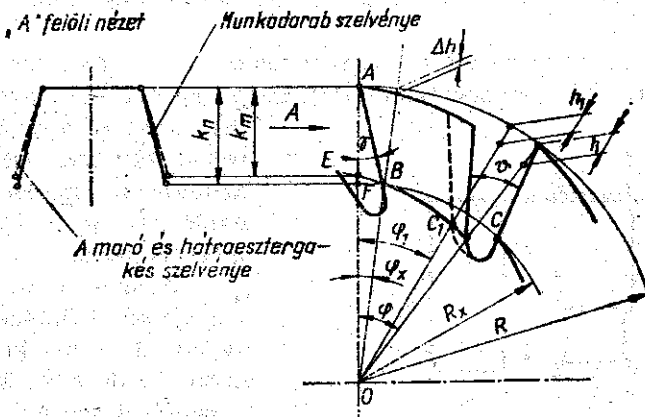
A hátraesztergált fogu marók fogának hátfelületét olyan görbe mentén kell kialakítani, amely biztosítja, hogy a szerszám homloklapján történő újraélézések után a hátszög ne változzon. Ezeknek a követelményeknek a gyakorlat számára kielégítő pontossággal az archimedeszi spirális felel meg.

A marófogak hátraesztergálását a szerszámgyártásban használt, vezértárcsával vezérelt, különleges esztergán végzik. A hátraesztergálás mértéke a hátszög alapján határozható meg (13.38. ábra):



13.38. ábra  
A hátraesztergálás mértékének meghatározása

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{t} = \frac{h}{\frac{D\pi}{z}}; \quad h = \frac{D\pi}{z} \cdot \operatorname{tg} \alpha$$



13.39. ábra  
Pozitív homlokszögű hátraesztergált fogu maró profiltorzulása

Ha a hátraesztergált fogu maró homlokszöge nulla, a szerszám profilja megegyezik a munkadarabra munkált profillal. Pozitív homlokszög esetén azonban (13.39. ábra) profiltorzulás következik be, s emiatt a szerszám szelvényét helyesbíteni kell. A maróra alacsonyabb profilmélységet kell munkálni, mint amilyen alakzatot a munkadarabra akarunk átmasolni vele. A szerszám profilja csakis sugárirányban torzul, szélességi méretei változatlanok maradnak.

### 13.443 Forrasztott-, és ragasztott-lapkás marók

A tömör vagy a tompán hegesztett gyorsacél maróknál nagyobb termelési mennyiséget biztosítanak a keményfémlapkás vagy kerámialapkás szerszámok. A keményfém marókat általában három kivitelben készítik:

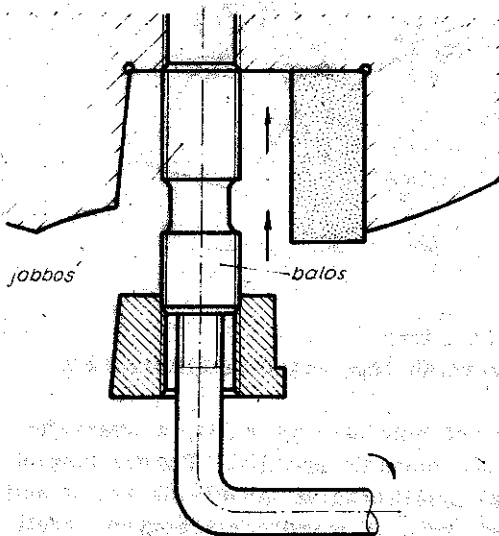
- az egészen kis méretűeket tömör keményfémből, ezek a monolit szerszámok;
- a nagyobb méretűeket forrasztott lapkás vagy szereltlapkás kivitelben.

A keményfémlapkák választékát többéltű fémforgácsoló szerszámokhoz az MSZ 7151. tartalmazza. A rendszerint keskeny, hosszukás alaku lapkákat fokozott figyelemmel kell forrasztáskor a szerszám fészkeiben rögzíteni. A hazai ipar többnyire homlokmarókat, tárcsamarókat, ujjmarókat és hosszlyukmarókat állít elő és használ fel forrasztott keményfémlapkás kivitelben.

Ragasztással a kerámia forgácsolóélt erősítik a szerszámtestre.

### 13.444 Betétkéses és váltólapkás szerelt marószerszámok

Az eddig ismertetett marószerszámok tömör kivitelben készültek. Anyagfelhasználás szempontjából lényegesen kedvezőbb a szerelt kivitelű maró használata. Szerelt kivitelben általában tárcsamarókat készítenek, amelyeknél a forgácsoló rész gyorsacél, vagy keményfémlapka.



13.40. ábra

Váltólapkás marószerszámok szerelt lapkabefogása ékes-csavaros rögzítéssel

A szerelt kivitelű marók lényegesen költségesebbek, mint az egy darabból készült szerszámok, de előnyük az, hogy nagymérvű gyorsacél megtakarítást lehet elérni, azonkívül keményfémlapka felhasználása is lehetővé válik.

A szerelt kivitelű maróknál lényeges a lapka biztos megfogása. Általában ékes megfogást használnak; nagyobb teljesítményeknél az ékes-csavaros megfogási mód terjedt el (13.40. ábra).

A széles palástmarók készítése szerelt kivitelben körülményes, ezért a szerelt megoldás inkább a tárcsamarókra, a horonymarókra és a marófejekre jellemző.

A betétkéses marószerszámokat legelterjedtebben homlokmaróknál használják. A szerszámtest anyaga szerkezeti acél, amelynek palástfelületén helyezkednek el az esztergakésekhez hasonló betétkések. A késeket a szerszámtesthez mechanikusan rögzítik.

A korszerű forgácsoló-technikában a forrasztott lapkás szerszámokat egyre jobban háttérbe szorítják a szerelt kivitelű váltólapkás szerszámok. A váltólapkás marószerszámok használata kiküszöböli a hagyományos marószerszámok élezéséből és beállításából adódó többletköltségeket. A szabványos alakú váltólapkákat többször lehet fordítani, ezáltal új forgácsolóéleket kapunk, s egyetlen marófejjel a lapka-anyagváltásték cseréjével mindig a legkedvezőbb forgácsolóképességű szerszámot tudjuk előállítani.

A váltólapkás marófejeknek két különböző kialakítási változata terjedt el. Az ugynevezett negatív marófejeknél a lapkafészek kialakítása olyan, hogy a befogott lapka tengelyirányu homlokszöge negatív, míg a pozitív marófejeknél a tengelyirányu homlokszög pozitív. Ezenkívül elhelyezhetőek a lapkák negatív-, illetve pozitív sugárirányu homlokszögekkel is. Ezáltal elérhető, hogy a marólapka ún. első érintkezési pontja a munkadarab belépő forgácsívén a megmunkálandó anyaghoz kedvezően igazodjon.

### 13.5 Kösörülés

A szabálytalan élgeometriájú szerszámmal, az abrazív szemcsékkel végzett forgácsolás mechanizmusát elsősorban az határozza meg, hogy a forgácsoló szemcsék kötött-, vagy szabad állapotúak. A kösörülés merev kötőanyagba ágyazott szemcsékkel történő abrazív forgácsolás.

Kösörüléssel vékonyabb forgácsot választunk le a munkadarabról, mint az eddig tárgyalt megmunkálási eljárásokkal. Ezért kösörüléssel nagyobb pontosságú munkadarabokat tudunk előállítani.

A kösörülés olyan forgácsolási mód, melynél a főmozgás forgómozgás, végzi a szerszám; a mellékmozgás forgó- vagy egyenesvonalu, általában a tárgy végzi. A szerszám szabálytalanul sokéltű.

A kösörülés olyan sokéltű ütéselő szerszámmal végzett megmunkálás, amelynél a forgácsolást a szerszámfelületen statisztikus rendezettségben elhelyezkedő, szerves vagy szervetlen kötőanyagba ágyazott különféle méretű és minőségű, szabálytalan alakú, nagy keménységű és nagy hőszilárdságú természetes vagy mesterséges szemcsék végzik.

Kezdetben a köszörülést edzett anyagok megmunkálására használták. Ma a köszörülést mint forgácsoló megmunkálást választhatjuk:

- edzett anyagok megmunkálására,
- felületi érdesség csökkentésére és
- méretpontosság fokozására.

A köszörülést alkalmazzuk mind simító, mind nagyoló megmunkálásoknál. A köszörülés fő fajtái a forgácsoló mozgások kinematikai rendje szempontjából:

- palástköszörülés,
- sikköszörülés,
- furatköszörülés.

### 13.51 A forgácsleválasztás körülményei köszörülésnél

A köszörülést a karcolással végzett forgácsolás nagy sebességénél és a köszörülőkorong szemcséi által leválasztott forgácsok igen kis vastagságánál fogva tömegesen végzett igen nagy sebességgel történő finomforgácsolásnak tekinthetjük.

A köszörülőkorong palástjának alkotója mentén nincs összefüggő forgácsolóél, mint a szabályos élgeometriájú szerszámoknál. A köszörűszemcsék közötti közepes távolság ( $l_{sz}$ ) a korong tömörségétől és a szemcsenagyságtól függ. Általában  $l_{sz} = 0,2 \dots 0,5$  mm nagyságrendben mérhető.

