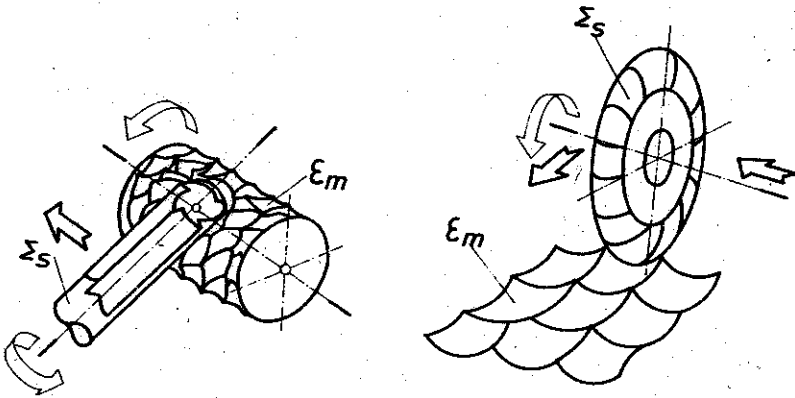


2.7. ábra

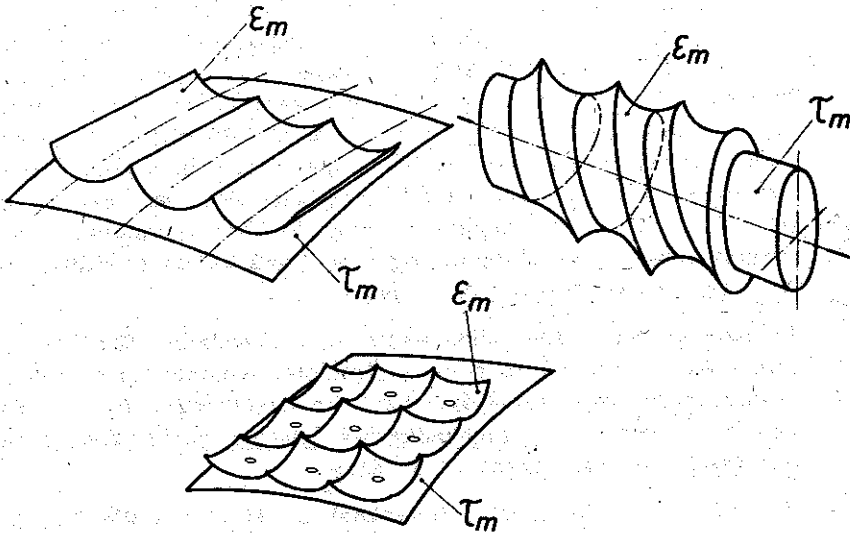
Egyszer barázdáltan előállított felületek kialakulása

metszése után a munkadarabon egy egyszer barázdáltan előállított felület marad vissza ( $\epsilon_m$ ) (2.7. ábra).

- Az előállított felület ugyancsak egyszer barázdált lesz, ha a sokélű szerszám szerszámtartójának rendszere a munkadarab tengelyével párhuzamos haladó mozgást végez, miközben a munkadarab  $e$  - (a szerszám gép térrendszerében rögzített helyzetű) - tengely körül forog, és a szerszámfelület ( $\Sigma_s$ ) a munkadarab tengelyéhez képest kitérő tengelyű forgáshenger. Ekkor a szerszámfelület a munkadarab térrendszerében egy csavarfelületet ( $\varphi_m$ ) burkol. A forgácsolt burkolófelület önelmetsződése következtében a munkadarabon egyszer barázdáltan előállított felület ( $\epsilon_m$ ) marad vissza (2.7. ábra).
- Ha azonban az előbbi példa esetében a szerszám többéli, akkor annak egyes élei sorra a csavarfelületet burkoló forgácsolt felülettartományokat surolják. Ezek önelmetsződése és egymással való metszése után a munkadarabon kétszer barázdáltan előállított felület marad vissza (2.8. ábra).
- A barázdáltan előállított felületeknek az ideális felülettel való kapcsolatával a gépgyártástechnológián belül a megmunkált felületek mikrogeometriája foglalkozik.
- Az egyszer barázdáltan előállított felületnek van egy többször-érintő felülete. Ez a felület az előállított felületet a barázdák alján végigfutó vonalban vagy vonalakban érinti.
- A kétszer barázdáltan előállított felületnek szintén van a többször-érintő felülete: ez az előállított felületet a barázdák alján elhelyezkedő pontokban érinti (2.9. ábra).
- Mivel a barázdáltan előállított felület és ennek többször-érintő felülete között lévő térrész is a munkadarabhoz tartozik, a



2.8. ábra  
Kétszer barázdáltan előállított felületek kialakulása



2.9. ábra  
A barázdáltan előállított felületek többszörérintő felületei

többszörérintő felületet nem lehet a munkadarab ideális felületével azonosnak tekinteni.

- A mikrogeometriai vizsgálatok feladata, hogy a barázdált felületekhez olyan középfelületet határozzon meg, amely a többszörérintő felületen kívüli, a barázdákat alkotó térfogatókat egy meghatározott tartományon belül közepelje. Lásd: a felületi érdesség vizsgálatakor középvonala kijelölése!

- Egyes esetekben a barázdálttság egyenletes (pl.: sík felületek gyalulása, vésése, vagy forgáshenger felületek esztergálása). Ilyen esetekben az előállított felület középfelülete a tartományhatároktól függetlenül a többször érintő felülettel egzakt értelemben egyenközű felület, és az ideális felület, illetve a középfelület a tőrésfelületek közötti tartományon belül elhelyezkedő, egzakt értelemben egyenközű felületeknek tekinthetők.

Általában a barázdálttság nem egyenletes (pl.: sík felületek homlokmarása, fogfelületek lefejtése, forgáshenger felületek rotációs marása). A középfelület ilyen esetben a vizsgált tartományoktól nem független, és meghatározása bonyolultabb matematikai feladat.

A középfelület gyakorlati meghatározásában nem az elméleti előállított felület barázdálttsága, hanem a valóságos megmunkált felület hullámossága és érdessége a döntő. Ezek kialakulásában viszont a gyártásgeometriailag tárgyalható barázdálttság csak egy a tényezők közül. A megmunkált felület hullámosságának, érdességének kialakulását geometriai és fizikai, közelebbről rezgéstani, metallográfiai, forgácsoláselméleti stb. tényezők egyaránt befolyásolják. E kérdésnek tehát csak egyes vonatkozásai tartoznak a forgácsoló megmunkálás mozgásgeometria alapjainak témakörébe.

Az előállított felület gyártásgeometriai vizsgálata vezetett el ahhoz a felismeréshez, hogy ugyanazon ideális felület többféle meghatározott kinematikájú gépi megmunkálással is előállítható, továbbá ugyanazon felület azonos eljárással különböző munkavonalak mentén is megmunkálható, (pl.: hosszszesztergáláskor a forgáshengerfelület különböző előtolásértékekhez tartozó különböző csavarvonalu munkavonalak szerint). Az előállított felületek csupán mikrogeometriájukban lesznek eltérők.

Az alakképzés geometriájának figyelembevételével forgácsoláskor bármely felület leképezhető, melynek alapvető gyártástechnológiai megoldásai a következők:

- a szerszám alakjának átmásolása (profilozás),
- a szerszámfelület előírt mozgáspályán történő vezérlése (mozgásprogram),
- a generáló felület legördítése (generálás-lefejtés).

Profilozás során az alakprogramot hordozó alakos szerszámot programszerszámnak hívjuk.

A profilozó eljárások mozgásai rendszerint egyszerű mozgások. (Pl.: alakbeszuró esztergálás, fogazás hátraesztergált fogu alakos maróval, alakos furat üregelése stb.)

