

csolóerővel (F_v). Ahogyan a főforgácsolóerő (F_v) az eredő forgácsolóerő forgácsolóirányba eső vetületeként fogható fel, az eredő forgácsolómozgás irányában szintén értelmezhető az (F_a) aktív forgácsolóerőnek egy un. (F_e) effektív-forgácsolóerőkomponense is. (Lásd 5.2. ábrát!)

A forgácsolás teljesítményeit a forgácsoló mozgás meghatározott sebességkomponenseinek és az eredő forgácsolóerő e sebességirányokban ható erőösszetevőinek szorzataként határozhatjuk meg.

A forgácsolóteljesítmény (P_v) a főforgácsolóerő (F_v) és a forgácsoló főmozgás sebességének (v) szorzata. Nagysága e két vektor által meghatározott területtel jellemezhető (5.2. ábra).

$$P_v = F_v \cdot v$$

Az előtoló teljesítmény (P_f) az előtolásirányu forgácsolóerő (F_f) és az előtoló mozgás sebességének (v_f) a szorzata:

$$P_f = F_f \cdot v_f$$

Az eredő forgácsolási teljesítmény (P_e) az effektív forgácsolóerő (F_e) és az eredő forgácsolósebesség (v_e) szorzata:

$$P_e = F_e \cdot v_e$$

Ami a forgácsolóteljesítmény és az előtolóteljesítmény összegéként is meghatározható:

$$P_e = P_v + P_f$$

5.1 A forgácsolóerő meghatározásának módszerei

A forgácsolóerő számszerű meghatározása elengedhetetlen a szerzőszám, a szerszámgép és a technológia méretezése során felmerülő feladatok megoldása szempontjából. Mivel a forgácsleválasztási folyamatban a főforgácsolóerő a legnagyobb erőkomponens, és a teljesítményfelvétel szempontjából is a forgácsolóteljesítmény az alapvetően fontos, ezért a gyakorlati számításokban elsősorban a főforgácsolóerő meghatározását helyezik előtérbe. Laboratóriumi vizsgálatok során természetesen törekednek mindhárom összetevő meghatározására és a mérési eredmények alapján számítóképletek kidolgozására.

A forgácsolóerő meghatározására a technológusi gyakorlatban általában három ut választható:

- a forgácsolóerő kísérleti meghatározása méréssel,
- a forgácsolóerő számítással való meghatározása,
- a forgácsolóerő és a forgácsolási teljesítmény meghatározása táblázatok és nomogramok segítségével.

A forgácsolóerő értékének kísérleti meghatározását üzemi körülmények esetén teljesítmény-méréssel közvetett uton, laboratóriumi feltételek között pedig közvetlen erőméréssel végezzük.

A forgácsolóerő kísérleti mérése speciális berendezéseket igényel, nagyon munkaigényes és költséges eljárás, továbbá a technológiai tervezés során felmerülő számítások elvégzéséhez a kísérleti uton történő erőmérés igen körülményes.

A forgácsolóerő számításai való meghatározása érdekében a múlt század utolsó éveitől kezdve a forgácsolás-kutatás jelentős erőfeszítéseket tett. Az első világháború időszakában különösen a német és az amerikai kutatók, a két világháború között pedig főleg a Szovjetunióban végeztek nagyszabású forgácsolás-kutatást. Ezek a vizsgálatok igen sok kísérleti tapasztalatot és eredményt szolgáltatottak, amelyeket különféle empirikus képletekben fogalmaztak meg.

Az erőszámító összefüggések sorában lényegét tekintve három alapvetően eltérő megközelítési módot különböztethetünk meg. Az egyik irány bizonyos fajlagos erőmutatók alapján próbálja a forgácsolóerő várható értékét előre meghatározni. Ide sorolható az ún. fajlagos forgácsolóerő (k) alapján történő erőszámítási eljárás, illetve az egységnyi élvonalhosszra jutó forgácsolóerőre épülő erőmeghatározási módszer.

A második irány az elvégzett kísérletek tapasztalati eredményeire támaszkodva a forgácsolóerő meghatározására olyan empirikus erőszámítási képleteket fogalmaz meg, amelyek a forgácsolóerőre hatást gyakoroló legfontosabb technológiai adatokat is figyelembe veszik. A kísérleti uton kapott táblázatok vagy görbék felhasználásával konstruált, a függvénykapcsolatot interpretáló képleteket empirikus formuláknak nevezik. Az adott függvényt közelítőleg előállító approximáló (közelítő) függvényt általában meghatározott alakú függvények közül választjuk ki. A tapasztalati uton kapott függvénykapcsolatot kifejező empirikus formula felállítása két részletben történik: először megválasztjuk a formula alakját, és csak ezután határozzuk meg a paramétereknek azokat a numerikus értékeit, amelyekre a közelítés optimális. A forgácsolási normatívák erőszámítási képletei elsősorban lineáris, illetve hatványfüggvény szerinti közelítést tartalmaznak.

A harmadik megközelítési mód fizikai tartalmu összefüggésekkel a forgácsolóerő analitikus módszerekkel történő meghatározását vette célba. A forgácsolóerő analitikai meghatározásához olyan összefüggések szükségesek, amelyek rögzítik a kapcsolatot a forgácsoló alakváltozásai,

a surlódási folyamatok, a forgácsolt anyag jellemzői, a szerszám geometriai adatai, a forgácskeresztmetszetet meghatározó forgácsolási adatok, illetve a technológiai körülmények között. Ennek a feladatnak a megoldásával igen sok kutató

- Time, Zvorikin, Briksz, Ernszt és Mechant, Lee és Shaffer, Krivouhov, Rozemberg, Zorev, Davidenkov, és hazánkban Rejtő, Kazinczy, Hornung stb. -

foglalkozott.

A kidolgozott módszerek a forgácsleválasztáshoz szükséges nyíró-feszültségek, a forgács-alakváltozási tényező, a forgácstó alakváltozása stb. felhasználásával kísérik meg a feladat megoldását.

A számítások végrehajtása egyszerűségük ellenére is időt igénylő munka. A forgácsolóerő és a forgácsolási teljesítmény gyorsabb meghatározása érdekében a gyakran előforduló adatokat táblázatokba foglalják, vagy a számítóképletek alapján vonalsereges nomogramokat szerkesztenek.

5.11 A forgácsolóerő meghatározása teljesítményméréssel

A forgácsolás teljesítményéből a forgácsolóerő közvetett módon határozható meg. Üzemi körülmények között is lehetőség van arra, hogy a szerszám gép hajtómotorjának teljesítményfelvételét megmérjük. A főforgácsolóerő (F_v) két villamos teljesítménymérés adataiból határozható meg számítással.

Az egyik teljesítménymérést forgácsolás közben kell elvégezni, ennek eredményeként rendelkezésre áll a forgácsleválasztáshoz és a megmunkáló rendszer működtetéséhez szükséges elektromotor által felvett villamos összteljesítmény (P_{Σ}).

A másik teljesítménymérést forgácsolás nélkül kell végrehajtani, és a mért teljesítmény akkor a megmunkáló rendszer ($P_{\text{ü}}$) üresi ártati teljesítményfelvétele.

A két mérési eredmény különbsége közelítően a forgácsolási teljesítményszükséglettel egyenlő:

$$P_v \approx P_{\Sigma} - P_{\text{ü}} \quad [\text{kW}]$$

Mivel az előtolásirányú forgácsolóerő rendszerint kisebb a főforgácsolóerőnél és az előtolás sebessége (v_f) is sokkal kisebb a forgácsolósebességnél (v), az előtolóteljesítmény gyakorlatilag elhanyagolható a forgácsleválasztás teljesítményszükségletének meghatározásakor.

Mivel a fogásvétel irányu mellékmozgás általában beállító jellegű és megmunkálás közben mélyítőirányu elmozdulás nincs ($v_p = 0$), tehát a fogásvétel nem fogyaszt a forgácsolási teljesítményből - ($P_p = 0$) -.

A forgácsolóteljesítmény (P_v) tehát közelítően a villamos összteljesítmény és az üresjáratu teljesítmény különbségeként mérésel meghatározható, amelynek alapján a főforgácsolóerő a

$$P_v = \frac{F_v \cdot v}{60\,000} \quad [\text{kW}]$$

alakú összefüggés segítségével kiszámítható:

$$F_v = \frac{60\,000 \cdot P_v}{v} \quad [\text{N}]$$

ahol F_v - a főforgácsolóerő (N)
 v - a forgácsolósebesség m/min
 P_v - a forgácsolóteljesítmény kW

Forgó főmozgást végző szerszámgépek esetén a forgácsoló nyomatékot (M_v) a főforgácsolóerő hozza létre:

$$M_v = \frac{F_v \cdot D}{2 \cdot 1000} \quad [\text{Nm}]$$

ahol M_v - a forgácsoló nyomaték [Nm]
 F_v - a főforgácsolóerő [N]
 D - a forgácsolt átmérő [mm]

A forgácsoló nyomatékot - a szerszámgép főhajtómű-motorjának (P_M) teljesítménye és a hajtás (η_M) hatásfoka szerint meghatározható - a főorsórendszer által továbbított (M_G) nyomaték ellensúlyozza:

$$M_G = \frac{60\,000}{2} \cdot \frac{P_M \cdot \eta_M}{n} \quad [\text{Nm}]$$

ahol M_G - a főhajtómű adott fokozatának mechanikai nyomatéka [Nm]
 P_M - a főhajtómű motorteljesítménye [kW]

η_M - a főhajtómű hatásfoka

n - a főhajtómű fordulatszáma [1/min]

5.12 A forgácsolóerő meghatározása közvetlen erőméréssel

Közvetlen mérés esetén a forgácsolóerő meghatározása a forgácsoló szerszámon, vagy a szerszám gép asztalához rögzített külön erőmérő készülékkel történik. Az erőmérő berendezések és a hozzájuk kapcsolt mérőműszerek lehetővé teszik a forgácsolóerő időbeli lefolyásának megfigyelését is.

A gyakorlatban használt erőmérő típusok közös jellemzője, hogy az erőt mechanikai hatása alapján mérik. Így a leggyakrabban felhasznált jelenség a szerszám, vagy készülék deformációja, illetve mechanikai nyulása.

A forgácsolóerő mérésekor célszerűen az eredő erő egy-, két- vagy három mozgásirányú összetevőjét mérik. Ezek szerint egy-, két és háromkomponenses erőmérőről beszélünk.

Az erőmérők alapvetően három szerkezeti egységből állanak:

- Jeladó (érzékelő),
- Jelátalakító (mérőátalakító),
- Jelvevő, regisztráló.

A jeladó rendszerint nagy szilárdságú anyagból kiképzett rugalmas test (szerszámtest, dinamométer), amely a forgácsolóerő hatására az erővel arányos mértékű deformációt szenved. Szükséges, hogy a jeladó kis histerézissel és megfelelő nagy merevséggel rendelkezzen. A jeladót - a linearitás biztosítása érdekében - csak az anyag rugalmassági határáig terhelhetjük (HOOKE-törvény $\sigma = \epsilon \cdot E$).

A jelátalakító a jeladó rugalmas alakváltozását a deformációval, ill. a nyulással arányos, mérésre alkalmas jellé alakítja. A forgácsolóerő mérésénél alkalmazott jelátalakítók lehetnek:

- mechanikus,
- hidraulikus és pneumatikus, illetve
- villamos

elven működő átalakítók.

A jelvevő a jelátalakító által szolgáltatott jelet jelzi, esetleg regisztrálja. Ha az erő átlagos értékét akarjuk meghatározni, akkor jelvevőként rendszerint mutató műszereket alkalmazunk. (Pl. indikátoróra, manométer, elektromechanikus műszerek.)

Ha az erő időbeli változását is követni akarjuk, akkor az erre a célra megfelelő típusu oszilloszkópot, oszilloszkópot vagy direktirót használunk.

Forgácsoláskor minden esetben regisztrálni célszerű!

Az egyes erőmérő típusokat a szakirodalom és a gyakorlat is az alkalmazott jelátalakítók alapján különbözteti meg. Számtalan erőmérő látott napvilágot, melyek legfontosabb szerkezeti és működésbeli tulajdonságait a szakkönyvek és a szakfolyóiratok cikkei kellő részletességgel ismertetik. Az utóbbi időben több cég a különféle forgácsoló megmunkálások erőszükségletének meghatározására erőmérő családokat fejlesztett ki, amelyekben többnyire villamos elven működő (nyulásmérő típusu, induktív, kapacitív, piezoelektromos, magnetoelasztikus stb.) átalakítók használatosak.

Az egyidejűleg végzett többkomponenses erőmérések alapján tudjuk, hogy például esztergálás esetén az egyes forgácsolóerőkomponensek a főforgácsolóerő hány százalékát teszik ki:

- az előtolásirányu erő $F_f = (0,25 \dots 0,33) \cdot F_v$
- a fogásvételirányu erő $F_p = (0,33 \dots 0,5) \cdot F_v$

A mellékerőket ezért ritkán szokták külön számítóképletekkel meghatározni, hanem megelősznek a közelítő eredménnyel is, amelyeket a mérések alapján nyert tapasztalati adatok támasztanak alá.

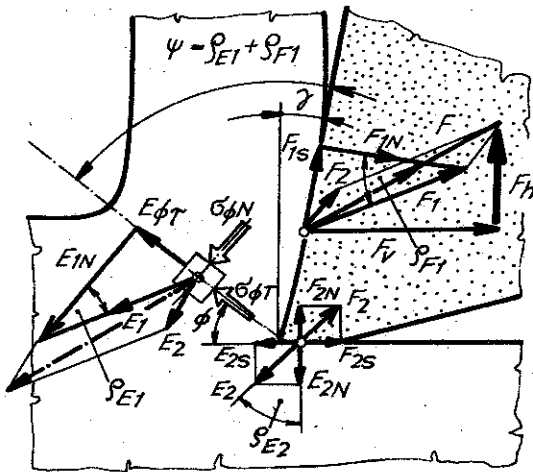
5.13 A forgácsolóerő meghatározása számítással fizikai tartalmu összefüggések segítségével

A forgácsolóerő vizsgálatát ugyanúgy, mint a forgácsképződési folyamat megfigyelését célszerű a szabadforgácsolás esetével kezdeni, mivel ekkor orthogonális forgácsolást feltételezve ($\lambda_s = 0$), síkbeli erőrendszer alakul ki (5.3. ábra). A forgácsolót a szerszám homloklapja és a nyírési sík felől ható egyenlő nagyságu, de ellentétes irányu ($F_1 = E_1$) erők tartják egyensúlyban. A szerszám hátlapja és a munkadarab érintkező felületei között szintén fellép erőhatás: ($F_2 = E_2$),

amely ugyan a forgács egyensulya szempontjából figyelmen kívül hagyható, de az eredő forgácsolóerő nagysága és hatásvonalának tényleges iránya szempontjából nem közömbös.

Az alakítóerő iránysíkba eső $E_{\phi\gamma}$ komponense a forgácsot a forgácsolótól lenyírni igyekszik, illetve e nyíróerőre merőleges irányu E_{1N} erőkomponense a forgácsot és a forgácsolót tömöríti, amelynek hatására a forgács megrövidül, és részben létrejön a felületi keményedés.