Ennek megfelelően az érintkezési íven ( $L_e$ ) elhelyezkedő köszörűszemcsék száma:

$$i_{sz} = \frac{L_e}{l_{sz}}$$

Az érintkezési zónában a megmunkálandó felülettel adott időpillanatban csak néhány szemcsesor van kapcsolatban. Az érintkezési ivhossz ( $L_e$ ) nagysága a ( $D_K$ ) korongátmérő, a ( $d$ ) munkadarabátmérő és a fogásmélység ( $a$ ) értékének ismeretében számítható ki:

$$L_e = \sqrt{\frac{D_K \cdot d \cdot a}{D_K + d}}$$

Ha például egy munkadarab  $d = 50$  mm-es hengeres felületét  $D_K = 300$  mm átmérőjű köszörülőkoronggal  $v_{md} = 18$  m/min tárgysebességgel és  $v_K = 30$  m/s köszörülési sebességgel  $a = 0,025$  mm-es



fogásmélységgel munkáljuk meg, az érintkezési ivhossz  $L_e = 1,1$  mm-nek adódik. Ilyen rövid érintkezési ivhosszon létrejövő köszörűkorong-munkadarab kapcsolat során a kapcsolási idő alatt a korong alkotóin értelmezhető szemcsesorok száma igen nagy:

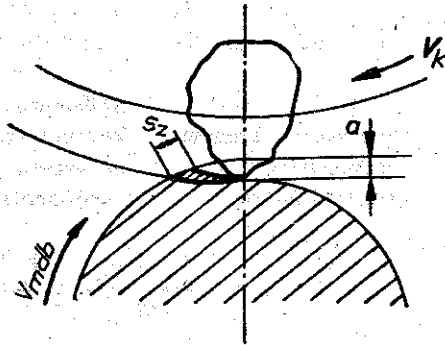
$$i_{szs} = \frac{60 \cdot v_k \cdot L_e}{v_{md} \cdot i_{sz}} \approx 440$$

A forgácsoló szemcsék száma 1 mm széles korongsávon, a fenti adatok esetében

$$i_{sz} = \frac{i_{szs}}{i_{sz}} \approx 1750$$

Ilyen sok szemcse a viszonylag kis munkadarabfelület ( $1,1 \text{ mm}^2$ ) forgácsolásakor lényegesen csökkenti az eredeti érdességet. Gondolatilag a 440 szemcsesor egy síkban történő elrendezésével olyan forgácsoló konturt kapunk, amelyet burkoló egyenetlenségek átmásolódnak a köszörült felületre.

A forgácsleválasztás folyamata legjobban a palástmaráshoz hasonlít (13.41. ábra). A szemcse szabálytalan alakú, így kialakult élszögekről nem beszélhetünk. A homlokszög általában negatív értékű. Jellemző a köszörtülésre, hogy a fogásmélység kicsi és a fogankénti előtolás is kisértékű.



13.41. ábra

A köszörűszemcse forgácsleválasztása

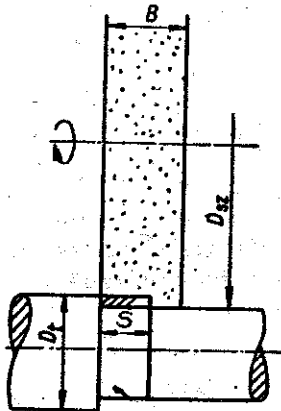
A szerszám sebessége nagy, a homlokszög is negatív értékű, amelynek következtében nagy a forgácsolási hő. A leváló forgács szikra alakjában hagyja el a munkadarabot.

A szerszám önélező. Az élétlenedett szemcsék a kötőanyagból vagy kifordulnak, és új szemcsék veszik át a forgácsolást, vagy pedig a nagy erő következtében elrepednek, és ezáltal ismét éles sarkokat kapunk.

A hagyományos (elektrokorund, szilíciumkarbid) abrazív szemcsék alkalmazásakor a viszonylag nagy lekerekedési sugár és a negatív élgeometriai szögek miatt, mielőtt a szemcse megkezdí a fém forgácsolását, a forgácsolt felület viszonylag hosszú szakaszán surlódva elcsu-

szik. Szerkezeti szénacélok esetén a csuszási és a karcolási szakaszok viszonya 1 : 1,2 ... 1,5 nagyságu, nehezen forgácsolható ausztenites acéloknál pedig 1 : 3 ... 4 értéket is felvehet. A szuperkemény anyagokkal: mesterséges gyémánt és bórnitrid szemcsékkel végzett forgácsoláskor a forgácsolási nyomok mindig éles szélű; képlékeny alakváltozás nyomaitól mentes karcolatok.

A szerszámon számos szabálytalan alaku és méretű szemcse dolgozik. A forgácsolási adatokat meghatározni a maráshoz hasonlóan csak közelítőleg tudjuk. A forgácsolási erő meghatározásánál tehát a marás-



13.42. ábra  
A forgácsolási adatok  
értelmezése  
köszörüléskor

nál lefektetett adatokból indulunk ki. Köszörülésnél az előtolás értékét mindig a kő szélessége szerint szokták megadni, a tárgy fordulatra vagy kettős löketére. Az előtolás elég nagy értékű ( $s = 2/3 \cdot B$ ); (13.42. ábra). Palástmarásnál a forgácsolóerő és a forgácsolás teljesítményszükségletének meghatározásakor a közepes forgácsvastagságból kell kiindulni. Köszörülésnél a forgácsközepvastagság meghatározása bonyolult feladat, ezért a forgácsolóerőt a teljesítményből határozzuk meg. A forgácsolás teljesítménye könnyen mérhető a meghajtómotornál, amelynek ismeretéből a forgácsolóerő kiszámítható.

A munkadarab forgatásának kerületi erőszükséglete és a korong meghajtásakor ébredő kerületi forgácsolóerő feltételezhetően azonos és ennek alapján a köszörülés kerületi forgácsolóereje kiszámítható:

$$P = \frac{F_v \cdot v_k}{1000} = \frac{k \cdot s \cdot a \cdot v_{md}}{60 \cdot 1000} \quad [\text{kW}]$$

$$F_v = k \cdot s \cdot a \cdot \frac{v_{md}}{v_k \cdot 60} \quad [\text{N}]$$

A fajlagos forgácsolóerő értéke köszörüléskor a legnagyobb (10.000 ... 100.000 N/mm<sup>2</sup> nagyságrendben van). Gyors számításokhoz acélananyagok esetén a következő adatok is felhasználhatók:

nagyoláskor  $k \approx 22.500 \text{ [N/mm}^2\text{]}$   
simításkor  $k \approx 90.000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

A főforgácsolórőn kívül - különösen kis átmérőjű tengelyek csukások közötti köszörülésénél - az  $F_p$  fogásvételirányú forgácsolórőt is meg kell határozni:

$$F_p = (2,5 \dots 10) \cdot F_v \quad [N]$$

A fogásvétel irányu erő igen nagy értékű, mert a szerszámnak megfelelő élszögei nincsenek.

A köszörűkorong kopása átmérőváltozásban, sarok lekerekedésben, hullámosodásban és a szemcsefelület növekedésében jelentkezik. A köszörűkorong éltartamát gyakran az átmérőváltozással összefüggő köszörülési viszony (G) alapján itélik meg.

A köszörülési arány azt fejezi ki, hogy az éltartamidő alatt egy térfogategységnyi köszörűkoronggal hány térfogat-egységnyi anyagot lehet leköszörűlni:

$$G = \frac{V_{MD}}{V_K}$$

ahol:  $V_{MD}$  - a leválasztott fémtérfogat,

$V_K$  - az elkopott korongtérfogat.

Az éltartam kritériumaként a köszörült felületen megjelenő rezgési és égési nyomok választhatók.

### 13.52 A köszörűkorongok jellemző tulajdonságai

A korongok alakját és méreteit meghatározó adatokon kívül a korongminőség jellemző adatai meghatározzák annak felhasználási területét is. Ezek a jellemzők a következőkben foglalhatók össze:

- a szemcse anyaga,
- a szemcse finomsága,
- a kötés keménysége,
- a szemcseeloszlás, szemcsestruktúra,
- a kötőanyag fajtái.

### 13.521 Köszörű szemcseanyagok

A szemcse anyagán azt értjük, hogy maguk a szemcsék milyen anyagból készülnek. Régebben köszörülési célokra természetes köszörűszemcséket, korundot használtak (aluminiumoxid). A természetben előforduló aluminiumoxid tisztasági foka nem kielégítő, és ezért sem a ki-

vánt mennyiséget, sem pedig a szilárdságot elérni nem tudjuk. Ezért ma már csaknem kizárólag mesterségesen előállított alumíniumoxid-szemcsékből készítenek köszörűkorongokat. Az alumíniumoxid szemcsék kemények, elég szívósak, így szívós anyagok megmunkálására alkalmasak. Minőségeit az MSZ 4051. írja elő.

Rideg anyagok megmunkálására az ugyancsak mesterségesen előállított szilíciumkarbidot használjuk. A szilíciumkarbid keményebb, mint az alumíniumoxid-szemcse, de ridegebb is.

Mint már említettük, a szerszám önélező. Alumíniumoxid-szemcséknél az önélezés úgy történik, hogy kopott szemcsén nagyobb lesz a forgácsolóerő, melynek hatására a szemcse kifordul a kötésből. Így újabb szemcsék kerülnek előtérbe, amelyeknek éles sarkaik vannak.

Az önélezés szilíciumkarbid-kőnél azáltal jön létre, hogy a növekvő forgácsolóerő hatására a szemcse eltörik, mivel rideg, és így a szemcsének ismét éles sarkai vannak, melyek forgácsolásra képesek.

Ujabbban előállítanak köszörűkorongokat borkarbid-szemcsékből is. Mivel hőszilárdsága viszonylag alacsony, elsősorban felületkikészítő megmunkálások céljaira alkalmazható.

A kőbős bórnitrid (CBN) - a külföldi szakirodalomban Borazon, illetve Elbor néven ismeretes - szintetikus szemcseanyag. A kőbős bórnitrid rácsszerkezete lapközepes kocka és a gyémántéhoz hasonló. A kőbős bórnitrid előnyös tulajdonsága, hogy nincs affinitása a Fe-hoz, ezért eredményesen alkalmazható acélok (napjainkban elsősorban szerzőszámacélok, golyóscsapágyacél stb.) és acélötvözetek köszörülésére.

Köszörüléshez elsősorban műgyémánt szemcséket használnak. A műgyémánt igen tiszta grafitból - Ni, Mn, Fe, Ta, Co fémkatalizátorok alkalmazásával - nagy hőmérsékleten (1900 ... 4600 OK) és nyomáson (10.000 ... 12.000 MN/m<sup>2</sup>) jön létre. A gyémánt levegőn 1073 ... 1093 °K hőfokon grafitná válik, 1113 ... 1133 OK hőfokon pedig elég. Ha a gyémánt felhevülése során aktiv fémekkel (pl.: Fe) kerül kapcsolatba, akkor intenzíven oldódik a vasban. A gyémántnak ezt a sajátosságát figyelembe kell venni alkalmazásakor.

A Szovjetunióban különféle megmunkálási feladatokhoz ACO, ACP, ACB, ACK és ACC jelölésű köszörűszemcséket állítanak elő.