A mozgásprogram alapján történő megmunkálás megvalósítható egyszerű mozgásokkal (pl.: hosszszesztergálás, síkmarás stb.), vagy programvezérléssel: másolással, illetve számjegyes pályavezérléssel. Ilyenkor a szerszám élalakja rendszerint a lehető legegyszerűbb, s az

előállítandó felület alakjától függően a szerszámmozgások lesznek egyszerűek vagy bonyolultak.

Az alakos szerszámfelület legördítésével megvalósítható generálás esetében a szerszám maga is mozgásprogram hordozó. A szerszám alakja a létrehozandó generáló felülethez igazodik. A generáló felület legördítése az esetek többségében a lefejtő elv megvalósítását jelenti. A generálás általánosabb gyártásgeometriai fogalom, mint a lefejtés, hiszen a lefejtés során is a generáló felület legördítésével alakítja ki a szerszám a szerszám gép szigorú kinematikai mozgáskapcsolatainak felhasználásával az előállított felületet, miközben a szerszám a szerszám gép térrendszerében a generáló felületet surolja vagy burkolja.

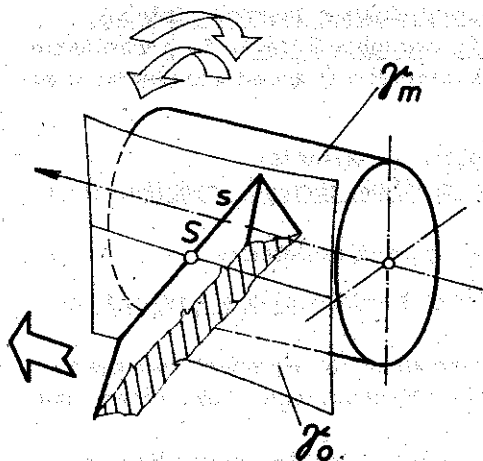
Generáló felület lehet minden olyan szerszámél által surolt vagy a szerszámfelület által burkolt felület, amelynek burkolófelületeként a munkadarab elméleti felülete elvileg előállítható. A szerszám gép elvi generáló mozgásainak együttese szükségképpen különbözik a megmunkálás során ténylegesen működő mozgások együttesétől, ez annál egyszerűbb.

A forgácsolási műveleteknek generáló műveletté való gondolati átalakítása a felületek előállításának mozgásgeometriai modellalkotásával egyszerűsíti és szemléletessé teszi a bonyolultabb mozgásviszonyok megértését. Ezen gondolati absztrakció során nemcsak mozgásokat szüntethetünk meg, hanem az egyidejű mozgásokat gondolatban egymásutáni mozgásokká is átalakíthatjuk.

Fordítva pedig, a generálás egymásutáni mozgásainak egyidejűvé tételével vagy a generáláshoz szükségtelen mozgások hozzáadásával szüntetik meg az elvi generálásból maga a tényleges forgácsolás.

Példaként gondoljuk végig egy forgáshenger generálással történő leképzését (2.10. ábra).

A szerszám gép térrendszerében rögzített helyzetű munkadarab tengelyéhez képest egy kitérő helyzetű egyenes forgácsolóéllal a munkadarab tengelyével párhuzamos irányban haladó mozgást végezve generáló síkot ( $\gamma_0$ ) surolunk, majd a következő lépésben a munkadarab tengely körül forgatásával e generáló sík a forgáshengert ( $\gamma_m$ ) burkolva generálja. Ha a mozgásokat egyidejűleg működtetnénk, akkor az egy barázdáltan előállított felület eredményezne, a generált felület az ideális felületet megközelítő barázdálatlan felület lett.



2.10. ábra  
Forgáshenger generálással történő  
leképzése

Mivel valamilyen geometriai alakzat előállítása igen sokféle közelítéssel valósítható meg, az előállított felületnek a tőrés határfelületek közötti elhelyezése a technológus számára tág lehetőségeket teremt az adott feltételeknek legjobban megfelelő és leggazdaságosabb szerszám, illetve eljárás megválasztására.

## A fejezethez felhasznált irodalom

1. DRAHOS István: A szerszámgeometria mozgásgeometriai alapjai. BME. Továbbképző Intézetének kiadványa Ng. 34. Tankönyvkiadó, Bp. 1972.
2. DRAHOS István: A forgácsolószerszámok gyártásgeometriájának alapjai. BME. Továbbképző Intézet kiadványa Ng. 35. Tankönyvkiadó, Bp. 1974.
3. Dr. DRAHOS István: A forgácsolószerszámok élgeometriájának alapvető kérdései. IV. Szerszám- és Szerszámanyag Kollokvium, Miskolc, 1978. NME. Miskolc, Sokszorosító Ú. Ggy-78-1900.
4. DUCA Zoltán: Bazele teoretice ale prelucrarilor pe masini unelte. Ed. didactica si pedagogica, Bucuresti, 1969.
5. Dr. GRIBOVSKI László: Gépipari megmunkálások. Tankönyvkiadó, Bp. 1977.
6. LASNEV Sz.I. - JULIKOV M.I.: Razcsot i konsztruirovanie metallo-rezsuscsih instrumentov sz primenyeniem. EVM. Masinosztroenyije, Moszkva, 1975.

### 3. Forgácsolószerszámok élgeometriája

Élgeometria néven foglaljuk össze a forgácsoló szerszámok forgácsolókének méretes tulajdonságait. A méretes tulajdonságok egy része benne van a szerszám szerkezetében, míg e tulajdonságok másik része csak akkor fogalmazható meg, ha ismerjük a szerszámnak és az általa forgácsolt munkadarabnak a relativ mozgását.

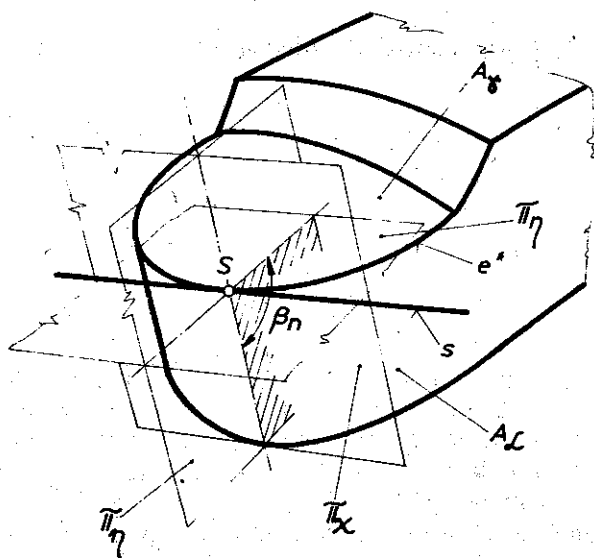
Az élgeometria tehát egy szerkezeti és egy kinematikus élgeometriára osztható. A szerkezeti élgeometriai vizsgálatok a szerszám gyártása, szerelése, élezése és ellenőrzése szempontjából fontosak és rendszerint a forgácsolóél egy megadott pontjára vonatkoznak. A kinematikai élgeometriai vizsgálatok a forgácsoláselméleti vizsgálatokhoz, a forgácsolási technológiának és magának a forgácsoló szerszámnak a megtervezéséhez nélkülözhetetlenek. A kinematikai élgeometria megállapításai rendszerint a forgácsolóél egy pontjára vonatkoznak, de szükség esetén kiterjeszthetők a teljes forgácsolóélre és a forgácsolás teljes időtartamára.

