

fizikai természetére vonatkozóan. Ezek szerint a szerszámkopás főbb okai az alábbi kopási módokra vezethetők vissza (7.4. ábra):

- a munkadarab és a forgács koptató hatása a szerszámon az un. abraziv kopást idézi elő;
- a munkadarab és a szerszám, illetve a forgács és a szerszám érintkező felületei közötti adhéziós kölcsönhatás az un. adhéziós kopást eredményezik.
- a szerszámanyag, illetve annak összetevői termodiffúziós oldódása a kontakt felületeken az un. diffúziós kopásban jut kifejezésre;
- az érintkező felületeken lejátszódó kémiai jelenségek az un. oxidációs kopásban nyilvánulnak meg.

A munkadarabban és a forgácsban lévő kemény zárványok és fémkarbid szemcsék állandó karcolásnak teszik ki a szerszám felületét. Az abraziv kopás intenzitása a megmunkálendő munkadarabban található kemény részecskék arányának növekedésével fokozódik. Ilyen részecskék az acélban a cementit, és egyéb karbidok, az öntöttvasban a cementit, és a foszfidok, az alumíniumban a szilíciumkarbid. Az abraziv kopás annál erősebben érvényesül, minél kisebb a szerszámanyagnak a munkadarab anyagához viszonyított keménysége. Ezért az abraziv kopás aránya szerszámacél és gyorsacél szerszámoknál jelentősebb, mint az előbbieknél jóval keményebb keményfém szerszámok használatakor. Az abraziv kopás a szerszámék mindkét felületén jelentkezik, de döntően a hátkopást határozza meg. Így a hátkopás az abraziv kopás eredményének tekinthető.

Mivel a forgácsleválasztási folyamatban az érintkező felületek mentén nagymérvű képlékeny alakváltozás megy végbe, a surlódó felületek a nagy nyomás következtében mikroszkópikus méretekben összehegednek. Ezt a folyamatot a hőfok és a kontaktfeszültség egyaránt elősegíti. Az így kialakuló tartós állapotot adhéziónak nevezik. A forgácsleválasztási folyamat lényegéből adódóan az állandóan jelenlévő elmozdulások következtében a kialakuló hegedések minduntalan elroncsolódnak és újak jelennek meg helyettük.

Az e jelenség következtében kialakuló szerszámkárosodást nevezik adhéziós kopásnak. A roncsolódás a munkadarabban megy végbe, mivel annak szilárdsága kisebb. De a gyakran ismétlődő hegedések és elnyiródások a szerszám felületét fárasztják, és mivel a szerszámanyag általában rideg, a ciklikus terhelés hatására abban helyi roncsolódás megy végbe. Ezenkívül a szerszám felületén lehetnek eleve olyan helyek, ahol az adhéziós kötés a korai kifáradás következtében már alacsony ciklusszám esetén is megbomlik. Az adhéziós kopással szemben a szerszámanyagok ellenállása az anyagi tulajdonságokon kívül elsősorban a forgá-

csolási hőmérséklettől, közvetve tehát a forgácsolási sebességtől is függ. Így például az egyébként nagy kopásállóságú keményfém alacsony sebesség mellett nehezebben áll ellen az adhéziós kopásnak, mint a gyorsacél. Nagyobb sebességeknél ez a folyamat megfordul.

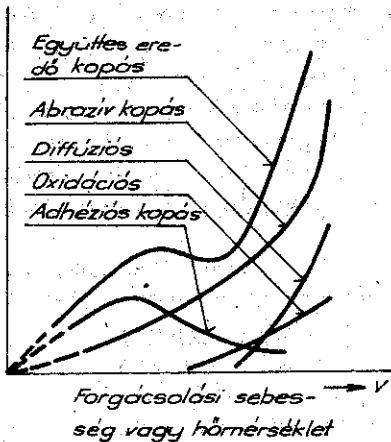
A forgácsoláskor kialakuló diffúzió kölcsönös: a szerszám anyagából a munkadarabra, a munkadarabból pedig a szerszámba diffundálnak alkotóelemek. A keményfémről például szén, volfram, titán és kobalt megy át oldódás útján a munkadarabra. A munkadarabból pedig elsősorban vas diffundál a szerszám felületébe. Ennek következtében a szerszám felületén egy olyan réteg alakul ki, amely összetételét tekintve eltér az eredeti alapanyagtól, nem rendelkezik annak mechanikai tulajdonságaival, és végeredményben a forgács és a forgácsolt felület koptató hatása következtében ez a réteg igen könnyen leválik a szerszám felületéről. A forgácsoláskor lejátszódó diffúziós kopás sajátossága, hogy a kölcsönös mozgás következtében a szerszám állandóan új és új forgács, illetve munkadarab felülettel érintkezik, aminek következtében a diffúzió sebessége állandó lesz, és az idővel nem csökken úgy, mint azt a nyugalomban lévő felületeken végbemenő diffúziónál tapasztaljuk.

A diffúziós folyamat intenzitása csökkenthető, ha a szerszám és a munkadarab anyagát megfelelően párosítjuk, azaz, ha olyan szerszám anyagot választunk, amely az adott munkadarab anyagához képest kémiai alacsony affinitást mutat. Példának említhető a gyémánt, amely a vasalapú anyagokhoz viszonyítva jelentős affinitást mutat, ezért a várható nagy diffúziós sebesség elkerülésére a gyémánt igen jelentős keménysége ellenére sem javasolható acél forgácsolásához.

A forgácsolásra jellemző magas hőmérsékleten a szerszám anyaga a levegő oxigénjének hatására erősen oxidálódik. Ez a kopás elsősorban a forgácsoló széléin a szerszám és a munkadarab szabad levegőjével érintkező felületein alakul ki. Különösen könnyen oxidálódik a kobalt, Co_3O_4 és CoO oxidokat képezve. Ugyancsak oxidációra hajlamos a wolfram és a titán is (WO_3 és TiO_2). Ezeknek az oxidoknak a keménysége lényegesen kisebb, mint az alapanyagé. Az oxidáció következtében a szerszámok felületén a mechanikai kopás is meggyorsul.

Az egyes kopási módok intenzitása a forgácsolási sebesség

Kopásintenzitás



7.5. ábra

A szerszám kopási módjainak összefüggése a forgácsolási hőmérséklettel

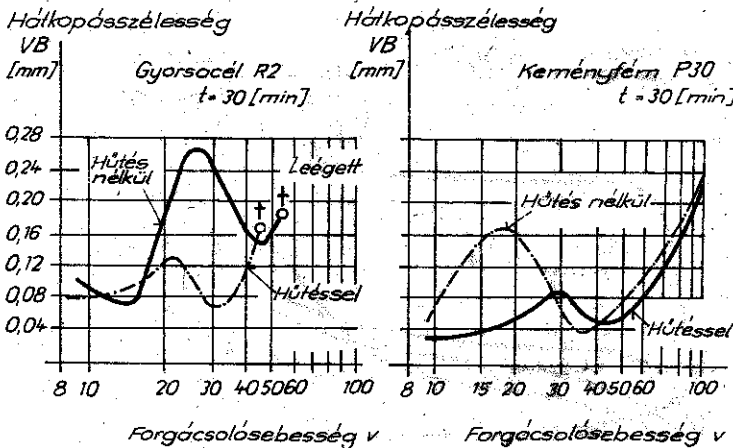
függvényében változó (7.5. ábra), és ez a jelenség szoros kapcsolatban van a forgácsolási hőmérséklettel is. Kis forgácsolási sebességek esetén az abrazív és az adhéziós kopások érvényesülnek csak, míg a forgácsolási sebesség növekedése, azaz a forgácsolási hőmérséklet emelkedése az oxidációs és a diffúziós kopások kifejlődését teszi lehetővé. Ugyanakkor az adhéziós kopás intenzitása a nagyobb forgácsolási sebességek tartományában jelentősen csökken, és hatása az eredő kopásra a többi kopási mód mellett elenyészővé válik.

Rögzített forgácsolási adatokkal azonos hosszúságu időtartamig végezve a forgácsolást, az időperiódus végén mérhető hátkopás szélessége jelentős eltérést mutat annak függvényében, hogy mekkora forgácsolási sebességgel végeztük el a kísérletet (7.6. ábra). Különböző forgácsolási sebességeket beállítva, de minden esetben egyfolytában $t = 30$ min időtartamig forgácsolva gyorsacél, illetve keményfém szerszámokat használva, a periódus végén mérhető hátkopások kezdetben növekednek, majd az adhéziós elnyiródások csökkenésével kisebb értéket mutatnak,

Munkadarab: C60
 Forgácsolási keresztmetszet: $a_s = 2,025$ [mm²]
 Hűtő-kenő folyadék: olajos emulzió 1:40

Élgeometria:

α	γ	λ	ϵ	κ	r
8°	10°	-4°	90°	60°	1



7.6. ábra

A hűtő-kenő folyadék hatása a szerszámkopásra

később az oxidációs, ill. a diffúziós kopások megjelenésével újra rohamos növekedést tapasztalhatunk. A kopási nyomoknak a különböző sebességintervallumokon belüli eltérő nagysága jól mutatja a kopási folyamat fizikai tartalmának a forgácsolási sebességgel illetve a forgácsolási hőmérséklettel összefüggő megváltozását. A jelenség lényegét tekintve hűtő-kenő folyadék használatakor is hasonló jelleggel folyik le, s csupán

a kopáscsúcsok helye tolódik el a forgácsolási körülmények megváltozásának megfelelően.

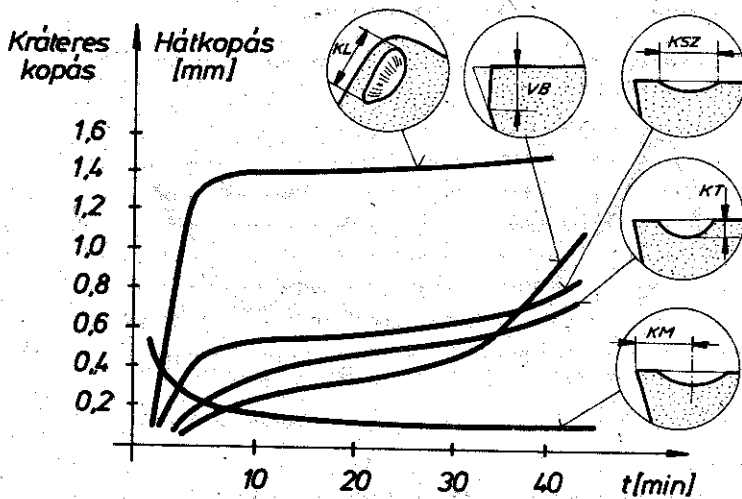
Az eddig bemutatott tények alapján belátható, hogy a szerszámkopás folyamata a forgácsolási körülményeket meghatározó tényezők közül (pl.: a munkadarab anyaga, a szerszám anyaga, a szerszám élgeometriája, a forgácsolási körülmények méretei, hűtés stb.) elsősorban a forgácsolásban eltöltött idő és a választott forgácsolási sebesség függvénye.

7.2 A szerszámkopás és a szerszáméltartam kapcsolata

Már a kopásgörbe alakjából is látható, hogy a forgácsolásban eltöltött idő függvényében a kopás mértéke egy hatványfüggvénnyel közelíthető:

$$\text{Kopás} \approx C_{\text{kopás}} \cdot t^n$$

Természetesen, hogy ez a közelítés számértékét tekintve eltérő adatokkal jellemezhető, ha különböző kopási mérőszámok változását vizsgáljuk, vagy eltérő forgácsolási körülményekre vonatkoztatjuk az adatokat (7.7. ábra).



7.7. ábra

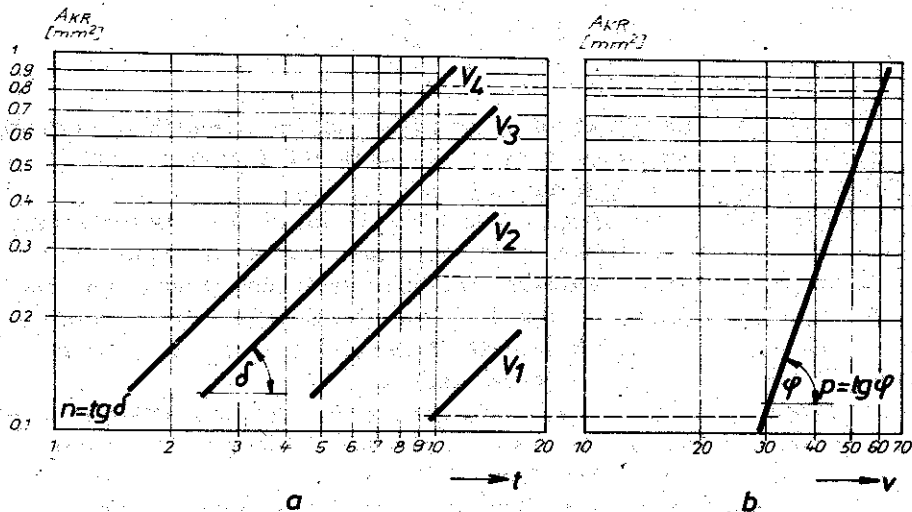
A kopási mérőszámok változása az idő függvényében

DANIELJAN empirikus formulát fogalmazott meg, amely kísérleti adatok alapján feltárja az összefüggést a forgácsolószerszámok kopása és a forgácsolás különböző faktorai között:

$$\text{Kopás} = C_{\text{kopás}} \cdot t^n \cdot v^p \cdot h^q \cdot b^r$$

Az összefüggésben szereplő kitevők és szorzótényezők nagysága a forgácsolási módtól, a munkadarab és a szerszám anyagától függően széles tartományban eltérnek, azonban minden esetben érvényes, hogy $p > q > r$, vagyis a forgácsolási adatok közül a kopás nagyságára elsősorban a forgácsolási sebességnek van befolyása, majd ezt követi a forgácsolóvastagság és a legkevésbé befolyásolja a jelenséget a fogásban lévő élvonalhossz. Ebből az következik, hogy a forgácsolási adatok hatása a szerszám kopására ugyan olyan, mint a forgácsolási hőmérsékletre gyakorolt hatásuk.

Kísérletekkel bizonyított tapasztalati tény, hogy a térfogatos kopási mérőszámokra felírt kopásegyenlet logaritmikus transzformációjával a mérési eredményekre jól illeszkedő egyenes vonalsereget kapunk, amelynek grafikus ábrázolásakor a diagram bármilyen jellegű kopásnál interpolálható és extrapolálható (7.8. ábra).



7.8. ábra

A térfogatos kopási mérőszám idő- és sebesség-függésének ábrázolása

A szerszám homloklapján keletkező kráterszelyény változását a következő kopásegyenlettel közelíthetjük:

$$A_{KR} = C_{KR} \cdot t^n \cdot v^p$$

- ahol A_{KR} - a krátterszelvény területe $[\text{mm}^2]$;
 C_{KR} - kopásállandó, számértékét tekintve azonos a $v = 1 [\text{m}/\text{min}]$ mellett a $t = 1$ percnél mérhető szelvény területével;
 t - a forgácsolás időtartama $[\text{min}]$;
 v - a forgácsolási sebesség $[\text{m}/\text{min}]$;
 n és p - hatványkitevők, amelyek a log-log léptékű diagramból grafikusán meghatározhatók.