### 13.522 A köszörűszemcse finomsága

A köszörűszemcse finomsága a szemcse nagyságára jellemző szám. A szemcsék méreteit  $\mu\text{m}$ -ben adják meg. A gyakorlatban hatféle finomsági osztályt különböztetünk meg:

- nagyon durva	3150 ... 2000	$\mu\text{m}$
- durva	1600 ... 800	$\mu\text{m}$
- közepes	630 ... 320	$\mu\text{m}$
- finom	250 ... 100	$\mu\text{m}$

- nagyon finom            80 ... 50  $\mu\text{m}$
- porfinom                F 40 ... F 5

A köszörtüszemcse nagysága különösen a köszörtülés termelékenységre és a felület minőségére van hatással.

### 13.523 A kötés keménysége

A szemcsékből felépített köszörtükorongot a kötés tartja össze, hogy forgás közben szét ne repüljön. A kötőanyag keménysége befolyásolja a korong újraéleződését. A keménykötésű korong a szemcséket erősen fogva tartja, és eléletlendéskor azok nem tudnak kiválni. Az ilyen korong nehezen választ le forgácsot, és a tárgy erősen melegszik. Azt mondják, hogy a kő éget. A lágy kötőanyag a szemcséket kitompulás előtt elengedi, és nagymérvű korongelhasználódást eredményez.

A korong kötésének keménységét Norton-skála szerint jelölik. Jelölésre az ABC betűt használják. Lágy kötésű korongot az ABC kezdőbetűvel, a kemény kötésűeket az utolsó betűvel jelölik.

- lágy kötésűek: E, F, G, H, J, K,
- közepes keménységűek: L, M, N, O,
- kemény kötésűek: P, Q, R, S, T, U, W, Z

jelölésű korongok.

A korongok keménységjelölései meglehetősen pontatlanok, mivel mérésük nehéz. Előfordul, hogy ugyanolyan jelzésű, de más gyár által gyártott korong megmunkálás közben egészen más jelleget mutat. A betűjelölés csak relatív jelölés, amely egy gyártmánynál összehasonlításra szolgál.

### 13.524 A korong tömörsége

A korong tömörségére, illetve lyukacsosságára jellemző szemcsesűrűséget egy bizonyos térfogatban található szemcsék számával jellemezhetjük. A szemcsesűrűségnek nagy szerepe van a forgácsleválasztásnál. A sűrű szemcsézetű korongnál ugyanazt a forgácsmennyiséget több szemcse választja le, mint a ritkaszemcséjűnél. Mivel sűrűszemcséjű korongnál a forgácsot jobban eldarábeljük, így nagyobb a fajlagos forgácsolási erő értéke, és ezáltal a teljesítményfelvétel is. A sűrű szemcséjű korong keményebbnek hat, mivel a szemcsék ritkábban tompulnak el.

A köszörtükorongok tömörségét arab számsorral mérjük. Nagyon tömör korongok jels: 0, 1, 2 ...; a nagyon ritka korongoké: 10, 11, 12.

### 13.525 A kötőanyag fajtái

A szemcséket különböző anyaggal kötik össze, hogy ezáltal forgácsolásra alkalmas korongot kapjanak.

Igy megkülönböztetünk:

- a) keramikus kötőanyagot,
- b) szilikát kötőanyagot,
- c) rugalmas kötőanyagot.

a) A keramikus kötőanyag kövek a legelterjedtebbek. A kötőanyag magas hőfokon megolvastott kaolin. A keramikus kötésű köveknek számos jó tulajdonságuk van. A hűtőfolyadék minőségére érzéketlen. A szokásos hűtőanyagokra: víz, olaj, szódásemulzióra érzéketlen. Nem befolyásolja forgácsolási tulajdonságait a hőmérséklet sem.

Hátránya a keramikus kötésű köveknek, hogy merevek, törékenyek és emiatt vékony korongokat előállítani nem lehet.

b) Szilikátkötés. Ennél kötőanyagként kaolin és szódaszilikát-oldatot használunk. A korongokat döngöléssel állítják elő, izzítás nélkül. Ennek következtében olcsóbbak és nem olyan tartósak.

A szilikátkötésű kövek is érzéketlenek a hűtőközegre, valamint a hőmérsékletre. Döngölés következtében a szemcsék közötti hézag kisebb, és így a hűtőközeg nem jut a korong belsejébe. Emiatt rosszabbul hűthető. Megengedhető forgácsolási sebessége is kisebb. A szilikátkötésű korong ridegebb, mint a keramikuskötésű, és még kevésbé alkalmas vékony korongok előállítására.

c) Rugalmas kötés. Ez a főtési mód lehetővé teszi vékony korongok előállítását, mivel szívós kötőanyag. Rugalmaskötésű korongokhoz kötőanyagként használunk: sellakot, gumit, bakelitot és különböző műanyagokat.

Ezek a kötőanyagok a szemcsék közötti hézagot teljesen kitöltik, így hűtésük nehezebb. Hűtőanyagként petróleumot, olajat nem használhatunk, mert megtámadják a kötőanyagot. Víz, szódásoldat hűtőanyagként használható.

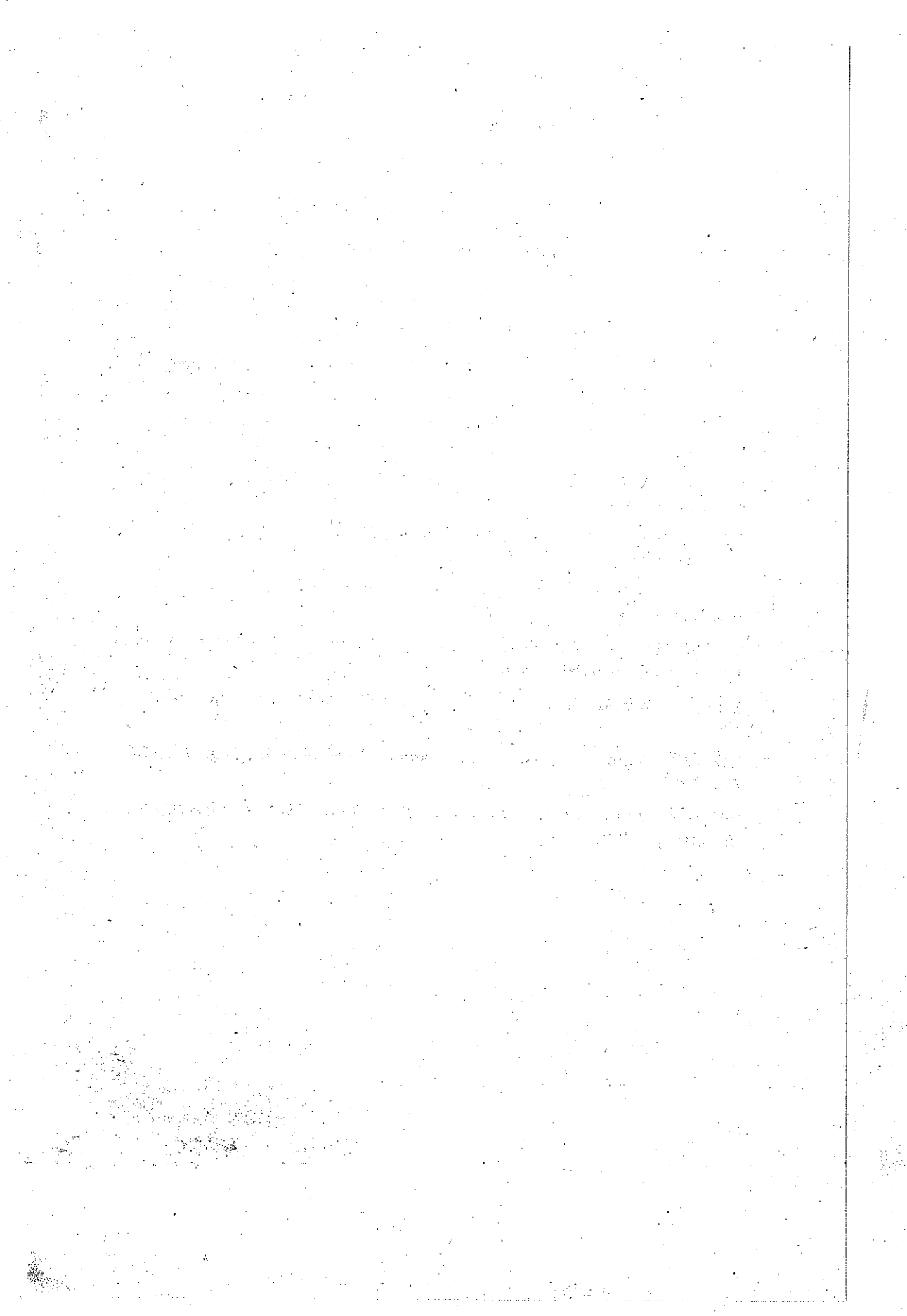
A rugalmaskötésű kövek nagysebességű forgácsolást engednek meg. Hátrányuk azonban, hogy különböző keménységű korongok gyártása nem valószínűsíthető meg.

Szuperkemény köszőrűszemcséket szokás fémes kötőanyagba ágyazni galvanikus vagy porkohászati úton. Nagyoláshoz, nagy alaktartósságú köszőrűszerszámokhoz használják e fémes hordozórétegeket.

A köszőrűkorongok nagysebességgel dolgozó szerszámok és ezért gondos kezelést igényelnek. Gondatlan kezelésű vagy repedt korong a centrifugális erő következtében szétrepül és súlyos balesetet és károkat okozhat. Minden korongon feltüntetik az üzemi fordulatszámot, amelyet túllépni nem szabad.

Irodalomjegyzék a 13. fejezethez

1. Dr. BAKONDI - Dr. KARDOS: A gégyártás technológiája I. Forgácsolás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1963.
2. BARTSCH, W.: Szerszámok, gépek, munkamódszerek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
3. DEGNER-LUTZE-SMEJKAL: Spanende Formung. Verlag VEB: Technik, Berlin, 1968.
4. DÉNES Miklós: Forgácsolás szerszámjai és készütlékei I. (tankönyv) Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1973.
5. Dr. GRIBOVSZKI L.: Gépipari megmunkálások. Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
6. KÖVES - MÓSER - ALMÁSY: Köszörülés és finommegmunkálás. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1973.
7. LÁZÁROVITS - SZENTKUTI: Furás, stüllyesztés, dörzsölés. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.
8. MAKÁDI András: Fémek marása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964.
9. POGÁNY Tibor: Forgácsolószerszámok. Felsőoktatási Jegyzetellátó, Bp. 1953.
10. SZENCZI Gyula: Fémek gyalulása és marása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1960.