A forgácsoló- és az alakítóerők összetevőinek ábrázolt geometriai kapcsolatából az iránysík hajlásszöge az alábbi módon fejezhető ki (lásd: Zvorikin):



5.3. ábra

A forgácstő erőegyensulya orthogonális szabadforgácsolás esetén

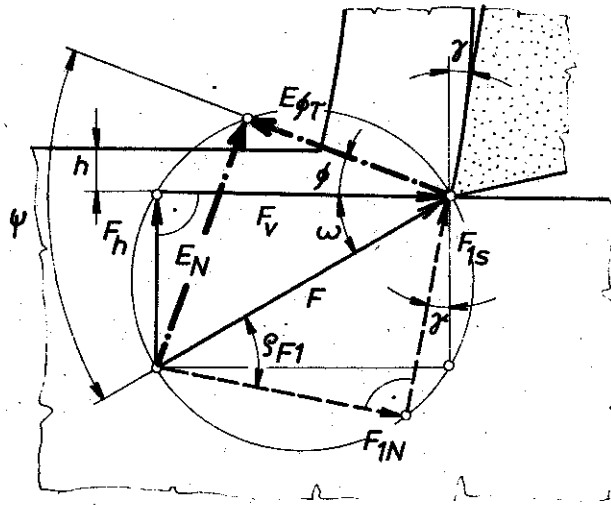
$$\phi = 90^\circ + \gamma - (\rho_{E1} + \rho_{F1})$$

ahol ρ_{E1} - az anyag belső surlódási szöge

ρ_{F1} - a forgács és a szerszám homloklapja közötti surlódás szöge

Ha a vizsgált erőkomponenseket a szerszám élére hatóknak tételezzük fel és a hátfelület menti surlódó erők hatását a forgácstő erőegyensulya szempontjából elhanyagolhatónak tekintjük, akkor az erőfelbontást az 5.4. ábra szerinti értelmezésben Thales-kör segítségével is elvégezhajjuk. A forgácsolóerő e jellegzetes irányokba történő felbontásakor az alábbi tényezőket kell figyelembe venni:

- $E_{\phi\tau}$ - a nyirási síkban fekvő nyiróerő;
- F_v - a forgácsolóerő forgácsolómozgás irányu komponense;
- F_h - a forgácsvastagság irányu erő, amely merőleges a forgácsolóerő irányára;
- F_{1s} - a szerszám homloklapján keletkező surlódó erő;
- ψ - a nyirási sík és az eredő forgácsolóerő által bezárt un. eredő-erőszög;
- ω - hatásszög, az eredő forgácsolóerő és a főforgácsolóerő által bezárt szög.



5.4. ábra
Az eredő erőszög és a hatásszög értelmezése

Az ábrázolt geometriai összefüggésekből következik, hogy:

- az eredőszög: $\psi = \phi + \omega$;
- a hatásszög: $\omega = \rho_{F1} - \gamma$

Az erőösszetevők elméleti meghatározásánál az $E_{\phi\tau}$ nyíróerőből lehet kiindulni, mivel képlékenységtani szempontból a forgácsolóelemek elcsuszása a legnagyobb csuszatófeszültségek síkjában következik be. Ha az összefüggésben a τ_{ϕ} csuszató (nyíró) feszültséget a nyírási sík területére vonatkoztatjuk, az alakítóerő (nyíróerő) irányába eső komponense az

$$E_{\phi\tau} = \frac{A}{\sin \phi} \cdot \tau_{\phi}$$

alakban kifejezhetővé válik, s a többi forgácsolóerő-komponens a nyírási erő segítségével már meghatározható lesz:

$$F_v = E_{\phi\tau} \cdot \frac{\cos \omega}{\cos (\phi + \omega)};$$

$$F_h = E_{\phi\tau} \cdot \frac{\sin \omega}{\cos (\phi + \omega)}$$

$$F_{1s} = E_{\phi\tau} \cdot \frac{\sin \rho_{F1}}{\cos (\phi + \omega)}$$

A trigonometriai kifejezéseket megfelelően átalakítva az erőszámító képletek egyszerűbb alakra hozhatók, pl.:

$$\begin{aligned}
 F_v &= A \cdot \tau_{\phi} \cdot \frac{\cos \omega}{\cos(\phi + \omega) \cdot \sin \phi} = \\
 &= A \cdot \tau_{\phi} \cdot \frac{\cos[(\phi + \omega) - \phi]}{\cos(\phi + \omega) \cdot \sin \phi} = \\
 &= A \cdot \tau_{\phi} \cdot \frac{\cos(\phi + \omega) \cdot \cos \phi + \sin(\phi + \omega) \sin \phi}{\cos(\phi + \omega) \cdot \sin \phi}
 \end{aligned}$$

Végül is:

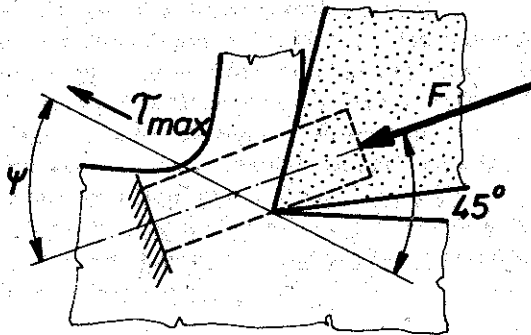
$$F_v = A \cdot \tau_{\phi} [\operatorname{ctg} \phi + \operatorname{tg}(\phi + \omega)]$$

Ezt, a mintegy nyolcvan évvel ezelőtt már levezetett összefüggést a forgácsolóerő számítására a gyakorlati élet azért nem tudta használni, mert sem a csuszató feszültségek értékeit, sem a hatásszöget nem ismerték. A hagyományos anyagvizsgálat módszereivel meghatározott anyagjellemzők ugyanis laboratóriumi hőmérsékleten, igen kis alakváltozási sebességgel végzett minősítések eredményei. A forgácstőben viszont felkeményedett anyag nagymértékű és nagysebességű alakváltozása megy végbe viszonylag magas hőmérsékleten. Csak a negyvenes években sikerült megállapítani a kapcsolatot a képlékeny alakítás alakítási ellenállása és az alakítási sebesség, illetve a keletkezett hőmérséklet között (MAC GREGOR és FISCHER).

ROZENBERG a forgács HV keménysége és a forgácstő csuszató-feszültségei között különféle anyagok esetén lineáris kapcsolatot mutatott ki:

$$\tau_{\phi} = 0,185 \cdot HV$$

A forgácsolóerő számítás szerinti meghatározására szolgáló kifejezésében szereplő (ω) hatásszög eddig ismeretlen értéke kiküszöbölhető az un. küszöbérték-hipotézis elfogadásával. A Mohr-féle határfeszültség tételén alapuló képlékenységi küszöbérték alkalmazhatóságának lehetősége a forgácsolásban abban rejlik, hogy fel-



5.5. ábra
Az eredő forgácsolóerő és a csuszatófeszültségek síkjának helyzete

tételezzük: az F eredő forgácsolóerő hatására a nyirófeszültségek az erővel 45° -os szöget bezáró síkban érik el a képlékeny alakváltozás megindulásának feltételét jelentő τ_{MAX} küszöbértéket (5.5. ábra).

Mint azt az általános mechanikai gyakorlat is mutatja, hogy prizmatikus rudak esetén a legnagyobb csuszatófeszültségek síkja 45° -os szöget zár be a főfeszültségek síkjával síkbeli feszültségi állapot esetén.

Dr. KAZINCZY László is e hipotézis alapján fogalmazta meg, hogy szabadforgácsoláskor az eredő-erőszög:

$$\psi = \phi + \omega = 45^\circ$$

Ennek megfelelően az egyes forgácsolóerő-komponensek analitikus számítóképletei a következő alakban adódnak:

$$F_v = A \cdot \tau_\phi \cdot (\text{ctg } \phi + 1);$$

$$F_h = A \cdot \tau_\phi (\text{ctg } \phi - 1).$$

Az itt bemutatott összefüggésbe az irányvonal hajlásszögének nagyságát az alakváltozási tényező mérésén alapuló eljárással meghatározva helyettesíthetjük be. Az irány síkban fellépő csuszatófeszültségek nagyságát pedig a szakítószilárdság $70 \dots 80\%$ -ának megfelelően felvéve, a számított és mért erőkomponensek egymásnak jól megfelelnek.

5.14 A forgácsolóerő meghatározása számítással, fajlagos erőmutató alapján

5.141 A fajlagos forgácsolóerő

A forgácsolóerő nagyságát elsősorban azért, mert az elméleti összefüggésekhez tartozó mennyiségek numerikus értékei bizonytalanok, ill. pontosan nem ismeretesek, a gyakorlatban mérésel határozzák meg. A kísérleti eredmények adatait feldolgozva a forgácsolóerő tapasztalati képletei nyerhetők, amelyek közül a legegyszerűbb és legelterjedtebb: a fajlagos forgácsolóerőn alapuló erőszámítási eljárás.

Fajlagos forgácsolóerőnek nevezik az egységnyi elméleti forgácskeresztmetszet leválasztásához szükséges főforgácsolóerő nagyságát, míg fajlagos forgácsolási energiának nevezzük a térfogategységnyi anyag forgácsolással történő leválasztásához szükséges munkát.

A fajlagos forgácsolóerő, az előbbi megfogalmazás értelmében:

$$k = \frac{F}{v} \cdot \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right];$$

Az időegység alatt leválasztott anyagmennyiség, a fajlagos forgácsolóerő:

$$q = v \cdot A ;$$

Az időegység alatt kifejtett forgácsolási munka: $W = F \cdot v$.

A fajlagos forgácsolási energia a definíció értelmében:

$$u = \frac{W}{q} = \frac{F \cdot v}{v \cdot A} = \frac{F}{A} = k$$

Látható, hogy a fajlagos forgácsolási energia azonos a fajlagos forgácsolóerővel nagyságát és dimenzióját tekintve egyaránt.

A fajlagos forgácsolóerőt egyes kutatók kísérletekkel határozzák meg, mások pedig számítással. TIME és MERCHANT a fajlagos forgácsolóerő értékét geometriai és képlékenységtani megfontolások alapján számítással javasolták meghatározni:

$$k = \zeta_{\phi} \cdot [\text{tg} (\phi + \rho_{F1} - \gamma) + \text{ctg} \phi]$$

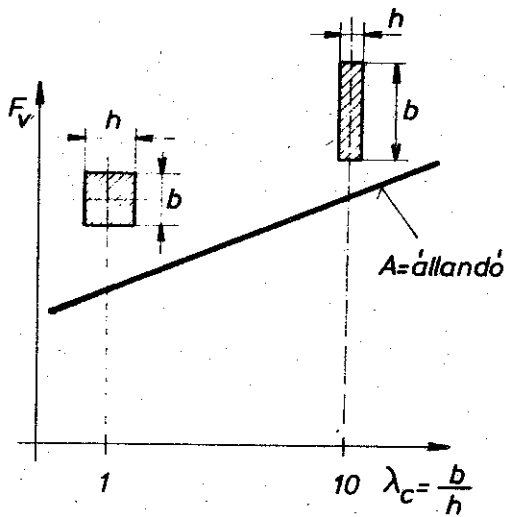
Azonban ennek az utnak ugyanolyan nehézségei adódnak, mint azt az analitikus összefüggésekben történő numerikus behelyettesítések során már láttuk.

A tapasztalatok szerint a kísérleti uton nyert forgácsolóerő értékek az anyagon és a közepes forgácsvastagságon kívül elsősorban a forgácsleválasztás jellegétől és a forgácskeresztmetszet alakjától függenek. A mérési eredmények egyértelműen igazolják, hogy kisebb vastagságú forgács leválasztásához még azonos forgácskeresztmetszet esetén is nagyobb forgácsolóerő szükséges (5.6. ábra).

A kísérletek megmutatták, hogy szivós anyagok esetén a fajlagos forgácsolóerő és a szakítószilárdság, rideg anyagoknál pedig a fajlagos forgácsolóerő és a brinell-keménység között összefüggés állapítható meg:

$$k = (2,5 \dots 4,5) \cdot R_m \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$k = (0,5 \dots 1) \cdot \text{HB} \quad [\text{N/mm}^2]$$



5.6. ábra

A forgáscsússági viszonyszám és a forgácsolóerő nagysága közötti összefüggés

Mivel a fajlagos forgácsolóerő értéke erősen függ a forgácsvastagságtól, ezért fontos megjegyezni, hogy a megadott intervallumok alsó határa a viszonylag vastag forgácsra (nagyolás), felső határa pedig a vékony forgács leválasztására (simitás) vonatkozik.

A forgácskeresztmetszet alakjára állandó keresztmetszetű forgács leválasztásakor jellemző mutató az un. forgáscsússági viszonyszám (λ_c), amely a forgács - szélesség és a forgácsvastagság hányadosa. Ez a viszonyszám nagyolásra és simításra eltérően választható meg. Például nagyoló esztergáláskor általában $\lambda_c = 2 \dots 10$ közötti értékű, míg simításkor

$\lambda_c = 10 \dots 20$ között szokott lenni. Ugyanakkora forgácskeresztmetszet esetén kisebb forgáscsússági viszonyszám esetén kisebb forgácsolóerő szükséges a réteg leválasztásához, mint a nagyobb forgáscsússági tényező jellemezte forgácsalakéhoz.

Ez a megfigyelés tulajdonképpen elvezet a fajlagos forgácsolóerő és a forgácsvastagság közötti összefüggés megfogalmazásához.

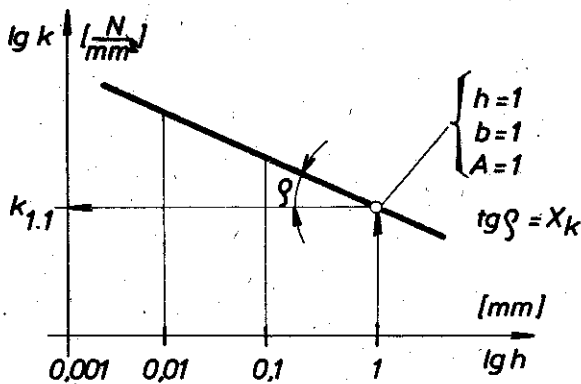
Mérési eredmények feldolgozásával a forgácsolóerő általános meghatározására alkalmas, a gyakorlati követelmények szempontjából célszerű formában KINEZLE fogalmazott meg egy erőszámító összefüggést esztergálásra:

$$F_v = b \cdot h \cdot k = b \cdot h^{1-x_k} \cdot k_{1.1} \quad [N]$$

Ebből az összefüggésből a fajlagos forgácsolóerőt kifejezve:

$$k = \frac{k_{1.1}}{h^{x_k}} \quad [N/mm^2]$$

Mint látható, a fajlagos forgácsolóerő és a közepes forgácsvastagság között hiperbolikus függvény-közelítéssel leírható kapcsolat van. A tapasztalati adatokon alapuló összefüggést lg - lg léptékű koordináta-



5.7. ábra

A forgácsvastagság és a fajlagos forgácsolóerő közötti tapasztalati összefüggés

rendszerben ábrázolva (5.7. ábra) a közelítő egyenes meredeksége (vagy $\tan \varphi = X_k$) adja a kitevő numerikus értékét, a kifejezésben szereplő konstans pedig számértékére nézve azonos azzal a forgácsolóerővel, amely egységnyi forgácsvastagság ($h = 1$) és egységnyi forgács szélesség ($b = 1$) esetén ébred.

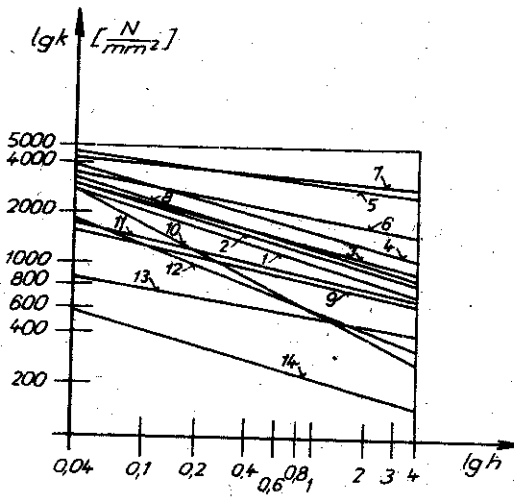
A $k_{1,1}$ erőállandót a fajlagos forgácsolóerő főértékének szokás nevezni, amely az $A = 1 \text{ mm}^2$ területű és előírt alakú forgácskeresztmetszet leválasztásához szükséges forgácsolóerő, s ebben az esetben a forgácskarcusági viszonyszám értéke $\lambda_c = 1$. Az x_k kitevő számértékére nézve $x_k = 0,25$.