Három vagy négy különböző forgácsolósebességgel forgácsolva, több közbenső időpontban megmérve a kopásszelvény jellemző méreteit, a számolt szelvényterületek log-log diagramban ábrázolva adják a kopás-görbét. A pontokat grafikusán egyenessel approximálhatjuk, vagy Gauss-módszerrel számíthatjuk a közelítő egyenes egyenletét. Az ábrából az időkitevő (n) grafikusán meghatározható. A sebességkitevő (p) értékét egy tetszőlegesen választott időabszcisszához tartozó szelvényterületek sebesség függvényében történő, szintén log-log léptékű ábrázolásával határozhatjuk meg, akár grafikusán, akár számítással. A kopásegyenlet állandóját pedig egy tetszőlegesen választott mérési pontnak az egyenletbe való behelyettesítésével állapíthatjuk meg:

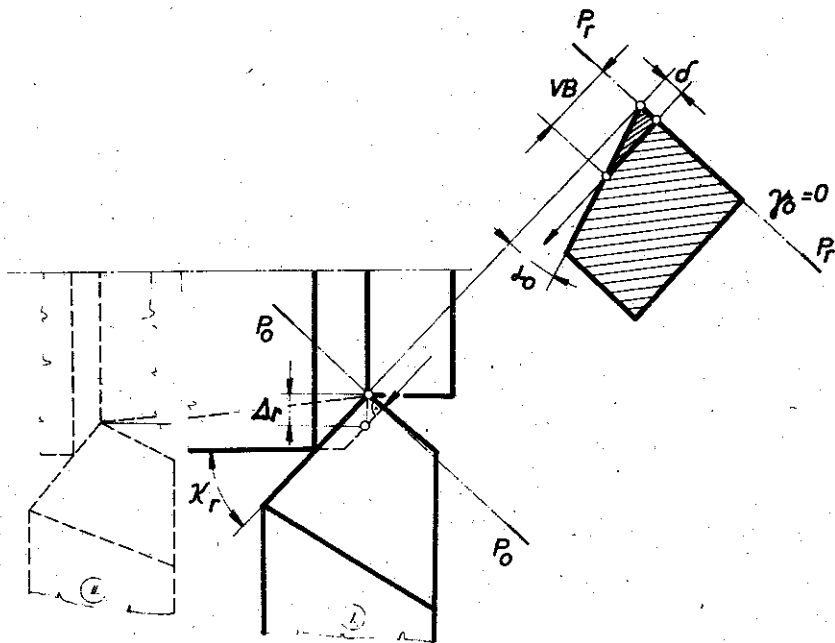
$$C_{KR} = \frac{A_{KRi}}{t_i^n \cdot v_i^p}$$

A kopásegyenletnek ebben a formában történő numerikus meghatározása alkalmas arra, hogy a szerszámkopás mérésén keresztül az éltartamot közvetlen kiszámíthassuk.

A hagyományos éltartam-vizsgálatoknál általában a hátkopás nagyságát mérik, és a nemzetközi szabvány-ajánlások ezt az adatot adják meg a szerszám elhasználódására jellemző értéként. Ennek nem csak az az oka, hogy a hátkopás a kráteres kopásnál egyszerűbben mérhető, hanem, hogy a hátkopás közvetlenebb kapcsolatban van a munkadarab méretváltozásával, mint a kráteres kopás.

Tengely esztergálásakor például, ha (VB) nagyságu hátkopás keletkezik, akkor a szerszám csucsa a munkadarab tengelyétől eltávolodik, ezáltal méretváltozás lép fel (7.9. ábra). A hátkopás és a méretváltozás között, adott feltételek mellett az alábbi összefüggés áll fenn:

$$\Delta r \cong \frac{VB \cdot \text{tg } \alpha_0}{\cos \kappa_r}$$



7.9. ábra

A szerszámkopás és a munkadarab méretváltozása közötti összefüggés

Ez a méretváltozás különösen simító célgépsoron történő megmunkálásnál okozhat jelentős hibát, melynek elkerülésére eleve a megengedhető méretváltozásból kiindulva határozzák meg a megengedhető kopás mértékét.

Egy adott vizsgálati sorozat esetében az éltartamidő végének meghatározásához azt a kopásmódot kell kiválasztani, amely a legerősebben befolyásolja a használhatóságot.

Gyorsacél szerszámok esetében a szokványos éltartam-kritériumok a következők:

- a) a leégés, vagy katasztrófális tönkremenetel, amely alatt a forgácsolóélnek bizonyos idejű sikeres forgácsolás utáni, a forgácsolóerő és a növekvő forgácsolási hőmérséklet következtében előálló gyors tönkremenetelét értjük. A katasztrófális tönkremenetel felhasználható keményfém- és kerámiaszerszámok esetében is éltartam kritériumként, ha a forgácsolási feltételek szigorúak;
- b) a hátkopás közepes szélessége: $VB = 0,3 \text{ mm}$, ha a hátkopás szalagja szabályosnak tekinthető:

- c) a hátkopás maximális szélessége: $VB_{\max} = 0,6 \text{ mm}$, ha a hátkopás szabálytalan, repedezett, kitérdezett, vagy ha a felület a forgácsolólél alatti hátkopászónában erősen hornyolt.

Keményfém szerszámok vizsgálatához leginkább a következő éltartamkritériumok használatosak:

- a) a hátkopás közepes szélessége: $VB = 0,3 \text{ mm}$, ha a hátkopás szabályosnak tekinthető,
- b) a hátkopás maximális szélessége: $VB_{\max} = 0,6 \text{ mm}$, ha a hátkopás a fogásban lévő élvonalhossz közepes szakaszán szabálytalan,
- c) a krátermélység következő, képlettel számítható mérete az előtolástól függő értékben:

$$KT = 0,06 + 0,3 \cdot s \quad [\text{mm}]$$

- d) a krátterszelvény területének kritikus nagysága:

$$A_{\text{krít}} = 0,2 \dots 0,25 \quad [\text{mm}^2]$$

Kerámiaszerszámok vizsgálatához általában a következő éltartamkritériumok használatosak:

- a) a hátkopás közepes szélessége: $VB = 0,3 \text{ mm}$, ha a hátkopás szabályos,
- b) a hátkopás maximális szélessége: $VB_{\max} = 0,6 \text{ mm}$ ha a hátkopás szabálytalan.

Egy szerszámsorozattól egy-egy szerszám a vizsgálat során eltörhet, kicsorbulhat, a szerszám csucsa deformálódhat, vagy más, előre nem látható módon hibássá válhat. Azon méréseket, amelyeknél időelőtti tönkremenetel fordult elő, a kiértékelésből ki kell zárni, kivéve azokat a különleges eseteket, amikor az időelőtti tönkremenetel gyakoribb, mint az előre várható szabályos kopás-folyamat.

A forgácsolóélek kicsorbulása és kitérdezése a tapasztalatok szerint a rideg (keményfém, kerámia) forgácsoló lapkák rögzítési módjából származó feszültségekkel, az élezésnél adódó maradé feszültségekkel, valamint a szerszám működő élszögeivel és a forgácsolás technológiai paramétereivel hozhatók kapcsolatba. Különösen az egyenlőtlen ráhagyás, és a geometriailag megszakított felületek forgácsolásakor kell számítanunk a forgácsolóélek túlterhelődéséből és a forgácsolóék anyagának kifáradásából származó ún. szilárdsági kopások előfordulásával.

A forgácsolószerszámok szabályos tönkremeneteléről tehát a kopásegylet segítségével kaphatunk megbízható képet. Az éltartam-vizsgálat lényegében teljesértékű felvilágosítást adhat a szerszám éltartamáról.

Ha a kopásegyletet átrendezzük a következő alakra

$$v = \left[\frac{A_{KR}}{C_{KR}} \right]^{(\frac{1}{p})} \cdot \frac{1}{t^{(\frac{n}{p})}}$$

és a szerszám eléltelenedését jelző kopáskritériumot helyettesítjük a kopási mérőszám helyére, akkor közvetlen összefüggést kaphatunk a szerszám forgácsolásban eltöltött ideje - az éltartama - és az eléltelenedésre legnagyobb befolyást gyakorló forgácsolási sebesség között:

$$v = \left[\frac{A_{KRIT}}{C_{KR}} \right]^{(\frac{1}{p})} \cdot \frac{1}{T^{(\frac{n}{p})}}$$

Ha bevezetjük az alábbi jelöléseket:

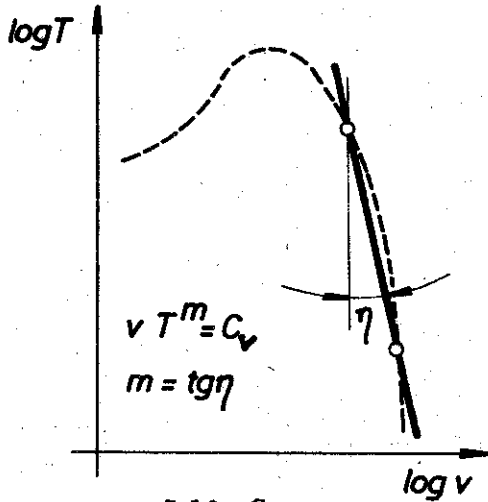
$$C_V = \left[\frac{A_{KRIT}}{C_{KR}} \right]^{(\frac{1}{p})} ; \text{ ill.}$$

$$\frac{n}{p} = m$$

akkor az ún. TAYLOR-egyenletet kapjuk:

$$v = \frac{C_V}{T^m}$$

azaz az éltartam és a forgácsolósebesség között hiperbolikus jellegű kapcsolat tárható fel. A Taylor-egyenlet szigorúan véve csak egy szűk sebességtartományban közelíti helyesen a szerszáméltartam-forgácsolósebesség közötti kapcsolatot. Ez az egyenlet az éltartamgörbe általános alakját logaritmikus léptékű koordináta-rendszerben ábrázolva egyenes-sel, azaz annak egy hurjával közelíti (7.10. ábra).

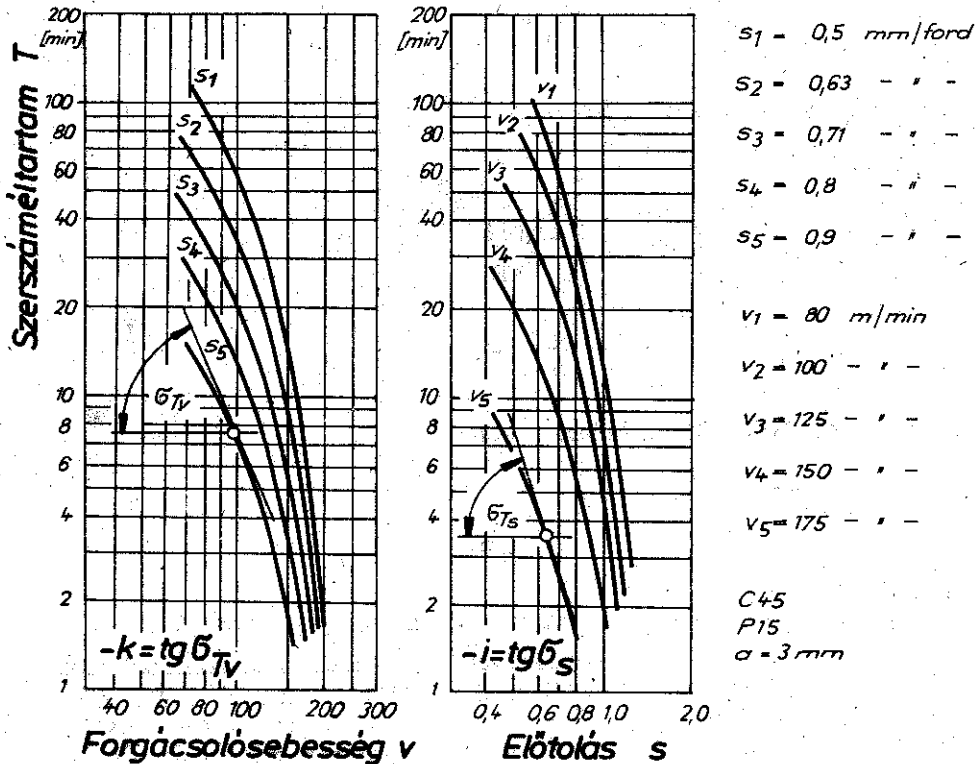


7.10. ábra

Az élettartamgörbe általános alakja

A Taylor-egyenlet gyakorlati alkalmazhatóságát mégis az a tény támasztja alá, hogy a használatos szerszámnyagokkal csak egy jól körülhatárolt, szűk sebességtartományban forgácsolunk.

Ha a forgácsolási adatok szélesebb tartományában keressünk kapcsolatot a szerszámélettartam és a technológiai adatok között, akkor észre kell vennünk (7.11. ábra), hogy tulajdonképpen a görbe meredksége változik folyamatosan, azaz a Taylor- által feltételezett egyenletben szereplő kite-



7.11. ábra

A forgácsolósebesség és az előtolás hatása a szerszámélettartamra

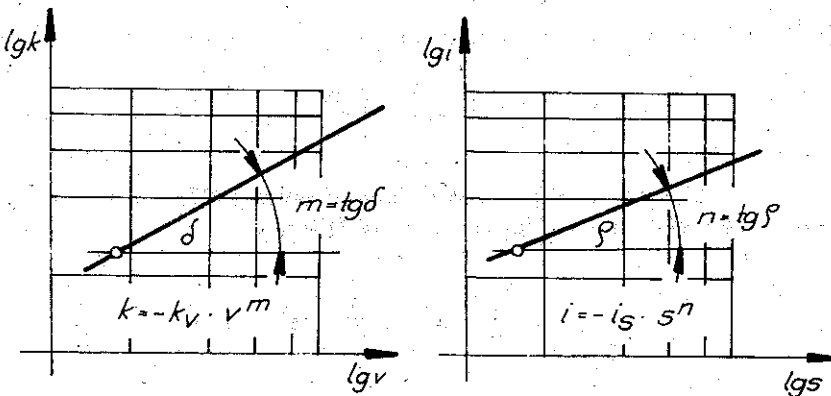
vő értéke különböző intervallumokban más és más. Ebből a felismerésből kiindulva fogalmazta meg DEPIEREUX azt az éltartamegyenlet általános alakját legjobban megközelítő empirikus formulát, amely 5 különböző éltartamérték, és a hozzá tartozó különböző előtolás-sebesség kombinációk ismeretében számszerűen is meghatározható:

$$T = e \left(-\frac{k}{m} \cdot v^m - \frac{i}{n} \cdot s^n + c \right)$$

Az így felírt összefüggéssel az éltartam-mérések eredményeül kapott pontthalmaz exponenciális görbesereggel közelíthető. A kifejezésben szereplő $e^c = C_{ID}$ [min] tag idő dimenzióju.