## 14. Az optimális forgácsolási adatok meghatározása

### 14.1 A gazdaságos forgácsolási adatok meghatározásának módszerei

A megmunkálási feladatok végrehajtásának mikéntjét a technológiai utasítások szabják meg. Ezek a megmunkáló rendszer fejlettségétől függően csak az alakítás fő technológiai körülményeit rögzítik (fogásmélység, fogásszám, előtolás, fordulatszám), vagy a méret-, alak- és tulajdonságadás szempontjából másodlagos kiegészítő feltételeket is tartalmaznak (műveleti utasítás, program-lyukszalag stb.).

A hagyományos kézi vezérlésű szerszámgépeken történő megmunkáláskor legáltalánosabb esetben a szakmunkás a munkadarab rajza és a technológiai utasítás információit a művelet elvégzésekor - a gép működtetésével - a maga szellemi és fizikai tevékenységével realizálja. A technológiai utasítás a gyártásirányítás műszaki színvonalától, a gyártás szervezettségétől stb. függően különböző információtartalmu.

A megmunkálási feladat megoldásakor ennek megfelelő mértékben kerül sor a szakmunkás ismereteinek és tapasztalatának alkotó, önálló felhasználására. Azonban a termelőberendezések hatékony és tervszerű kihasználása, a számítógépes gyártás- és termelésirányítás bevezetése, a hagyományos kézi vezérlésű gépek üzemeltetésénél az egyértelmű és műszakilag korrekt információtartalmu technológiai utasítások részarányának fokozatos növekedését teszi szükségessé.

Az ipari méretekben folyó termelés során kitűzött gazdasági céljainkat (pl.: gépi fő- és mellékidő rövidítése, a megmunkálási költség csökkentése) az adott technológiai feltételek mellett (konkrét munkadarab, gyártóeszköz, megmunkálási eljárás), a műveletelemek szintjén a forgácsolási adatok gazdaságos meghatározásával, a műveletek szintjén azok célszerű, optimális összehangolásával érhetjük el.

A korszerű forgácsolási adatszámító módszerek alkalmazása a számítástechnikai eszközök és berendezések (a programozható zsebkalkulátortól a nagy számítógépekig) széles körű elterjedése által vált lehetségessé, mind a hagyományos, mind az NC-technológia esetében.

Mivel nagyoló megmunkáláskor a felesleges anyagréteg (ráhagyás) gyors eltávolítása a cél, a legfontosabb követelmény az időegység alatt minél nagyobb forgácsmennyiség leválasztása. Ez a fajlagos forgácsstérfogat segítségével fejezhető ki:

$$q = A \cdot v$$

Nagy fajlagos forgácstérfogatot nagy előtolással, nagy fogásmélységgel és nagy forgácsolási sebességgel lehet elérni. Azonban a forgácsolási sebesség növelése a szerszáméltartam, és ezen keresztül a szerszámkezeléssel kapcsolatos költségek jelentős megváltozásával jár. Ezért a fajlagos forgácstérfogat és az éltartam összefüggéseinek egybevetése alapján az is eldönthető, hogy mely forgácsolási adat forszírozott növelése célszerűbb:

$$q = h \cdot b \cdot \frac{C'_{Vo}}{h^v \cdot b^v} = C'_{Vo} \cdot h^{(1-x_v)} \cdot b^{(1-y_v)}$$

A kapott összefüggés szerint kedvezőbb eredményt akkor kapunk, ha azt a tényezőt növeljük, amelynek kitevője nagyobb. Mivel tapasztalati tény, hogy  $y_v < x_v < 1$ ; ezek szerint a forgácsszélesség kitevője  $(1 - y_v)$  nagyobb lesz, mint a forgácsvastagság kitevője  $(1 - x_v)$ . Tehát a fajlagos forgácstérfogat és az éltartam szempontjából a forgácsszélesség növelése a kedvezőbb.

A gyakorlati számítások során ezért a gazdaságos forgácsolási adatok meghatározását a forgácsszélesség felvételével célszerű kezdeni. A forgácsszélesség növelésének határt szab a szerszám fogásban lévő maximális élvonalhossza, és a ráhagyás nagysága. Minden esetre a ráhagyást célszerű egy fogással leválasztani.

A fajlagos forgácstérfogat növeléséhez növelni kell a közepes forgácsvastagságot is. A forgácskeresztmetszet növelésének határt szab a forgácsolóró nagysága. Mielőtt tehát a közepes forgácsvastagság értékét megválasztanánk, meg kell határozni a rendszerre megengedhető forgácsolórót: a munkadarab megengedett legnagyobb deformációja, a szerszámra megengedhető legnagyobb életerhelés, valamint a szerszám gép merevsége és a beépített forgácsolási teljesítmény alapján.

A megengedhető forgácsolórót a rendszer leggyengébb tagja szabja meg, amelynek ismeretében a megengedhető közepes forgácsvastagság a:

$$h_{MEG} = \left( \frac{F_{MEG}}{C'_F \cdot b \cdot K_F} \right)^{\frac{1}{x_F}}$$

összefüggéssel határozható meg.

A forgácsszélesség és a forgácsvastagság ismeretében a gazdaságos forgácsolási sebesség kiszámítható:

$$v_{To} = \frac{C'_{Vo} \cdot K_V}{\frac{x}{h^v} \cdot \frac{y}{b^v}}$$

Ezt követően pedig a forgácsolás teljesítmény-szükségletének számítása következik:

$$P_v = \frac{F_v \cdot v_{To}}{60000}$$

Természetes, hogy az így kiszámított és gazdaságosnak vélt forgácsolási adat-hármas ( $b, h_{MEG}, v_{To}$ ) csak akkor állítható be, ha a szerszám gép főhajtóművének teljesítménye nagyobb, mint az ún. "munkaponthoz" tartozó szükséges forgácsolási teljesítmény.

Simitó jellegű megmunkálások esetén ez a számítás kissé módosul, mivel nem a nagymennyiségű anyag leválasztása az elsődleges technológiai cél, hanem a megmunkált felület előírt méretének és felületi minőségének a gazdaságos előállítása. Ezért a simítás gazdaságos forgácsolási adatainak meghatározása a következő gondolatmenettel foglалható össze:

- a forgácsolási mód megválasztása;
- a szerszám anyagának és alakjának megválasztása;
- a ráhagyásból és a szerszám élgeometriájából a forgácsszélesség meghatározása;
- az előírt felületi érdességből, a szerszám élgeometriájából adódóan a megengedhető legnagyobb forgácsvastagság kiszámítása;
- az így meghatározott értéknek a rendszer merevségéből adódó eltoláskorlással való összehasonlítása;
- a megengedhető legnagyobb közepes forgácsvastagság és a felvett forgácsszélesség, segítségével a gazdaságos éltartamhoz tartozó forgácsolási sebesség meghatározása;
- a fellépő forgácsolóerő és a forgácsolási teljesítmény ellenőrző jellegű kiszámítása.

Az itt bemutatott hét módszer értelemszerűen minden forgácsolási módra érvényesen felhasználható. A számításokat a művelettervezéskor kell elvégezni a gyártandó darabszámtól függő részletességgel.

A számítások sok esetben egyszerűsíthetők különféle segédeszközök (táblázatok, nomogramok, technológiai logaríciók, program-kártyák kézi számológépek stb.) felhasználásával. Hazánkban leginkább a "For-

gácsolási Országos Normaalkopok" sorozat-füzeteit használják a forgácsolási adatok kiszámításához, és a műszaki normák meghatározásához.

Az előzőekben bemutatott algoritmus szerinti számítás során a gazdaságos forgácsolási adatok meghatározása zárt formában végrehajtható mindaddig, amíg a kiszámított munkapont az adott forgácsolási rendszer korlátaiba ütköző igénybevételt nem kelt. Ha azonban a meghatározott és optimálisnak vélt forgácsolási adatok a választott forgácsoló-rendszerben nem állíthatók be közvetlenül, akkor már ez az eljárás nem ad utbaigazítást arra nézve, hogy hány lépésből álló és milyen értelmű interációval lehet a rendszer szempontjából még megengedhető üzemeletetési adatokat kiszámítani.

A műveletelemek szintjén a forgácsolási adatok optimumának nemzetközi viszonylatban is széleskörűen alkalmazott meghatározási módja: a forgácsolás determinisztikus matematikai modellje alapján történő számítás. A módszer alapjait GORÁNSZKI fektette le. Lényege az, hogy a forgácsolási rendszer korlátait és előfüggvényeit lineáris egyenletek és egyenlőtlenségek rendszerébe formájában kifejezve a lineáris programozás módszerének alkalmazásával, a előfüggvényben választott optimumkritériumnak megfelelően a legkedvezőbb forgácsolási adatok meghatározhatók.

A technológiai adatok meghatározásának a matematikai modell megoldásával járó módszere elsősorban didaktikai jelentőséggel bír. Ennek alapján ugyanis igen plasztikusan érzékelhető az a bonyolult és sokoldalú korlárendszer, amelynek kielégítésével kell megvalósítani az optimális technológiai adatok kiválasztását.

#### 14.2 A forgácsoló megmunkálás determinisztikus matematikai modelljének korlátai és korlátfüggvényei

Az optimális forgácsolási adatok meghatározása során számos olyan tényezőt kell figyelembe venni, amelyek korlátokat szabnak a forgácsolási adatok értékeinek. Ezek a korlátozó tényezők:

- korlátok, vagy
- korlátfüggvények

attól függően, hogy pusztán adatként, vagy a rendszer változótól függő értékű függvényként értelmezzük őket.