A szerkezeti élgeometriai vizsgálatokhoz egy szerszám-meghatározórendszer, a kinematikai élgeometriai vizsgálatokhoz pedig egy működő meghatározórendszer kialakítására van szükség. A forgácsolószerszámok élgeometriájának fogalmait és nomenklaturáját minden egy- vagy többélű szerszámra érvényesen az MSz 16900/1...3 szabványsorozat foglalja össze. A szerszámmeghatározó rendszer az MSz 1690/2., a működő meghatározó rendszer az MSz 16900/3. szabvány tárgya.

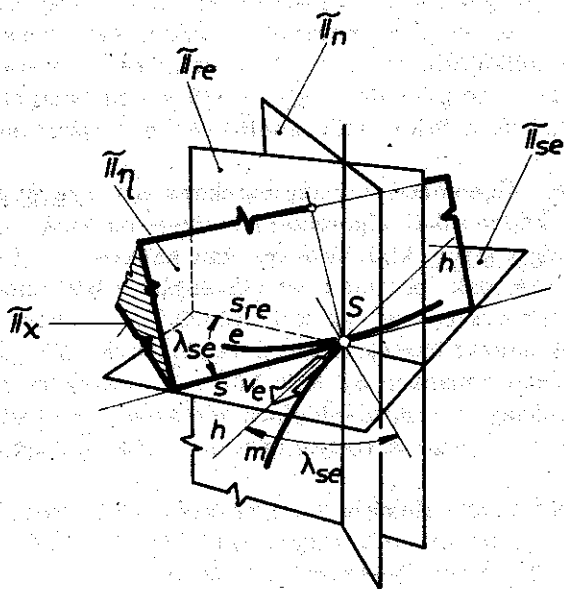
A forgácsolóéket a forgácsolóélben metsződő homlokl felületnek ( $A_{\gamma}$ ) és hátfelületnek ( $A_{\alpha}$ ) a forgácsolóéllel határolt tartományai zárásközre.

A forgácsolóél ( $e$ ) valamely ( $S$ ) pontjában a homlokl felület ( $\pi_{\eta}$ ) és a hátfelület ( $\pi_{\alpha}$ ) érintősíkjai a forgácsolóél ( $s$ ) érintőjében metsződnek és egymással a ( $\beta_n$ ) normálékszöveget zárják be.

A forgácsolóéket az élgeometriai vizsgálatokban helyettesíthetjük az adott pontbeli ( $s$ ) főélelrintővel, valamint a homlokl felület ( $\pi_{\eta}$ ) érintősíkjával és a hátfelület érintősíkjával ( $\pi_{\alpha}$ ). A forgácsolóék így értelmezett linearizációját - (amit tehát az  $S$ ,  $s$ ,  $\pi_{\eta}$  és  $\pi_{\alpha}$  konfigurációja jellemez) - lineáris forgácsolóéknak nevezzük (3.1. ábra).



3.1. ábra  
A forgácsolóék elemei



3.2. ábra  
A lineáris forgácsolóék és tájolása

A lineáris forgácsolóéket kinematikai szempontból az eredő forgácsolósebesség ( $v_e$ ) mozgásvektorával tájolhatjuk. Geometriai szempont-



ből a mozgásvektor hatásvonalának (h) ismerete is elegendő a tájolóshoz. A mozgásvektor (h) hatásvonala az eredő forgácsolóiránnyal esik egybe (3.2. ábra).

A forgácsolóél névleges pontjában az eredő forgácsolóirány a munkavonal érintője. Az eredő forgácsolóirányra a vizsgált pontban merőleges sík a munkavonal normálsíkja ( $\pi_{re}$ ). Ezt a síkot a szabvány a működő meghatározórendszerben referencia-sikként választja és működő alapsíknak ( $P_{re}$ ) nevezi.

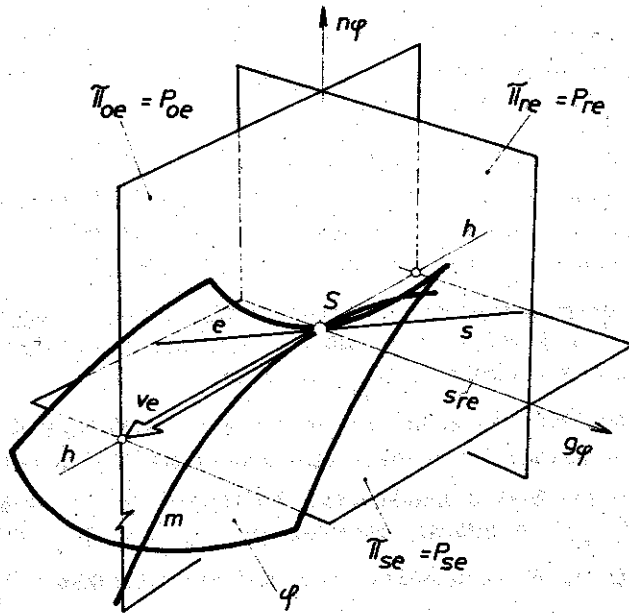
A forgácsolt felület ( $\pi_{se}$ ) érintősíkját a forgácsolóél névleges pontjában a szerszámél (s) érintője és a munkavonal (h) érintője határozzák meg. Ezt a síkot a szabvány megfogalmazásában működő élsíknak ( $P_{se}$ ) nevezzük. Mivel a működő élsík tartalmazza az eredő forgácsolóirányt, ezért a működő élsík és a működő alapsík egymásra merőleges síkok. A működő élsík a működő alapsíkot a forgácsolóél érintőjének alapsíkba eső vetületén ( $s_{re}$ ) át metszi.

A forgácsolóél (s) érintőjére merőleges a forgácsolóél ( $\pi_n$ ) normálsíkja. A szabvány ezt a síkot élnormálsíknak ( $P_n$ ) nevezi. A forgácsolóél normálsíkjának a munkavonal érintőjével bezárt szöge a működő terelőszög ( $\lambda_{se}$ ). A működő terelőszöget ( $\lambda_{se}$ ) a ( $P_{se}$ ) működő élsíkban mérjük és az él érintőjének (s) a működő alapsíkkal ( $P_{re}$ ) bezárt szögeként, azaz a főél érintőjének (s) és alapsíkba eső vetületének ( $s_{re}$ ) hajlásszögeként értelmezhetjük. (Lásd a 3.2. ábrán!)

A működő terelőszög előjelének értelmezéséhez egy alkalmasnak látszó konvenció szerint pozitívnak választjuk a terelőszöget, ha a szerszámél kiválasztott pontjában az eredő forgácsolósebesség vektorát a működő szerszámélsík felől nézve az óramutató járásával megegyező irányban kell beforgatnunk az élnormálsíkba, miközben a működő terelőszögnek megfelelő köreikket suroljuk. Ellenkező értelmű forgatáshoz negatív terelőszög tartozik. A megállapodás könnyebb memorizálása érdekében egyszerűsítve úgy is fogalmazhatunk, hogy pozitív a működő terelőszög, ha a szerszám csucs - vagy általános térgörbe alakú szerszámél esetén a vizsgált tartományban a helyi szélsőérték helyhez tartozó szerszámélpont - az eredő forgácsolósebesség irányában a szerszámél legmagasabb pontja.

A forgácsolt felület munkavonal menti geodetikus normálsíkja ( $\pi_{oe}$ ), a rektifikálsík a főél vizsgált pontjában a szabvány működő meghatározórendszerbeli értelmezése alapján a működő orthogonálsíknak ( $P_{oe}$ ) felel meg.

A működő orthogonálisik ( $P_{oe}$ ) a forgácsolólél S pontjában a ( $P_{re}$ ) működő alapsík és a működő élsík ( $P_{se}$ ) metszészvonalára ( $s_{re}$ ) merőleges sík, azaz mindkét síkra egyidejűleg is merőleges (3.3. ábra).