A sebesség-éltartam görbe meredeksége konstans előtolásparaméter esetén logaritmikus léptékű koordináta-rendszerben a görbe minden pontjában a parciális deriválttal egyenlő:

$$k = \left(-\frac{\partial \ln T}{\partial \ln v} \right) \quad s = \text{const}$$



7.12. ábra

Az éltartamgörbék meredekségének változása a forgácsolósebesség és az előtolás függvényében

Ennek a meredekségnek a változását grafikus közelítéssel (7.12. ábra) megoldva, a

$$k = -k_v \cdot v^m$$

alaku összefüggést kapunk. Ezt visszahelyettesítve, az eredeti függvény parciális deriváltjára a

$$\left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_s = -T \cdot k_v \cdot v^{m-1}$$

alaku megoldás írható fel. Ugyan ezt analóg módon az előtolás-éltartam görbére is elvégezhetjük, mivel az:

$$i = \left(\frac{\partial \ln T}{\partial \ln s}\right)_{v=\text{const}}$$

meredekségű görbékre grafikusan (7.12. ábra).

$$i = -i_s \cdot s^n$$

alaku megoldás található, ezért az előtolás-éltartam függvény konstans sebességparaméter melletti parciális deriváltja:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial s}\right)_v = -T \cdot i_s \cdot s^{n-1}$$

Ezen az alapon az éltartam-függvény teljes differenciálja is felírható:

$$dT = \frac{\partial T}{\partial v} \cdot dv + \frac{\partial T}{\partial s} \cdot ds$$

Majd az integrálhatóság feltételeinek megvizsgálása után, az integrálás elvégzésével maga a függvény is előállítható:

$$T = e^{\left(\frac{k_v}{m} \cdot v^m - \frac{i_s}{n} \cdot s^n + c\right)}$$

Bár a Depiereux-egyenlet a szerszáméltartam és a forgácsolási adatok közötti kapcsolatról a legtöbb információt tartalmazza és az éltartam-görbe általános alakját matematikailag a legpontosabban közelíti, azonban az ipari gyakorlatban nem terjedt el. A különböző típusú éltartamegyenletek az éltartamgörbe általános alakját, jól elhatárolhatóan általában négyféle módon közelítik (7.13. ábra):

ad.1. az első típuscsoport egyenessel közelít, ilyen például a már megismert Taylor-egyenlet: - Taylor (1907.):

$$\sqrt{T^m} = C_v \quad \text{vagy} \quad T = C_T \cdot v^{-\frac{1}{m}}$$

ad.2. a második típuscsoport parabólával közelít, ilyen jellegű éltartamegyenletet fogalmazott meg:

- Matthijsen (1965.): $v \cdot (e + T)^m = c$

- Kronenberg (1968.): $(v + k) \cdot T^m = C$

$$k_1 \left(1 - \sqrt{1 - k_2 \cdot \ln \frac{v}{v_0}}\right)$$

- N.N. Essel (1968.) $T = T_0 \cdot e$

ad.3. a harmadik típuscsoportba tartozó éltartamegyenletek egyenes-sereggel közelítik az éltartamgörbe általános alakját a logaritmikus léptékű koordináta-rendszerben:

- Gilbert (1950.): $v \cdot T^m = C \cdot s^{-e} \cdot a^{-f}$

- Hirsch (1969.): $v \cdot T^m = s^{-e} \cdot a^{-f} \cdot KT^h \cdot C$

ad.4. a negyedik típuscsoportba azok a közelítések sorolhatók, amelyek magasabb-foku görbesereget illesztnek az éltartamfüggvény általános alakjára:

- Colding (1958.): $k + ax + cy + hxz - z = 0$

- Kőnig-Depiereux (1969.): $T = \exp\left(-\frac{k}{m} \cdot v^m - \frac{l}{n} \cdot s^n + c\right)$

A műszaki gyakorlat számára a legkönnyebben kezelhető, a hagyományos számítási technikához a legjobban alkalmazkodó módszernek ezek közül az egyenes-sereggel való közelítés mutatkozott. Ezért a hazai ipari gyakorlatban is az ugynevezett "kibővített Taylor-egyenlet" terjedt el a gazdaságos forgácsolási adatok meghatározására: (lásd: Gilbert, Hirsch)

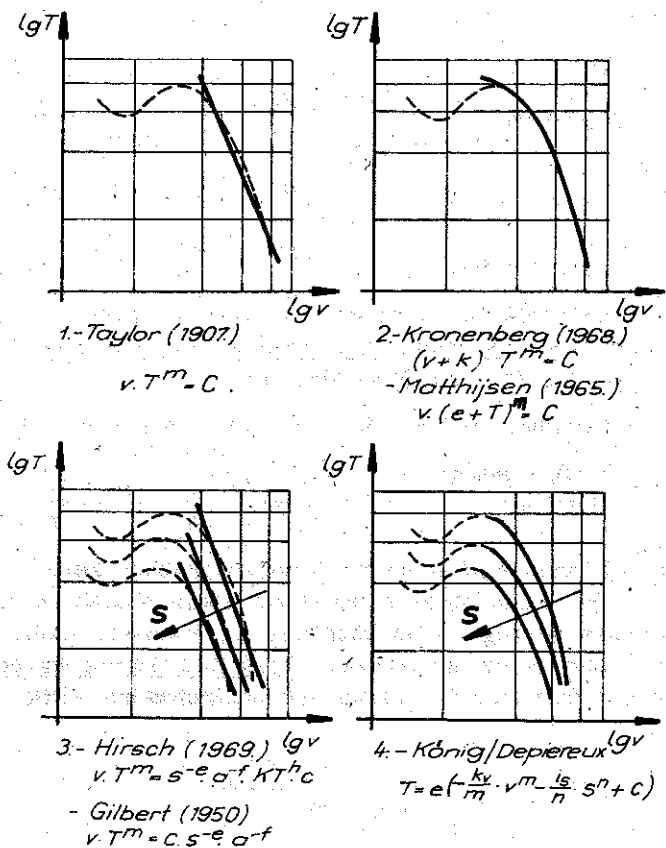
$$v \cdot T^m = \frac{C_v \cdot K_v}{x_v \cdot y_v \cdot h_v \cdot b_v}$$

Ez az összefüggés a forgácsoló rendszer legfontosabb tényezőinek hatását veszi figyelembe a szerszám éltartamára vonatkozóan, amelyben

- a szerszám - munkadarab kontakt anyaggár hatását szabványos forgácsolási feltételek esetén a (C_v) sebességállandóval;

- a forgácsolási körülmények hatását a (K_v) sebességmódosító-tényezővel;
- a forgácsolási adatok hatását közvetlenül a forgácsolósebesség (v), a közepes forgácsvastagság (h) és a fogásban lévő élvonalhossz (b) értéken keresztül, továbbá a kitevők és a konstansok értékeit kísérleti méréseken alapuló számszerű adatokkal vehetjük figyelembe.

A forgácsolószerszámok éltartamvizsgálatáról, a vizsgálatok körülményeinek és végrehajtási módjának egységesítéséről az MSz 3904. szabvány rendelkezik.



7.13. ábra
Az éltartamegyenletek típusai

7.3 A szerszám éltartamára ható tényezők

A szerszáméltartam a forgácsoláselmélet egyik legfontosabb fogalma és a forgácsoló megmunkálás gazdaságossága szempontjából a legdöntőbb forgácsolási jellemző. Ezért meghatározása, a nagyságát befolyásoló tényezők felderítése és hatásuk számszerűsítése a mérnöki gyakorlat alapvető feladata.

Mint a kopásfolyamat elemzése során már kitűnt, a szerszáméltartam idejét befolyásolja minden forgácsolással kapcsolatos tényező. Ezeknek a tényezőknek részletes vizsgálata túl messzire vezetne, ezért az éltartam-meghatározások során a legfontosabb befolyásoló tényezők vizsgálataival foglalkozunk. Ezek között is elsősorban a forgácsolási adatok (v , h , b) és a szerszám kiképzés hatását vizsgáljuk egy adott munkadarab és szerszám anyag esetén.

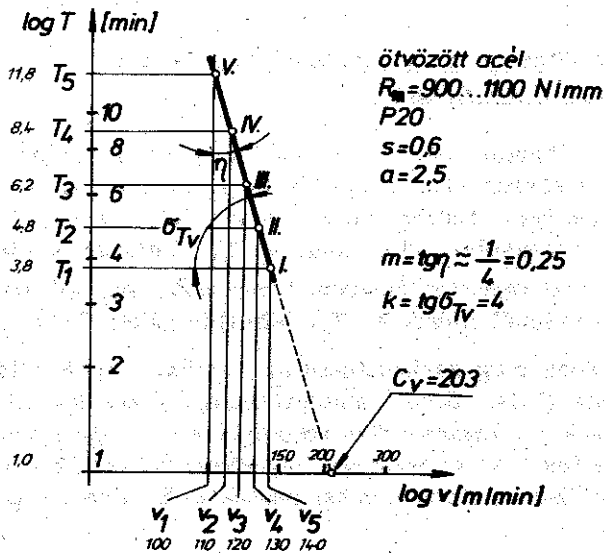
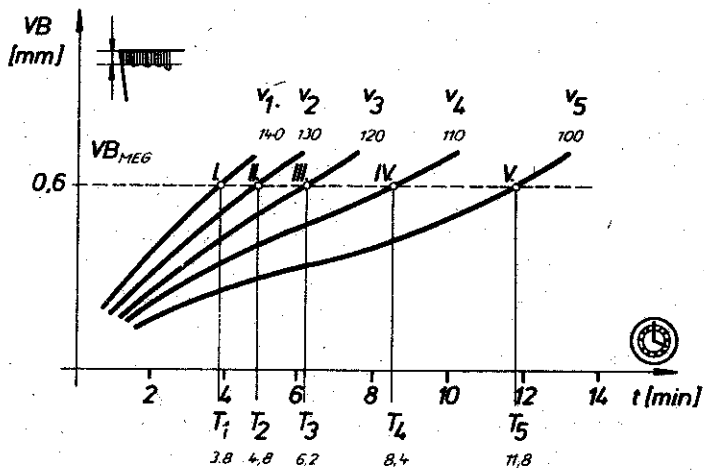
7.31 Az éltartam és a forgácsolási sebesség közötti összefüggés

Az éltartam és a forgácsolási sebesség közötti összefüggést minden esetben kísérleti úton állapítják meg. Meghatározott körülmények között v_1 sebességgel forgácsolnak, és mérik a megengedett kopás értékéhez tartozó forgácsolási időt, azaz a T_1 éltartamot. Míg minden egyéb forgácsolási tényezőt állandónak tartanak, és egy másik, megváltozott v_2 sebességnél mérik a T_2 éltartam-időt. Több összetartozó $v - T$ ismeretében megszerkeszthető az éltartam-forgácsolási sebesség ($T - v$) diagramja (7.14. ábra), amelyet logaritmikus koordináta-rendszerben ábrázolnak. A logaritmikus tengelybeosztású diagramban való ábrázolás lehetővé teszi az egyszerűen végrehajtható grafikus kiértékelést.

Az összetartozó mérési pontokon át fektetett közelitő egyenes a

$$T = \frac{C}{v^k}$$

alakú egyenlettel jellemezhető. Ez az összefüggés csupán egy adott forgácsolókeresztmetszetre és forgácsolási feltételre érvényes, amikor csak a sebességet változtattuk. A gyakorlatban általában előre meghatározott T éltartamhoz tartozó forgácsolási sebességet szokás keresni, ezért az összefüggést a következő alakban célszerű felírni:



7.14. ábra

A szerszáméltartam és a forgácsolósebesség közötti összefüggés kísérleti vizsgálata

$$v = \frac{C_v}{T^m}$$

A képlet elemzéséből, valamint a kísérleti feltételekből következik, hogy a képletben szereplő állandó (C_v) értéke azonos az egyperces éltartamhoz tartozó forgácsolási sebességgel.

A képletben szereplő m kitevő nagysága az ábra alapján meghatározható, mivel az nem egyéb, mint az egyenes iránytangense a növekvő abszcisszák irányában haladva:

$$m = \operatorname{tg} \eta = \frac{\lg v_n - \lg v_1}{\lg T_1 - \lg T_n}$$

Az m kitevő nagysága a munkadarab és a szerszám anyagától függ, és mindig kisebb egynél (pl. acél gyorsacéllal végzett esztergálása esetében általában $m = 0,125$; keményfém szerszám alkalmazása esetén pedig $m = 0,25$).

A közelítő egyenes meredeksége (k) a vízszintes tengely és az egyenes által bezárt hajlásszög lemérésével határozható meg:

$$k = \operatorname{tg} \zeta = \frac{1}{m}$$

Az egyenes tengelymetszete (C_T) pedig a $v = 1 \text{ m/min}$ nagyságu forgácsolási sebességhez tartozó szerszáméltartammal vehető egyenlőnek. A (k) meredekség nagysága gyorsacél szerszám esetén $k = 7 \dots 10$, keményfém szerszám esetén $k = 4 \dots 5$ között vehető fel.

A gyakorlatban számos esetben előfordul, hogy ismert sebességhez tartozó éltartamidőből kell meghatározni egy elérendő éltartamhoz tartozó forgácsolási sebességet. Jelöljük az ismert éltartamot T_0 , az ismert forgácsolási sebességet v_0 -val. Tétélezzük fel, hogy a megmunkálás során valamilyen okból kifolyólag (pl. a munkadarab gépi ideje ennyi) T_1 éltartamidőt kell elérni. Az ehhez tartozó forgácsolási sebességet (v_1) megkapjuk a:

$$v_1 = v_0 \left(\frac{T_0}{T_1} \right)^m$$

összefüggéssel.

Mint azt eddigi tapasztalataink is mutatják, viszonylag kis sebességváltozáshoz nagy éltartamváltozás tartozik. A forgácsolási sebesség 10%-os megváltozása gyorsacél szerszám esetén 50%-os éltartamváltozást eredményez, azaz a sebesség 10%-os növekedésére az éltartam a felére csökken. Keményfém szerszámanyag esetén ez a változás kb. 30%-os, tehát a sebesség 10%-os növelésével egyidejűleg az éltartam 2/3-részére való csökkenésével lehet számolni.

7.32 A közepes forgácsvastagság és a forgácsszélesség hatása az éltartamra

A szerszám éltartamát nagymértékben befolyásolja a leforgácsolt forgácskeresztmetszet is.

A h közepes forgácsvastagság éltartamra gyakorolt hatásának vizsgálatát is kísérletekkel célszerű elvégezni. A (T-h) összefüggés meghatározására végzett kísérleteknél minden egyéb forgácsolási tényezőt állandónak véve a mérési pontok összekötésekor tapasztalható, hogy a (T-h) görbe két szakaszból áll. Az egyes görbeszakaszok a Depiereux-féle közelítésnél már bemutatott változó meredekségű éltartam-előtolás görbének a nagyolást és a simítást szétválasztó előtolásértéket megelőző és az azt követő szakaszainak egymáshoz töréssel csatlakozó simuló görbékkel való külön-külön történő közelítésből adódnak.

Ha a (T-h) görbét logaritmikus beosztású diagramban a simításra és a nagyolásra jellemző intervallumokban külön-külön egyenesekkel közelítjük, az egyenesek iránytangenseinek eltéréséből adódóan a (h) kitevője különböző nagyságu lesz simításkor és nagyoláskor. Ez az eltérés a két forgácsolási eset eltérő éltartamkritériumával is magyarázható.

A 7.15. ábrából látható, hogy a h növelésével az éltartam csökken, amely annak tudható be, hogy a h növelésével nő az egységnyi élhosszra jutó terhelés, mely magával hozza a forgácsolási hő növekedését is. Mind az élvonalterhelés növekedése, mind a forgácsolási hő növekedése intenzívebb kopást eredményez, és ennek következtében csökken az szerszám éltartama.