A forgácsolási folyamat zavartalan lefolyását biztosító feltételrendszer egyenlőtlenségek formájában fejezi ki az MKGS-rendszer egyes elemeinek a forgácsolási adatokra gyakorolt hatását. Ezen korlátozó tényezőknek a forgácsolási adatokra kifejtett hatásai a forgácsoláselmélet-

ben már megismert olyan egyenletekből fejezhetők ki, amelyek a megmunkálási jellemzőknek ( $F_v$ ;  $P_v$ ;  $T$ ;  $\Theta$ ;  $R_a$ ; stb.) és a technológiai paramétereknek ( $v$ ,  $a$ ,  $s$ ) az eloszlásfüggvényei. A korlátfüggvények általános alakban a:

$$C_{aj} \leq C_j \cdot v_j^z \cdot s_j^x \cdot a_j^y = C_{fj};$$

tipusu egyenlőtlenségekként írhatók le, ahol

- $C_{aj}$ ;  $C_{fj}$  - a konkrét korlátok,
- $a$ ,  $s$ ,  $v$  - a forgácsolás technológiai paraméterei
- $j=1 \dots N$  - a korlátfüggvények száma
- $z_j$ ;  $x_j$ ;  $y_j$  - az empirikus eloszlásfüggvényekben szereplő kitevők,
- $C_j$  - az adott empirikus eloszlásfüggvényben szereplő forgácsolási feltételeket reprezentáló állandó.

A korlátfüggvények kiterjednek a munkadarab, gép-, készülék-, szerszám-rendszer valamennyi elemére, például a munkadarab szempontjából:

- a munkadarab merevsége;
- a felületelem előírt felületi érdessége;

a szerszám szempontjából:

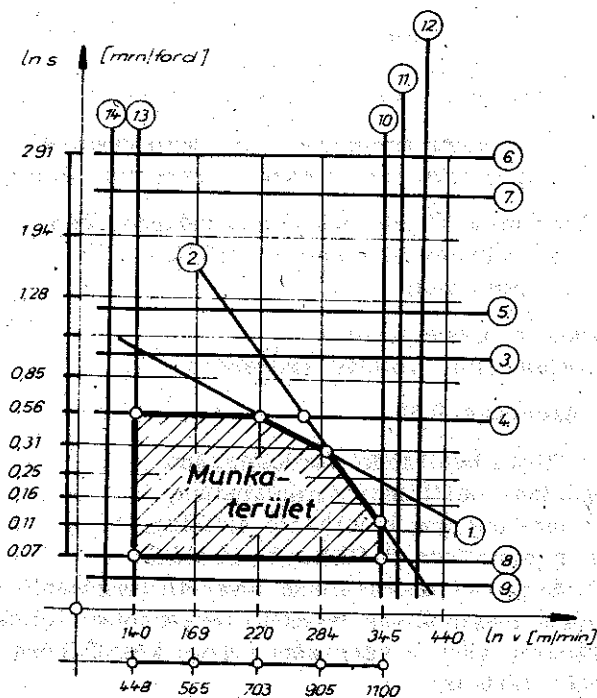
- a maximálisan beállítható fordulatszám;
- a minimálisan beállítható fordulatszám;
- a gépen maximálisan beállítható előtolás;
- a gépen minimálisan beállítható előtolás;
- a szerszámgépről maximálisan levehető forgácsoló-nyomaték;
- a főorsóról maximálisan levehető forgácsolási teljesítmény;
- a munkadarab vagy a szerszám befogó készülékére megengedett legnagyobb terhelés;

a forgácsolószerszám szempontjából:

- a szerszámszár szilárdsága;
- a szerszám anyagára megengedhető szokásos maximális előtolás;
- a szerszám anyagára vonatkozó szokásos minimális előtolás;
- az adott munkadarab-szerszámanyag párra megengedhető szokásos maximális forgácsolósebesség;
- az adott munkadarab-szerszámanyag párra szokásosan ajánlott legkisebb forgácsolósebesség;
- a maximálisan megengedhető fogásban lévő élvonalhossz;
- a szerszám éltartama ... stb.

Természetesen még egyéb korlátozó tényezők is megfogalmazhatók lennének más szempontok figyelembevételével. Az optimális forgácsolási adatok számításánál a korlátozások olyan minimumát célszerű figyelembe venni, amelyeket nem lehet, vagy nem célszerű kiküszöbölni.

Mivel a korlátfüggvények a kísérleti úton megállapított eloszlásfüggvények forgácsolási adatoktól függő hatványkifejezésekkel megadott közelítései, ezért logaritmikus transzformációval lineáris egyenleteket nyerhetünk. A legfontosabb korlátfüggvények egy lehetséges eloszlását mutatja logaritmikus koordináta-rendszerben ábrázolva a 14.1. ábra.



14.1. ábra

A forgácsoló-rendszer korlátainak egy lehetséges eloszlása

A forgácsolási folyamat feltételrendszerének megállapításához itt a következő korlátozó tényezőket vettük figyelembe.

1. Korlát - a teljesítmény-korlátfüggvény:

A  $(P_V)$  forgácsolási teljesítményszükséglet nem haladhatja meg a  $(P_{FH})$  főhajtómű teljesítményét:

$$P_V \leq P_{FH} \quad [\text{kW}]$$

- a főorsóról levezhető hasznos teljesítmény

$$P_{FH} = P_{MOT} \cdot K_p \quad [kW]$$

ahol  $K_p$  - a teljesítménykihasználási tényező.

- a forgácsoláshoz szükséges teljesítmény:

$$P_v = \frac{C_F \cdot s^x \cdot a \cdot K_F \cdot v}{60.000} \quad [kW]$$

- a két alapegyenlet megfelelő átrendezésével írható, hogy

$$v \cdot s^x \leq \frac{P_{MOT} \cdot K_p \cdot 60.000}{a \cdot C_F \cdot K_F} = A_1$$

$$\ln v + x \cdot \ln s \leq \ln A_1 = B_1$$

- 2. Korlát - a szerszám forgácsolóképesége:

A választott ( $v$ ) forgácsolósebesség nem haladhatja meg a kívánt szerszámélettartamot ( $T_{OPT}$ ):

$$v \leq v_0 \quad [m/min]$$

- a kibővített Taylor-egyenlet átrendezésével:

$$v \cdot s^x \leq \frac{C_{VI} \cdot K}{T_{Opt}^m \cdot a^y} = A_2$$

$$\ln v + x \cdot \ln s \leq \ln A_2 = B_2$$

- 3. Korlát - a kritikus nyomaték által megszabott előtoláskorlát:

A szerszám gép főajtóművét és néhány szerkezeti elemét a kritikus nyomatékra, illetve az ebből számított erőre méretezik, ezért a forgácsolás közben ezt a nyomatékot túllépni nem szabad

$$M_v \leq M_{KRIT} \quad [Nm]$$

- a forgácsolási nyomaték

$$M_v = \frac{F_v \cdot d}{2.000} \quad [Nm]$$

- a kritikus nyomaték

$$M_{KRIT} = 60.000 \cdot \frac{P_{MOT}}{n_{KRIT}} \quad [Nm]$$

- a megengedhető előtolást az erő-, illetve nyomaték-egyenletből kifejezve

$$s_F \leq \frac{2000 \cdot M_{KRIT}}{C_F \cdot a \cdot K_F \cdot d} = A_3$$

$$x_F \cdot \ln s \leq \ln A_3 = B_3$$

4. Korlát - a szerszám merevsége:

A főforgácsolóerő által előidézett szerszámdeformáció mértéke nem haladhatja meg a megengedett szerszám-lehajlást.

$$Z_{sz} \leq Z_m \quad [mm]$$

- ahol a szerszám lehajlása

$$Z_{sz} = \frac{F_v \cdot l^3}{3 J E_{sz}} = \frac{C_F \cdot s_F^x \cdot a \cdot K_F \cdot l^3 \cdot 4}{E_{sz} \cdot b_{sz} \cdot h_{sz}} \quad [mm]$$

$$Z_m = C_4 - \text{megadott érték} \quad [mm]$$

- a megengedhető előtolást kifejezve



$$s \cdot x_F \leq \frac{C_4 \cdot E_{sz} \cdot b_{sz} \cdot h_{sz}}{C_F \cdot a \cdot K_F \cdot l^3 \cdot 4} = A_4$$

$$x_F \cdot \ln s \leq \ln A_4 = B_4$$

5. Korlát - a megmunkált felület érdessége:

A forgácsolt felület érdessége ( $R_{\max}$ ) nem haladhatja meg az előírt ( $R_a$ ) érdességet

$$R_{\max} \leq R_a \quad [\mu m]$$

- az élgeometria és a szerszámelőtölés alapján

$$R_{\max} \leq C_5 \cdot \frac{s^2}{8r_\xi} \quad [\mu m]$$

- a rajzon megadott érték  $R_a = C_{51}$

- a felületi érdesség szempontjából megengedhető előtölés ennek megfelelően:

$$s^2 \leq \frac{8 \cdot r_\xi \cdot C_{51}}{C_5} = A_5$$

$$2 \ln s \leq \ln A_5 = B_5$$

6. Korlát - a szerszám gép kinematikai lánc által megengedett legnagyobb beállítható előtölés:

$$s \leq s_{\text{GMAX}} = A_6$$

$$\ln s \leq \ln A_6 = B_6$$

7. Korlát - a szerszám anyagára a gyakorlati tapasztalatok alapján ajánlott szokásos előtölés tartomány felső határa a konkrét szerszám-munkadarab anyagpár esetén

$$s \leq s_{\text{szMDB max}} = A_7$$

$$\ln s \leq \ln A_7 = B_7$$

Az a legnagyobb előtolás, amely a forgácsolásra felhasználható, az előbbieken vizsgált előtolás korlátok (3; 4; 5; 6; 7.) minimális értéke lesz:

$$s_{\text{MEG MAX}} = \text{MIN} \left( \frac{1}{A_3^{x_F}} ; \frac{1}{A_4^{x_F}} ; \frac{1}{A_5^2} ; A_6 ; A_7 \right)$$

Ezt a korlátot más intervallumokban az 1. és a 2. korlát helyettesíti.