3.3. ábra

A forgácsolt felület kísérő triédere a szerszámél vizsgált pontjában

A munkavonal normálisíkja ( $\pi_{re}$ ), a forgácsolt felület érintősíkja ( $\pi_{se}$ ) és a forgácsolt felület munkavonal menti geodetikus normálisíkja ( $\pi_{oe}$ ) egy derékszögű triédert alkotnak. Ezek a síkok egymást a munkavonal érintőjében ( $v_e$ ) a munkavonalnak a forgácsolt felület menti geodetikus főnormálisában ( $g_\varphi$ ) és a forgácsolt felület normálisában ( $n_\varphi$ ) metszik.

Ilyen módon előáll a forgácsolt felülethez kötött fundamentális tengelykereszt, amelynek síkjain keresztül a működő meghatározórendszer vonatkoztatási síkjait is kötni tudjuk a forgácsolt felülethez. A forgácsolt felülethez tájolt fundamentális triédert tehát a működő alapsík ( $P_{re}$ ) a működő élsík ( $P_{se}$ ) és a működő orthogonálisík ( $P_{oe}$ ) alkotják.

Az a felismerés, hogy ugyanazon felület azonos eljárással különböző munkavonalakkal is megmunkálható, a munkasík szabványosított fogalmának megalkotásához vezetett. A szabvány értelmezésében a munka-

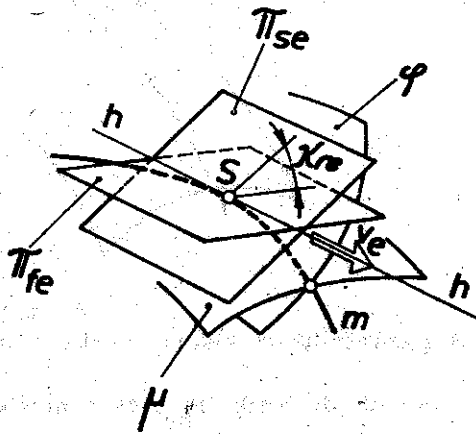
síkot ( $P_{fe}$ ) a főforgácsolósebesség ( $v$ ) és az előtolósebesség ( $v_f$ ) vektorainak hatásvonalai határozzák meg. Ez a megfogalmazás azonban nem elég általános, ugyanis számos megmunkálás (pl.: a lefejtő fogazások sokasága) egy harmadik, a legördítésből származó, és az említettekkel nem komplanáris sebességvektor komponenssel is rendelkezik. Ezért célszerűnek látszik a munkasík fogalmának egy általánosabb megmondása.

Ismétlődő paraméterű munkavonalak mentén történő szakaszos és ciklikus forgácsleválasztás esetén a forgácsolóél vizsgált pontjában a munkafelület ( $\mu$ ) érintősíkjaként definiálható a munkasík ( $\pi_{fe}$ ).

Ciklikus és szakaszos munkavonalak esetében a munkavonalon tehát két felület, a forgácsolt felület ( $\varphi$ ) és a munkafelület ( $\mu$ ) halad keresztül, e két felületnek a főél névleges pontjához tartozó érintősíkjai - ( $\pi_{se}$ ) és ( $\pi_{fe}$ ) -

a működő elhelyezési szöget ( $\kappa_{re}$ ) zárják be egymással (3.4. ábra).

A működő elhelyezési szög a ( $P_{re}$ ) működő alapsíkban mérhető és nagyságát az alapsíkra külön-külön merőleges két sík: a munkasík ( $P_{fe}$ ) és a működő élsík ( $P_{se}$ ) egymással bezárt szöghelyzete határozza meg. Vettleteti ábrázolásban a működő elhelyezési szög ( $\kappa_{re}$ ) az előtoló-



3.4. ábra

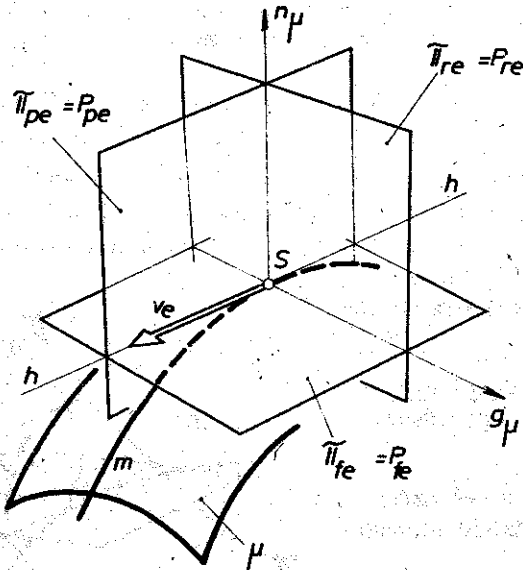
A működő elhelyezési szög értelmezése

irány ( $v_f$ ) és a főél alapsíkban lévő vettlete ( $s_{re}$ ) között mérhető a működő alapsíkban.

A működő elhelyezési szög előjelének értelmezéséhez azt a megállapodást célszerű elfogadni, hogy pozitív az elhelyezési szög, ha az eredő forgácsolósebesség irányával szemben nézve az előtolóirányt az óramutató járásával ellentétes irányban kell beforgatni a működő élsíkba, miközben a működő alapsíkon a működő elhelyezési szögnek megfelelő körcikket suroljuk.

A munkafelület munkavonal menti geodetikus normálsíkját ( $\pi_{pe}$ ), a szerszámmél névleges pontjában a szabvány működő meghatározórendszerbeli értelmezése alapján működő tengelysíknak ( $P_{pe}$ ) nevezzük.

A működő tengelysík ( $P_{pe}$ ) a forgácsolólél vizsgált pontjában a működő alapsík ( $P_{re}$ ) és a munkasík ( $P_{fe}$ ) metszészíkjára merőleges sík, azaz mindkét síkra egyidejűleg is merőleges (3.5. ábra).



3.5. ábra

A munkafelületet kísérő triéder a szerszámél vizsgált pontjában

A működő élsík ( $P_{se}$ ) és a működő tengelysík ( $P_{pe}$ ) által bezárt szög a ( $\psi_{re}$ ) működő élhelyezetszög, amelyet a működő alapsíkban ( $P_{re}$ ) mérünk. A működő elhelyezési szög ( $\kappa_{re}$ ) és a működő élhelyezetszög ( $\psi_{re}$ ) egymásnak pótszögei:

$$\kappa_{re} + \psi_{re} = 90^\circ$$

A munkavonal normálsíkja ( $\pi_{re}$ ), a munkafelület érintősíkja ( $\pi_{fe}$ ) és a munkafelület munkavonal menti geodetikus normálsíkja ( $\pi_{pe}$ ) egy derékszögű triédert alkotnak. Ezek a síkok egymást a munkavonal érintőjében ( $v_e$ ) a munkavonalnak a munkafelület menti ( $g_{\mu}$ ) geodetikus főnormálsíkban és a munkafelület normálsíkban ( $n_{\mu}$ ) metszik. Ilyen módon értelmezhető egy a munkafelülethez kötött fundamentális tengelykereszt, amelynek síkjain keresztül a működő meghatározórendszer síkjait is kötni tudjuk a munkafelülethez.

A munkafelülethez tájolt fundamentális triédert tehát a működő alapsík ( $P_{re}$ ) a munkasík ( $P_{fe}$ ) és a működő tengelysík ( $P_{pe}$ ) alkotják.