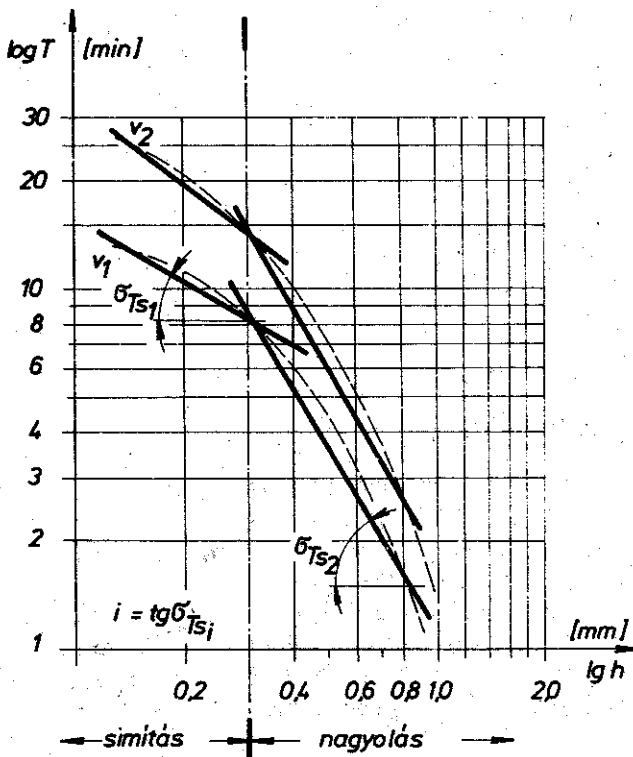
Az ábrán bemutatott görbére ugyanugy, mint a forgácsolási sebességek hatásának vizsgálatokor a közelítő függvény egyenlete:

$$T = \frac{C_T}{h^i}$$

alaku kifejezéssel jellemezhető. Az így kiszámítható éltartam pedig kapcsolatba hozható egy hozzá tartozó forgácsolási sebességgel a Taylor-egyenletnek megfelelően, így közvetve a közepes forgácsvastagság függvényében is kifejezhető a fellépő szerszáméltartamhoz tartozó forgácsolási sebesség:

$$v = \frac{C_v}{T^m h^{x_v}}$$

A képletben szereplő (x_v) kitevő gyorsacél szerszámmal végzett esztergáláskor acélt megmunkálva:



7.15. ábra

A közepes forgácsvastagság és a szerszáméltartam közötti kapcsolat

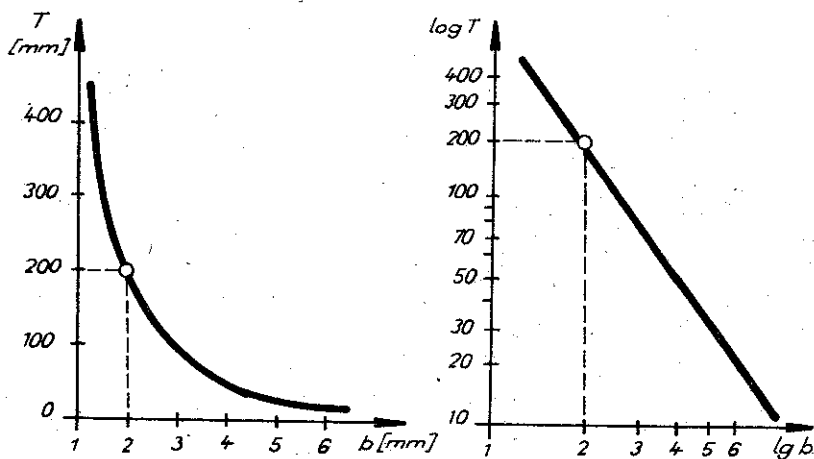
- simításkor, ha $h < 0,2 \text{ mm}$: $x_v = 0,33$;
- nagyoláskor, ha $h > 0,2 \text{ mm}$: $x_v = 0,66$.

A számszerű adatok ismeretében belátható, hogy a közepes forgácsvastagság 10%-os növekedése gyorsacél szerszámok esetében az éltartam 40%-os csökkenését, keményfém szerszámanyag esetében pedig előre láthatóan kb. 25%-os csökkenését eredményezi.

A forgácsszélesség (b) befolyását az éltartamra a 7.16. ábrán tüntettük fel. A kísérleteket a (T - b) összefüggés meghatározásakor is az előbbiekkal azonos feltételek mellett végeztük, változó csupán a forgácsszélesség volt. A kiértékelést az előbbiekknek megfelelően elvégezve az eredményt a:

$$v = \frac{C_v}{b^{y_v} \cdot T^m \cdot h^{x_v}}$$

összefüggéssel jellemezhetjük.



7.16. ábra

A forgácszélesség szerszáméltartamot befolyásoló hatása

Mint az a 7.16. ábrából, valamint a felirt képletből is kiténik, a fogásban lévő élvonalhossz (b) változása kedvezőbben befolyásolja a szerszám éltartamát, mint a sebesség, vagy a közepes forgácsvastagság. Ennek az a magyarázata, hogy b növelésével csökken az egységnyi élhosszra eső terhelés, és javul a forgácsoláskor keletkezett hőelvezetés. Az y_v kitevő nagysága acélnak gyorsacélszerszámmal való esztergálása esetén: 0,25.

A fogásban lévő élvonalhossz 10%-os megváltozása a szerszáméltartam 20%-os változását vonja maga után gyorsacélszerszám esetén, de keményfém szerszámnyagnál már csak 10%-os a hatása.

Összegezve az eddigi vizsgálódások eredményeit, megállapítható, hogy a forgácsolószerszám éltartamának nagyságát elsősorban befolyásoló forgácsolósebesség értékét a forgácsolási adatok ismeretében az alábbi összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot h^x \cdot b^y}$$

Ebben a kifejezésben szereplő

- C_v jelenti az egy perces szerszáméltartamhoz tartozó forgácsolási sebesség nagyságát, ha a közepes forgácsvastagság (h) és az elméleti forgácszélesség (b) értéke külön-külön egységnyi és a kísérleteket szabványos szerszámmal, szabványos forgácsolási körülmények között végeztük.

A gyakorlatban a szerszáméltartam idejét nem szokás változtatni. Számítással kimutatható, hogy a szerszám-éltartamnak optimális értéke van. Természetesen ez a "gazdaságos" éltartamidő más lesz gyorsacél és más lesz keményfémlapkás szerszámok esetén. A gyakorlat során ezekkel a "gazdaságos" éltartamidőkkel dolgoznak, és ezektől csak indokolt esetben térnek el.

Ha figyelembe vesszük a "gazdaságos" éltartamidőt, akkor ehhez kell meghatározni a beállítandó forgácsolási sebességet, a forgácskeresztmetszettől függően. Ez tehát azt jelenti, hogy adott forgácskeresztmetszet leválasztása esetén ki kell számítanunk azt a forgácsolási sebességet, amely T_o éltartamot eredményez. Ezzel a képlet a következő alakban is felírható:

$$v = \frac{C}{T_o^m} \cdot \frac{1}{h^x \cdot b^y}$$

Tekintettel arra, hogy a C_v egy adott anyagpárnál (tárgy és szerszámanyag) állandó, azonkívül állandó a "gazdaságos" éltartam idő (T_o) is, célszerű tehát a $\left(\frac{C}{T_o^m}\right)$ állandókat összevonni.

Ezt az összevont értéket a munkadarab, valamint a szerszám anyagától és típusától függően szokták meghatározni és táblázatokban közölni. Az állandót: C'_{vo} -vel jelölik, vagyis

$$\frac{C}{T_o^m} = C'_{vo}$$

Ezzel az előbb bemutatott összefüggés a következő alakban írható:

$$v_o = \frac{C'_{vo}}{h^x \cdot b^y} \quad [m/min]$$

Ez az összefüggés a forgácsolási sebességre a forgács keresztmetszettől függően csak akkor ad megfelelő eredményt, ha a "gazdaságos" éltartamhoz tartozó forgácsolási sebességet kell meghatározni. Ezt fejezzük ki a sebesség indexszelésével is!

A gyakorlatban előadódik, hogy valamilyen oknál fogva a "gazdaságos" (T_o) éltartamidőt meg kell változtatni. A "gazdaságos" éltartamidőtől való eltérés esetén a C'_{vo} értéket is módosítani kell. A módo-

sítást a változott éltartamidőnek megfelelően kell végrehajtani. Ez a módosító tényező tehát a "gazdaságos" éltartamidőből (T_0) és a szükséges (T_1) éltartamidőből a következő módon határozható meg:

$$K_T = \left(\frac{T_0}{T_1} \right)^m$$

Tehát a forgácsolási sebesség meghatározására alkalmas képlet alakja módosul:

$$v = \frac{C'_{vo}}{x^v \cdot y^v \cdot h^v \cdot b^v} \cdot K_T \quad [\text{m/min}]$$

Ez az összefüggés alkalmas egy adott anyag, adott szerszámmal történő forgácsolásokor, tetszőleges forgáskeresztmetszet leválasztása esetén, a kívánt éltartamidőhöz tartozó forgácsolási sebesség meghatározására.

7.33 A munkadarab anyagának befolyása a szerszám éltartamára

A szerszám éltartamát - éppúgy, mint a forgácsolóerőt és a forgácsolási hőt - befolyásolja a megmunkálandó munkadarab anyagának szakitószilárdsága, illetve keménysége. Növekvő szakitószilárdság és keménység mellett, egyébként azonos körülmények között forgácsolva, a szerszám éltartama csökken. A szerszám szakitószilárdságának hatását az éltartamra a következő módon vehetjük figyelembe szivós anyagok megmunkálása esetén:

$$v = \frac{C_v}{n_{vac} \cdot R_m}$$

rideg anyagoknál pedig a keménység függvényében írható, hogy

$$v = \frac{C_v}{n_{vöv} \cdot HB}$$

A képletekben szereplő kitevők: $n_{vac} = 1,75$; $n_{vöv} = 1,7$.

A nagyobb szilárdságu és keménységű anyagok kisebb forgácsolósebességgel munkálhatók meg. A keményebb anyagok forgácsolásakor nagyobb a forgácsolóerő, nagyobb az életterhelés és a keletkező hőmérséklet.

A keményebb anyagok rosszabb hővezetők, mint a lágy anyagok. Mindezekből belátható, hogy pl.: öntöttvasak forgácsolásakor kisebb sebesség engedhető meg, mint acélok megmunkálásakor. Ez részben be-tudható az öntöttvas rosszabb hővezetőképességének, valamint a nagyobb koptató hatásának.

A megmunkálendő anyag hatását a képletben szereplő C'_{vo} meghatározásakor már figyelembe vettük. Ugyanis ez a C'_{vo} állandó mindig a megmunkálendő anyag és a szerszámanyag függvénye. Ezek a C'_{vo} értékek minden anyagféleségre, mind gyorsacél, mind keményfémlapkás szerszámra táblázatokban megtalálhatók. Azonban a táblázatok szerkesztésekor szokásos, hogy a C'_{vo} értékét csak a kísérleti feltételekben rögzített un. etalon anyagokra adják meg, s amennyiben más szilárdságu, vagy keménységű anyagokat forgácsolunk, az anyageltérés hatását módosító-tényezővel (K_{vm}) kell figyelembe vennünk. Etalon anyagként az $R_m = 750 \text{ N/mm}^2$ szakítószilárdságu ötvözetlen acélt, illetve a $HB = 190$ keménységű öntöttvasat fogadták el. Az etalon anyagtól való eltérés esetében acélananyagokra az:

$$K_{vm} = \left(\frac{R_m E}{R_m} \right)^{n_{vac}} = \left(\frac{750}{R_m} \right)^{1,75}$$

öntöttvasakra pedig az:

$$K_{vm} = \left(\frac{HB_E}{HB} \right)^{n_{öv}} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{1,7}$$

összefüggéssel számolhatjuk ki az anyagminőség miatti sebesség-módosító tényező nagyságát.

A munkadarab szilárdsági tulajdonságain kívül befolyásolja a szer-száméltartam, illetve a forgácsolási sebesség nagyságát a munkadarab felületi minősége és a megelőző megmunkálás is.

A kísérleti adatok általános forgácsolással már megmunkált felüle-tű öntöttvas, illetve acél esztergálására érvényesek. Kérges, vagy revés

felületű munkadarabok forgácsolásakor a C'_{vo} táblázati értékét egy K_{vn} módosító tényezővel kell beszorozni ($K_{vn} \approx 0,8 \dots 0,9$).

Ha a forgácsolandó acélananyag nem melegen hengerelt, hanem hidegen huzott, az előzetes hőkezelésből adódó eltérést a K_{vc} módosító tényezővel kell figyelembe venni.

A munkadarab anyagának a szerszáméltartamra és ezen keresztül a forgácsolási sebességre gyakorolt befolyását összesítve a következőképpen vehetjük figyelembe:

$$v = \frac{C'_{vo}}{h_v \cdot x \cdot y \cdot b} \cdot K_T \cdot K_{vm} \cdot K_{vn} \cdot K_{vc}$$

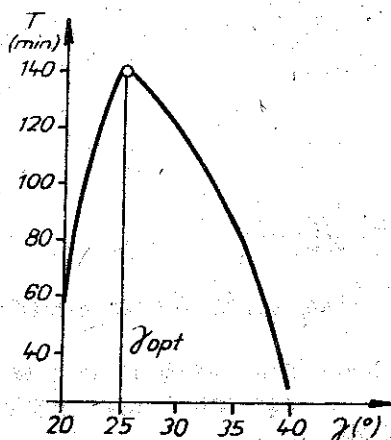
7.34 A szerszám-kialakítás hatása az éltartamra

Az éltartamot befolyásolja a szerszám anyaga, élgeometriája, és méretei.

A szerszám anyagának hatását az éltartamra már az előbbieken tárgyaltuk. A C'_{vo} állandó mindig egy adott szerszámanyagra vonatkozik. A szerszám (K_{vu}) módosító tényezőjével a szerszámanyag szempontjából csak akkor számolunk, ha eltérünk a kísérletnél használt szerszámanyag minőségétől.

A szerszámkialakítás szempontjából a homlokszög, a hátszög, a lekerekítési sugár, az elhelyezési szög és a homloklap kiképzése jelentős hatása a szerszám éltartamára.

A homlokszög hatását az éltartamra a 7.17. ábra mutatja be.

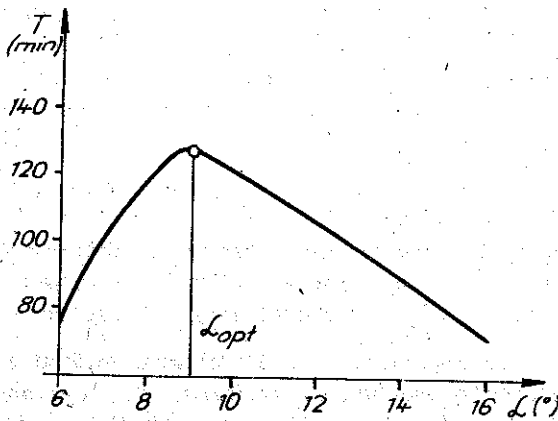


7.17. ábra
A homlokszög hatása az éltartamra

Az ábráról látható, hogy a görbének bizonyos homlokszögnél maximuma van. Kisebb homlokszögnél nagyobb a forgácsolóerő. Ezáltal nagyobb a szerszámél hőmérséklete, a kopásellenállása kisebb. Nagyobb homlokszögnél kisebb a forgácsolóerő, de a lecsökkent ékszög miatt rosszabb a szerszám hőelvezetése és kisebb lesz az éltartama. A homlokszög hatását a $K_{v\gamma}$ tényezővel vesszük figyelembe.