A fajlagos forgácsolóerő főértékét táblázatokban szokták megadni. KIENZLE és VICTOR a fajlagos forgácsolóerő irányértékeit nem csak esztergálásra, hanem más forgácsoló eljárásokra is meghatározták. Az összefüggések használata főleg a többelű szerszámmal végzett forgácsoló megmunkálási eljárásoknál előnyös, ahol a forgácsalak geometriai meghatározása nehézkes.

A hazai technológusi gyakorlatban a fajlagos forgácsolóerő kísérleti meghatározásán alapuló, adott anyagra és közepes forgácsvastagságra vonatkoztatott nomogramokat készítenek (5.8. ábra), melyekből a különféle szerkezeti anyagok forgácsolásakor várható fajlagos forgácsolóerő-értékek a közepes forgácsvastagság függvényében közvetlen leolvashatók.

A tapasztalatok szerint a kísérleti úton nyert fajlagos forgácsolóerő értékek az anyagon és a közepes forgácsvastagságon kívül a forgácsleválasztás jellegétől és a forgácskeresztmetszet alakjától is függenek (5.9. ábra).

A különféle forgácsolási módok fajlagos forgácsolóerő-értékeinek összehasonlításából kitűnik, hogy minél kisebb az adott eljárásra jellemző közepes forgácsvastagság értéke, annál nagyobb a fajlagos forgácsolóerő.

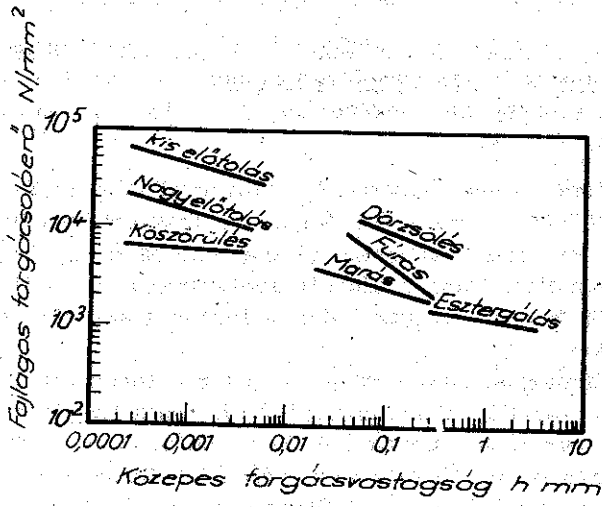


	HB
1. Automata csavaracél	285-350
2. Automata csavaracél	400-475
3. Acél (télkemény)	550-630
4. Acél (kemény)	660-790
5. Acél (öntött)	820-950
6. 1,5% CrNi-acél	710-870
7. 3,5% CrNi-acél	920-1100
8. Acélöntvény	390-475
9. Szürkeöntvény	220-250
10. Sörgaréz	410
11. Bronz	540
12. Szilumin	250-320
13. Alumínium	190-320
14. Elektron	220-320

Közepes forgácsvastagság h mm

5.8. ábra

Különböző szerkezeti anyagok forgácsolásakor várható fajlagos forgácsolóerő-értékek a közepes forgácsvastagság függvényében



5.9. ábra

Különböző forgácsolási módok fajlagos forgácsolóerő-értékeinek összehasonlítása

5.142 A fajlagos éltérhelés

A fajlagos forgácsolóerőn kívül a szerszám igénybevételét alapvetően jellemző fajlagos mutató a (p) fajlagos éltérhelés. Mivel a szerszámmel terhelhetőségét közvetve a fogásban lévő élvonalhossz és ezen keresztül a megengedhető forgácsolóerő korlátozza, a fajlagos éltérhelésnek a forgácsolószerszám szilárdsági méretezésénél van jelentősége.

Fajlagos éltérhelésnek nevezik a szerszám egységnyi élvonalhosszára ható fő forgácsolóerőt. A szerszám működő élhosszán egyenletesen megoszló terhelés hat. Ennek a terhelésnek az eredője a főforgácsolóerő, amely a működő élvonal súlypontjába koncentrálható. A fajlagos éltérhelés megfogalmazása értelmében:

$$p = \frac{F}{b} \quad \left[\frac{N}{mm} \right]$$

amelynek értéke a közepes forgácsvastagság függvényében változik, és a fajlagos forgácsolóerő ismeretében kiszámítható:

$$p = \frac{k \cdot h \cdot b}{b} = k \cdot h \quad \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Az egységnyi élvonalhosszra jutó forgácsolóerő értékét a szakkönyvek táblázatos formában adják meg. A fajlagos éltérhelés alapján elsősorban alakos forgácsolószerszámok és üregelőkészítők méretezését hajtjuk végre.

5.15 A forgácsolóerő meghatározása számítással empirikus forgácsolóerő-képlet segítségével

A mindennapos technológusi gyakorlatban a forgácsolóerő értékének pontosabb meghatározására a forgácsolási normatívák empirikus erőszámítási képleteket ajánlanak. Ezek az összefüggések a forgácsolóerő értékeit több tényező figyelembevételével határozzák meg, és a képletek a fő technológiai paraméterek hatványkitevős szorzatait, valamint a munkadarab és a szerszám paramétereitől függő módosító tényezőket tartalmazzák:

$$F_v = C'_F \cdot h^{x_F} \cdot b^{y_F} \cdot K_F \quad [N]$$

Mindazok a tényezők, melyek az anyag mechanikai tulajdonságát befolyásolják, hatással vannak a forgácsolóerőre is. Így tehát összegezve megállapítható, hogy a forgácsolóerőt befolyásolja a tárgy anyagának

szilárdsága, illetve keménysége, kémiai összetétele, szövetszerkezete, a forgácsolást megelőző hideg vagy meleg alakítása. A felsorolt tényezők figyelembevételével a számítóképletben igen bonyolult lenne. Ezért a forgácsolóerő kiszámítására szolgáló képletekben a meghatározott összetételű és állapotú anyagot egy C'_F konstanssal veszik figyelembe.

Ez a C'_F anyagtól függő, állandó, meghatározott körülmények között 1 mm^2 forgács leválasztásához szükséges erő. A meghatározott feltétel egységnyi forgácskeresztmetszetre vonatkozik, amikor $h = 1 \text{ mm}$ és $b = 1 \text{ mm}$ -rel.

Ez az erőállandó számértékét tekintve azonos a fajlagos forgácsolóerő főértékével:

$$C'_F = k_{1.1}$$

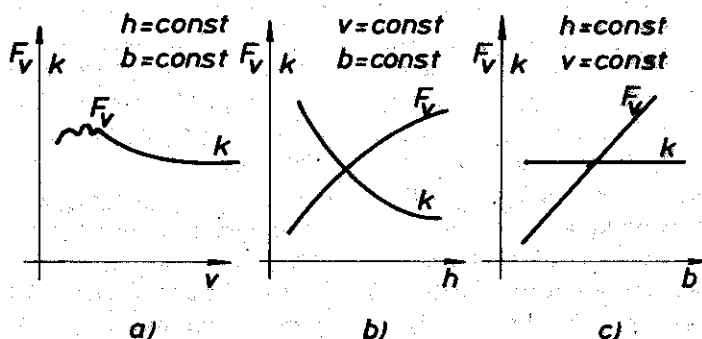
A fajlagos forgácsolóerő (k) is az egységnyi forgácskeresztmetszet leválasztásához szükséges erő volt, de a meghatározásához szükséges feltételek nem voltak ilyen szigorúak. Míg a fajlagos forgácsolóerő egyenlő a főforgácsolóerővel, ha a forgácskeresztmetszet nagysága $A = 1 \text{ mm}^2$, addig a C'_F erőállandó - illetve a fajlagos forgácsolóerő főértéke $k_{1.1}$ - csakis akkor azonos a főforgácsolóerő nagyságával, ha $h = 1 \text{ mm}$ és $b = 1 \text{ mm}$. Tehát a bevezetett két egységnyi keresztmetszetű forgács leválasztásához szükséges erő értelemszerűen is, és számszerűen is különbözik egymástól.

A C'_F értékét mindig kísérletileg határozzák meg szabványos kialakítású szerszámmal végzett forgácsoláskor. A kísérletek során kapott C'_F értékeit táblázatokba szokás foglalni, de ezek az adatok csakis egy adott anyagcsoportra, egy meghatározott szerszámképzésre és adott forgácsolási körülményekre érvényesek.

Minél nagyobb szilárdságú az anyag, annál nagyobb forgácsolóerő szükséges a megmunkáláshoz, nyilvánvalóan a (C'_F) forgácsolóerő állandó értékei is növekednek. Az öntöttvasak forgácsolásához kisebb erő szükséges, mint acélok forgácsolásához, mert egyrészt itt kisebb a képlékeny alakváltozásra fordított munka, másrészt a surlódási erő is kisebb. Ennek megfelelően a (C'_F) forgácsolóerő állandó számértékei is kisebbek lesznek, mint az acélok forgácsolásakor, ugyanakkor a rideg anyag keménységének növekedése az erőállandó növekedését vonja maga után.

Az empirikus erőszámító összefüggésben a forgácsolási adatoknak a forgácsolóerőre kifejtett hatását szintén kísérleti mérések alapján határozzák meg. A forgácsolóerő a forgácsolási sebesség növelésekor a kezdeti bizonytalanul hullámzó növekedés után monoton csökken. Ez a folyamatosan csökkenő szakasz az ún. élszakos forgács képződésének

felső határsebességénél kezdődik, míg a hullámzó erőképet az élszak-
képződés okozza. (Lásd: 5.10/a ábra.) A forgácsolóerő és a forgácsoló-
lási sebesség között általános érvényű összefüggést megállapítani nem
sikerült. A tapasztalat azt mutatja, hogy a folyó forgácsot adó anyagok
megmunkálásakor a $v = 100 \dots 600$ [m/min] sebességtartományban
a forgácsolóerő alig változik, míg a $v = 20 \dots 100$ [m/min] körüli
sebességtartományban az erő jelentősen megváltozik.



5.10. ábra

A forgácsolási adatoknak a főforgácsolóerőre és a fajlagos
forgácsolóerőre kifejtett hatása

Az előbb elmondottak értelmében a forgácsolósebesség hatását az empirikus számítóképletbe hatványkitevős formában nem építették be, de lehetőség van arra, hogy hatását módosító tényező segítségével figyelembe vegyék.

Például a $v = 100$ [m/min] forgácsolósebesség esetén ezt a módosító tényezőt $K_{VF} = 1,00$ -nek választva, a növekvő forgácsolósebességek irányában a módosító tényező csökken: $v = 200$ [m/min] esetén $K_{VF} = 0,95$; $v = 400$ [m/min] mellett pedig $K_{VF} = 0,9$. A forgácsolósebesség csökkenő irányu megváltozása a módosító tényező növekedését vonja maga után: $v = 50$ [m/min] mellett $K_{VF} = 1,1$; $v = 30$ m/min esetén $K_{VF} = 1,2$, míg $v = 20$ [m/min] forgácsolósebességhez

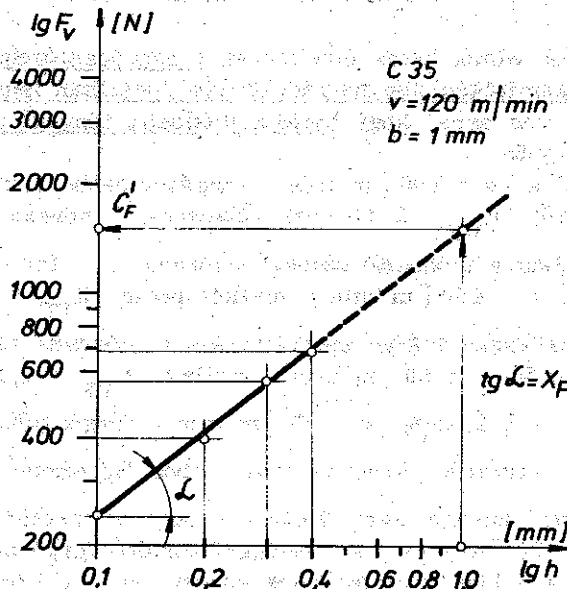
$K_{VF} = 1,25$ tartozik. Azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni a megmunkálendő anyagot sem, hiszen a nagy Ni-tartalmu rozsdálló acélok kb. $v = 20$ [m/min] sebességgel történő forgácsolásakor a forgácsolóerő a $v = 100$ [m/min]-hoz képest 50 ... 120%-kal is megnövekedhet. Általános szabályként megjegyezhető, hogy a forgácsolóerő csökkentésére célszerűtől minél nagyobb sebességgel forgácsolni. Gyorsacél szerszámmal végzett forgácsoláskor általában nem sikerül elkertülni az

erőváltozás kezdeti hullámos ingadozását, keményfém szerszámmal dolgozva viszont rendszerint a görbe már alig változó, közel vízszintes szakaszán vagyunk.

A forgácsolóalakváltozási tényezőnek (ξ) a forgácsolási adatoktól való függését kifejező diagramból (4.5. ábra) is következtetni lehet az egységnyi keresztmetszetű forgács leválasztásához szükséges forgácsolóerő, a fajlagos forgácsolóerő forgácsolási adatoktól való függésére. Az alakváltozási tényező változása ugyanis maga után vonja a fajlagos forgácsolóerő szinte azonos jellegű és közel azonos mértékű változását (5.10. ábra). A fajlagos forgácsolóerő tehát a forgácsolási sebesség függvényében hasonló jelleggel változik, mint a forgácsolóerő, a közepes forgácsvastagság és a fajlagos forgácsolóerő változása között, mint azt már korábban diszkutáltuk, hiperbolikus függvényvel leírható kapcsolat van; s végül a megfigyelések alapján belátható, hogy a fajlagos forgácsolóerő értéke nem változik a fogásban lévő élvonalhossz növelésével.

Ugyanakkor a forgácsolóerő és a közepes forgácsvastagság, illetve a forgácsolóerő és az elméleti forgácsszélesség között a fajlagos forgácsolóerőre jellemzőktől eltérő összefüggések figyelhetők meg.

Ha minden változót állandó értéken tartunk, s csupán a közepes forgácsvastagságot (h) változtatjuk, akkor a forgácsolóerő nem lineárisan, hanem degresszív jelleggel nő. A forgácsolóerő és a közepes forgácsvastagság között parabolikus összefüggés állapítható meg (5.10/b áb-



5.11. ábra

A főforgácsolóerő és a közepes forgácsvastagság közötti összefüggés log-log léptékű koordináta-rendszerben történő ábrázolása

ra). A mérési eredményeket logaritmikus tengelybeosztású koordináta-rendszerben ábrázolva (5.11. ábra), grafikusan is meghatározható a közepes forgácsvastagság (x_F) empirikus összefüggésbeli kitevője, továbbá leolvasható a (C'_F) forgácsolóerő állandó nagysága is. Acélra és öntöttvasra igen széles forgácsolási adattartományban a közepes forgácsvastagság kitevőjének számértéke $x_F = \text{tg } \alpha = 0,75$.