8. Korlát - a szerszám gép kinematikája által megengedett legkisebb beállítható előtolás:

$$s \geq s_{\text{G MIN}} = A_8$$

$$\ln s \geq \ln A_8 = B_8$$

9. Korlát - a szerszám anyagára a szerszámgyártó és a felhasználó kísérleti tapasztalatai alapján ajánlott szokásos előtolástartomány alsó határa, az adott szerszám-munkadarab anyagpár esetén:

$$s \geq s_{\text{SzMDB MIN}} = A_9$$

$$\ln s \geq \ln A_9 = B_9$$

A munkaterület behatárolása szempontjából a 8. és 9. korlátok közül a nagyobbik lesz a korlát, amelynél kisebb előtolás nem választható:

$$s_{\text{MEG MIN}} = \text{MAX} (A_8 ; A_9).$$

10. Korlát - a szerszám gépen beállítható legnagyobb fordulatszám alapján meghatározott felső sebességkorlát:

$$n \leq n_{\text{G MAX}}$$

ennek megfelelően

$$v_{G \text{ MAX}} = \frac{d \cdot \pi \cdot n_{G \text{ MAX}}}{1000} = A_{10}$$

$$v \leq v_{G \text{ MAX}} = A_{10}$$

$$\ln v \leq \ln A_{10} = B_{10}$$

11. Korlát - a szerszám gyártója és a felhasználó kísérleti és üzemi tapasztalatai alapján az adott szerszám-munkadarab anyagpárra javasolt szokásos legnagyobb forgácsolási sebesség értéke:

$$v \leq v_{SZMDB \text{ MAX}} = A_{11}$$

$$\ln v \leq \ln A_{11} = B_{11}$$

12. Korlát - a munkadarab befogókészülékére megengedett forgácsoló sebesség felső határa a megmunkált átmérőre vonatkozóan:

$$v \leq \frac{d \cdot n_{KÉSZ \text{ MEG}} \cdot \pi}{1000} = A_{12}$$

$$\ln v \leq \ln A_{12} = B_{12}$$

Ezen utóbbi három sebesség közül a legkisebbet kell választanunk a forgácsoló rendszer felső sebességkorlátjának:

$$v_{MEG \text{ MAX}} = \min(A_{10}; A_{11}; A_{12})$$

13. Korlát - alsó sebességkorlát a gépen beállítható legkisebb fordulatszám alapján számítható forgácsolási sebességből:

$$v \geq \frac{d \cdot n_{G \text{ MIN}} \cdot \pi}{1000} = A_{13}$$

$$\ln v \geq \ln A_{13} = B_{13}$$

14. Korlát - a szerszámanyag gyártója és a felhasználó közös tapasztalatai alapján az adott szerszám-munkadarab anyagpárra javasolt legkisebb forgácsolási sebesség:

$$v \geq v_{\text{SZMDB}_{\text{MIN}}} = A_{14}$$

$$\ln v \geq \ln A_{14} = B_{14}$$

A forgácsoló rendszer munkaterülete szempontjából az alsó sebességkorlát e két sebességérték nagyobbika lesz:

$$v_{\text{MEG}_{\text{MIN}}} = \text{MAX}(A_{13}; A_{14})$$

Az  $\ln s - \ln v$  koordináta-rendszerben a korlátozások feltüntetésével ábrázolt sokszög (14.1. ábra) területének minden belső pontja olyan forgácsolási adatokat szolgáltat, amelyekkel az adott körülmények között a forgácsolás biztonsággal elvégezhető. A korlátok által körülhatárolt sokszöget munkaterületnek nevezzük.

Látható, hogy a tetszőlegesen kiválasztott munkapontok igen eltérő megmunkálási idő és megmunkálási költség adatokat eredményezhetnek.

Ha a munkapontot egy olyan feltétel szerint választjuk ki, amelynek teljesülése egy meghatározott szempontból kedvező, akkor ezt a kiválasztási feltételt optimum-kritériumnak nevezzük.

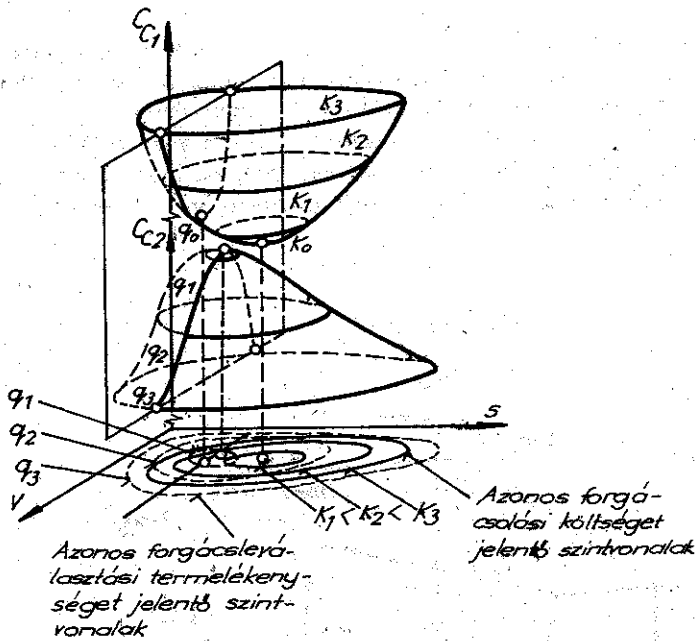
### 14.3 A forgácsolási rendszer célfüggvényei

Az optimum-kritériumot a célfüggvény reprezentálja. Célfüggvénynek választható minden műszaki- és gazdasági szempontból a kedvező érték összehasonlítására alkalmas mutató, pl.:

- a műveletelem önköltségének minimumát,
- a legnagyobb termelékenység nagyságát,
- a gépi főidő minimumát,
- a műveletelemre eső nyereség legnagyobb értékének nagyságát

a forgácsolási adatok függvényében leíró kifejezés.

Az adott feladat természetéből adódóan válasszuk pl.: célul a maximális anyag-leválasztást, azaz a forgácsleválasztás maximális termelékenységének elérését (14.2. ábra).



14.2. ábra

A forgácsolási költségek, illetve a forgácsolás termelékenységének kapcsolata a forgácsolási adatokkal

Ennek értelmében a feladat olyan előtolás-sebesség ( $s - v$ ), illetve előtolás-fordulatszám ( $s - n$ ) értékpár kiválasztása, amikor a forgácsleválasztás ( $t_{gf}$ ) gépi főideje minimális:

$$t_{gf} = \frac{L \cdot d \cdot \pi \cdot p}{s \cdot v \cdot 1000} = \frac{L \cdot p}{s \cdot n} \rightarrow \min \quad [\text{min/db}]$$

ahol  $L$  - a megmunkálandó hossz [mm]  
 $p$  - a fogásvételek száma [db]  
 $s \cdot n = v_f$  - az előtolássebesség [mm/mtn]

tehát a célfüggvény:

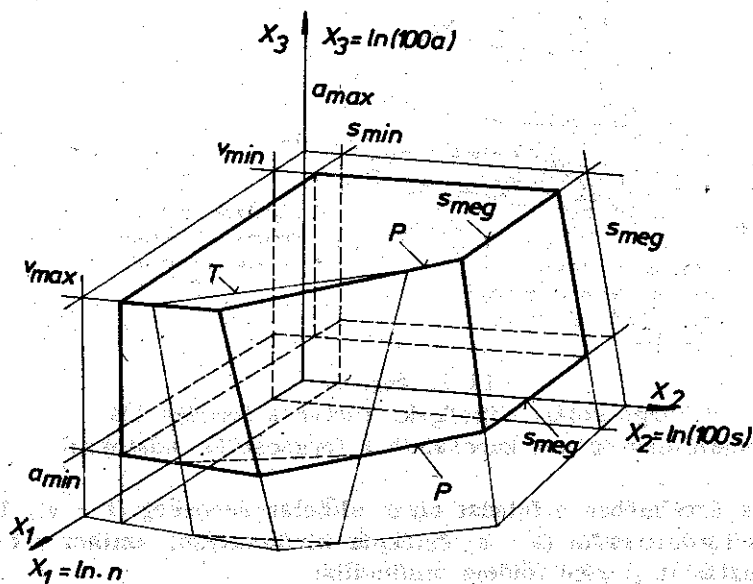
$$C_c = t_{gf} \rightarrow \min$$

Ennek megfelelően a célfüggvény lineáris transzformációja:

$$\ln C_c = (\ln L + \ln p) - (\ln n + \ln s)$$

Mivel az optimumkeresés esetünkben a fordulatszám-előtolás ( $n - s$ ), illetve sebesség-előtolás ( $v - s$ ) síkon végezhető el, feltételez-

zük, hogy a fogásmélység ( $a$ ) előzetes kiválasztása - pl.: a fogásszám ( $p$ ) valamilyen szempont alapján történt kijelölésével, és a ráhagyás egyenletes rétegekre történő felosztásával - megtörtént. Amennyiben a forgácsszélességet is be akarjuk vonni az optimumkeresésbe, a különböző fogásmélységek melletti metszeten meghatározott optimumpontok közül másodlagos optimalizálással kell kikeresnünk a legkedvezőbbet (14.3. ábra).



14.3. ábra

#### A forgácsoló-rendszer korlátainak lineáris rendszere

Bár a forgácsoló megmunkálással kapcsolatos jelenségek és kölcsönhatások változása igen bonyolult, és az esetek többségében nem lineáris függvényekkel írható le, mégis igen nagy eredménynek tekinthető, hogy számos elhanyagolás és egyszerűsítés útján lineáris egyenletek és egyenlőtlenségek rendszere formájában GORANSZKIJ és munkatársai kidolgozták a forgácsolás optimális technológiai adatai meghatározásának algoritmusait.

A forgácsolás technológiai adatainak lineáris programozással történő meghatározásakor abból indulnak ki, hogy a forgácsolás hatékonyságát meghatározó valamelyik mennyiség (önköltség, termelékenység stb.) néhány változó lineáris függvénye. Ugyanakkor e változók eleget tesznek a korlátok lineáris egyenlőségei, illetve egyenlőtlenségei formájában meglévő rendszerének is.

Már többször megvizsgáltuk, hogy nagyoló megmunkálásra a minimális költséget biztosító forgácsolási paraméterek előállítása is lehet a cél. Az egy munkadarabra eső forgácsolási költség:

$$K = K_G + K_{Sz} + K_M$$

- Ahol  $K_G$  - a gépi főidővel arányos közvetlen forgácsolási költség,  
 $K_{Sz}$  - a szerszámmal kapcsolatos költség,  
 $K_M$  - az üresjáratú és kapcsolási teendők ellátására eső mellékidők költsége.

Számítsuk ki a gépi főidőt a

$$t_{gf} = \frac{L \cdot H}{n \cdot s \cdot a} \quad [\text{min/db}]$$

összefüggéssel, amelyben:

- $L$  - a munkadarab közepes forgácsolási hossza [mm]  
 $H$  - a ráhagyás nagysága [mm]

( $n, s, a$ ) - a forgácsolás-technológiai adatok.