A kísérletek során a $(T - \gamma)$ görbe alapján meghatározzák adott körülmények között az optimális homlok-

szöget. Ezeket az optimális homlokszögeket szabványosították, és az éltartam képletében szereplő állandókat és hatványkitevőket erre az optimális homlokszögre határozták meg. Így tehát $K_{v\alpha}$ módosító tényezővel csak abban az esetben számolunk, ha eltérünk a kísérleteknél használt, illetve szabványosított homlokszögektől.



7.18. ábra
A hátszög hatása az éltartamra

A szerszám hátszögének befolyása az éltartamra jellegére nézve hasonlít a $(T - \alpha)$ görbe jellegére, mint ez a 7.18. ábrán is látható. Csökkenő hátszög esetén nagyobb a hátlap és a munkadarab között a rugalmas deformáció, ezáltal nagyobb a surlódási hő is. Az optimális értékű hátszögnél nagyobb kiképzés esetén is csökken a szerszám éltartama, melynek az a magyarázata, hogy adott forgácsolási feltételek esetén csökken a hőelvezetésre szolgáló szerszám-keresztmetszet. A kísérleteknél az optimális hátszögre határozzák meg az éltartam képletében szereplő tényezőket, amelyekkel ugyanugy, mint a homlokszög esetében csak abban az esetben kell a $K_{v\alpha}$ módosító tényezővel számolni, ha eltérünk a kísérletnél használt, ill. szabványosított szerszámhátszögek értékétől.

A szerszám főélelnek elhelyezési szöge jelentős mértékben befolyásolja a szerszám éltartamát. Ha azonos keresztmetszetű forgácsot választunk le két különböző elhelyezéstű szögű késsel, változik a forgácsvastagság és a forgács szélesség. Minél nagyobb a főélel elhelyezési szög (κ_r), annál nagyobb h -val dolgozunk, hiszen $h = s \cdot \sin \kappa_r$. A szerszám éltartama javul, ha a fogásban levő élvonalhossz nő, azaz az egysegnyi élhosszra eső terhelés csökken.

Az elhelyezési szög hatását már figyelembe vettük az éltartam meghatározására szolgáló képletnél, mivel h -val és b -vel számolunk.

Számítások során az elhelyezési szög módosító tényezőjével (K_{vk}) csak akkor kell számolnunk, ha az előtolással (s) és fogásmélységgel (a) fejezzük ki közvetlenül a forgácskeresztmetszet méreteit.

A csucssugár éltartamra gyakorolt hatása is a közepes forgácsvastagság változásával magyarázható.

A csucssugár a szerszám éltartamát olyan mértékben módosítja mint ahogyan a közepes forgácsvastagságot, illetve forgácsszélességet. Csökkenő csucssugár esetén csökken a szerszám éltartama, növekvő csucssugárnál nő a fogásban levő élvonal hossza, ezáltal csökken az egységnyi élhosszra eső terhelés, mely az éltartam növekedését eredményezi. A csucssugármódosító tényezővel (K_{vr}) is csak abban az eset-

ben számolunk, ha eltérünk a kísérletnél használt szerszám kiképzésétől, illetve a szabványosított szerszámtól.

A homlokfelület kialakítása is befolyásolja az éltartamot. A homlokfelület egy vagy több sík, vagy görbe felületből alakítható ki. Az alap a sík homlokfelület. A C'_{vo} értékének meghatározásakor sík homlokfelületű szerszámmal forgácsolunk. Az élszalaggal ellátott szerszámok az él közvetlen közelében erősebbek és ezáltal nő az éltartamuk. A homlokfelület kialakításának hatását a (K_{vk}) tényezővel vesszük figyelembe.

A szerszám szárkeresztmetszetének nagysága a hőelvezetés változásával befolyásolja az éltartamot. Minél nagyobb a szerszám szárkeresztmetszete, annál jobb a hőelvezetés és annál nagyobb az éltartam. A számításoknál a szárkeresztmetszet változásából adódó forgácsoló sebesség változást a (K_{vq}) tényezővel vesszük figyelembe.

A felsoroltakból látható, hogy a szerszám éltartamát számos tényező befolyásolja, melyekkel adott esetben számolni kell. Számításoknál csak a kísérlettől való kiképzésbeli eltéréseket vesszük figyelembe.

7.35 A hűtés hatása az éltartamra

A forgácsoláskor keletkezett hő elvezetése nagymértékben javítható hűtő folyadék hozzávezetésével. Ez a forgácsolás szempontjából kettős jelentőségű: részben azért, mert csökkenti a keletkezett hőmennyiséget, részben pedig azért, mert bizonyos kenőhatást fejt ki. Ezek a hűtő-kenőfolyadékok a megmunkálás jellegétől függően lehetnek vizes oldatok és olajok.

A vizes oldatok igen jó hűtőképességükkel nagy mennyiségű forgácsolási hő elvezetésére alkalmasak. A korrózió elkerülése végett a vízhez olajokat vagy elszappanosítható zsirokat és szódát adagolnak. A vizes oldatokat rendszerint nagyoló megmunkálásoknál és olyan helyeken használják, ahol nagy a forgácsolási hő.

Az olajok lehetnek növényi vagy ásványi eredetűek. Főként simító megmunkálásoknál használják, mivel ezeknek általában a kenőhatásuk érvényesül jobban a hűtőhatás rovására.

A hűtő-kenőfolyadék minőségét és mennyiségét a megmunkálandó anyag és a megmunkálás feltételei szabják meg. Legcélszerűbb adott megmunkálás esetén kísérletileg meghatározni a felhasználható hűtő-kenőanyag minőségét és mennyiségét. A szivós anyagok megmunkálásakor a hűtőanyagok szerepe lényegesebb a nagyobb éltartam szempontjából, mint rideg anyagok megmunkálásakor.

Kísérletek szerint az optimális folyadékmennyiség a megmunkálás módjától és körülményeitől függően $V_F = 15-20$ l/min. Hűtő-kenőfolyadék hozzávezetésével a forgácsolási sebesség (változatlan éltartam mellett) acélok forgácsolásakor kb. 15-20%-kal, öntöttvas megmunkálásakor pedig kb. 5-10%-kal növelhető a hűtés-kenés nélkül végzett forgácsoláshoz képest. A hűtő-kenő folyadék sebességnövelő hatását K_{vh} helyesbitőtényezővel vehetjük figyelembe.

Összefoglalva az éltartammódosító tényezőket, megállapítható, hogy a számításra alkalmas képlet a módosítótényezők figyelembevételével a következő alakban írható, ahol K_v a sebességmódosító tényezők szorzata:

$$K_v = K_T \cdot K_{vm} \cdot K_{vn} \cdot K_{vc} \cdot K_{vu} \cdot K_{vg} \cdot K_{v\alpha} \cdot K_{v\kappa} \cdot K_{vr} \cdot K_{vk} \cdot K_{vq} \cdot K_{vh}$$

Ezzel a T_o szerszáméltartamhoz tartozó táblázatbeli sebesség-állandóval számítható módosított forgácsolási sebesség:

$$v = \frac{C'_{vo} \cdot K_v}{h_v^x \cdot b_v^y}$$

7.4 A gazdaságos éltartam meghatározása

A forgácsolási műveletek tervezésekor mindig arra kell törekednünk, hogy

- a lehető legkisebb költségráfordítás mellett,
- a lehető legrövidebb idő alatt,
- a kívánt pontosságnak és a felületi minőségnek megfelelően,
- időegység alatt a lehető legnagyobb anyagmennyiséget forgácsoljuk le.

E követelmények egyidejű teljesítése bonyolult műszaki feladatot jelent, amelynek megoldása csak az egyes tényezők kölcsönhatásának megismerése után lehetséges.

A gyártás során a gazdaságosság megítélésakor a legáltalánosabban használt termelési mutató a munkadarabonkénti költség. A forgácsoló megmunkálással közvetlenül kapcsolatos gyártási költségek három fő részből tevődnek össze:

- a forgácsolással eltöltött gépi idővel arányos gépköltségekből; (K_G)
- a munkadarab be- és kifogásához, beállításához stb. szükséges mellékidők költségeiből; (K_M)
- és a gyártáshoz felhasznált gyártóeszközök beszerzésére, cseréjére, valamint élfelújítására fordított un. szerszámkezeléssel kapcsolatos költségekből (K_{SZ}).

Az itt felsorolt költségösszetevők nagysága szoros kapcsolatban van a megmunkálási idő velük arányos részével. Ezek szerint a megmunkálási költségek csökkenthetők a megmunkálási idő csökkentésével.

A forgácsolás gazdaságosságát legnagyobb mértékben a szerszám éltartama befolyásolja. A forgácsolási sebesség növelésével csökken a megmunkálás gépi ideje, viszont nő a szerszámélezések száma, aminek következtében megnő az egy darab előállításához szükséges szerszám-költség. Abban az esetben, ha a szerszám éltartamát növeljük, nő a gépi idő, ami a gyártmány átfutási idejét késlelteti. Keresni kell tehát azt a forgácsolási sebességet, amelynél a gyártmány előállításához minimális költségráfordítás szükséges. A gazdaságos éltartam tehát az a szerszáméltartam, amelyhez tartozó forgácsolási sebesség esetén a forgácsoló megmunkálással kapcsolatos költségek minimálisak (7.19. ábra).

A (t_g) időt gépi főidőnek, a (t_m) időt mellékidőnek, a (t_{cs}) időt szerszámcserevel kapcsolatos időnek nevezzük. A forgácsolási költség a részidőknek a rezsibérrel való szorzásával adódik:

$$K_F = (t_g + t_m + t_{cs}) \cdot R$$

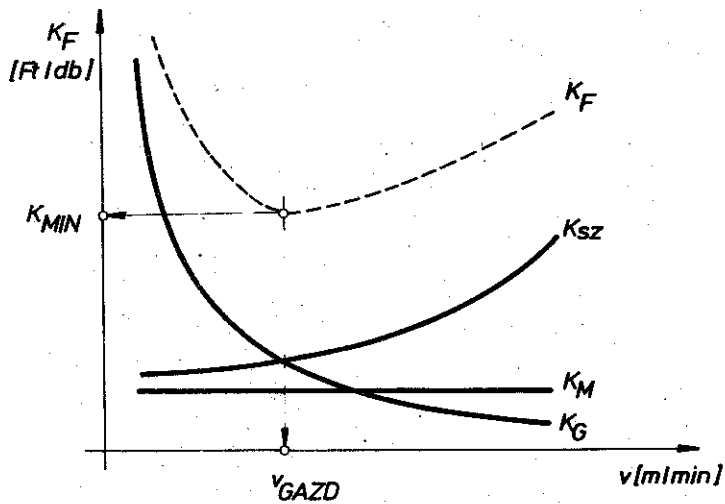
Részletesebben kifejtve

- a gépi főidővel és a gépi mellékidővel arányos munkahelyi gépköltség egy darab megmunkálásakor

$$(K_G + K_M) = B(I + r) \cdot (t_g + t_m)$$

ahol B - a munkahely bérköltségének egy percre eső hányada,

r - az üzemszám rezsiszázaléka;



7.19. ábra

A forgácsolási költségek alakulása a forgácsolósebesség változtatása esetén

- az egy darabra eső szerszámköltség:

$$K_{SZ} = K_{SZT} \cdot \frac{t}{T}$$

ahol K_{SZT} - a szerszám éltartamra eső költsége,

T - a szerszáméltartam ideje.

- a szerszámcsere - költség egy alkatrészre eső hányada:

$$K_{SZCS} = B (1 + r) \cdot t_{cs} \cdot \frac{t}{T}$$

ahol a szerszámél felújítására fordított időhányad költségarányos részét ugyanazon munkahely rezsiköltségével vesszük arányosnak, ahol a megmunkálást végezzük.

Egy darab megmunkálásának közvetlen forgácsolási költsége:

$$K_F = K_{SZCS} + K_{SZ} + K_M + K_G =$$

$$= B (1 + r) \cdot (t_{cs} \cdot \frac{t}{T} + t_g + t_m) + K_{SZT} \cdot \frac{t}{T}$$

A gépi fő- és mellékidők arányát jelöljük τ -val, ekkor

$$t_m \approx \tau \cdot t_g$$

és vegyük figyelembe, hogy a mellékidő nagysága gyakorlatilag független a sebességtől!

A gépi főidőt számoljuk a következő közelítéssel:

$$t_g = \frac{L}{s \cdot n} = \frac{d \cdot \eta \cdot L}{1000 \cdot s \cdot v} = \frac{d \cdot \eta \cdot L}{1000 \cdot s} \cdot v^{-1}$$

ezzel

$$\frac{t_g}{T} = \frac{d \cdot \eta \cdot L}{1000 \cdot s \cdot v} \cdot \frac{v^k}{C_T} = \frac{d \cdot \eta \cdot L}{1000 \cdot s \cdot C_T} \cdot v^{(k-1)}$$

Visszatérve a költség-egyenlethez:

$$K_F = B(1+r) \left[t_{cs} \cdot \frac{d \cdot \eta \cdot L}{1000 \cdot s} \cdot \frac{1}{C_T} \cdot v^{(k-1)} + (1 + \tau) \frac{d \cdot \eta \cdot L}{1000 \cdot s} \cdot v^{-1} \right] +$$

$$+ K_{SZT} \cdot \frac{d \cdot \eta \cdot L}{1000 \cdot s} \cdot \frac{1}{C_T} \cdot v^{(k-1)}$$

Amelynek a mellékidővel arányos része független a forgácsolási adatoktól.

A minimális költséghez tartozó gazdaságos éltartam számítható a költség-függvény deriválásával:

$$\frac{\partial K_F}{\partial v} = 0 = B(1+r) \cdot \left[t_{cs} \cdot \frac{1}{C_T} \cdot (k-1) \cdot v^{(k-2)} - v^{-2} \right] + K_{SZT} \cdot$$

$$\cdot \frac{1}{C_T} \cdot (k-1) \cdot v^{(k-2)} = B(1+r) \cdot \left[t_{cs} \cdot \frac{v^k}{C_T} (k-1) \cdot v^{-2} - v^{-2} \right] +$$

$$+ K_{SZT} \cdot \frac{v^k}{C_T} (k-1) v^{-2} = B(1+r) \left[t_{cs} \cdot \frac{1}{T} (k-1) - 1 \right] +$$

$$+ K_{SZT} \cdot \frac{1}{T} (k-1) = 0$$

ahonnan a gazdaságos éltartam:

$$T_{\text{GAZD}} = (k-1) \cdot \left[t_{\text{cs}} + \frac{K_{\text{SZT}}}{B(1+r)} \right]$$

Az itt felirt összefüggéssel a költségminimumot adó szerszáméltartam számítható ki. A költségminimumot adó éltartam tehát elsősorban a forgácsolószerszám éltartamkitevőjétől (k), a szerszámélcseré idejétől (t_{cs}), a forgácsolószerszám éltartamra eső költségétől (K_{SZT}) és a munkahely percköltségétől - $B(1+r)$ - függ.