A forgácsolóerőnek a közepes forgácsvastagságtól való hatványfüggvény - szerinti közelítéssel leírható változása azzal is magyarázható, hogy a forgácsvastagság növelésekor nő az irányvonal hajlásszögének nagysága, tehát csökken a fajlagos forgácsolóerő értéke.

A kísérletek szerint a forgácssszélesség (b) növelésekor a forgácsolóerő is nő, s a gyakorlatban elterjedten alakított szerkezeti anyagokra vonatkozóan lineáris kapcsolat van a forgácssszélesség és a forgácsolóerő között. Ez a jelenség egyszerűen azzal magyarázható, hogy a forgácssszélesség növelésével arányosan nő a szerszám fogásban lévő élvonalhossza, s ezzel a nyírási sík területe is. A megfigyelések alapján az y_F kitevő nagysága gyakorlatilag egynek vehető (5.10/c ábra).

Az a tény, hogy a forgácsvastagság és a forgácssszélesség nem azonos mértékben befolyásolják a forgácsolóerőt ($x_F < y_F$), jelentős szerepet kap az optimális forgácsolási adatok meghatározásánál. Ha például adott nagyságú forgácsolóerő mellett a lehető legnagyobb forgácskeresztmetszet elérése a cél, akkor célszerű minél nagyobb forgácsvastagsággal forgácsolni.

A forgácsolóerő nagyságát befolyásolja a szerszám anyaga és kiképzése. A szerszám anyaga annyiban befolyásolja a forgácsolóerőt, amennyiben a surlódási tényező (μ) értékét. A surlódási tényező változásával változik a forgácsleválasztásához szükséges erő. A surlódási tényező változásával előálló erőváltozás olyan kicsi, hogy gyakorlati számításoknál elhanyagolják.

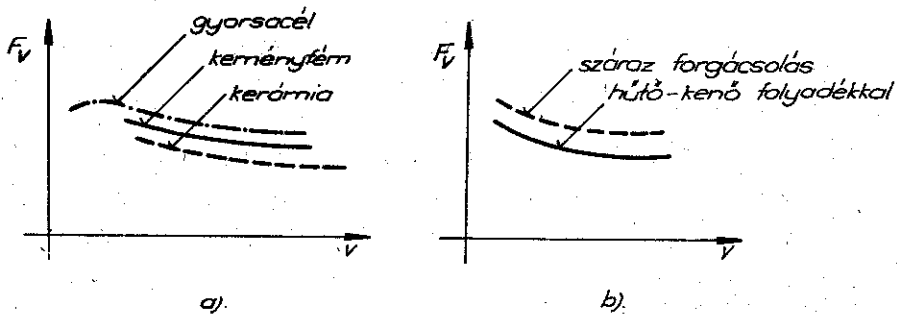
Kísérletekkel igazolták, hogy a szokásos szerszámanyagok használatakor bekövetkező forgácsolóerő-változás szélső esetben is csak 5%-alatti erőingadozást mutat.

A szerszámanyagok kontakt felületi tulajdonságaival teljesen analog módon hat a forgácsolóerő változására a hűtő-kenő folyadékok jelenléte a forgácsolási folyamatban (5.12. ábra).

A szerszám kialakítása lényegesen nagyobb mértékben befolyásolja a forgácsolóerőt, amelyet számítások során már nem lehet figyelmen kívül hagyni.

A szerszám kiképzésénél (egyéltű szerszámot véve alapul)

- az elhelyezési szög, κ_r ,
- a homlokszög, γ_o .



5.12. /ábra

A szerszámanyag és a hűtő-kenő folyadék hatása a főforgácsolóerő nagyságára

- a hátszög, α_0'
- a lekerekítési sugár, r_ϵ és ϵ
- a szerszámkopás,

hatását a forgácsolóerőre szükséges vizsgálni.

A szerszám élelhelyezési szöge, illetve élalakja befolyásolja a közepes forgácsvastagság, valamint az elméleti forgácsszélesség nagyságát, ezáltal a forgácsolóerőt. Az elhelyezési szög növelésével csökken a forgácsolóerő (5.13/a ábra). Mivel számításaink során az élelhelyezési szögnek az elméleti forgácskeresztmetszetet meghatározó méretekre gyakorolt hatását ugyis figyelembe vesszük:

$$h = s \cdot \sin \kappa_r$$

illetve

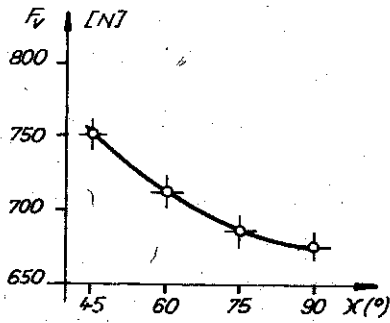
$$b = \frac{a}{\sin \kappa_r}$$

ilyen esetekben nem kell a forgácsolóerő empirikus képletében külön módosító tényezővel utalni a szerszámélelhelyezési szög forgácsolóerőre gyakorolt hatására.

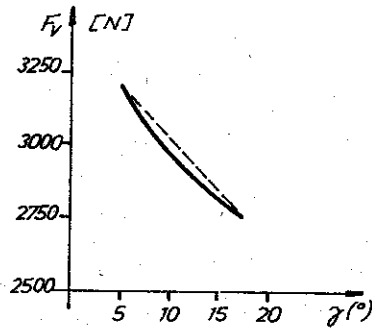
A homlokszög (γ_0) hatásának vizsgálatokor kiindulhatunk abból, hogy minden forgácsolás ékhatáson alapul. Ennek alapján az ékszög (β_0) vizsgálata látszik célszerűnek. A kísérletek során a hátszöget állandónak tartva a homlokszög változtatásával változik az ékszög is.

Minél nagyobb a homlokszög, annál jobban érvényesül az ékhatás, vagyis nagyobb homlokszög használatokor kisebb erő kell a forgácsoláshoz (5.13/b ábra).

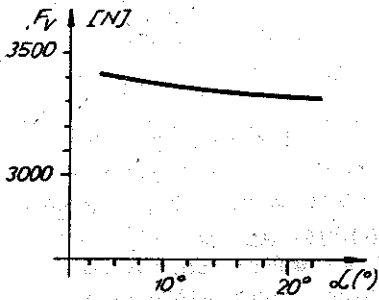
Az ábra alapján megállapítható, hogy a homlokszög növelése a főforgácsolóerő csökkenését eredményezi, és ez a változás közel lineáris. Gyakorlati számítások során 10-os homlokszögváltozásnál 1%-os erőváltozást vesznek figyelembe.



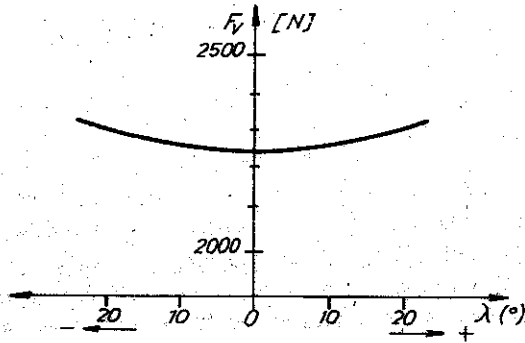
a)



b)



c)



d)

5.13. ábra

A szerszámkiállítás elemeinek hatása a főforgácsolóerőre

Kísérletek során a C'_F állandó, valamint a hatványkitevők meghatározásakor egy adott szerszámmal dolgoznak, és erre az esetre határozzák meg a szükséges adatokat. Az a szerszám, amelyet a kísérletekhez használnak szabványos kiképzésű. Abban az esetben, ha a megmunkálás során más homlokszögű szerszámot használnak, a forgácsolóerő meghatározásakor a változást figyelembe kell venni, azaz a C'_F értékét módosítani kell. A módosító tényező $K_{\gamma F}$. A $K_{\gamma F}$ módosító tényezőt kiszámíthatjuk az 1° -hoz tartozó 1%-os erőváltozásból, azaz ezt képletben kifejezve:

$$K_{\gamma^*F} = 1 + \frac{\gamma_o^* - \gamma^*}{100}$$

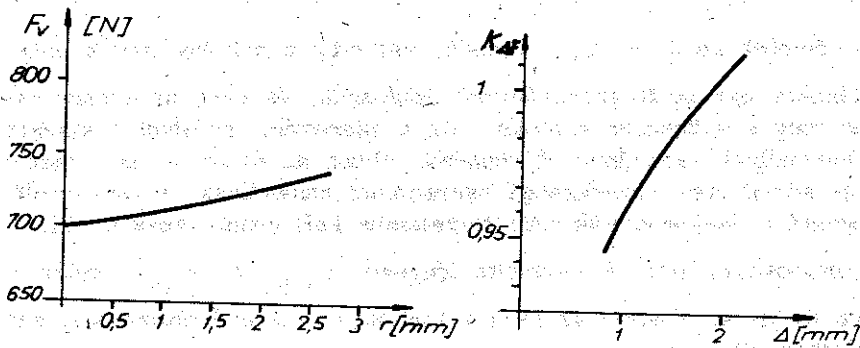
- ahol - γ_o^* a kísérleteknél használt szerszám homlokszöge,
 - γ^* a megmunkáláshoz használt (szabványtól eltérő) szerszám homlokszöge.

De a K_{γ^*F} helyesbitő tényezővel csak akkor módosítjuk a C'_F értékét, ha eltérünk a kísérleti feltételektől.

Kísérleti tapasztalatok alapján megállapítható, hogy a szerszám hátszögének növelésekor a forgácsolóerő nagysága csökken, azonban a hátszögnek a forgácsolóerőre gyakorolt hatása - az általánosan használt hátszögek esetében - a számításoknál elhanyagolható (5.13/c ábra).

Hasonló megállapításra juthatunk a mellékékhátszög (α'_o) és a (λ_s) terelőszög hatásának vizsgálatokor is (5.13/d ábra). Így a gyakorlati számításoknál az α'_o , λ_s és α'_o szögek hatását nem vesszük figyelembe, különösen, ha szabványos vagy ehhez közelálló szerszámki-képzést alakítanak ki.

A csucssugár növelésével nő a fogásban levő élvonalhossz, azaz a forgács szélesség. A csucssugár az 5.14/a ábrán vázolt jelleg szerint befolyásolja a főforgácsolóerő alakulását. Tekintettel arra, hogy a lekerítési sugár hatása azonos a forgács szélességével (b), így a lekerítési sugár hatását a forgács szélesség meghatározásával vesszük figyelembe. A csucssugár és az elhelyezési szög hatását tehát külön csak akkor vesszük figyelembe, ha nem a h-val és b-vel számolunk. Ilyenkor a módosítótényezőket, nevezetesen a $K_{\kappa F}$ és K_{rF} értékeit táblázatokban adják meg.



5.14. ábra
 A szerszám csucssugarának és a hátkopásnak a hatása a forgácsolóerőre

Mivel simító megmunkálásokkor a fogásmélység rendszerint kis értéke miatt a főél nem, vagy csak alig vesz részt a forgácsolásban, és szinte kizárólag a csucssugar forgácsol, ezért relative a tengelyirányu erő (F_p) megnövekedésével kell számolnunk.

Tehát simító megmunkálások esetén feltétlenül fontos a fogásban lévő élvonalhossz pontos értékének kiszámítása, vagy a csucssugar hatásának a módosító tényezővel (K_{rF}) való figyelembevétele.

A szerszám kopása következtében a forgácsolóél romlik, és ez magával hozza a forgácsolóerő növekedését. A kopás következtében az egységnyi forgácskeresztmetszet leválasztásához szükséges erő megnő, tehát a kopás függvényében változik a C'_F értéke. A kopás hatását

$K_{\Delta F}$ helyesbítő-tényezővel szokás figyelembe venni. A helyesbítő-tényezők értékei táblázatokban található.

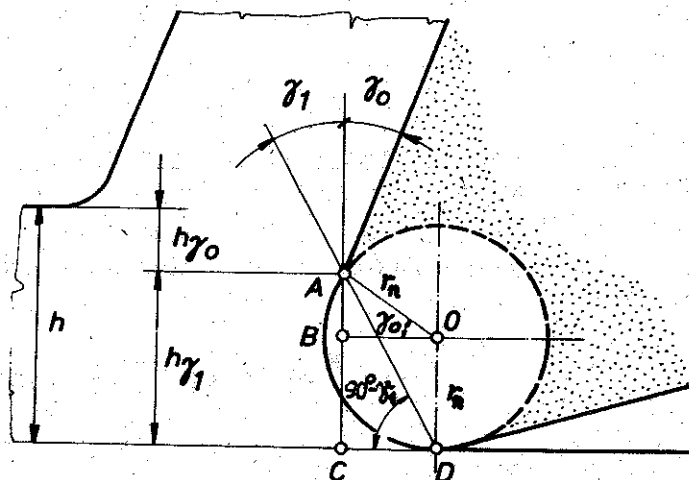
A forgácsolóerő nagyságát a felsoroltakon kívül még számos tényező befolyásolja, de ezek hatását a gyakorlatban általában elhanyagolják. A helyesbítő-tényezők, melyeket a kísérleti feltételektől való eltérés következtében kell használni, összevonhatók. Jelöljük a helyesbítő-tényezők szorzatát K_F -el ($K_F = K_{\kappa F} \cdot K_{\gamma F} \cdot K_{\alpha F} \cdot K_{rF} \cdot K_{\Delta F}$), így a főforgácsolóerő képlete általános esetre, egyéltű szerszámmal végzett megmunkálásnál:

$$F_v = C'_F \cdot h^{x_F} \cdot b^F \cdot K_{\kappa F} \cdot K_{\gamma F} \cdot K_{\alpha F} \cdot K_{rF} \cdot K_{\Delta F}$$

$$F_v = C'_F \cdot h^{x_F} \cdot b^F \cdot K_F \quad [N]$$

A szerszámél lekerekedési sugarának (r_n) jelentős befolyása van a fellépő forgácsolóerő nagyságára. A forgácsképződés megindulásához ugyanis a leválasztandó rétegvastagságnak egy kritikus értéket el kell érnie, különben a szerszám élére képzelhető r_n sugaru élhenger csak maga alá gyúrná a felületi réteget, s a forgácsoló szerszám csak felületkeményítő, ún. vasaló szerszámként viselkedne. A szakirodalomban a forgácsképződés megindulásának feltételeként szabályos élgeometriájú szerszámok esetén a ($h_{krit} = r_n$) legalább a szerszámél lekerekedési sugarával azonos nagyságú rétegvastagságot tartják. Ennek jelentősége különösen az ún. vékony rétegek leválasztásakor van, s azokban a forgácsolási eljárásokban, amikor a szerszám nulla forgácsvastagsággal kezdi el a rétegleválasztást. (Pl.: egyenirányu palástmarás vagy üregelés.)

A szerszámél lekerekedési sugarának a forgácsolőrőre gyakorolt hatását a szerszámék összetett voltával magyarázhatjuk. Helyettesítsük az r_n sugaru élhengert egy sikkal, amely negatív homlokszögű élszalagnak tekinthető a szerszám elsődleges homloklapján (5.15. ábra). A leválasztandó h vastagságu réteget is összetettnek tekinthetjük: egy h_{γ_0} vastagságu rétegből, amelyet a γ_0 homlokszögű szerszám választ le, és egy h_{γ_1} vastagságu rétegből állónak, amit a γ_1 homlokszögű élszalag távolít el. Mivel negatív homlokszögek esetén kedvezőtlenebb a forgácsképződés az irány sík hajlísszögének csökkenése miatt, a h_{γ_1} vastagságu réteg leválasztásához nagyobb forgácsolőrő szükséges, és e réteget nagyobb fajlagos forgácsolőrő is jellemzi.