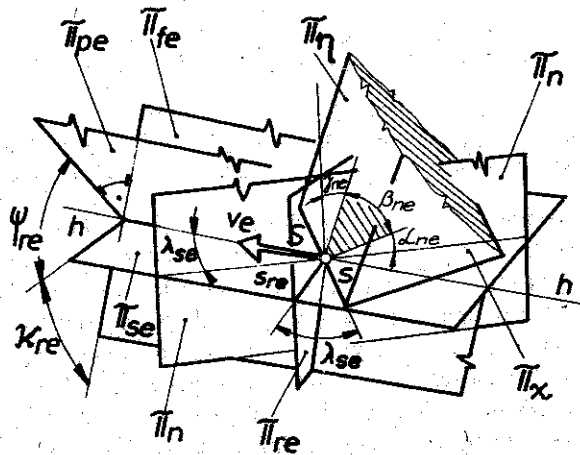
A forgácsolt felülethez tájolt fundamentális triéder a munkafelülethez tájolt fundamentális triédernek az eredő forgácsolóirány körüli ( $\kappa_{re}$ ) működő elhelyezési szöggel való elfordításával nyerhető. A fundamentális triédernek, mint egy felületre irt térgörbe kíséző triédernek a megfogalmazása lehetőséget teremt a szerszámélgeometriai alapfogalmak közötti összefüggéseknek a metematika differenciálgeometriai módszereivel való feltárására. A fundamentális triéderek használata egyrészt számítástechnikai előnyei, másrészt a forgácsolt, - illetve munkafelületek differenciálgeometriai tulajdonságaival való szoros kapcsolatuk miatt feltétlen indokolt. A munkavonal kíséző triéderére kiterjedő tárgyalásmód gyengéje, hogy magának a triédernek a meghatározásához a munkavonal térbeli tulajdonságait is ismerni kell, holott a triéder csupán lineáris tulajdonságok vizsgálatára szolgál, továbbá egzakt matematikai vizsgálatoknál az egyenes munkavonal esetében a kíséző triéder határozatlanná válik.

A kísézőtriéder használhatóságának előbb említett nehézségei ellenére a fundamentális triéder szemléletében is hordoz olyan előnyöket, amelyeket a különféle működő élszögrendszerek tárgyalásakor jól lehet hasznosítani.

A működő lineáris forgácsolóék tájolásakor a forgácsolóék lapjainak helyzetmeghatározásához az eredő forgácsolóirány ismeretén kívül az egyes szerszámék-felületeknek az eredő forgácsolóiránnyal bezárt szöghelyzetét is ismernünk kell. Tekintettel arra, hogy az eredő forgácsolósebesség vektora egyaránt benne fekszik úgy a forgácsolt felület érintősíkjában ( $\pi_{se}$ ), mint a munkafelület érintősíkjában ( $\pi_{fe}$ ), a működő lineáris forgácsolóék tájolható a forgácsolt felülethez is és a munkafelülethez is (3.6. ábra).

A forgácsolóék homloklapjának ( $\pi_{\eta}$ ) a munkavonal normálsíkjaival ( $\pi_{re}$ ) bezárt szögét működő homlokszögnek nevezzük. Attól függően, hogy a működő meghatározórendszer mely vonatkoztatási síkjában keressük a működő homlokszögnek megfelelő metszetet, a szög elnevezése utal a metszősíkra. A szögeket görög kisbetűvel és egy indexszel jelöljük.

Az index arra a síkra utal, amelyben a szóban forgó szöget mérjük, az index második betűjele (e) az effektív szó rövidítése, amely a működő meghatározórendszert jelzi. A működő alapsík ( $P_{re}$ ) és a homloklap által bezárt szög a ( $P_{fe}$ ) munkasíkban mérve - a működő oldal-homlokszög ( $\alpha_{fe}^*$ ); a működő tengelysíkban ( $P_{pe}$ ) mérve - a működő tengelyhomlokszög ( $\gamma_{pe}^*$ ); a működő orthogonálsíkban ( $P_{oe}$ ) mérve - a mű-



3. 6. ábra

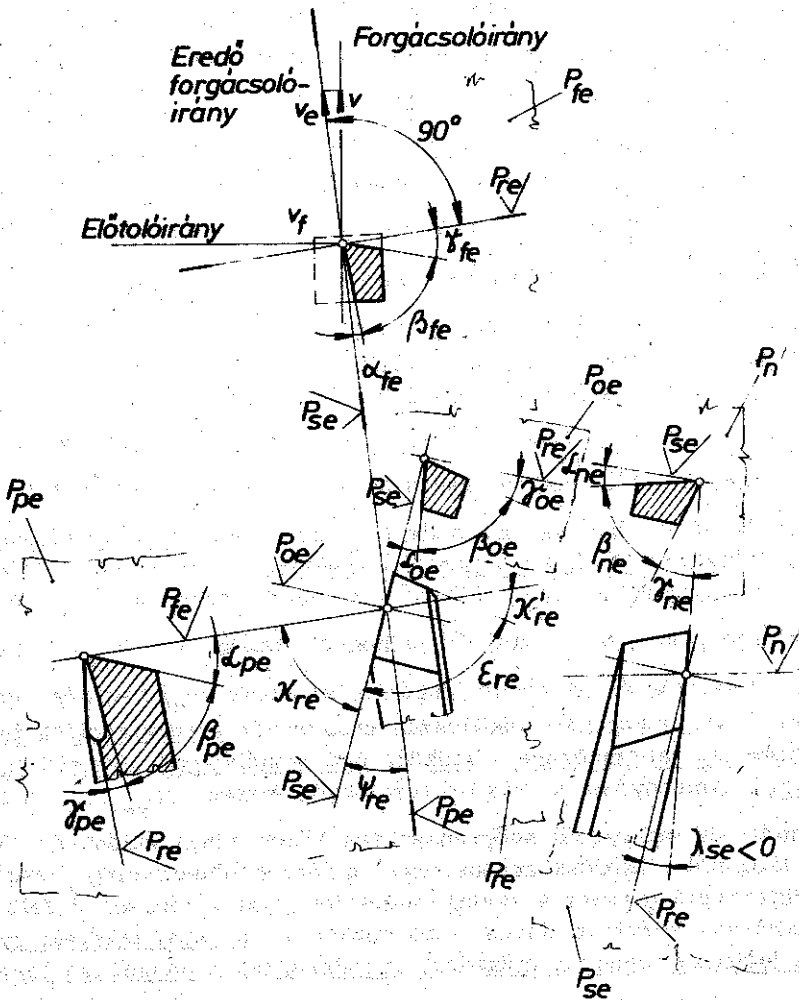
A működő lineáris forgácsolóék tájolása az eredő forgácsolóirányhoz

ködő orthogonálhomlokszög ( $\gamma_{oe}$ ); az ( $P_n$ ) élnormálsíkban mérve pedig - a működő normálhomlokszög ( $\gamma_{ne}$ ).

A forgácsolóék hátlapjának ( $\Pi_x$ ) a forgácsolt felület érintősíkja-  
val ( $\Pi_{se}$ ), azaz a működő élsíkkal ( $P_{se}$ ) bezárt szögét működő hátszög-  
nek nevezzük.

A hátszöget a munkasíkban ( $P_{fe}$ ) mérve - működő oldalhátszögnek  
( $\alpha_{fe}$ ); a működő tengelysíkban ( $P_{pe}$ ) mérve - működő tengelyhátszögnek  
( $\alpha_{pe}$ ); a működő orthogonálsíkban mérve - működő orthogonálhátszög-  
nek ( $\alpha_{oe}$ ); az élnormálsíkban ( $P_n$ ) mérve - működő normálhátszögnek  
( $\alpha_{ne}$ ) nevezzük.