A forgácsolószerszámok gazdaságos éltartamának fogalmi köre differenciálódott, ugyanis beszélhetünk minimális forgácsolási költség és minimális gyártási idő alapján számított éltartamról is. A darabidő meghatározható a gépi főidő (t_g), a gépi mellékidők (t_m) és a szerszámélcseré egy darabra eső időarányos részének (t_{cs}) az összegeként.

$$t_{\text{db}} = t_g + t_m + t_{\text{cs}1} = (1 + \zeta) t_g + t_{\text{cs}} \cdot \frac{t_g}{T}$$

Behelyettesítve az időösszefüggések forgácsolástechnológiai adatoktól függő kifejezéseit:

$$t_{\text{db}} = \frac{d \cdot \pi \cdot L}{1000 \cdot s} \cdot v^{-1} \cdot (1 + \zeta) + t_{\text{cs}} \cdot \frac{d \cdot \pi \cdot L}{1000 \cdot s} \cdot \frac{1}{C_T} \cdot v^{(k-1)}$$

A legrövidebb forgácsolási időt eredményező szerszáméltartam a felirt összefüggés deriválásával határozható meg:

$$\begin{aligned} \frac{\partial t_{\text{db}}}{\partial v} = 0 &= - (1) \cdot \frac{d \cdot \pi \cdot L}{1000 \cdot s} \cdot v^{-2} + t_{\text{cs}} \cdot \frac{d \cdot \pi \cdot L}{1000 \cdot s} \cdot \frac{v^k}{C_T} \cdot v^{-2} \cdot (k-1) = \\ &= t_{\text{cs}} \cdot \frac{1}{T} \cdot (k-1) - 1 = 0 \end{aligned}$$

ahonnan:

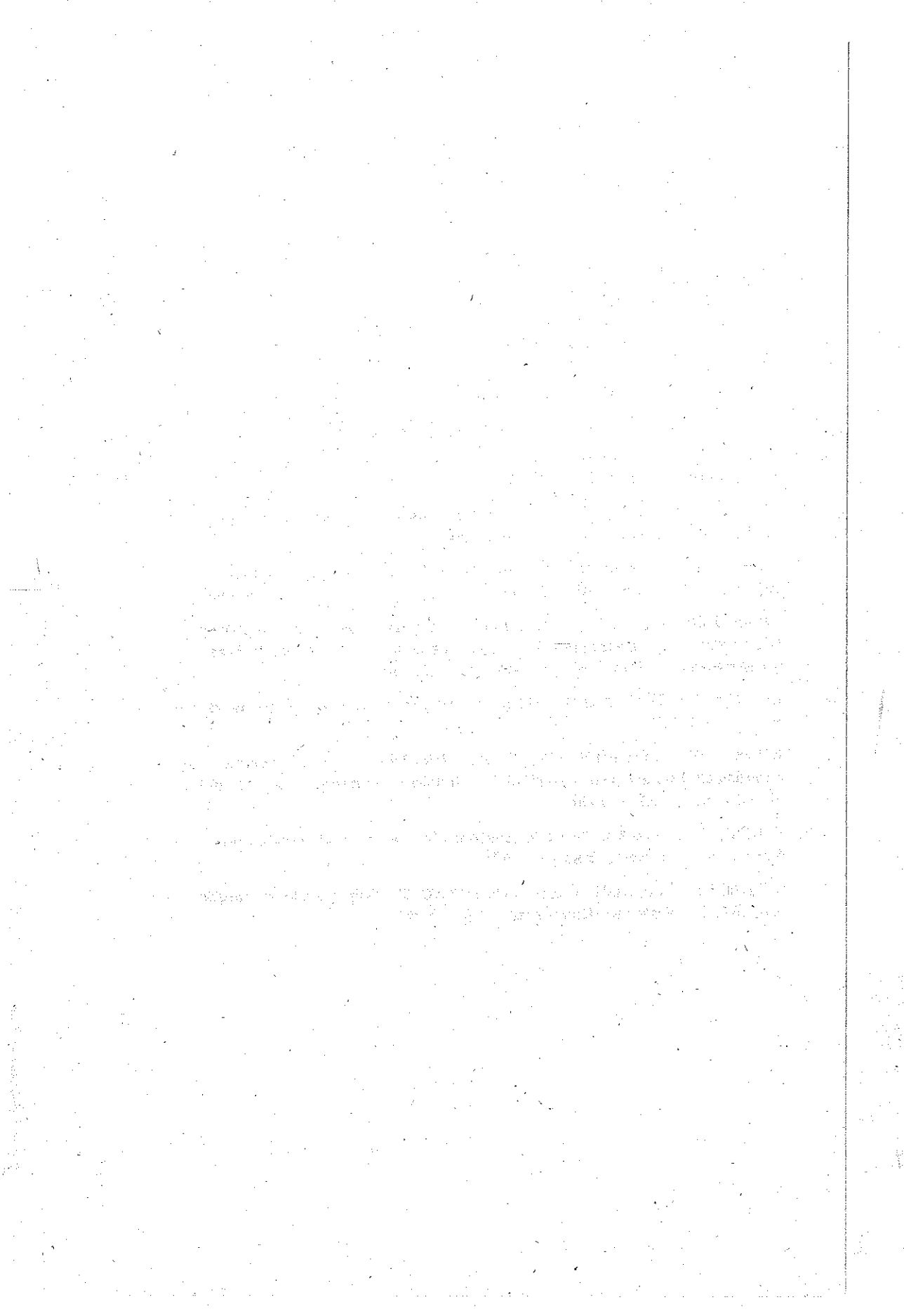
$$T_{\text{PROD}} = (k-1) \cdot t_{\text{cs}}$$

A legrövidebb forgácsolási időt jelentő éltartam egyben a legnagyobb termelékenységet biztosító, un. produktív éltartamnak is nevezhető. Az összefüggésből is látható, hogy ha a legnagyobb termelékenység-

gel akarunk gyártani, akkor megfelelő összhangot kell teremteni a fő- és mellékidők között. A produktív éltartam (T_{PROD}) elsősorban a szer- számananyag, valamint a mellékidők függvénye, így a gyártás termelékeny- ségének fokozása technológiai oldalról jobb forgácsolóképességű szerszá- mok használatával, valamint a mellékidők automatizálás útján történő csökkentésével érhető el.

Irodalomjegyzék a 7. fejezethez

1. Dr. BALI János: Forgácsolás (előadási segédlet). BME. Gépgyártástechnológia Tanszék, kézirat, 1978.
2. Dr. BAKONDI Károly - dr. KARDOS Árpád: A gépgyártás technológiája I. Forgácsolás. Tankönyvkiadó, Bp. 1963.
3. BOBROV, V.F.: Osznovü teorii rezanyija metallov. Izd. Masinosztroenyije, Moszkva, 1975.
4. DANIELJAN, A.M.: Teplota i iznosz insztrumentov v processze rezanyija metallov. Masgiz, Moszkva, 1954. 275. szt.
5. ESSEL, K. - HÄNSEL, W.: Analyse der Standzeitgleichungen Industrie-Anzeiger, 94. Jg. 1972./5.v. 18.1. 1972. s.: 92-93.
6. GRANOVZSKIJ, G.I.: O sztojkosztyi insztrumenta kak iszhodnom parametre dlja raszcsóta rezsimov rezanyija. "Vesztnyik Masinosztroenyija" 1964. No.8. szt.: 59 ... 64.
7. Dr. GRIBOVSKI László: Gépipari megmunkálások. Tankönyvkiadó, Bp. 1. 1977.
8. KÖNIG, W. - DEPIEREUX, W.R.: Wie lassen sich Vorschub und Schnittgeschwindigkeit optimieren? Industrie-Anzeiger 91. (1969.) No.61. s.: 1481 - 1484.
9. OPITZ, H.: Modern Produktionstechnik. Stand und Tendenzen. Verlag W. Giradet, Essen, 1971.
10. SZILÁGYI - VÁRADI - BALÁZS - KÁDÁR: Gépgyártástechnológia I. (49.930/L.) Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1977.



8. A forgácsolás hatása a megmunkált felület minőségére

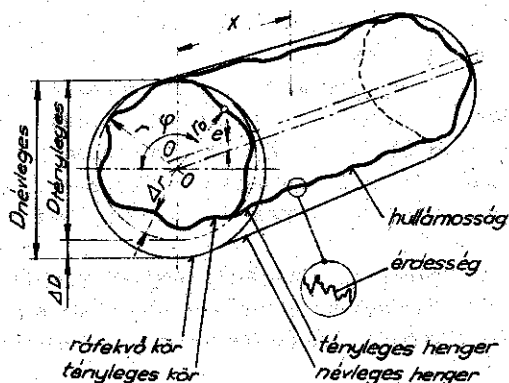
A forgácsolással előállított munkadarabok felületi érdessége befolyásolja az alkatrész élettartamát, működési körülményeit, korrózióállóságát, kifáradási határát, valamint az illeszkedés jellegét. Forgácsoláskor geometriailag helyes alakú munkadarabok előállítására törekszünk, azonban a gyártási körülmények miatt mind az anyagi, mind az alaki követelményeknél engedményeket kell tennünk.

A megmunkált felületi réteg eltér a tárgy belső anyagától a forgácstöben létrejövő deformációs jelenségek miatt. A végső felület elérésekor törekszünk a forgácsdeformációt és a hőhatást csökkenteni, azáltal, hogy kis forgács-keresztmetszeteket választunk le.

A megmunkált felület alakja is eltér az ideálisan elérhető felület alakjától. Az eltérés makrogeometriai vagy mikrogeometriai jellegű lehet. A makrogeometriai hibák rendszerint nem a forgácsolás körülményeiből keletkeznek (anyaghiba, külső sérülés), míg a mikrogeometriai jellegű eltérések a forgácsolás körülményeitől függenek (8.1. ábra).

A forgácsolt felületeken észlelhető egyenetlenségek nagyságrendjük alapján lehetnek:

- hullámosság; amely viszonylag nagy hullámhosszúságú és kis mélységű egyenetlenség,
- érdesség; amely kis hullámhosszúságú, de viszonylag mély,
- mikroérdesség; amely a munkadarab anyaga határrétegének fizikai, ill. kémiai hatására létrejövő kristályrács szabálytalanságokból áll.



8.1. ábra

A megmunkált felületeken észlelhető egyenetlenségek

A felületi érdesség mérőszámának meghatározásával és a felület-érdesség megadásával, valamint mérésével a kézi könyveken kívül az MSZ 4721, MSZ 4722 szabványok is foglalkoznak. Az érdesség mérőszámaként az átlagos érdesség (R_a) vagy ma már ritkábban az egyenetlenség magasság (R_z) értéket használják. Az érdesség mérőszámát mindig mikrométerben adják meg.

A forgácsolt felület vizsgálatakor megállapíthatjuk azokat a tényezőket, amelyek befolyásolják a felület állapotát. Sok esetben szabad szemmel is látható, hogy a szerszám kiképzése nyomot hagy a megmunkált felületen, és így a felület a szerszám csucsának megfelelő alakú és ezáltal eltér az ideális felülettől.

Eltér a megmunkált felület azért is, mert a szerszám élezéséből adódó egyenetlenségek nyomot hagynak a megmunkált felületen.

A megmunkálási rendszer (tárgy, szerszámgép, szerszám) nem kellő merevsége minden esetben kimutatható, amelyet jól tükröz a megmunkált felület egyenetlensége.

A forgács a szemcsehatárok mentén válik le a szerszám éle előtt, és így az anyag állapota (szemcse szerkezete) is befolyásolja az elérendő felület érdességét.

A felületi érdességet a fentiekén kívül jelentősen befolyásolja az előtolás, fogásmélység és a forgácsolási sebesség.

Az előbb felsorolt tényezők hatását számszerűleg igen nehéz meghatározni, azonban a szerszám kiképzéstől és a forgácsolási adatoktól függően, bizonyos esetekben, az elméleti felületi egyenetlenség kiszámítható.

Az érdesség vizsgálata egyéltől szabályos geometriájú szerszámmal forgácsolt felületeknél elsősorban a barázda irányára merőleges metszetben történik. Megkülönböztetik az elméleti- és a valóságos érdességet.

Az elméleti érdesség (R_e) az a mikrogeometriai profil, amely a szerszám geometriai jellemzői és a technológiai adatok alapján az előállított felületen a gyártásgeometriában már megismert sajátosságok szerint kialakul.

A valóságos érdesség (R_{max}) nagysága általában eltér az elméletileg számított értéktől, amit a megmunkált anyag tulajdonságai, a forgácsolósebesség, a szerszám állapota, az MKGS-rendszer rezgései stb. okoznak.

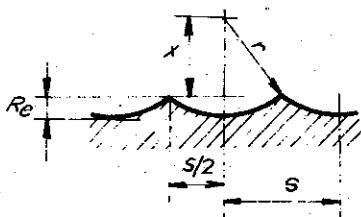
Forgácsoljunk teljesen azonos feltételek mellett, de különböző kialakítású szerszámmal. A nagy lekerekítési sugarú forgácsoló szerszámmal megmunkált felület nagyított vázlata a 8.2. ábrán látható. Erre az esetre az elméleti felületi egyenetlenség a következőképpen határozható meg:

$$R_e = r - x$$

$$x^2 = r^2 - \left(\frac{s}{2}\right)^2$$

$$R_e = r - \sqrt{r^2 - \frac{s^2}{4}}$$

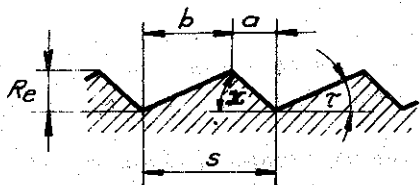
$$(R_e - r)^2 = R_e^2 - 2 \cdot R_e \cdot r + r^2 = r^2 - \frac{s^2}{4}$$



8.2 ábra

Az elméleti érdesség alakulása nagy csucssugaru forgácsolószerszámmal megmunkált felület esetén

Az R_e^2 mint kis mennyiség elhanyagolható. Így az elméleti érdességmagasság:



8.3. ábra

Az elméleti érdesség alakulása, ha az előtolás a csucssugarhoz képest nagy értékű

$$R_e = \frac{s^2}{8r}$$

Abban az esetben, ha az előtolás a lekerekítési sugarhoz képest nagy, a megmunkált felületen a szerszám elhelyezési szögei (κ , τ) érvényesülnek, akkor a 8.3. ábrán vázolt jellegű felületet kapjuk, amelyek alapján az elméleti érdességmagasság az előtolás lineáris

függvényeként fejezhető ki:

$$s = a + b,$$

$$a = \frac{R_e}{\operatorname{tg} \kappa};$$

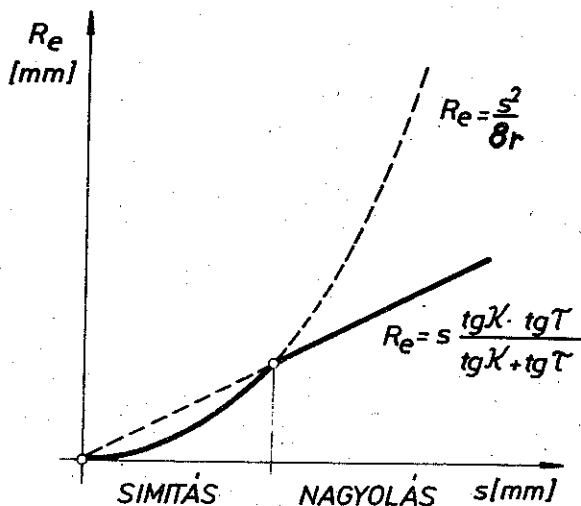
$$b = \frac{R_e}{\operatorname{tg} \tau}$$

$$s = \frac{R_e}{\operatorname{tg} \kappa} + \frac{R_e}{\operatorname{tg} \tau} = R_e \left(\frac{1}{\operatorname{tg} \kappa} + \frac{1}{\operatorname{tg} \tau} \right)$$

És végül az elméleti egyenletlenség nagysága:

$$R_e = s \cdot \frac{\operatorname{tg} \kappa \cdot \operatorname{tg} \tau}{\operatorname{tg} \kappa + \operatorname{tg} \tau} \quad [\text{mm}]$$

A levezetett két összefüggés értelmében megszerkeszthető a 8.4. ábrán feltüntetett diagram, amely az előtolás függvényében mutatja be



8.4. ábra

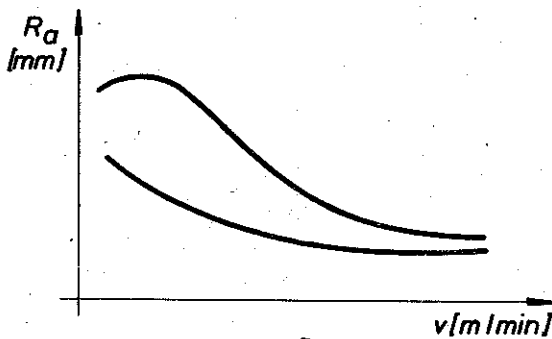
A megmunkált felület érdességének várható alakulása az előtolás függvényében

a maximális egyenetlenség elméleti értékének várható alakulását. Az elméleti egyenetlenség-magasság (R_e) értéke simitáskor a csucssugár növelésével csökken, az előtolás növelésével pedig növekszik. Nagyolás esetén a várható egyenetlenség-magasság elméleti értéke az előtolás növekedésével nyilvánvalóan növekszik, s ugyanilyen jelleggel változik, ha akár a főélelhelyezési szög, akár a mellékél elhelyezési szög növekszik meg.