5.15. ábra

A szerszámél lekerekedési sugarának a leválasztandó rétegvastagságra kifejtett hatása

Geometriai összefüggésekből meghatározható e negatív élszalaghoz tartozó réteg vastagsága és az élszalagra jellemző homlokszög nagysága is. Az 5.15. ábra alapján a $h_{\gamma_1} = AB + BC$ szakaszokkal:

$$AB = r_n \cdot \sin \gamma_0 \quad \text{és} \quad BC = r_n$$

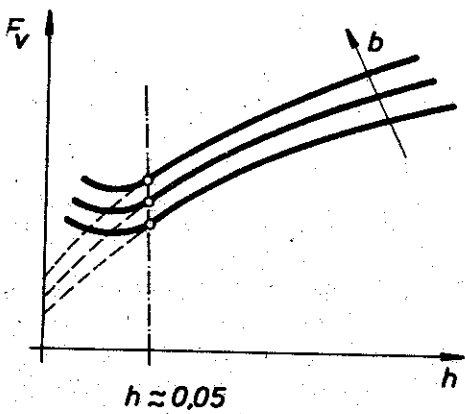
így

$$h_{\gamma_1} = r_n (1 + \sin \gamma_0).$$

Az élszalag homlokszögére pedig érvényes, hogy

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{r_n \cdot \cos \gamma_0}{h \gamma_1} = \frac{r_n \cdot \cos \gamma_0}{r_n \cdot (1 + \sin \gamma_0)} = \frac{\cos \gamma_0}{1 + \sin \gamma_0}$$

A közepes forgácsvastagságnak a forgácsolóerőre jellemző befolyást bemutató görbékről jól látható, hogy azok nem futnak keresztül a koordinátatengelyek kezdőpontján, hanem az ordináta-tengelyt egy meghatározott magasságban - a fogásban lévő élvonalhossznak megfelelő nagyságban - metszenék. RICHTER ezt az erőt a forgácsolóerő kezdeti értékének nevezte (5.16. ábra).



Ez a görbelefordulás azonban idealizáltnak tekinthető, hiszen egészen kis forgácsvastagságok esetén, éppen a szerszámél lekerekedési sugarának következtében a forgácsolóerő kicsit megnövekszik.

Az itt bemutatott jelenség figyelembevételére miatt a forgácsolóerő empirikus meghatározására szolgáló hatványfüggvény alaku összefüggés érvényességi tartományát csak a h = 0,05 mm feletti közepes forgácsvastagságokra fogadják el.

5.16. ábra
A forgácsolóerő alakulása igen vékony rétegű forgács leválasztásakor

A főforgácsolóerő meghatározására alkalmas képlethez hasonló összefüggéssel a mellékerők is meghatározhatók. Természetesen az anyagtól függő állandó, valamint a hatványkitevő nagysága minden összetevő meghatározására szolgáló képletnél változik;

- a fogásvételirányú erő:

$$F_p = C_{Fp} \cdot h^{x_{Fp}} \cdot b^{y_{Fp}} \cdot K_{Fp}$$

míg az előtolásirányú erő:

$$F_f = C_{Ff} \cdot h^{x_{Ff}} \cdot b^{y_{Ff}} \cdot K_{Ff}$$

képletekkel határozhatók meg.

Az állandók és hatványkitevők értékeit táblázatokban szokták összefoglalni.

A mellékerőket ritkán szokták a közölt képletekkel számolni, általában megelégszenek közelítő eredménnyel, amelyet tapasztalati adatok alapján a következőképpen lehet meghatározni:

$$F_v : F_f : F_p = 1 : \left(\frac{1}{4} \dots \frac{1}{3} \right) : \left(\frac{1}{3} \dots \frac{1}{2} \right)$$

Nyilvánvaló, hogy ezek az arányok simító megmunkálásra nem érvényesek, hiszen ott a csucssugár jelentős forgácsoló munkája miatt eltolódik az egyes komponensek aránya.

5.16 A forgácsolóerő és a forgácsolási teljesítmény meghatározása táblázatok vagy nomogramok segítségével

A számítások végrehajtása egyszerűségük ellenére is időt igénylő munka. A forgácsolóerő egyszerűbb meghatározása érdekében a gyakran előforduló adatokat táblázatokba foglalják. A táblázat előnye, hogy egyszerű, kezelése különösebb szakképzettséget nem igényel; hátránya, hogy csak meghatározott értékeket ad, így a leolvasás nem folytonos.

A nomogramok használata kedvezőbb, mint a táblázatoké, és természetesen adatokra is adnak megfelelő értékeket. A forgácsolási segédletekben általában a vonalsereges nomogramokat használják. E nomogramok kezelése egyszerű.

Napjainkban a szovjet forgácsolási előírások a forgácsolás-technológiai adatok meghatározásának legjobban kiforrott rendszere. A Szovjetunióban ennek kidolgozása 1936-ban kezdődött, és országosan összehangolt tervszerű kutatómunka eredményeképpen a negyvenes években adatrendszerét számos nagyüzem be is vezette.

A kidolgozott ajánlásokat a második világháború gép- és fegyvergyártásánál nagyipari méretekben alkalmazták, majd 1948-ban minisztertanácsi határozat alapján országos forgácsolási előírásként fogadták el. Hazánkba a szovjet-magyar tudományos együttműködési szerződés végrehajtása során kerültek ezek a normatívák, és ezek alapján készültek a Forgácsolási Országos Normaalapok.

Hazánkban forgácsolási számítási segédletként főleg a Forgácsolási Országos Normaalapok gyűjteményét használják. Mint a címből is kitétni, normák megállapításához készült, így a forgácsolási adatok meghatározásán kívül tartalmazza a gépi és mellékidőket is. A gyűjteményben található adatok anyagfajtánként és géptípusonként vannak rendezve, gyorsacél és keményfémvel végzett megmunkálások eseteire egyaránt.

5.2 Fajlagos forgácsteljesítmény

A forgácsolás egyike a legköltségesebb megmunkálási eljárásoknak. A forgácsolásra fordított költségek számos tényezőkből tevődnek össze. A költségek egy részét a forgácsolásra fordított idő és teljesítmény képezi.

Forgácsoláskor mindig egy adott réteg (ráhagyás) leválasztása a feladat. Nem közömbös tehát, hogy az adott ráhagyást mennyi idő alatt és milyen teljesítmény-ráfordítással választják le. Az időegység alatt leválasztott forgácsmennyiség már némi összehasonlítási alapot ad a forgácsolásról. Az egy perc alatt leforgácsolt anyag mennyiségét külön jelölik (q) és fajlagos forgácstérfogatnak nevezik. Az 1 perc alatt leválasztott anyag mennyisége függ a forgácsolási sebességtől, előtolástól és a fogásmélységtől, vagyis

$$q = A \cdot v$$

Ha csupán a forgácsolásra fordított időt vennénk figyelembe, nem kapnánk megfelelő összehasonlítási alapot. Forgácsoláskor a kittöltött feladatot nemcsak gyorsan, de kis teljesítmény-ráfordítással is kell végezni. Vizsgálni kell tehát, hogy a forgács leválasztására hány kW teljesítményt fordítottunk. Az összehasonlítási alap a fajlagos forgácsteljesítmény (V_p), amely nem egyéb, mint 1 kW teljesítménnyel 1 perc alatt leválasztott forgácsmennyiség; azaz

$$V_p = \frac{q}{P_v} \left[\frac{\text{cm}^3/\text{min}}{\text{kW}} \right]$$

Az eddig megismert összefüggések behelyettesítése után megkapjuk, hogy

$$P_v = \frac{F_v \cdot v}{60\,000} = \frac{k \cdot A \cdot v}{60\,000}$$

$$V_p = \frac{q}{P_v} = \frac{60\,000}{k} = \frac{60\,000}{u}$$

Mint a képlet igazolja, a fajlagos forgácsteljesítmény a fajlagos forgácsolóerőtől függ. A fajlagos forgácsolóerő pedig a megmunkálandó anyag és a közepes forgácsvastagság függvénye a fajlagos forgácsolási energiához (u) hasonlóan.

Összehasonlítás kedvéért néhány adatot közlünk A 60 jelű acél megmunkálására

- esztergáláskor: $V_p = 20 - 45 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{kW min}} \right]$; $h = (0,1-3) \text{ mm}$,
- maráskor: $V_p = 10 - 20 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{kW min}} \right]$; $h = (0,02-0,3) \text{ mm}$
- köszörüléskor: $V_p = 0,5-5 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{kW min}} \right]$; $h=(0,002-0,003) \text{ mm}$

Mint a közölt adatok is bizonyítják, a fajlagos forgácsteljesítmény egy adott anyag megmunkálásakor jelentős mértékben függ a közepes forgácsvastagságtól. Ennek alapján a temelékenység fokozása érdekében célszerű az előtolást növelni.

A fejezethez felhasznált irodalom

1. Dr. BAKONDI Károly: Forgácsolás elmélete és forgácsoló technológia I. KTMF. főiskolai jegyzet: 49.660/L. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.
2. Dr. BALI János: Forgácsolás (előadási segédlet) BME. Gépgyártástechnológia Tanszék, kézirat, 1978.
3. DEGNER, W. - LUTZE, H. - SMEJKAL, E.: Spenende Formung. Theorie, Berechnung, Richtwerte. VEB. Verlag Technik, Berlin, 1968.
4. Dr. GRIBOVSZKI László: Gépipari megmunkálások. Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
5. Dr. KAZINCZY László: Theoretische Bestimmung der Zerspankraft beim Drehen. INDUSTRIE ANZEIGER, Nr. 1./1972. s.: 79 ... 82.
6. KIENZLE, O.: Die Bestimmung von Kräften und Leistungen an spanenden Werkzeugen und Werkzeugmaschinen Z.VDI. 94/1952. H.11/12. s.: 299-305.
7. KIENZLE, O.: - VICTOR, H.: Spezifische Schnittkräfte bei der Metallbearbeitung. Werkstatttechnik u. Maschinenbau 47. (1957.) H.10. s.: 541-546.
8. JOHNSON, W. - MELLOR, P.B.: Plasticity for Mechanical Engineers' Van Nostrand, New York, 1962.
9. OXLEY, P.L.B.: Analyse des Spanbildungsvorganges. FERTIGUNG 1./1974. s.: 3...8
10. PRAGER - HODGE: Tökéletesen képlékeny testek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969.

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page. The text is arranged in several paragraphs, but the characters are too light and blurry to transcribe accurately.

6. A forgácsoló megmunkálás hőjelenségei

6.1 A forgácsolási hő keletkezésének okai, a forgácstó hőállapota

A forgácstóban lejátszódó alakváltozások és a szerszám lapjain felépő surlódások hatására forgácsoláskor hő képződik. A keletkezett hőmennyiség a forgácsolásra fordított munkával arányos. Tapasztalati adatok alapján megállapítható, hogy a forgácsolási energia csaknem teljes mértékben hővé alakul át. Ennek megfelelően az időegység alatt keletkező forgácsolási hőmennyiség, azaz a hőteljesítmény:

$$\dot{Q} = F_v \cdot v \quad [\text{J/s}]$$

A térfogategységnyi forgács leválasztásakor keletkező hőmennyiség pedig a fajlagos forgácsolási munkával (U) egyenértékű, ugyanis, ha

F_v - a forgácsolóerő [N]

v - a forgácsolási sebesség [m/s]

$$U = \frac{F_v \cdot v}{A \cdot v} = \frac{\dot{Q}}{q} \quad \text{J/cm}^3$$

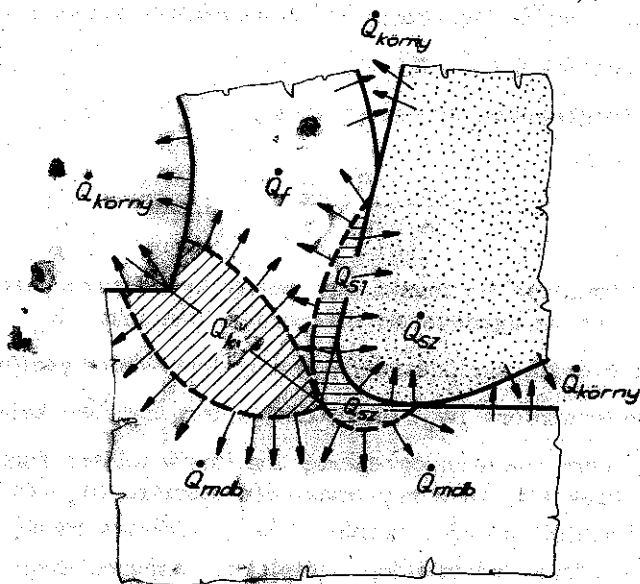
Mivel a forgácsolási munka egy részét kristályszerkezeti változások emésztik fel (ez az úgynevezett diszpergációs munka W_d), továbbá a forgácsolási energia surlódásra (W_s), rugalmas deformációra (W_r) és képlékeny deformációra (W_k) fordítódik, a forgácstóban keletkező összes hőmennyiség nem pontosan egyenértékű a forgácsolásra fordított munkával. De mérések alapján a rugalmas deformációra (W_r) és a diszpergációra (W_d) fordított energia csupán 0,5 ... 3%-ára tehető a teljes forgácsolási munkának, ezért főleg a képlékeny anyagok megmunkálása esetén a műszaki gyakorlatban jól elfogadható a közelítés (VIEREGGE), hogy a forgácstóban keletkező hőmennyiség meghatározását a forgácsolási munka alapján, annak hőegyenértékével fejezzük ki:

$$Q = W = W_s + W_k + (W_r + W_d) \quad [\text{J}]$$

A forgácsolás során képződő hő a folyamatot meghatározó egyik legfontosabb tényező. A hőképződés és a hőeloszlás törvényszerűségei magyarázatot adnak egy sor, a forgácsképződési folyamatban megfigyelhető jelenségre és összefüggésre. Forgácsoláskor a hőjelenségek ismerete a szerszám anyagának és geometriai paramétereinek, valamint az optimális forgácsolás-technológiai adatoknak a megválasztásához szükséges elsősorban.

Az energiamérleg alapján meghatározható forgácsolási hőmennyiség ismeretében azonban a szerszámra vagy a technológiai adatokra vonatkozóan még nehéz bármilyen döntést megfogalmazni, hiszen a forgácsolásban keletkezett hőmennyiség a hővezetés és hőátadás törvénye szerint különböző hőáramok útján

- a forgácsba (\dot{Q}_f);
- a szerszámba (\dot{Q}_{sz});
- a munkadarabba (\dot{Q}_{mdb}) és
- a környezetbe ($\dot{Q}_{körny}$) jut (6.1. ábra).



6.1. ábra
A forgácsoló hőforrások és a hőáramok irányai

A forgácsolás hőfizikájának első alapegyenlete ezek szerint úgy fogalmazható meg, hogy a forgácsolásra fordított munka alakváltozási hő

(Q_k) és surlódási hőt (Q_s) hoz létre, amely a forgácstóból a forgácsba (Q_f) , a szerszámba (Q_{sz}) , a munkadarabba (Q_{mdb}) és a környezetbe $(Q_{körny})$ távozik, azaz:

$$Q = Q_k + Q_s = Q_f + Q_{sz} + Q_{mdb} + Q_{körny}$$

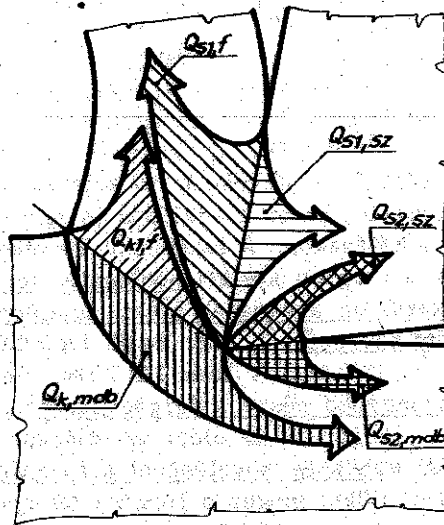
A forgács leválasztására, a forgácstó deformálására és a szerszám hát- illetve homloklapján fellépő surlódás legyőzésére fordított mechanikai munkából származó forgácsolási hő forrásait, valamint a hőáramoknak a számbavételét a 6.2. ábra alapján a forgácstó hőáramainak egyszerűsített vázlatán követhetjük nyomon.