A működő lineáris forgácsolóék homloklapérintősíkja ( $\Pi_\eta$ ) és hát-  
lapérintősíkja ( $\Pi_x$ ) által bezárt ékszöget is az előző értelmezésnek  
megfelelően a működő meghatározórendszer vonatkoztatási metszősíkjai-  
tól függően jelöljük és nevezzük el: a munkasíkban mérve - működő ol-  
dalékszögnek ( $\beta_{fe}$ ); a működő tengelysíkban mérve - működő tengelyék-  
szögnek ( $\beta_{pe}$ ), a működő orthogonálsíkban mérve - működő orthogonál-  
ékszögnek ( $\beta_{oe}$ ). A működő- és a szerszámmeghatározó rendszer él-  
normál síkban mért ékszögei, a normálékszögek ( $\beta_{ne}$ ) a metsző sík  
helyzetének változatlansága következtében mindig azonosak (3. 7. ábra).



3.7. ábra

A tájolt forgácsolóék működő szögei a működő meghatározó rendszerben

Eddigi vizsgálataink nyilvánvalóvá teszik, hogy a tájolt működő lineáris forgácsolóéket az eredő forgácsolósebesség nagyságán kívül négy egymástól független működő szög egyértelműen meghatározza.

A tájolt működő lineáris forgácsolóék leírására a működő meghatározó - rendszeren belül is három működőszögrendszer látszik alkalmazásnak. Ezeket normál-működőszögrendszernek, orthogonál-működőszögrendszernek és koordináta-működőszögrendszernek nevezhetjük.

A forgácsolóék működésközbeni funkciói a normál-működőszögrendszerben tekinthetők át a legteljesebben. A normál-működőszögrendszer három működőszöge, a  $(P_{re})$  működő alapsík, a  $(P_{se})$  működő élcsík és

a  $(P_n)$  élnormálsík, amelyek a szerszámél egy kiválasztott pontjában a  $(P_{fe})$  munkasíkhöz tájolva egy ferdeszögű triédert alkotnak. Ebben a ferdeszögű triéderben csak a  $(P_{re})$  és  $(P_{se})$ , valamint a  $(P_{se})$  és  $(P_n)$  síkok merőlegesek egymásra. A forgácsolóél egyértelmű leírásához szükséges adatok: a  $(\kappa_{re})$  működő elhelyezési szög, a  $(\lambda_{se})$  működő tere-lőszög, az  $(\alpha_{ne})$  működő normálhátaszög és a  $(\gamma_{ne}^*)$  működő normálhom-lokszög, valamint az eredő forgácsolósebesség  $(v_e)$ . Látható tehát, hogy a normálműködő szögrendszerben a forgácsolóél lapjainak jellemzésére az élnormálsíkokban készített metszet szolgál.

Az orthogonál-működőszögrendszer három működősíkja, a  $(P_{re})$  működő alapsík, a  $(P_{se})$  működő élsík és a  $(P_{oe})$  működő orthogonálsík, amelyek a forgácsolóél vizsgált pontjában a  $(P_{fe})$  munkasíkhöz tájolva derékszögű triédert alkotnak. Ez a derékszögű triéder a tulajdonképpeni forgácsolt felülethez tájolt fundamentális triéder. A forgácsolóél leírásá-hoz szükséges adatok: a  $(\kappa_{re})$  működő elhelyezési szög, a  $(\lambda_{se})$  mű-ködő tere-lőszög, az  $(\alpha_{oe})$  működő orthognálhátaszög, a  $(\gamma_{oe}^*)$  működő orthognálhomlokszög és az eredő forgácsolósebesség  $(v_e)$  nagysága vala-mint iránya. Az orthogonál-működőszögrendszerben a forgácsolóél for-gácsolászögeinek jellemzésére a működő orthogonálsíkokban készített met-szet szolgál. Amennyiben a működő tere-lőszög értéke  $\lambda_{se} = 0$ , a mű-ködő normál- és orthogonál szögrendszerek között nincs különbség. Mi-vel az orthogonál működőszögrendszerrel a forgácsoláselméleti vizsgálá-tokat a differenciálgeometria szalagelméletével, azt a forgácsolt felü-letre alkalmazva közvetlen kapcsolatba hozhatjuk, a hazai műszaki gya-korlatban leginkább ennek a működőszögrendszernek a használata terjedt el.

A koordináta-működőszögrendszer három működősíkja a szerszám-él kiválasztott pontjában rendre a működő alapsík  $(P_{re})$ , a munkasík  $(P_{fe})$  és a működő tengelysík  $(P_{pe})$ . Ezek a síkok szintén derékszögű triédert alkotnak, és nevezetesen a munkafelülethez tájolt fundamentális triédert valósítják meg. Mivel a munkafelület alakja a szerszám gép ki-nematikájától függ, a koordináta-működőszögrendszer leginkább a gépi koordináta-rendszerrel kapcsolatos átszámításokhoz alkalmas. A koor-dináta-működőszögrendszerben a forgácsolóél leírásához szükséges ada-tok: az  $(\alpha_{fe})$  működő oldalhátaszög, a  $(\gamma_{fe}^*)$  működő oldalhomlokszög, az  $(\alpha_{pe})$  működő tengelyhátaszög, a  $(\gamma_{pe}^*)$  működő tengelyhomlokszög és



az eredő forgácsolósebesség nagysága. Marószerszámok élgeometriájának megfogalmazására elsősorban a koordináta-működőszögrendszer a legalkalmasabb. A negyedik működősíkra ebben az esetben azért nincs szükség, mivel ez a triéder a ( $P_{fe}$ ) munkasíkkal közvetlenül a munkafelülethez kapcsolódik.

A tájolt működő lineáris forgácsolóékre vonatkozó szögösszefüggések munkafelülettel rendelkező megmunkálások esetén minden munkadarabra és minden egy- vagy többeltű forgácsolószerszámra nézve egységesen tárgyalhatók. A különböző munkadarab-alakzatokat megmunkáló különböző forgácsolószerszámok tájolt működő lineáris forgácsolóékei a forgácsoláselméleti vizsgálatok során ily módon össze is hasonlíthatók.

Kézenfekvő, hogy a kinematikai élgeometria fogalmait megfelelő változtatásokkal a szerkezeti élgeometriára is alkalmazzuk. Minden szerszámon félreérthetetlen alaki tulajdonságok utalnak a szerszámgépre való befogásra, és a munkadarabhoz történő beállításra. A szerkezeti élgeometria szempontjából a főmozgásnak tekintett forgácsolómozgásból származó ( $v$ ) forgácsolósebesség, mint komponens mellett elhanyagolhatók a mellékmozgásból, azaz az előtoló- és lefejtő mozgásokból származó további komponensek.

A szerkezeti élgeometria szempontjából közömbös a forgácsolósebesség nagysága is, csupán a hatásvonala és irányítása érdekes. A forgácsolóél vizsgált pontjában ezen az alapon feltételezhetünk egy valószínű forgácsolósebességet, amelyhez a várható forgácsoló mozgások irányának feltételezésével elképzelhetünk egy feltételezett munkasíkot ( $P_f$ ) is. A feltételezett forgácsolósebesség hatásvonalára merőlegesen pedig megválaszthatjuk a vizsgált szerszámélpontra illeszkedő szerszám-alapsíkot ( $P_r$ ).

A szerszámélsíkot ( $P_g$ ) értelemszerűen a forgácsolóél érintőjén ( $s$ ) és a feltételezett forgácsolóirányon ( $v$ ) keresztül fektetve képzelhetjük el. A szerszámélsík ( $P_g$ ) merőleges lesz a szerszámalapsíkra ( $P_r$ ). A lineáris szerszám-forgácsolóék elemei ezek után a működő lineáris forgácsolóék analógiájára megfogalmazhatók. A lineáris szerszám-forgácsolóéket azonban szerszámfajtánként külön-külön meg kell határozni. A szerszámalapsík minden esetben merőlegesen felvehető a feltételezett forgácsolóirányra, azonban a szerszám konstrukciójának biztosítania kell, hogy ez a szerszámalapsík a szerszám egy olyan felületéhez vagy tengelyéhez képest párhuzamosan vagy merőlegesen helyezkedjen el, amely alkalmas a szerszám tájolására, gyártása, szerelése, élezése, és ellenőrzése közben.