A forgácsolóél és a megmunkált felület kölcsönhatása különböző képlékeny és rideg anyagok forgácsolásakor. Szerkezeti acélok megmunkálásakor a megmunkált felület érdessége az anyag keménységének növelésekor csökken. Ez elsősorban azzal magyarázható, hogy a keményebb anyagok forgácsolásakor kevésbé kenődnek és tépődnek ki.

A forgácsolási sebességtől függően is lényeges eltérés mutatkozik az elméleti és a valóságos érdesség között. Adott forgácsolási körülmények esetén a nagyobb forgácsolási sebességgel megmunkált felület egyenetlensége jobban megközelíti a számított értéket, mint kisebb sebesség beállításakor. Szerkezeti szénacélok megmunkálásakor a forgácsolási sebesség növekedésével kezdetben nő, majd lényegesen csökken a felületi egyenetlenség magassága. Ezt a kutatók az élrátét keletkezésével hozzák kapcsolatba, amelynek intenzitása szintén a forgácsolási sebességgel függ össze (8.5. ábra).

Rideg anyagok (réz, bronz, öntöttvas stb.) megmunkálásakor a forgácsolási sebesség növelése nem okoz egyenetlenségi maximumot, mivel ezek forgácsolásakor élrátétképződés nem jelentkezik. Ugyanakkor a tört



8.5. ábra

A megmunkált felület érdességének várható alakulása a forgácsolósebesség függvényében

forgácsot adó, rideg anyagok felülete a szemcsék kitöredezésének nyomait mutatja.

A csúcstávolság változása az egyenetlenség nagyságát nem egyedül a geometriai összefüggések szerint befolyásolja, ugyanis növekedésével megváltozik a forgácskeresztmetszet alakja. Ez megváltoztatja a képlékeny alakváltozás feltételeit, és ezen keresztül az egyenetlenség magasságát is.

A szerszám kialakításából eredő hatás, valamint az előtolás és a forgácsolási sebesség jelentős befolyásoló szerepe mellett a fogásmélység felületi érdességre gyakorolt hatása lényegileg elhanyagolható.

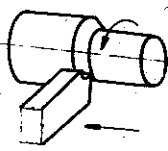
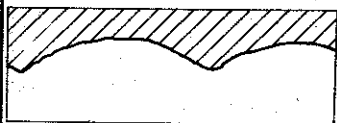
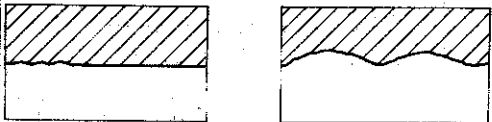
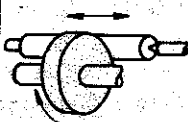


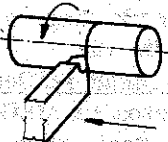
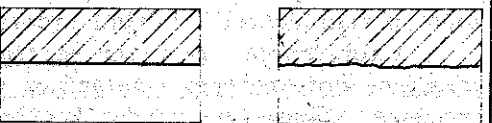
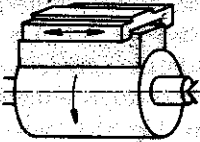

A szerszám homlokszögének növelésekor a megmunkált felület érdessége csökken, mivel a homlokszög növelésével a forgácsadó deformációja csökken.

A hátszög növelésével a megmunkált felület érdessége csökken. Ez azzal magyarázható, hogy a forgácsolt felület és a szerszám hátlapja között kisebb a rugalmas alakváltozás. Ebből következik, hogy a hátkopás növekedésével a felületi érdesség romlása is együtt jár.

A forgácsolási rendszer rezgésjelenségei a megmunkált felület valóságos érdességének romlásához vezetnek. Ezért fontos az MKGS-rendszer merevségét minden körülmények között biztosítani, vagy a beállott instabil állapotot csillapítani, vagy elhangolni.


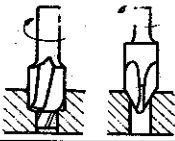
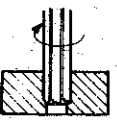
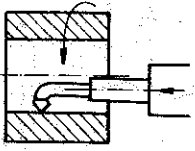
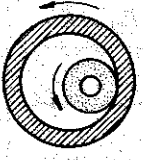
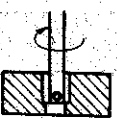
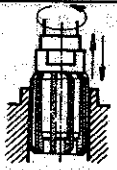
Az alkatrész működése, ill. igénybevétele alapján előírt felületi minősége (hullámosság, érdesség, felületi réteg keményedés stb.) a megmunkálási módok, a szerszám és a technológiai adatok helyes megválasztásával biztosíthatók. Az egyes forgácsolási eljárásokkal elérhető felületi érdességi tartományokat az MSZ 4724 szabvány foglalja össze.

A 8.6. ábra a külső hengeres felületek megmunkálásakor elérhető II minőségeket és az átlagos érdességi értékeket (R_a) mutatja be. A 8.7. ábrán a belső hengeres felületek megmunkálására jellemző felületminőségi adatokat foglaltuk össze. A 8.8. ábrán pedig síkfelületek megmunkálásakor elérhető érdességi és megmunkálási pontossági értékek áttekintő összefoglalása látható.


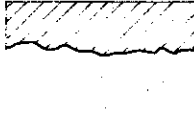

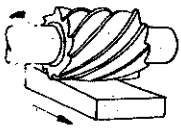
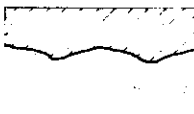

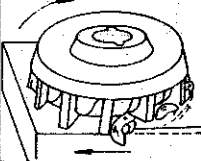
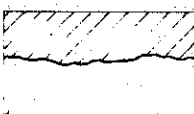

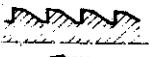
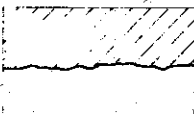

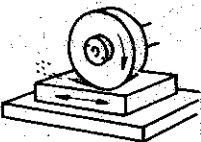
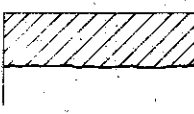
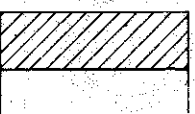
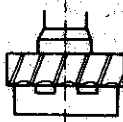
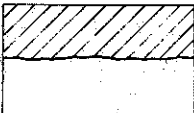

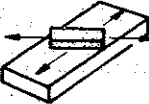
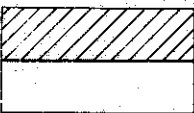
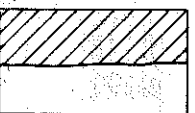
Esztergálás 	nagyoló IT 12 - 14 $R_a = 10$ vagy ennél nagyobb	
	simitó IT 8 - 10 $R_a = 1,25$ ~ $R_a = 5$	
Köszörülés 	normál IT 6 - 8 $R_a = 0,63$ ~ $R_a = 2,5$	
	finom IT 4 - 6 $R_a = 0,08$ ~ $R_a = 0,32$	
Finomesztergálás 	acélon IT 6 - 7 öntöttvason IT 5 - 6 szinesfemen IT 4 - 6 $R_a = 0,04$ (gyemánttal) ~ $R_a = 0,63$	
	Tükörsimítás (superfinish)  IT 5 - 6 $R_a = 0,04$ ~ $R_a = 0,32$	

8.6. ábra

Külső hengeres felületek megmunkálásakor elérhető minőségek és átlagos érdességek

	Fúrás IT 10 - 13	$R_a = 20$ -tól (egészen $R_a = 80$ -ig)	
	Sütyesztés IT 11 - 13	$R_a = 10$ -tól (egészen $R_a = 80$ -ig)	
	Dörzsölés több lépésben IT 7 - 8 egy lépésben IT 9 - 10	$R_a = 0,32$ több lépésben	$R_a = 5$ elődörzsölés
	Furatesztergálás IT 8 - 9	$R_a = 1,25$	$R_a = 5$
	Furatköszörülés IT 5 - 7	$R_a = 0,16$	$R_a = 1,25$
	Finomfúrás Acél IT 6 - 7 Öv IT 5 Színes- fém IT 4	$R_a = 0,08$ (gyémánttal)	$R_a = 1,25$
	Hónolás (dörzsköszörülés) IT 6 7 (IT 5)	$R_a = 0,02$	$R_a = 0,63$

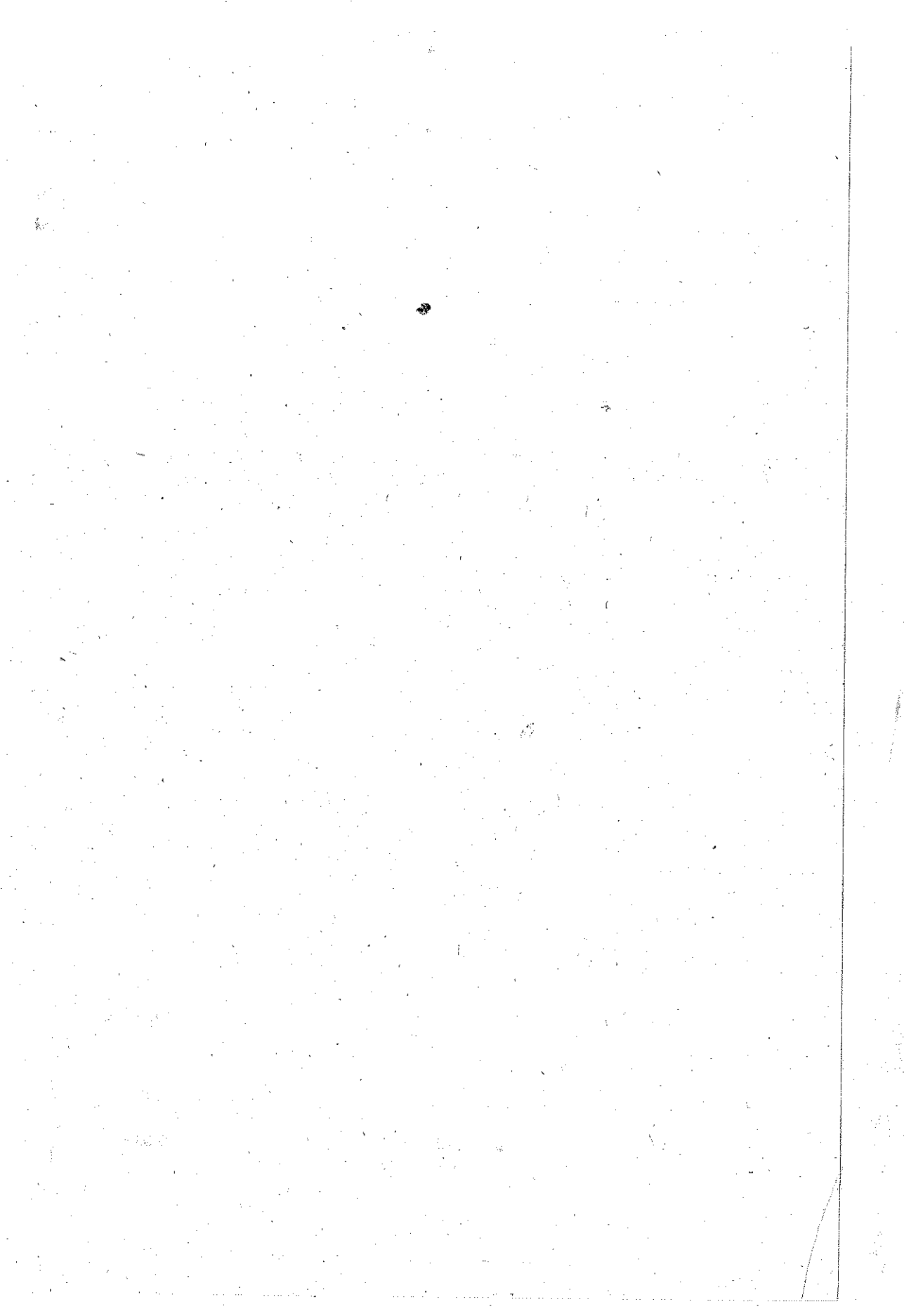
8.7. ábra
Belső hengeres felületek megmunkálásra jellemző
felületminőségek

	Gyalulás és vésés IT 9 - 11	$R_a = 2,5$ 	$R_a = 10$ 
	Palástmarás IT 9 - 11	$R_a = 5$ 	$R_a = 10$ 
	Homlokmarás IT 8 - 9	$R_a = 2,5$ 	$R_a = 10$ 
	Üregelés IT 8	$R_a = 1,25$ 	$R_a = 5$ 
	Köszörülés IT 8 - 9	$R_a = 0,32$ 	$R_a = 1,25$ 
	Finommarás IT 7 - 8	$R_a = 0,32$ 	$R_a = 1,25$ 
	Tükrösítés IT 5 - 6	$R_a = 0,04$ 	$R_a = 0,16$ 

8.8. ábra
Síkfelületek megmunkálására jellemző megmunkálási pontosság
és felületi minőség értékei

Irodalomjegyzék a 8. fejezethez

1. Dr. BAKONDI Károly: Forgácsolás elmélete és forgácsoló technológia I. 49.660/L. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.
2. Dr. GRIBOVSZKI László: Gépipari megmunkálások, Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
3. Dr. FILEMON József: Gépyártástechnológia szerkesztők számára. BME. egyetemi jegyzet: J. 4-732. Tankönyvkiadó, Budapest, 1975.