Az irányított jellemezett nyirási zónában keletkezett hőforrás a képlékeny alakváltozással ekvivalens hőmennyiséget termel (Q_k) . Ennek a hőnek egy része a munkadarabba jut $(Q_{k,mdb})$, a másik része pedig a forgácsba $(Q_{k,f})$ kerül. A forgács elhaladva a szerszám homloklapján, ennek a hőnek egy részét átadhatja a szerszámnak, ahonnan még a munkadarabba is juthat egy bizonyos hőmennyiség.

Az alakváltozási hő egy másik része $(Q_{k,mdb})$ a munkadarabba jut, onnan a forgácsolt felületen keresztül érintkezve a szerszám hátlapjával egy bizonyos hőmennyiség a szerszámba, majd azon keresztül a forgácsba vezetődik.

A forgácsnak a szerszám homloklapján történő surlódásából keletkező hő (Q_{s1}) nagyobbik részét a forgács magával viszi $(Q_{s1,f})$, míg maradék része a szerszámba $(Q_{s1,sz})$ jut, ahonnan ennek a hőnek egy hányada a szerszámhátlapon keresztül a munkadarabba juthat.

A szerszám hátlapja és a munkadarab forgácsolt felülete közötti surlódás okozta hő (Q_{s2}) az előbbiekhöz hasonlóan a munkadarabba $(Q_{s2,mdb})$ a szerszámba $(Q_{s2,sz})$ és a forgácsba is elvezetődik.



6.2. ábra

A forgácstóban értelmezhető egyszerűsített hőáramlás vázlata

A leirtak szerint a forgácstőben bonyolult, egymást keresztező hőáramok kölcsönhatásából alakul ki a valós hőállapot, amelynek analitikus módszerekkel történő megfogalmazásában A.N. RE ZNYIKOV professzor uttörő munkát végzett.

A forgácsolás hőfizikájának analitikus módszereken alapuló második alapegyenlete: a hővezetés differenciálegyenlete. A két hőfizikai alapegyenlet megoldása a forgácstő igen bonyolult hőfolyamatai miatt komoly felkészültséget, alapos műszaki hőtani ismereteket igényel. Ezért a forgácstő elemeiben (a munkadarabban és a szerszámban) keletkező hőmérséklet és hőeloszlások kiszámításának analitikus uton történő meghatározását ez ideig csak elméleti jellegű vizsgálatoknál használták. A gyakorlati jellegű vizsgálatok számára a forgácsolási hőmérséklet eloszlás függvényeit tapasztalati összefüggésekkel szokás meghatározni.

Tapasztalati megfigyelések szerint a forgácsolásra fordított összes munka összetevőinek aránya a forgácsleválasztás körülményeitől függően igen eltérő. Rideg anyagok esetén a maradó alakváltozások gyakorlatilag elhanyagolhatók, így kevesebb hő képződik, mint szivós anyagok forgácsolásakor. Kevesebb hő keletkezik rideg anyagok megmunkálásakor azért is, mert a surlódás is lényegesen kisebb, mint pl. acélok megmunkálásakor. A fentiekből következik, hogy a munkadarab, a szerszám és a forgács közötti hőeloszlás mértéke is függ a munkadarab és a szerszám anyagának hőtani tulajdonságaitól és természetesen a forgácsolási tényezőktől, ezen belül leginkább a forgácsolási sebességtől.

USZACSEV már 1915-ben megállapította, hogy a keletkezett hő legnagyobb része a forgácsban távozik, acélok megmunkálásakor ez 60 ... 85%-t is eléri az átlagosan fejlődő hőmennyiségnek. A forgácsolási sebesség növelésével a forgáccsal távozó hő megnövekszik, s vele egyidejűleg megnő a forgács közepes hőmérséklete is.

A 6.1. táblázat adatai DANIELJAN mérési eredményeit mutatják különböző anyagok azonos körülmények között végrehajtott simító megmunkálásánál, amikor a forgácsolási adatok sorra a következők voltak:

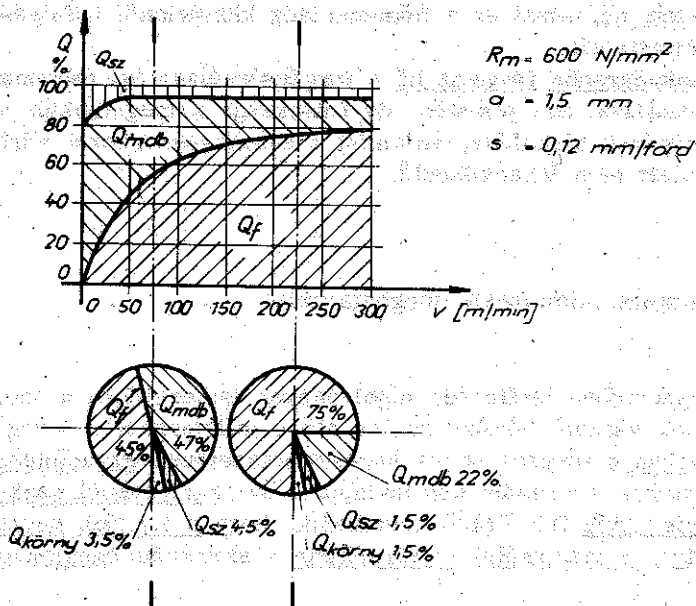
$$a = 1,5 \text{ mm}; \quad s = 0,12 \text{ mm/ford}; \quad \text{és} \quad v = 100 \text{ m/min}$$

A táblázatból megállapítható, hogy a forgács közepes hőmérséklete acélok megmunkálása esetén jelentősen nagyobb, mint öntöttvas forgácsolásakor és különösen túlhaladja az alumínium forgács hőmérsékletét. Ez elsősorban a forgácstő plasztikus deformációjának és a szerszám homloklapján fellépő surlódási munkának tulajdonítható. Az öntöttvas-forgács kisebb hőmérséklete a töredezett, elemi forgácsalakkal, és azal is magyarázható, hogy a szerszám homloklapján elenyésző a forgács surlódása. Az alumínium jó hővezető képessége következtében a hő a deformációs zónából intenzív hővezetés útján a munkadarabba jut, ezzel is csökkentve a forgáccsal távozó hő mennyiségét.

A hőeloszlás arányai a munkadarab anyagának függvényében

A munkadarab anyaga	Átl. időegység alatti hőmennyiség (hőteljesítm.) [J/s]	A forgács közepes hőmérséklete [K°]	A hő százalékos megoszlása [%]		
			Forgács	Munkadarab	Szerszám
Acél ($R_m = 600$)	51,34	693	71	26	1,9
Öntöttvas (HB = 200)	41,73	563	42	50	1,5
Aluminium	34,62	413	21	73	2,2

A szerszámmal távozó hő mennyisége sokkal kevesebb, mint a forgácsba, vagy a munkadarabra jutó hő bármilyen anyagot forgácsoljunk is, és akármilyen technológiai adatokkal. Ez a jelenség általában a szerszámanyag rossz hővezetőképességével és a szerszám meglehetősen korlátozott geometriai méreteivel magyarázható. Ha növekszik a forgácsolási sebesség, erősen megváltoznak a hőeloszlási arányok is.



6.3. ábra

A hőeloszlási arányok megváltozása a forgácsolási sebesség növelésekor

A 6.3. ábra a hőeloszlási arányok megváltozását mutatja a forgácsolási sebesség függvényében. Ebből az is megállapítható, hogy nemcsak a szerszámba, hanem a munkadarabba távozó hő részaránya is csökkenni fog, miközben a forgácsba jutó hőmennyiség megnövekszik.

A szerszámba távozó hő arányának a forgácsolási sebesség növelésével együtt járó csökkenése feltételezhetően azzal kapcsolatos, hogy a hőátadás sebessége és a forgácslefutási sebesség jelentősen eltérnek egymástól, és mivel a forgács csak igen rövid ideig érintkezik a szerszámmal, nem jut idő a hőátadás lebonyolítására. Például $v = 8 \text{ [m/s]}$ forgácsolási sebesség esetén, ha a forgácsalakváltozási tényező nagysága $\xi = 2$, továbbá a forgács és a szerszám érintkező felületének hossza $u = 3 \cdot 10^{-3} \text{ [m]}$, a szerszám és a forgács érintkezési ideje:

$$t = \frac{u \cdot \xi}{v} = \frac{3 \cdot 2}{10^3 \cdot 8} \approx 0,0007 \text{ [s]}$$

Mivel pedig a szerszám mozgása közben állandóan átvágja a deformációs zónából a munkadarabba irányuló hőáramot, így a hőnek nincs ideje átáramolni a munkadarabba, ezért az koncentrálódik a szerszám előtt összetorlódott anyagrétegben. Ez a magyarázata a munkadarabba távozó hő csökkenésének és a forgácsba összegyűlt hő megnövekedésének.

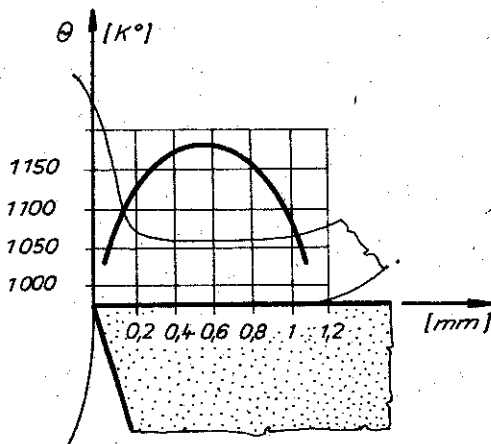
A forgácsolási folyamat szempontjából leglényegesebb a szerszám által elvezetett hő, mivel ez a hőmennyiség közvetlenül befolyásolja a szerszám élettartamát.

A munkadarabba távozott hő a forgácsleválasztási folyamat szempontjából vizsgálva nem jelentős, de fontossága a megmunkált munkadarab pontosságának alakulása, valamint a szemcseszerkezet várható megváltozása miatt nem lebecsülendő.

6.2 A forgácsolási hőmérséklet meghatározása

A forgácsolásban lejátszódó hőjelenségek ismeretében a szerszámél környezetének várható hőeloszlása előre jellemezhető. Amíg a deformációs zónában a forgács teljes keresztmetszetében egyenletesen melegszik fel, addig a szerszám homloklapja előtti surlódásból csak a forgács belső felülete hevül fel. Ebből következik, hogy a forgács egyenlőtlenül melegedik fel, s maximális hőmérséklete a szerszám homloklapján várható.

A forgácsoló minden más helyére innen hővezetéssel adódik át a hő. Ha valamilyen módszerrel megmérjük a szerszám és a forgács érintke-



C40

$R_m = 600 \text{ N/mm}^2$

$v = 115 \text{ m/min}$

$a = 1,5 \text{ mm}$

$s = 0,21 \text{ mm/ford}$

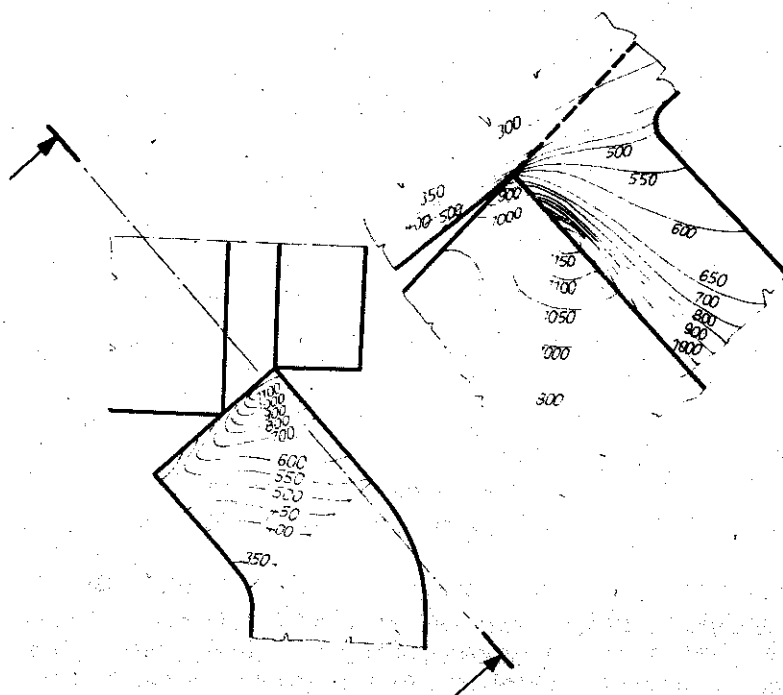
6.4. ábra

A szerszám homloklapjának hőmérséklet-változása

zési felülete mentén elhelyezkedő pontok hőmérsékletét (6.4. ábra), a maximális hőfokot, a kontakt felületnek körülbelül a közepén elhelyezkedő pontban érzékelhetnénk. A forgácsszalag szélei felé a hőmérséklet csökkenni fog. A szerszám hátfelülete és a forgácsolt felület közötti érintkezési zónában is egyenlőtlenül oszlik meg a hőmérséklet. Ezért a forgácsolás hőmérséklete alatt az érintkező felületek közepes hőmérsékletét értjük. A forgácstű és környezetének jellegzetes hőfokeloszlási értékeit a hőmérsékleti mezők izotermáinak feltüntetésével a 6.5. ábra mutatja. A forgácstű, a forgács, vagy a szerszám átlagos hőmérsékletei ennek megfelelően eltérőek lesznek egymástól. Mivel mérés technikailag ezek az adatok külön-külön meghatározhatók, ezért esetenként alkalmazzák a forgácsolási hőfok helyett a folyamat jellemzésére.

A forgácsolási vizsgálatokhoz használható hőmérsékletmérési módszerek közül a szakirodalomban számos eljárásra található utalás. Leggyakrabban a következő módszereket alkalmazzák:

- kaloriméteres;
- mesterséges hőelemes módszer termoelem felhasználásával;
- félmesterséges hőelemes módszer, ahol a termoelem egyik szárát a szerszám anyaga képezi;
- természetes hőelemes mérési módszer, az ugynevezett "egykéses" vagy "kétkéses" eljárásokkal;
- optikai hőfokmérés pirométer felhasználásával;
- metallográfiai hőmérsékletmérés a mikrocsiszolat elemzésével;
- hőjelző festékes ellenőrzés;
- fotodiódás hőfokérzékelés;
- infrakamera alkalmazása un. termóviziós eljárással.