A feltételezett munkasík szintén szerszámfajtánként külön-külön választandó meg. Fontos megjegyezni, hogy feltételezett munkasíkot akkor is megfogalmazhatunk, ha a szerszám működésekor munkasík nem definiálható.

Az elmondottak alapján úgy tűnhet, hogy a szerkezeti éleometriát a kinematikai éleometriából absztrahálhatjuk. Ez valóban így van, még akkor is, ha történelmileg éppen fordított volt a folyamat. A "kézben tartott szerszámon" fellelhető alaki tulajdonságok kaptak először elnevezéseket, s csak később értett meg arra a helyzetre, hogy a "szerszám működés közben"-i éleometriai problémáit is megfogalmazza a szabvány. A szerszám-meghatározó rendszerben a vonatkoztatási síkok nevében a működő meghatározórendszer "működő" jelzőjének helyét a "szerszám" jelző veszi át. Így rendre megnevezhetjük a szabványban definiált valamennyi szerszámsíkot, amelyek jelölésekor az indexben csak a síkot azonosító egyetlen betűjel áll, és elhagyhatjuk a működő meghatározórendszerre utaló második (e) betűjelet.

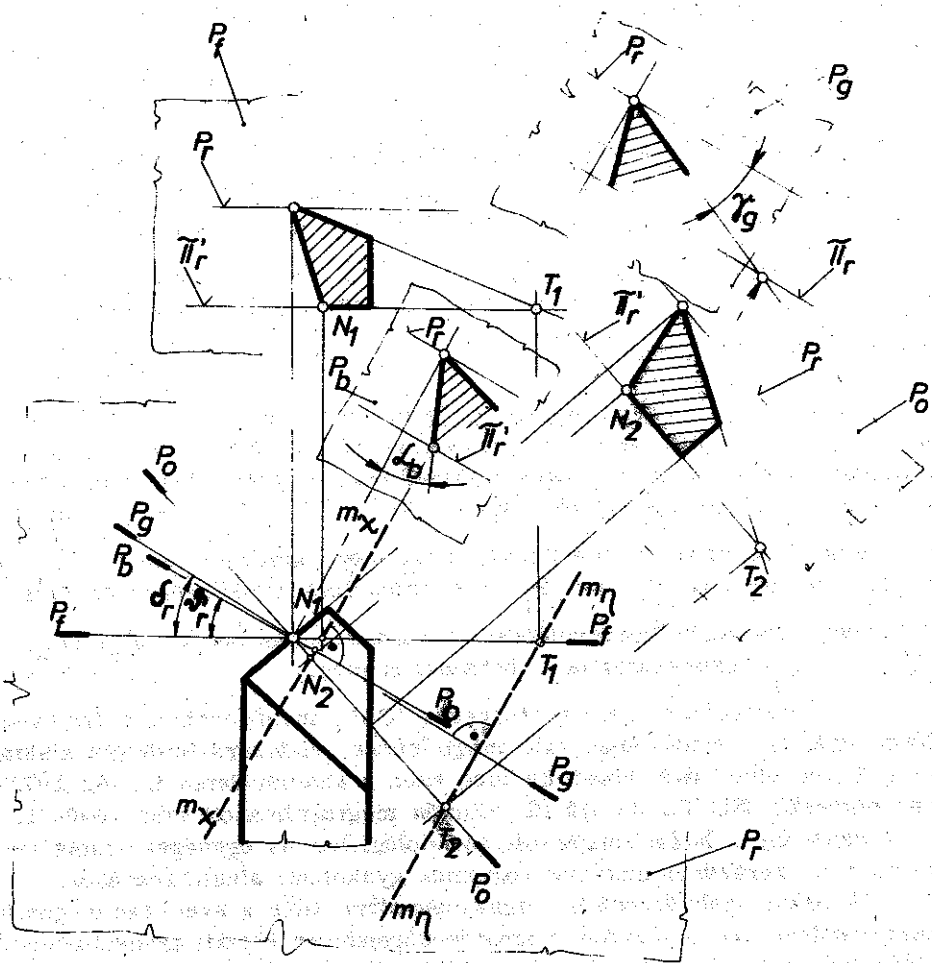
A szerszám-meghatározó rendszerben célszerű a vonatkoztatási síkok számát bővíteni a működő meghatározórendszerhez képest. Így bevezetjük a hátlap-orthogonálsík ( $P_b$ ) fogalmát, amely a forgácsolólél kiválasztott pontjában a hátlapérintősík ( $\pi_\chi$ ) és a ( $P_r$ ) szerszámalapsík metszéspontjára ( $m_\chi$ ) merőleges sík. Továbbá megfogalmazzuk a homlok-orthogonálsík ( $P_g$ ) fogalmát is, amely a forgácsolólél vizsgált pontjában a homlok-orthogonálsík ( $\pi_\eta$ ) és a ( $P_r$ ) szerszámalapsík metszéspontjára ( $m_\eta$ ) merőleges sík (3.8. ábra).

A szerszámszögeket a működőszögek jelöléséhez hasonlóan a szóban forgó szög mérésére kijelölt sík azonosítójával jelöljük az indexben, elhagyva természetesen a működő meghatározórendszerre utaló "effektív" index (e) toldalékát.

A szerszámszögek megnevezésekor szintén felcseréljük a működő meghatározórendszerbeli "működő" jelzőt a szerszám-meghatározó rendszerre utaló "szerszám" jelzővel.

A szerszámszögek száma szintén bővül a működőszögek választékához képest:

- A hátlap-orthogonálsík helyzetszöge ( $\gamma_r$ ) a feltételezett munkasík ( $P_f$ ) és a hátlap-orthogonálsík ( $P_b$ ) által bezárt szög a szerszámalapsíkban mérve.
- A homlok-orthogonálsík helyzetszöge ( $\delta_r$ ) a feltételezett munkasík ( $P_f$ ) és a homlok-orthogonálsík ( $P_g$ ) által bezárt szög a szerszámalapsíkban mérve.
- A szerszám-báztaszög ( $\alpha_b$ ) a hátlap-érintősík ( $\pi_\chi$ ) és a szerszámalapsík ( $P_r$ ) által bezárt szög pótszöge, amit a hátlap-orthogonálsíkban ( $P_b$ ) mérünk.



3.8. ábra

Forgácsolószerszámok élszögei és vonatkoztatási síkjai a szerszám-meghatározó élgeometriai rendszerben.

- A geometriai szerszámhomlokszög ( $\gamma_g$ ) a homlokérintősík ( $\pi_r$ ) és a szerszámalapsík ( $P_r$ ) által bezárt szög a homloklap-orthogonálisokban ( $P_g$ ) mérve. (Lásd a 3.8. ábrát!)

A lineáris szerszám-forgácsolókat ugyanúgy, mint a működő lineáris forgácsolókat négy egymástól független szerszámszög egyértelműen meghatározza. A régebbi hazai és külföldi szabványok előírásaiból négyféle jellegzetes szerszámszögrendszer elterjedését állapíthatjuk meg.

Az egymással való összefüggés és átszámítás nehézségeit a jelenlegi hazai és nemzetközi szabványosítás azzal oldja fel, hogy a négyféle szerszámszögrendszert egyetlen szerszám-meghatározórendszerbe egyesíti.