Az egy percre eső munkahelyi költséget pedig a

$$C_1 = \left(1 + \frac{R}{100}\right) \cdot B + \frac{\frac{A}{a} \left(1 + \frac{K_g}{100}\right)}{60 \cdot \ddot{U}_{\text{év}}}$$

összefüggéssel írjuk le közelítően, ahol

- $B$  - a gépmunkás percbére [Ft/min]  
 $R$  - a rezsikulcs százaléka [%]  
 $a$  - a gép amortizációs ideje [év]  
 $A$  - a gép értéke  
 $K_g$  - a gép járulékos költségei [%]  
 $\ddot{U}_{\text{év}}$  - a gép évi üzemóráinak száma

Ezekkel a gépi főidővel arányos költségrész adódik:

$$K_G = \frac{L \cdot H}{n \cdot s \cdot a} \cdot C_1 = \frac{C_2}{n \cdot s \cdot a}$$

$$C_2 = L \cdot H \cdot C_1$$

A szerszámmal kapcsolatos költségek:

$$K_{Sz} = \frac{K_{SzT} + C_1 \cdot t_{cs}}{T} \cdot t_{gf}$$

ahol  $K_{SzT}$  - a szerszám egy élének éltartamciklusra eső értéke  
[Ft/éltartam]

$t_{cs}$  - a szerszámcseretidő.

A szerszáméltartamot a kibővített Taylor-egyenletből kifejezve:

$$T = \left( \frac{C_{v1} \cdot K_v \cdot 1000}{d \cdot \pi} \right)^{\frac{1}{m}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{n} \cdot \frac{y}{a} \cdot \frac{x}{s}} = \frac{C_3}{\frac{1}{n} \cdot \frac{y}{a} \cdot \frac{x}{s}}$$

$$K_{Sz} = \frac{C_1 \cdot t_{cs} + K_{SzT}}{C_3} \cdot \frac{L \cdot H}{\left(1 - \frac{1}{n}\right) \cdot \left(1 - \frac{y}{a}\right) \cdot \left(1 - \frac{x}{s}\right)}$$

vagyis:

$$K_{Sz} = C_4 \cdot n^{\frac{1-m}{m}} \cdot a^{\frac{y-m}{m}} \cdot s^{\frac{x-m}{m}}$$

Az üresjárat és kapcsolási költségekre adódik, hogy:

$$K_M = C_1 \cdot \frac{H}{a} \cdot \left( \frac{k_1 \cdot L}{U_{REV}} + t_p + t_k \right)$$

ahol  $k_1$  - arányossági tényező a talpítási és hosszítási szakasz-  
nak a forgácsolási utóhosszal történő kifejezésére,

$t_p$  - a pozicionálási idő

$t_k$  - a kapcsolási idő

$U_{REV}$  - a gyorsjárat, ill. a visszafutás előtolósebessége.



A konstansokat összevonva:

$$K_M = \frac{C_5}{a}$$

Ennek megfelelően az egy munkadarabra eső forgácsolási költség függvénye:

$$K = \frac{C_2}{n \cdot a \cdot s} + C_4 \cdot n^{\frac{1-m}{m}} \cdot a^{\frac{y-m}{m}} \cdot s^{\frac{x-m}{m}} + \frac{C_5}{a}$$

A költségminimumot adó célfüggvény pedig:

$$C_c = K \rightarrow \min$$

A maximális termelékenységet biztosító célfüggvény a darabidő minimumára tervezett forgácsolási adatokkal érhető el:

$$t_{db} = t_{gf} + t_{csl} + t_{tk}$$

ahol  $t_{gf}$  - a gépi főidő

$t_{csl}$  - a szerszámcsere egy munkadarabra eső ideje,

$t_{tk}$  - az üresjárat és kapcsolási idő.

Ennek alapján írható, hogy

$$t_{gf} = \frac{L \cdot H}{s \cdot a \cdot n} = \frac{C_6}{s \cdot a \cdot n}$$

és

$$t_{csl} = t_{cs} \cdot \frac{t_{gf}}{T} = t_{cs} \cdot \frac{C_6}{s \cdot a \cdot n} \cdot \frac{\frac{1}{n} \cdot \frac{y}{a} \cdot \frac{x}{s}}{C_3};$$

azaz

$$t_{csl} = C_7 \cdot n^{\frac{1-m}{m}} \cdot s^{\frac{x-m}{m}} \cdot a^{\frac{y-m}{m}};$$

továbbá

$$t_{tk} = \frac{K_M}{C_1} = \frac{C_5}{C_1 \cdot a} = \frac{C_8}{a};$$

A darabidő ennek megfelelően:

$$t_{db} = \frac{C_6}{s \cdot a \cdot n} + C_7 \cdot n^{\frac{1-m}{m}} \cdot s^{\frac{x-m}{m}} \cdot a^{\frac{y-m}{m}} + \frac{C_8}{a}$$

Az időoptimumot adó célfüggvény pedig:

$$C_c = t_{db} \rightarrow \min$$

A műszaki gyakorlatban általában előre megválasztott  $T_{OPT}$  éltartamhoz szokás a forgácsolási adatokat hozzárendelni, ahol a  $T_{OPT}$  értékét a WHITHOFF-képletek valamelyikével számoljuk ki:

$$T_{OPT} = \left( \frac{1}{m} - 1 \right) \cdot \left( t_{cs} + N \cdot \frac{K_{Szt}}{C_1} \right)$$

ha  $N = 0$ ;  $T_{OPT} = T_{PROD}$

$N = 1$ ;  $T_{OPT} = T_{GAZD}$

Mivel a forgácsolási paraméterek optimumának meghatározásakor  $T_{OPT} = \text{const.}$  értéktől választása módosítja a költség- és időfüggvényeket, ebben az esetben módosulnak a célfüggvények is.

A szerszámköltségek alakja konkrétan pl. így változik:

$$K_{Szt} = \frac{C_1 \cdot t_{cs} + K_{Szt}}{T_{OPT}} \cdot \frac{L \cdot H}{n \cdot s \cdot a} = \frac{C_9}{n \cdot s \cdot a}$$

A teljes műveleti költség pedig így módosul:

$$K = \frac{C_2}{n \cdot s \cdot a} + \frac{C_9}{n \cdot s \cdot a} + \frac{C_5}{a} = \frac{C_{10}}{n \cdot s \cdot a} + \frac{C_5}{a}$$

A célfüggvény továbbra is:

$$C_c = K \rightarrow \min$$

Az adott éltartamhoz tartozó legnagyobb termelékenységet leíró összefüggés pedig constans éltartam esetén így változik:  
ha

$$t_{cs1} = t_{cs} \cdot \frac{t_{gf}}{T_{OPT}} = t_{cs} \cdot \frac{C_6}{s.a.n. \cdot T_{OPT}} = \frac{C_{11}}{s.a.n.}$$

akkor

$$\begin{aligned} t_{db} &= t_{gf} + t_{cs1} + t_{tk} = \\ &= \frac{C_6}{s.a.n} + \frac{C_{11}}{s.a.n} + \frac{C_8}{a} = \frac{C_{12}}{s.a.n} + \frac{C_8}{a}; \end{aligned}$$

A célfüggvény továbbra is a következő alakú:

$$C_c = t_{db} \rightarrow \min$$

Ha mindehhez hozzászámítjuk, hogy a fogásmélység nagyságát a legtöbb esetben már eleve meg szoktuk választani előre, a célfüggvényekben módosul minden olyan tag, amely eddig az (a) értékét változó-  
nak tételezte fel, így a költségfüggvényben a:

$$K = \frac{C_{13}}{n.s} + C_{14} \cdot n^{\left(\frac{1-m}{m}\right)} \cdot s^{\left(\frac{x-m}{m}\right)} + C_{15}$$

alakúra, a darabidő függvényében pedig:

$$t_{db} = \frac{C_{16}}{n.s} + C_{17} \cdot n^{\left(\frac{1-m}{m}\right)} \cdot s^{\left(\frac{x-m}{m}\right)} + C_{18}$$

alakúra változik, ahol

$$C_{13} = \frac{L \cdot H \cdot C_1}{a}$$

$$C_{14} = C_4 \cdot a^{\left(\frac{y-m}{m}\right)}$$

$$C_{15} = \frac{C_5}{a}$$

$$C_{16} = \frac{L \cdot H}{a}$$

$$C_{17} = C_7 \cdot a^{\left(\frac{y-m}{m}\right)}$$

$$C_{18} = \frac{C_8}{a}$$

Az optimális forgácsolási paraméterek pedig a célfüggvények szélsőértékeiben keresendők. Természetesen a parciális deriváltak képzésénél figyelembe kell vennünk, hogy mely változó értékét rögzítettük, és melyik szerint végezzük el a differenciálást a függvényvizsgálat szabályainak megfelelően.

#### 14.4 Az optimális munkapont meghatározása

A matematikai modell alapján analitikus uton, feltételes szélsőértékszámítással határozhatjuk meg az optimális forgácsolási adatokat. Mivel az optimumkereséshez a forgácsoló-rendszer korlátait az előtolás-fordulatszám, vagy az előtolás-sebesség síkon ábráztuk, célszerű bevezetni a következő jelöléseket:

$$\ln n = x_1, \quad \text{vagy} \quad \ln v = x_1$$

$$\ln s = x_2$$

$$\ln C_c = C$$

$$\ln L + \ln p = B_c$$

Behelyettesítve ezeket a feltételi egyenletekbe, illetve a célfüggvénybe, a következő feladathoz jutunk: a változók ( $x_1$ ;  $x_2$ ) olyan értékeit kell meghatározni, amelyek kielégítik a korlátozó függvények rendszerét és ugyanakkor a célfüggvény maximum- vagy minimum-helyei.