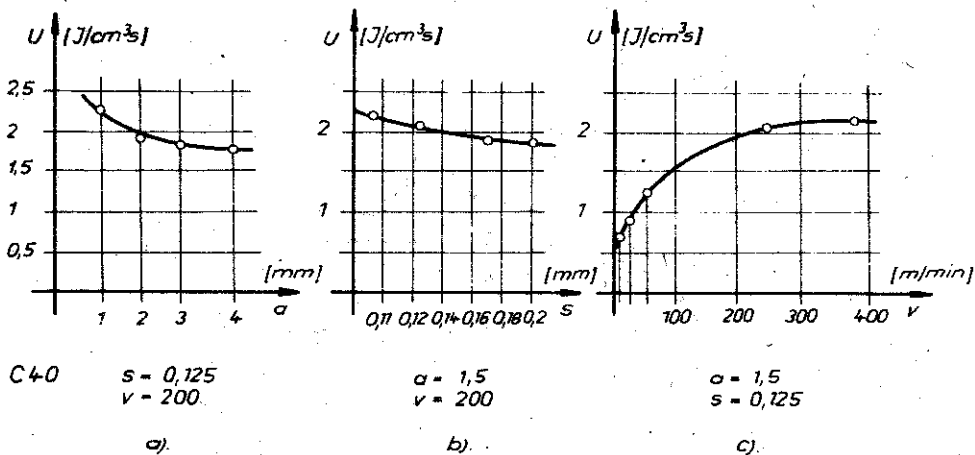


6.5. ábra

A hőmérsékleti mezők elhelyezkedése a szerszám homloklapján, illetve a forgácstőben

A fenti vizsgálati módszerek alkalmasak arra, hogy segítségével következtetéseket lehessen levonni a forgácstőben lejátszódó hőjelenségekre. A gyakorlati számításokhoz a különféle mérési eljárásokkal lefolytatott kísérletek alapján megállapított tapasztalati összefüggéseket használják.

A tapasztalati megfigyelések szerint a forgács hőtartamára a forgácsolási adatok eltérő befolyást gyakorolnak. DANIELJAN kísérleti adatai alapján a forgács 1 cm^3 -ében időegység alatt távozó hőmennyiség a fogásmélység, az előtolás és a forgácsolási sebesség függvényében, a 6.6. ábrán bemutatott jelleggel változik. Az adatok azt bizonyítják, hogy a fogásban lévő élvonalhossz növekedésével a forgácsba jutó fajlagos hőmennyiség csökken, a közepes forgácsvastagság növelésével a hőáram nem változik meg jelentősen, míg a forgácsolási sebesség növelésével a forgácsba jutó fajlagos hőmennyiség is megnövekszik. Ebből az is következik, hogy a forgácskeresztmetszetet meghatározó méretek növekedésekor a forgács közepes hőmérséklete nem változik meg lényegesen. Ugyanakkor a forgácsolási sebesség növelése következtében a forgács közepes hőmérséklete kezdetben intenzíven megnövekszik, majd egy bizonyos nagyságu forgácsolási sebesség elérése után a forgács hőfokának



6.6. ábra

Az 1 m^3 forgácsban távozó hőmennyiség változása a forgácsolási adatok függvényében

növekedése lelassul, és ennek változása már kevésbé függ a forgácsolósebesség további növelésétől.

Kísérleti úton az is kimutatható, hogy a forgácsolási tényezők növelésével a forgácsolási hőfok is nő, s a mérések alapján az alábbi tapasztalati hőfokegyenlet fogalmazható meg:

$$\Theta = C'_{\Theta} \cdot v^{z_{\Theta}} \cdot h^{x_{\Theta}} \cdot b^{y_{\Theta}} + 273 \quad [K^{\circ}]$$

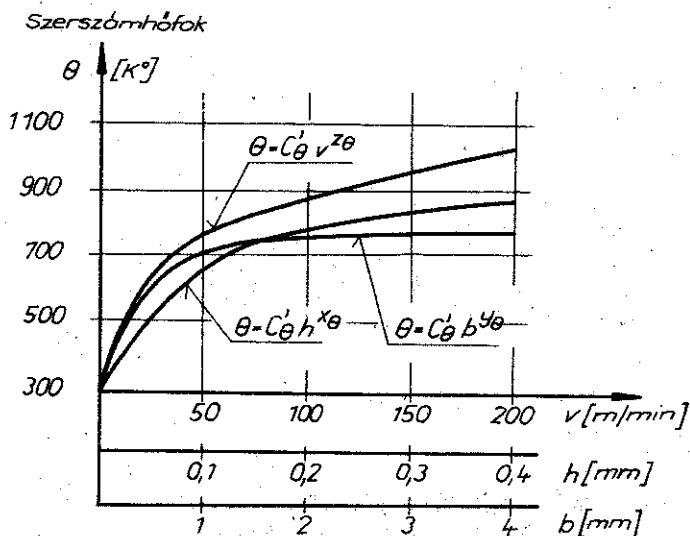
ahol C'_{Θ} - a munkadarab és a szerszám anyagától függő nagyságu ún. hőfokállandó

z_{Θ} ; x_{Θ} és y_{Θ} - a forgácsolási tényezőknek a forgácsolási hő nagyságára gyakorolt befolyásoló hatásuk intenzitását kifejező hatványfüggvény kitevői.

Általános megfigyelés, hogy a szerkezeti anyagok megmunkálása-kor a forgácsolási hőfokra a legnagyobb hatást a forgácsolási sebesség fejt ki, majd ezt követi a forgácsvastagság (előtolás) és végül a forgácsszélesség (fogásmélység). (Lásd 6.7. ábra!) Ennek megfelelően:

$$z_{\Theta} > x_{\Theta} > y_{\Theta}$$

Meg kell jegyezni, hogy a kitevők számszerű értékei gyorsacél, illetve keményfém szerszámanyagok felhasználásakor eltérő nagyságúak, amit elsősorban a szokásos forgácsolási adat-tartományban jelentkező eltérő meredekségű jelleggörbe alakulásával lehet magyarázni. Tájékoztató jelleggel, acélok forgácsolásakor gyorsacél szerszámhoz igaz, hogy



A forgácsolási adatok hatása a szerszám hőfokára

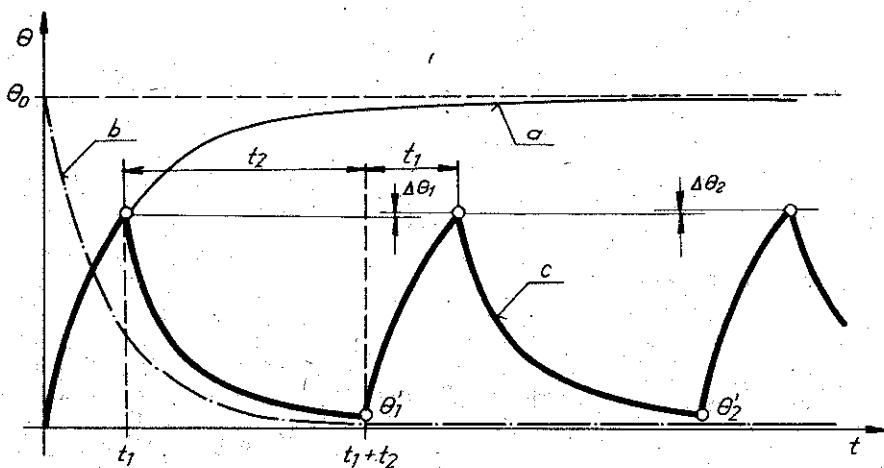
$z_{\Theta} = 0,4$; $x_{\Theta} = 0,24$; $y_{\Theta} = 0,1$; ugyanakkor keménység szerszámot használva $z_{\Theta} = 0,23$; $x_{\Theta} = 0,14$; $y_{\Theta} = 0,04$.

A forgácsolási adatoknak a forgácsolószerszám hőfokára gyakorolt ilyen jellegű befolyása a forgácsoló hőfolyamatainak elemzésével belátható. A fogásban lévő élvonalhossz növelésével megjavul a szerszámba irányuló hőátadás. A forgácsvastagság növelésekor pedig megnövekszik a forgács nyomása a szerszámon és nagyobb lesz a szerszám homloklapján a forgács surlódó felülete is. Emiatt a közepes forgácsvastagság növekedése jelentősebb mértékben hat a forgácsolási hőmérsékletre, mint a forgácsszélesség változása.

A forgácsolási hőfok nagyságára természetesen hatással van a szerszám kiképzése is. Mivel a homlokszög növelésével csökken a forgácsleválasztáshoz szükséges forgácsolási energia, ezzel együtt csökken a fejlődő hő mennyisége is. Azonban kisebb lesz a szerszám ékszöge, ami a hővezetést lerontja. E két, ellentétes hatásból általában a hőforrás energiájának esése dominál, ezért a homlokszög növelése a forgácsolási hőfok egyértelmű csökkenésével jár együtt. A szerszám főélelhelyezési szögének hatása is e tényezőkön keresztül érvényesül, de a végeredmény fordított: a főélelhelyezési szög növelésével a fogásban lévő élvonalhossz rövidülése, s ezáltal a hőátadás gyengülése miatt, nő a forgácsolási hőfok.

Ismeretes, hogy a forgácsleválasztás megkezdésekor a szerszám homlokfelülete csak egy idő eltelte után éri el azt a hőmérsékleti állapotot, amelyet leggyakrabban egyetlen hőmérséklettel szokás jellemezni.

Ezt a ϑ_0 hőmérsékletet a forgácsolósebesség függvényében a $\vartheta_0 = C \cdot v^z$ empirikus összefüggéssel lehet meghatározni. A forgácsolás kezdeti szakaszában a hőmérséklet tranziens jellegét a 6.8. ábra a) jelű felszálló-ági görbéje szemlélteti. Folyamatos forgácsleválasztásnál ezt a jelenséget általában figyelmen kívül hagyhatjuk, szakaszos megmunkálásnál azonban, s ilyen a legtöbb tényleges forgácsolási eset, a tranziens jelleg a folyamat lényegéhez tartozik. A melegedési szakaszokat lehűlések követik (6.8/c ábra).



6.8. ábra

A forgácsolószerszám felületi hőmérsékletének változása az idő függvényében szakaszos forgácsleválasztás esetén

A 6.8. ábra b) jelű görbéje szemlélteti a lehűléskor a hőmérséklet változását. A t_1 időtartamu forgácsleválasztást általában t_2 idejű lehűlés követi, de ekkor már nem kerül vissza a szerszám az eredeti hőmérsékleti állapotába, minek következtében a $\vartheta_1, \vartheta_2 \dots$ hőmérsékleti csúcok egyre nagyobbak lesznek. A tapasztalat szerint ennek korlátja van, s egy idő után a hőmérséklet-maximumok gyakorlatilag állandósulnak.

Közelítsük a hőmérséklet időbeli változását melegedéskor a

$$\vartheta = \vartheta_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

lehűléskor pedig a

$$\vartheta = \vartheta_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau'}\right)$$

empirikus függvényekkel. Ahol a Θ_0 , τ és τ' értékei mérésekkel meghatározhatók. Az első forgácsolási szakasz végén a hőmérséklet:

$$\Theta_1 = \Theta_0 \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{t_1}\right)$$

a hűlés után pedig újabb t_2 idő elteltével

$$\Theta_1' = \Theta_1 \cdot \exp\left(-\frac{t_2}{\tau'}\right)$$

A második forgácsolási szakasz végén így a hőmérséklet, ha feltehezzük, hogy azonos időtartamu forgácsleválasztást végzünk ismételten is:

$$\Theta_2 \approx \Theta_1 + \Theta_1' = \Theta_1 \left[1 + \exp\left(-\frac{t_2}{\tau'}\right)\right]$$

Az n -edik felmelegedés után:

$$\Theta_n = \Theta_{n-1} \cdot \left[1 + \exp\left(-\frac{t_2}{\tau'}\right)\right] = \Theta_1 \cdot \frac{\exp\left(-\frac{t_2}{\tau'} \cdot n\right) - 1}{\exp\left(-\frac{t_2}{\tau'}\right) - 1}$$

A Θ_n határértéke pedig, ha $n \rightarrow \infty$

$$\Theta = \lim \Theta_n = \Theta_1 \cdot \frac{1}{1 - \exp\left(-\frac{t_2}{\tau'}\right)} = \Theta_0 \cdot \frac{\exp\left(-\frac{\tau}{t_1}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{t_2}{\tau'}\right)}$$

Abból a tényből, hogy ez az exponenciális összefüggéseket tartalmazó empirikus hőmérséklet-függvény kielégítően leírja a valóságos hőmérsékleti viszonyokat, fontos gyakorlati következtetések adódnak.

A szerszámfejlesztés szempontjából lényeges az, hogy a forgácsolósebesség növelésével minden határon túl már nem nő a hőmérséklet. Így a szerszámanyagok szívósságát és nem hőszilárdságát kell elsősorban növelnünk, hogy a sebesség fokozásához alkalmas szerszámanyagot kapjunk.

A forgácsolási hőmérséklet hatásosan csökkenthető hűtőfolyadék felhasználásával. A hűtőközeg hozzávezetésének nemcsak az a jelentősé-

ge, hogy hőelvonással csökkenti a szerszámél hőfokát, hanem az adott hűtőközegetől függően bizonyos kenőhatást is kifejt, amely csökkenti a surlódást a szerszám és a forgács, illetve a szerszám és a munkadarab között. Az adott forgácsolási esetre legmegfelelőbb hűtőközeg kiválasztását és az adagolt folyadék mennyiségét kísérletileg célszerű meghatározni.

A fejezethez felhasznált irodalom

1. Dr. BALI János: Forgácsolás (előadási segédlet) BME. Gépgyártás-technológiai Tanszék, Kézirat, 1978.
2. BOBROV, V.F.: Osznovü teorii rezanyija metallov. Masinosztroenyije, Moszkva, 1975.
3. DANIELJAN, A.M.: Teplovoj balansz pri rezanyii metallov Konferencia: Peredovaja tehnolgija masinosztroenyija, Moszkva, Izd. AN. CCCP. 1955. s.: 407-426.
4. FILONENKO, Sz.N.: Rezanyije metallov. Izdatelsztvo Technika, Kiev, 1975.
5. Dr. GRIBOVSZKI László: Gépipari megmunkálások. Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
6. Dr. PÁLMAY Zoltán: A homlokmarás forgácsteljesítményének növe-
lése a szerszám hőigénybevételi sajátosságainak figyelembevételével.
Szerszámgépek Fejlesztése Konferencia, Budapest, 1977. s.: 231-236.
7. REZNYIKOV, A.N.: Teplofizika rezanyija. Masinosztroenyije.
Moszkva, 1969. s.: 287.

7. A forgácsolószerszámok éltartama

7.1 A forgácsolószerszámok kopása

A szerszám éle forgácsolás közben kopik, ezért forgácsolóképesége csökken. A kopás mértékét befolyásolja a megmunkálandó anyag, szerszámanyag és a forgácsolás körülményei. A forgácsoló szerszámot, amikor munkakörülményei a kopás következtében nagymértékben leromlottak, újra kell élezni. A forgácsolás gazdaságossága érdekében szükséges vizsgálni, hogy a két élezés között a szerszám mennyi időt töltött el forgácsolásban. Azt az időt, amelyet a szerszám két élezés közötti forgácsolással tölt el, éltartamnak nevezünk, és T-vel jelöljük. Az éltartamidőt mindig percekben fejezzük ki, de szokás jellemezni az éltartamot még pl.: az adott idő-tartomány alatt legyártott munkadarabok számával, vagy az elkészített furatok hosszával, a leválasztott anyag-mennyiséggel stb.

Megmunkálás közben a szerszám eléletlenedését több tényező jelzi, így pl. a forgácsoláshoz szükséges teljesítmény, az előtolásirányu és fogásvételirányu forgácsolóerő megnő, romlik a megmunkált munkadarab felülete, emelkedik a szerszámél hőmérséklete stb. A forgácsoló szerszámot gazdasági szempontból csak olyan mértékig szabad használni, melynél az élezéskor leválasztandó anyagmennyiség még optimálisnak mondható. Ezért lehetőleg kerülni kell a szerszám eléletlenedés következtében leégjen vagy kicsorbuljon. A szerszám eléletlenedhet csorbulás, törés vagy leégés következtében, amely gondatlan kezelésből adódik.