9. A forgácsolási folyamat rezgésjelenségei és stabilitás vizsgálata

9.1 A forgácsolás rezgésjelenségei

A forgácsoló megmunkálás teljesítményének növelésére és ezzel egyidejűleg a megmunkálási pontosság fokozására irányuló technológiai törekvések különös jelentőséget adnak az MKGS-rendszer dinamikus viselkedésének.

A megmunkáló rendszer maximális kihasználásának igénye azt jelenti, hogy a berendezéseket a teljesítőképesség határain kell üzemeltetni, ezáltal annak érzékenysége a fellépő zavarójelenségek hatására fokozottan érvényesül.

A forgácsoló szerszámgépeken a megmunkálás közben fellépő rezgések következtében a forgácsoló szerszámok idő előtt eléletlenednek, a munkadarab megmunkált felületén a megengedett érdességnél gyakran durvább rezgésnyomok maradnak, megnövekszik a szerszámgép elemeinek kopása és a rezgés veszélyezteti sokszor a megmunkálás pontosságát és a gép épségét is.

A megmunkálás során bekövetkezett rezgések elkerülése érdekében a már beállított forgácsolási adatokon rendszerint drasztikusan változtatni kell, amely az előre tervezett termelékenységet és gazdaságosságot lényegesen befolyásolja. Ahhoz, hogy a forgácsolási rendszer korlátait pontosan meghatározhassuk és az adott MKGS-rendszert a teljesítőképesség határain üzemeltetve megbízható körülmények között kihasználhassuk, a forgácsolási folyamatban fellépő rezgésjelenségek törvényszerűségeit meg kell ismernünk.

A forgácsoló megmunkálás során a szerszámgépeken mérhető rezgéseket két fő csoportba lehet sorolni:

- külső eredetű kényszer-rezgések,
- öngerjesztett rezgések.

A külső gerjesztésű rezgések a forgácsolási folyamatától függetlenül is kialakulhatnak. Ezzel szemben az öngerjesztésű rezgések mindig közvetlen kapcsolatban vannak a forgácsolási folyamattal, s csak zárt hatásláncú forgácsolási folyamat esetén jöhetnek létre.

9.11 Külső gerjesztési forgácsolási rezgések

A külső eredetű gerjesztett rezgések származhatnak gépen kívüli erőhatásból és gépen belüli erőhatásból is:

- a gerjesztett rezgések gépen kívüli "forrásból" származó rezgései, amelyek a gépalapon keresztül jutnak a szerszámgépbe, és gerjesztik a különböző gépelemeket, megfelelő gépalapozással általában kiktűszöbölhetők;
- a gépen belüli erőhatásokból származó rezgések további két ok-csoportra vezethetők vissza:
- a gépen belül rezgést kelthetnek a forgó- (esetleg haladó) mozgást végző gépelemek (pl.: motorok, fogaskerekek, tengelyek, csapágyak stb.), melyek gyártási vagy szerelési pontatlanságából gerjesztett rezgések származhatnak;
- igen lényeges rezgéskeltő hatása van a váltakozó forgácsolóerővel jellemezhető forgácsoló eljárásoknak is, ezeket a rezgéseket a forgácsolási folyamattól függő kényszerrezgéseknek nevezhetjük.

Az egyes forgácsolási eljárások periodikusan váltakozó forgácsolóerővel dolgoznak. Ilyen, pl.: marás, amelynél a fogásban lévő forgácsolóelek száma, s ezzel a forgácsolóerő nagysága és iránya is változik. Kényszerrezgéseket ébreszt az egyenlőtlen ráhagyás a munkadarab excentrikus befogása és az ugyancsak excentrikusan befogott szerszámmal végzett megmunkálásból származó periodikusan változó forgácsolóerő is.

9.12 Öngerjesztett forgácsolási rezgések

Az öngerjesztett rezgést olyan erőváltozás hozza létre, amelyet maga a rezgőmozgás tart fenn. Ilyenkor a külső energiaforrás csak a rendszer energiaveszteségeit pótolja, az öngerjesztett rezgés frekvenciája az adott rendszerben állandó és amplitudója is egy állandó értéknél állapodik meg. A forgácsolási folyamattól függő öngerjesztett rezgések alapvető okai a következőkben foglalhatók össze:

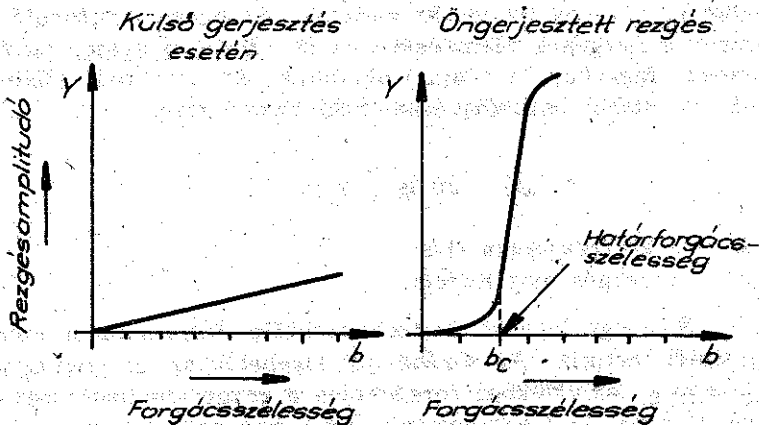
- a forgácsoló erőnek a forgácsolási adatoktól való ismert jellegű függése;
- az élsisakképződés jelensége;
- a forgácsológépek leválása diszkrét impulzusokban megy végbe;
- a megmunkált felület hullámosságával összefüggő ún. "regeneratív-effektus".

9.121 A forgácsolási adatok hatása az öngerjesztett forgácsolási rezgésekre

Az öngerjesztett forgácsolási rezgésekkel az utóbbi évek számos kutatója mélyrehatóan foglalkozott. A Szovjetunióban A. P. SZOKOLOVSZ-KIJ, Angliában S. A. TOBIAS, Csehszlovákiában J. TLUSTY és mások. Kísérleti megállapításaik alapján, arra lehet következtetni, hogy a forgácsolási sebesség növelésével a rezgések amplitudója egy bizonyos kritikus sebességig növekszik, majd a rezgés intenzitása csökken, esetleg teljesen megszűnik. Ez a jelenség jó analógiája a forgácsolóerő-forgácsolási sebesség közötti kapcsolatnak.

Az előtolás hatása a rezgés intenzitására kezdetben ingadozó, amely azzal magyarázható, hogy igen kis előtolások esetén a forgácsleválasztási folyamat labilis, mert ilyenkor a szerszám még nem forgácsol, legfeljebb tömöríti az anyagot, de az előtolás növekedésével a rezgés intenzitása, s ezzel a forgácsleválasztási folyamat instabilitása is csökken.

A rezgések nagysága a forgásmélység növekedésével szintén növekszik. Ez abból ered, hogy a forgácsszélesség növekedésével együtt nő a szerszámról ható forgácsolóerő is. A külső gerjesztésű rezgésekkel ellentétben az öngerjesztett rezgések nem vezethetők közvetlen vissza a külső gerjesztő erőhatásra, hanem inkább a rendszer instabilitásában keresendő a válasz. Külső gerjesztésű rezgések esetén ugyanis a rezgésamplitudó nagysága arányos a forgácsszélességgel, illetve az attól függő nagyságú periodikus gerjesztő erő nagyságával. (Lásd a 9.1. ábrát!) Ellenben öngerjesztett rezgések esetén a rezgésamplitudó értéke egy bizonyos forgácsszélességig arányosan növekszik annak értékével,



9.1. ábra

A rezgésamplitudó lefutásának jellege külső gerjesztésű és öngerjesztett rezgések esetén

azonban ekkor, az un. határ-forgács szélesség elérésekor hirtelen egy sokkal nagyobb értéket vesz fel. Az irodalomban kizárólag erre, az öngerjesztett rezgéssel keltett berezgésre terjedt el az un. "ratter-határ" fogalma.

9.122 Az élsisak-képződés rezgéskeltő hatása

Az élsisakképződés zónájában forgácsolva ugyancsak jellegzetes dinamikus jelenség: rezgés zajlik le. Ebben a sebességtartományban a megengedhető fogásmélység értékét jelentősen csökkenteni szükséges a rezgésveszély elhárítása érdekében. Az élsisak jelenléte megváltoztatja a szerszám működő élszögeit és ezen keresztül közvetlen hatást fejt ki a forgácsolóérré. A forgácsolóerő ingadozása pedig instabillá teszi a forgácsolási folyamatot.

9.123 A rezonancia-jelensége

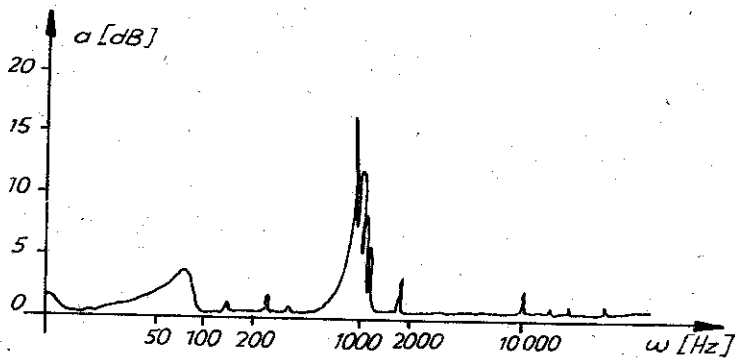
Tapasztalatok bizonyítják, hogy viszonylag nagy forgácsolási sebességek esetén (pl. $v \approx 10 - 15$ m/s; gyémántesztergánál) öngerjesztett rezgések keletkezésével kell számolni, ezért ezen szerszámgépek főorsóit csillapító elemmel (ékszijjal) hajtják. Különösen veszélyes helyzet áll elő, ha a gerjesztő hatás frekvenciája megegyezik a rendszer saját frekvenciájával, mert ez ennek hatására létrejövő rezonancia-jelenség a szerszám, a munkadarab, de a szerszámgép szempontjából is rendkívül káros. A rezonancia jelenség nemcsak a finommegmunkálógépeknél léphet fel, hanem például marógépeknél is, ahol - irodalmi adatok szerint - a főhajtómű saját frekvenciája: $f_0 = 10-25$ Hz, a gerjesztő frekvencia pedig: $f_g = 12-50$ Hz között változik. Az egyes forgácsoló megmunkálásoknál a rezgések elemzésére az un. Bode-diagram, az amplitúdó-frekvencia függvény; $a = a(\omega)$ alkalmas. Az amplitúdó dB-ben mért értéke az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$a(\omega) = 20 \lg [Y(j\omega)]$$

ahol ω = a körfrekvencia (1/s)

$Y(j\omega)$ = a rezgés amplitúdója.

A 9.2. ábra egy fogaskerék fogköszörülési folyamatokor mért Bode-diagramját mutatja. Az ábrából jól kivehetők az un. rezonancia-frekvencia sávok, amelyekben forgácsolva a rezgésamplitúdó ugrásszerű megnövekedésével kell számolnunk. Ez a berezgés többnyire összefüggésbe hozható a szerszámgép valamely gyenge pontjával.



9.2. ábra
Egy fogköszörülési folyamat Bode-diagramja

9.124 A forgácsképződés folyamatának rezgéskeltő hatása

Ha a megmunkált felületen a munkavonalak irányában módunkban áll megmérni a rezgések nyomaként jelen lévő hullámok hosszát (l), akkor a rezgésszám az egy másodperc alatt megtett forgácsolási ut és a hullámhossz viszonyából számítható:

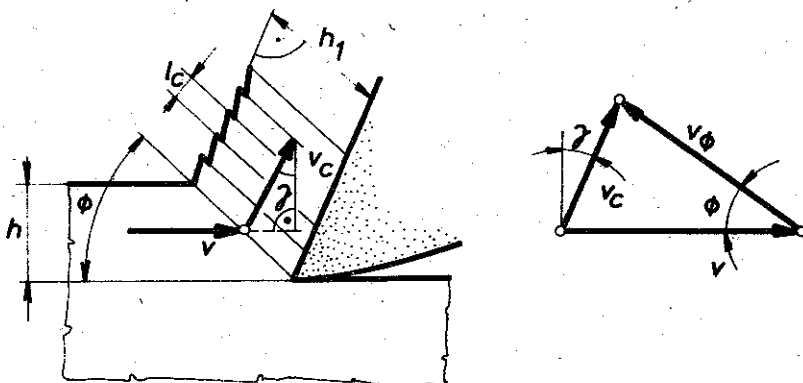
$$f = \frac{1000 \cdot v}{60 \cdot l} \quad [s^{-1}]$$

ahol f - a rezgés frekvenciája (Hz)-ben,
 v - a forgácsolási sebesség (m/min)-ban,
 l - a hullámhossz (mm)-ben.

A forgácsleválasztási folyamatban a forgácslemek elnyiródásának szakaszosságából bekövetkező periodikus jelenség is rezgéskeltő hatású. Az irányshoz (v) forgácsolási sebességgel érkező elemi tömegű részecskéi a forgácsrétegnek, az irányshoz mentén iránytörést szenvednek, s a forgácslemek elcsuszása után a szerszám homloklapjával közel párhuzamos irányban a forgácslefutás (v_c) sebességével hagyják el a forgácsstövet. Az iránytörés következtében, mivel a forgácsolási sebesség és a forgácslefutási sebességnek az előbbi irányába eső vetülete eltérő nagyságúak, impulzus szabadul fel. Ez az impulzus a forgácsstőben egy rezgéskeltő dinamikus hatás okozója.

Ha a forgácsstőben értelmezett sebességvektorok alkotta hodográfot elemezzük az alábbi összefüggés fedezhető fel (9.3. ábra):

$$\frac{v}{v_c} = \frac{\sin [90^\circ + (\alpha - \phi)]}{\sin \phi}$$



9.3. ábra

A forgácstőben bekövetkező sebességváltozások a forgácsselemek elhíródásakor

Az egyenlet jobb oldalán található trigonometrikus kifejezést azonosan átalakítva, majd egyszerűsítve a:

$$\frac{v}{v_c} = \frac{\cos \gamma \cdot \cos \phi}{\sin \phi} + \sin \gamma$$

alakú kifejezéshez jutunk; s ha ebbe behelyettesítjük az alakváltozási tényezőt a:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\cos \gamma}{\xi - \sin \gamma}$$

alakú kifejezéséből adódó alakját, akkor a következő végeredményt kapjuk:

$$\frac{v}{v_c} = \xi, \text{ ahonnan: } v_c = \frac{v}{\xi}$$

Mivel az alakváltozási tényező $\xi < 1$ az esetek többségében, ezért $v_c < v$.

A forgácslefutás sebességének a forgácsolási sebességből és az alakváltozási tényezőtől való kifejezése lehetőséget teremt arra is, hogy egy-egy forgácsselem közepes rétegvastagságát (l_c) megmérve, a forgácsselemek időszakos elcsuszásából származó gerjesztő frekvencia nagyságát meghatározhassuk:

$$f_g = \frac{v_c}{l_c \cdot 60} \quad [\text{Hz}]$$