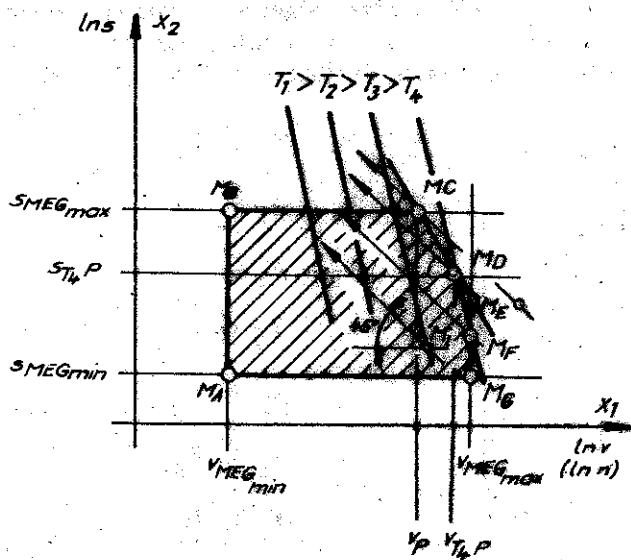
Az optimalizálandó lineáris algebrai egyenletrendszerben a felté-  
teli egyenlet rendszer (D) és a (C) célfüggvény együttesen jelentik az  
optimális technológiai adatok meghatározásának (E) matematikai modell-  
jét:

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l}
 x_1 + x_F \cdot x_2 \leq B_1 \\
 x_1 + x_v \cdot x_2 \leq B_2 \\
 x_F \cdot x_2 \leq B_3 \\
 x_F \cdot x_2 \leq B_4 \\
 2 \cdot x_2 \leq B_5 \\
 x_2 \leq B_6 \\
 x_2 \leq B_7 \\
 x_2 \geq B_8 \\
 x_2 \geq B_9 \\
 x_1 \leq B_{10} \\
 x_1 \leq B_{11} \\
 x_1 \leq B_{12} \\
 x_1 \geq B_{13} \\
 x_1 \geq B_{14}
 \end{array} \right\} D \\
 \\
 C = B_c - x_1 - x_2
 \end{array}$$

Az optimális technológiai adatok meghatározása ilyen modell alap-  
ján a korszerű számítógépekkel viszonylag egyszerű számítástechnikai  
feladat. A célfüggvény azonban csak  $t_{gf} \rightarrow \min$  esetében lineáris.

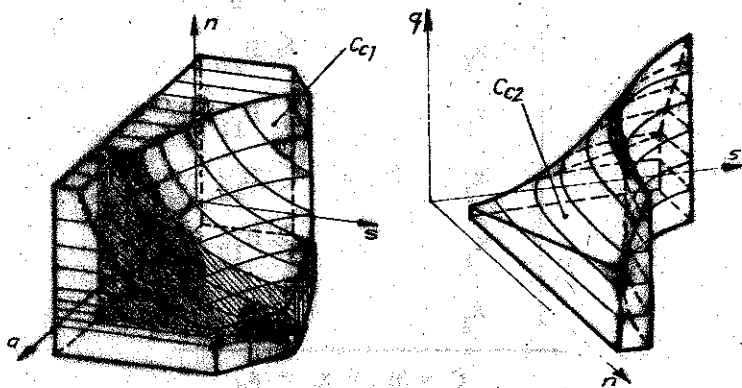
Az optimumkeresés lényegét megítélendő, a grafikus megoldásra  
is utalhatunk. Az  $x_1 = \ln n$  (vagy  $x_1 = \ln v$ ) és az  $x_2 = \ln s$  síkon  
a konkrét számértékek alapján ábrázolhatók az egyes egyenletek, illetve  
egyenlőtlenségek vonalai és az egyenlőtlenségeknek megfelelően értel-  
mezett területek (14.4. ábra).

A célfüggvénynek (amennyiben tényleg linearizálható) nincsen loká-  
lis szélsőértéke a munkaterületen belül, ezért az optimális munkapont



14.4. ábra

Az optimumesélyes munkapontok kijelölése



14.5. ábra

A célfüggvények és a korlátozókat egy kétdimenziós konfigurációja, amely azt mutatja, hogy a célfüggvények által lefedett szélsőérték a munkaterületen belül

csak a korlátfüggvények által határolt munkaterület határvonalán lehet (14.5. ábra).

A munkaterületet határoló korlátfüggvények közül az optimumpont csak azokon a szakaszokon lehet, amelyeket a munkaterület belső pontjából felfelé haladó  $45^\circ$ -os meredekségű függvények metszhetnek.

A félegyens mentén a célfüggvény egyik tagja, mivel az (n . s) essz-  
zat állandó szintén állandó, miközben egyre növekvő éltartamhoz tartozó  
éltartam-paramétergörbéket metszünk. Az optimális munkapont a  
célfüggvénynek a megoldás sokszög csúcspontjaiba való illesztésével je-  
lölhető ki (pl.:  $M_C$ ;  $M_D$ ;  $M_F$  pontok).

Összefoglalóan tehát megállapíthatjuk, hogy akkor forgácsolunk  
gondosan, ha

- a forgácsolás matematikai modelljének összetevőit, de mindenek-  
előtt a feltételrendszer korlátfüggvényeit a konkrét megmunká-  
lási esetre reálisan, a tényleges üzemi körülményekre adaptál-  
va határozzuk meg;
- a korlátfüggvények által határolt munkaterület összetartozó ér-  
tékei közül a vállalati stratégiának megfelelő optimális munka-  
pontot választjuk ki, és ezzel dolgozunk.

A forgácsolás technológiai adatai számológéppel történő meghatá-  
rozásának elsősorban a GORANSZKLJ, másrészt a nyugatnémet EXAPT-  
társulás által kidolgozott módszerei teremtették meg az alapjait. Az  
optimumkeresés módszereiben KÖNIG - DE PEREUX, KIRCHNER és  
JACOBS jártak elől publikációs tevékenységükkel.

Hazai vonatkozásban a Gépipari Technológiai Intézetben a FORTAP  
programozási nyelvre és a Miskolci Műszaki Egyetem kidolgozott  
TAUPROG technológiai tervező rendszerrel valósították meg a forgácsol-  
ási adatok optimumának meghatározását korszerű számítástechnikai  
eszközökkel.

A forgácsolási rendszer matematikai modellje alapján megvalósít-  
ható az adaptív vezérlés (AC) két módja is:

- az ACC - határértékszabályozás és
- az ACO - optimumszabályozás.

A határértékszabályozásban az előírt stratégia szerint a forgácsol-  
ási adatokat valamelyik határgörbén értéket tartva állítják be automa-  
tikusan.

Az optimumszabályozás esetén lehetőség nyílik arra is, hogy a tel-  
jesítmény- vagy előtoléshatár mentén a forgácsolási adatokat a legki-  
sőbb költséget adó munkapontban határozza meg a számítógépes adaptív  
rendszer.

## Irodalomjegyzék a 14. fejezethez

1. Dr. CSÁKI Frigyes: Korszerű szabályozáselmélet. (Nemlineáris, optimális adaptív rendszerek.) Akadémiai Kiadó, Bp. 1970.
2. GORANSZKI, G. K.: K teorii avtomatizacii inzsenerenogo truda. Izd. Akademii Nank Belorusszkoj Sz.Sz.R. Minszk, 1962.
3. Dr. GRIBOVSKI László: Gépipari megmunkálások. Tankönyvkiadó, Bp. 1977.
4. HIRSCH, B.: Bestimmung optimaler Schnittbedingungen bei der maschinellen Programmierung von NC - Drehmaschinen mit EXAPT 2. Industrie Anzeiger N<sup>o</sup>.90. (1968.) H. 24.
5. HANSEL, W. - RICHZER, H.: Prozessteuerung in der Fertigungstechnik, Industrie-Anzeiger Nr. 98 (21. nov. 1972.) s.: 2353... 2355.
6. Dr. HORVÁTH Máttyás - Dr. MÉSZÁROS Imre: Mikor forgácsolunk gazdaságosan? Előadás a IV. Szerszám- és Szerszámanyag Kollokviumon, (kézirat). Miskolc, 1978.
7. JACOBS, H. J.: Maschinelle Optimierung technologischer Arbeitgrößen. Maschinenbau, 19. (1970.) H. 11.
8. KIRCHNER, E.: Optimierungsmöglichkeiten bei zerspanenden Drehbearbeitungen unter besonderer Berücksichtigung numerisch gesteuerter Drehmaschinen, TZ. für prakt. Metallbearb. 1969. H.6. s.: 298 ... 306.
9. KLUGE, G.: Optimale Schnittgeschwindigkeit und zulässiger Vorschub beim Schrappen kurzer Rundteile. Fertigungstechnik und Betrieb. 18. (1969.) H.12.
10. KOCHAN, D. - JACOBS, H.J.: Automatische Festwert- und stetige Optimierung technologischer Arbeitgrößen in der metallbearbeitenden Industrie. Fertigungstechnik und Betrieb. 20. (1970.) H. 11. s.: 682 ... 688.



11. KÖNIG, W. - DEPIEREUX. R.: Wie lassen sich Vorschub und Schnittgeschwindigkeit optimieren? Ind. Anzeiger, 91. (1969.) Nr. 61.
12. LANGHEINRICH, G.: Voraussetzungen zur maschinellen Programmierung der Fertigung und der Einsatz elektronischer Tischrechner und Programmiergeräte zur Bestimmung technologischer Daten. Tz.für Prakt.Metallbearb. 63. (1969.) H.2.
13. OPITZ, H. - ESSEL, K. - HANSEL, W.: Adaptive Controll, Möglichkeiten zur optimalen Nutzung von Werkzeugmaschinen. GT. - Taschenbuch 5.
14. SPUR, G.: Adaptiv Controll an spanenden Werkzeugmaschinen. WT. - Zeitschrift für industrielle Fertigung. 1971. Nr. 3. s.: 158 ... 169.
15. WITHOFF, J.: Die Ermittlung der günstigsten Arbeitsbedingungen bei der spanabhebenden Fromgebung. Werkstatt und Betrieb. 85. (1952.) H.10.
16. Dr. HORVÁTH, M. - Dr. SOMLO J.: A forgácsoló megmunkálások optimalása és adaptiv irányítása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.

**A jegyzet tartalmáért a szerzők felelnek**  
**Megjelent a Nemzeti Tankönyvkiadó Rt. műszaki gondozásában**

**Felelős főszerkesztő: Palójtay Mária**

**Műszaki szerkesztő: Görög Istvánné**

**Terjedelem: 32,18 (A/5) ív,**

**7. kiadás, 2004**

**Raktári szám: J 19-504**

**Kentaur Nyomda, Debrecen**

**NT/08/04**