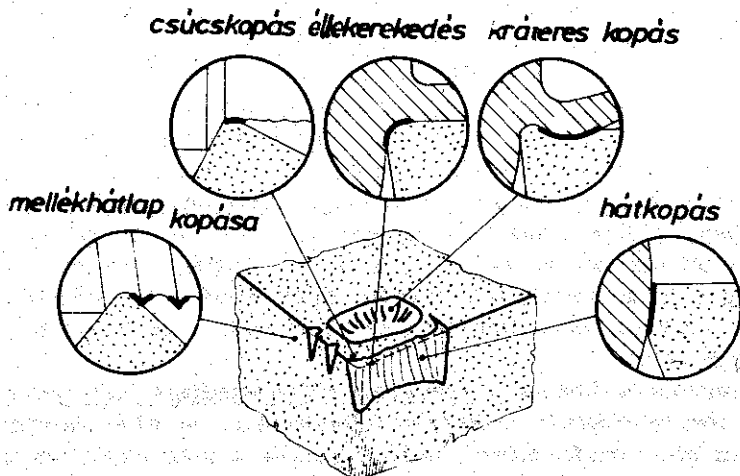
Ez rendellenes tönkremenésnek nevezhető, amellyel számolni tudunk. Forgácsolás szempontjából a szerszáméltartamot az eróziós kopás szabja meg, melynek jellege és lefolyása döntő fontosságú az éltartam szempontjából.

A forgácsoló szerszámok kopását és annak lefolyását nem lehet azonosítani a gépelemknél ismert kopásokkal. Ennek oka, hogy a forgácsoló szerszámok nagy hőmérsékleten, nagy felületi nyomással érintkeznek a munkadarabbal. A kopás mértékét kenőanyag felhasználásával sem tudjuk olyan mértékben csökkenteni, mint a gépelemknél, s ebben jelentős szerepet játszik az a tény, hogy a surlódó felületek csak egyszer és nem ismétlődően érintkeznek egymással.

A kopást a szerszám dolgozó részének több helyén, az adott helyre jellemző kopási nyom geometriai alakjának megfelelően mérhetjük. A kopásformák leggyakoribb típusai a következők:

- hátfelületi vagy hátkopás,
- homlokfelületi vagy homlokkopás,
- kráteres kopás,
- éllekerekedés,
- csucskopás,
- a mellékhátlap kopása.

A kopások nem önállóan, külön-külön lépnek fel, hanem rendszerint egyidejűleg és összevontan jelentkeznek a megmunkálandó anyagtól, a megmunkáló szerszám anyagától, valamint a forgácsolási adatoktól függő intenzitással (7.1. ábra).



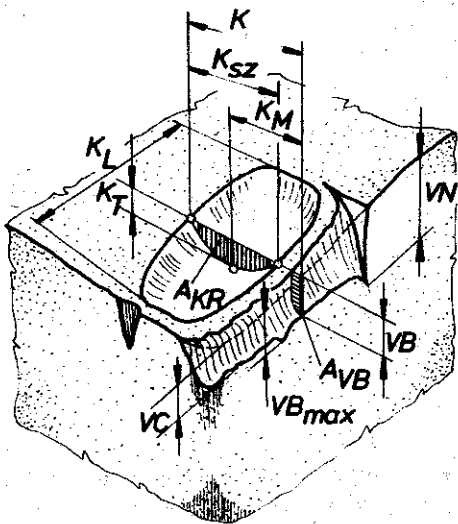
7.1. ábra

A forgácsolószerszámok főbb kopástípusai

A forgácsolószerszámok kopásfajtaival és azok mérésével kapcsolatos alapfogalmakat az MSz 3904. foglalja össze.

Hátkopásnál a szerszám főélének hátlapján egy (VB) szélességű szalagalakú kopásnyom képződik. Ez a szalag megközelítően követi a forgácsolt felület alakjának lenyomatát. A hátkopás szélessége a főél mentén közel egyenletes, de a csucsánál (VC) és a fogásban lévő élvonalhossz ellenkező szélén (VN) esetenként erősen megnövekedhet (7.2. ábra).

A szélkopás (VN), a hátkopás azon különleges típusa, amelyet a főforgácsolóél és a munkadarab megmunkálandó felületének metszési helyén lehet észlelni. A hátkopás alakja és a szélkopás bemetszett hornyának mérete attól függ, mennyire változatlan a fogásmélység a vizsgált időszak alatt. Elsősorban hátkopás keletkezik rideg anyagok megmunkálásakor, amikor is az elemi, töredezett forgácsok elcsuszása a



7.2. ábra

A jellegzetes kopástípusok mérőszámai

él és a kráter között ugyanis egy ép felületszakasz marad, amely a kráter szélesedésével fokozatosan csökken. Ezen a szakaszon a képződő élrátét védi a szerszám homloklétfületét. A kopásnyom jellegzetes méretei: a krátermélység (KT); a kráter középtávolsága (KM) - amelyek a legmélyebb kráterpont főéltől való távolságát és az eredeti homloklaphoz viszonyított helyzetét jelölik -, továbbá a kráterszélesség (KB), amely az eredeti főforgácsolóél és a kráter hátsó pereme közötti távolság. Kiégészképpen számolni szokás még a kráterteknő szélességével (KSz) is. (Lásd: 7.2. ábra!)

A képződő kopás típusát, illetve az egyes kopástípusok arányát az összkopásban mindenképp előtti a kontakt-anyagpár tulajdonságai és a forgácsolási adatok határozzák meg. Képlékeny anyagok forgácsolásánál mindkét kopástípus közel azonos mértékben fordul elő, míg rideg anyagok esetében a már ismert tények alapján a hátkopás a gyakoribb. Vékony forgács ($h \leq 0,1$) leválasztásánál és kis forgácsolási sebességek esetén elsősorban a hátfelület kopik, hiszen az adott feltételek mellett a homloklétfület terhelése minimális. A forgácsvastagság és a forgácsolási sebesség növelésével a hátkopáson kívül megjelenik a kráteres kopás is, s minél vastagabb a forgács, és minél nagyobb a forgácsolási sebesség, annál nagyobb mértékű a homloklétfület roncsolódása.

A hátkopás hatására megváltozik a szerszámmel csucsközeli része is. A szerszámcsucs megváltoztatja alakját és helyzetét. A csucskopás rendszerint akkor következik be, ha az adott megmunkálási feltételeknél a lekerekítési sugár kicsi. Ez a csucskopás a beállított szerszámon a

homloklapon lényegesen könnyebb feltételek mellett megy végbe, mint szívós anyagok esetén.

A lefutó forgács a homloklapon jellegzetes kopásnyomot un. krátert alakít ki. Ennek a teknőalaku kopásnyomnak a forgácsolóélhez viszonyított helyzete a szerszám forgácsleválasztási munkájának megbízhatósága szempontjából különös jelentőséggel bír. A mély, széles kráter a forgácsolóéltől távol kevésbé veszélyes a szerszám éltartóssága szempontjából, mint a keskeny kráter közel a forgácsolóélhez. A kráterteknő közel párhuzamosan helyezkedik el a főforgácsoló éllel és hossza is majdnem megegyezik a fogásban lévő élvonalhosszal. Az

kész munkadarab méretváltozását idézheti elő, ezért ezt a tengelysíkban mérhető szerszámkopást méretes kopásnak is szokás nevezni.

Esztergáláskor a megmunkált felületet főleg a szerszámcsucsból kiinduló fő- és mellékforgácsolóél alakítja ki. Ez azt jelenti, hogy a hátkopás okozta bármely csucsváltozás hatással van a megmunkált felületre.

Simitó esztergáláskor, ha kicsi az előtolás, egy vagy több kopási horony vehető észre a mellékhátlapon. A kopási hornyok növelik a megmunkált felület érdességét. A mellékforgácsolóél hátlapjának ez az oxidációs kopása, ha keményfémmeel végzünk nagy sebességű és viszonylag nagy előtolású forgácsolást, s így a forgácsolási hőmérséklet is magas lesz, gyakran vezet a szerszám tönkremeneteléhez. Legtöbbször a kráterteknő szakad át a keresztél irányában, s ezáltal összeroppan a forgácsolóél.

Főleg a vékony réteget leválasztó forgácsoló megmunkálási eljárásoknál játszik döntő szerepet a szerszámél lekerekedési sugarának (r_n) növekedésével járó ún. élkopás. Az élkopás főleg szálas anyagok és műanyagok forgácsolásakor jelentkezik, de számítani kell bekövetkezésére üregeléskor, maráskor, dörzsárazáskor is.

A kopás mértéke lineáris, vagy térfogatos kopási mérőszámokkal jellemezhető. A lineáris kopási mérőszámokat, mivel ezek mérése egyszerűbb és üzemi körülmények között is könnyen megvalósítható, a gyakorlatban előnyben részesítik. A kutatási feladatoknál, ahol a kopási folyamat törvényszerűségeit vizsgálják, a térfogatos, vagy volumetrikus kopást alkalmazzák a szerszámél tönkremenetelének jellemzésére.

A hátkopáshoz tartozó térfogati kopás során lekopatott anyagmenyiség azonos egy olyan hasábj térfogatával, amelynek alapja a hátkopás szelvényének keresztmetszete (A_{VB}), magassága pedig közel azonos a fogásban lévő élvonalhosszal (b). A hátszög nagyságának ismeretében ez a volumetrikus hátkopás közelítően meghatározható:

$$V_{VB} = \frac{VB^2}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha'_0 \cdot b \quad (\text{mm}^3)$$

A hátkopásszelvény területe (A_{VB}) pedig közelítőleg:

$$A_{VB} = \frac{VB^2}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha'_0; \quad (\text{mm}^2)$$

A kráteres kopás térfogatának meghatározásakor feltételezzük, hogy a kráterszelvény egy parabolaszélet, amelynek területe:

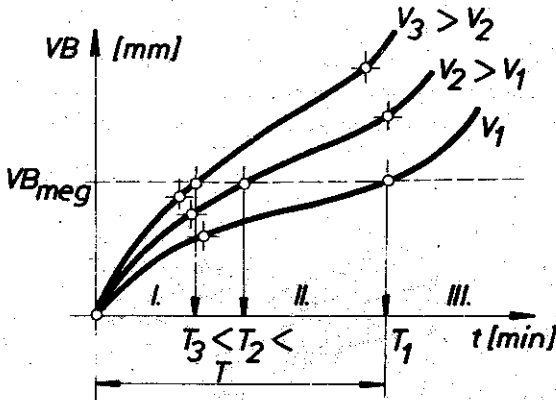
$$V_{KR} = \frac{2}{3} \cdot KT \cdot KSz \quad (\text{mm}^2)$$

így a kráterkopás térfogata a parabolaszélet alapu hasáb térfogatából határozható meg:

$$V_{KR} = \frac{2}{3} \cdot KT \cdot KSz \cdot b \quad (\text{mm}^3).$$

A gyakorlatban, mivel a kopás térfogatban lejátszódó jelenség, a volumetrikus kopás jellemzésére elfogadott a kopástérfogat egységnyi élvonalhosszára eső szelvényének a területét, tehát a hátkopásszelvényt (A_{VB}), illetve a kráterszelvényt (A_{KR}) meghatározni.

A kopások időbeli kialakulását, azok időbeli változását és e változás törvényszerűségeit az ún. kopásgörbék mutatják be (7.3. ábra). Az éltartam-vizsgálatoknál rendszerint a szerszám hátkopásának változását elemzik. Ez azzal magyarázható, hogy a hátkopás mérése még üzemi körülmények között is egyszerűen megvalósítható.



7.3. ábra

A hátkopásgörbe és jellegzetes szakaszai

A kopásgörbe alakja jellemző egy adott munkadarab és szerszám-anyag-pár esetén a szerszám éltartamára. A kopásgörbét jellege alapján három szakaszra lehet bontani. Az első szakasz kezdeti kopás szakasza, amikor az újonnan élezett szerszámról forgácsolás közben lekopnak az élezésből adódó mikroegyenlőtlenségek (bekopás szakasza). Az ábrán megfigyelhető, hogy a kezdeti kopás szakaszában intenzív kopás mérhető.

Az egyenletes kopás szakaszát a már bekopott szerszám további kopása jellemzi, ahol a kopás növekedésének intenzitása lényegesen kisebb mértékű, mint a kezdeti kopás szakaszában. Ebben a szakaszban a forgácsolási időhöz képest viszonylag kis mennyiségű anyag kopik le a szerszámról. A forgácsolás szempontjából kedvező, ha a szakasz

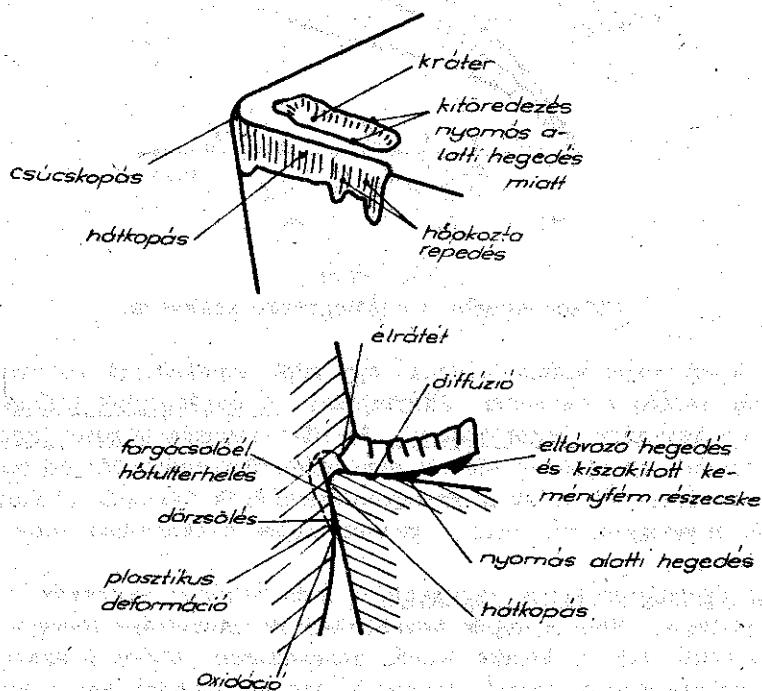
meredeksége kicsi. Az egyenletes kopás szakasza végén megnő a sur-
lódó felület nagysága és ennek következtében a forgácsolási hő.

A megnövekedett igénybevétel hatására a szerszám erősen kopik
és rohamosan bekövetkezik a szerszám teljes eléletlenedése. Ez a tul-
kopás szakaszában történik, ahol kis időváltozáshoz nagy kopásnöveke-
dés tartozik.

A kopásgörbe alakjából következik, hogy a szerszámot csak addig
szabad használni, amikor még az újraélezéssel kevés anyagot kell eltá-
volítani. Az újraélezést legcélszerűbb az egyenletes kopás szakaszának
végén, illetve a tulkopás szakasz kezdetén végrehajtani. Ehhez a pont-
hoz megengedett hátkopás tartozik, amely időpillanatban a szerszám
éltartama szempontjából a forgácsolást abba kell hagyni; az ehhez a
ponthoz tartozó időt nevezzük éltartamnak (T).

A kopásgörbe eltérő meredekségű szakaszai tulajdonképpen a ko-
pássebesség változását jelzik. A kopás intenzitásának szakaszonként el-
térő jellege a kopási folyamat fizikai tartalmának a körülményektől füg-
gő megváltozásával hozható kapcsolatba.

A forgácsolószerszámok kopásfolyamatának rendkívüli bonyolultsá-
ga miatt a szerszámkopás mechanizmusa még ez ideig sem tisztázott
teljesen, s csupán néhány hipotézis ad helytálló magyarázatot a kopások



7.4. ábra

A keményfém szerszámokon fellépő kopásjelenségek és azok okai