A normál-szerszámszögrendszer három szerszámsíkja a  $P_r$ ,  $P_s$  és  $P_n$  szerszámsíkok és a lineáris szerszámék meghatározásához szükséges szerszámszögek:  $\kappa_r$ ,  $\lambda_s$ ,  $\alpha_n$ , és  $\gamma_n$ .

Az orthogonál-szerszámszögrendszerben a  $P_r$ ,  $P_s$  és  $P_o$  síkok a szerszámsíkok, és a lineáris szerszámforgácsolóék leírásához a  $\kappa_r$ ,  $\lambda_s$ ,  $\alpha_o$  és  $\gamma_o$  szerszámszögek ismerete szükséges.

A koordináta-szerszámszögrendszer három szerszámsíkja rendre a  $P_r$ ,  $P_f$  és  $P_p$  szerszámsíkok, a lineáris-szerszámforgácsolóék meghatározásához pedig az  $\alpha_f$ ,  $\gamma_f$ ,  $\alpha_p$  és  $\gamma_p$  szerszámszögek ismerete szükséges.

A geometriai szerszámszögrendszerben a hátlap és a homloklap helyzetét a szerszámalapsíkra merőleges olyan síkokban határozzuk meg, amelyekben ezek a hajlásszögek minimálisak. A geometriai szerszámszögrendszer három szerszámsíkja a  $P_r$ , a  $P_b$  és a  $P_g$ , amelyek egy olyan ferdeszögű triédert határoznak meg, amelyben csak a  $P_r$  és a  $P_b$ , valamint a  $P_r$  és  $P_g$  szerszámsíkok merőlegesek egymásra. A lineáris szerszámforgácsolóékat ebben a rendszerben a  $\delta_r$ ,  $\alpha_b$ ,  $\delta_r$  és  $\delta_g$  szerszámszögek határozzák meg.

A számítógéppel segített tervezés (CAD) módszereinek a forgácsolószerszámok tervezésében való megjelenése rendszerszemléletű alaktani vizsgálatok elindítását követelte meg ezen a szakterületen is. Az 1972-ben elkészült ISO/TC 29 ajánlás alapján megfogalmazott MSz 16900/1... 3 szabvány a hazai forgácsoló technológiában is egységes alapot teremtett a szerszámgeometriai fogalmak gyakorlati alkalmazásához.

A hazai szabványosítási munka egyelőre adós a szerszámmeghatározó-rendszer és a működő meghatározórendszer közötti transzformációt elősegítő gépi meghatározórendszer definiálásával és adós az előző két rendszer közötti átszámítások szabványosításával.

A forgácsolószerszámok élgeometriájának kiterjedt nemzetközi szakirodalma van, amelyek közül a legátfogóbb és a fejezet kidolgozásához alapul vett munkák a felhasznált irodalom jegyzékében megtalálhatók.

## Felhasznált irodalom

1. ALMÁSY Pál - FAZEKAS Balázs - SZABÓ András: Forgácsolószerszámok élgeometriája, (ISO javaslat tervezet). (Szerszámok és szerzőanyagok Konferencia Miskolc, 1968.
2. BAKONDI Károly - KARDOS Árpád: A gépgyártás technológiája I. Forgácsolás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1963.
3. DEGNER - LUTZE - SMEJKAL: Spanende Formung. VEB Verlag Technik, Berlin, 1968.
4. DRAHOS István: A szerszámgeometria mozgásgeometriai alapjai. BME. Továbbképző Intézetének kiadványa. Ng. 34. Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.
5. DRAHOS István: A forgácsolószerszámok gyártásgeometriájának alapjai. BME. Továbbképző Intézetének kiadványa, Ng. 35. Tankönyvkiadó, Budapest, 1974.
6. DRAHOS István: A forgácsolószerszámok élgeometriája. BME. Továbbképző I. kiadványa, Ng. 36. Tankönyvkiadó, Budapest, 1975.
7. DUCA Zoltán - IGAZ Jenő: Általánosított számító eljárás forgácsoló szerszámok tervezésére. GÉP 25. 1973. I. sz. 9-13. old.
8. DUCA Zoltán: Bazele teoretice ale prelucrarilor pe masini unelte. Ed. didactica si pedagogica, Bucuresti, 1969.
9. FAZEKAS Balázs: A forgácsoló megmunkálások általános geometriája a kinematikai viszonyok figyelembevételével. Finommechanika. 1. 1962. 12. szám 370-380. o.
10. Dr. GRIBOVSZKI László: Gépipari megmunkálások. Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
11. GÖRSKI, Eugeniusz: Alakos megmunkálószerszámok (kések, tregelőtűskék, marók). Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.
12. HACK Emil - JASZOVSZKY Sándor - SMÓLING Kálmán: Szerszámkészítés. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.

13. HIDASI Károly: A fergésolószerszámok működő élszögeinek koordináta-rendszere. NME Közlemények 20., 1974. 75-84. old.
14. LASNEV Sz.I. - JULKOV M.I.: Raszcot i konsztruirovanie metallorezsuscsih instrumentov sz primenieniem EVM. Masinsztroenyije, Moszkva, 1975.
15. SZABÓ András: Fergésolószerszámok élgeometriája. GAMF. Kecskemét, Jegyzet, 1972.

#### 4. A forgácsképződés folyamata

Forgácsoláskor a munkadarabról a felesleges anyagréteget, a ráhagyást távolítjuk el forgács alakjában. Ha a munkadarab valamelyik felületéről forgácsot akarunk leválasztani, a szerszám forgácsolókének a munkadarab anyagába kell hatolnia. Ez bizonyos nagyságu erő kifejtését igényli, aminek következtében bonyolult mechanikai, fizikai és kémiai folyamatok játszódnak le.

A munkadarab erő- vagy más mechanikai hatás következtében a mozgásán kívül alakváltozást is szenved. A tapasztalat azt mutatja, hogy az alakváltozás nagyságát és lefolyását nemcsak a terhelő erőrendszer nagysága, hanem az erőhatás módja és körülményei is jelentősen befolyásolják.

Lényeges szerepe van az erő nagyságának. Például a szerkezeti anyagok csekély nagyságu erők hatására rugalmasan viselkednek, nagyobb erők segítségével azonban törés nélkül képlékenyen alakíthatók. A rideg anyagok ezzel szemben csak rugalmas alakváltozásra képesek, alakításuk törés nélkül nem lehetséges. Ez a tulajdonság is megváltozhat azonban hidrosztatikus nyomás hatására. Például az atmoszférikus nyomás alatt ridegen viselkedő márvány nagy hidrosztatikus nyomás alatt képlékennyé válik és a fémekhez hasonló módon viselkedik.

Az erőhatás sebessége ugyancsak lényegesen befolyásolhatja az anyag szilárdsági tulajdonságait. Például a folytacél folyási határa nagysebességű terhelés esetén a normális körülmények közötti érték kétszeresét is elérheti, ezzel egyidejűleg azonban a szakadási nyulása lényegesen mértékben csökken. Az anyag szilárdsági tulajdonságainak a terhelés, illetőleg az alakváltozás sebességétől való függését viszkozitásnak nevezzük.

A terhelés időtartama sem közömbös a szilárdsági viselkedés szempontjából. Néhány anyag (pl. a beton), ha a teher hosszú ideig működik, akkor maradó alakváltozásokat szenved. Az állandó nagyságu terhelés közben létrejövő maradó alakváltozást kuszásnak nevezzük. Más anyagoknál (pl. az acélnál) viszont olyan jelenség figyelhető meg, hogy az alakváltozások állandó értéke mellett hosszabb idő eltelte után a feszültségek nagysága csökken. Ennek a jelenségnek relaxáció a neve.

Az anyag viselkedésére a terhelés irányának is befolyása lehet. Mint ismeretes, az anizotróp anyagok szilárdsági tulajdonságai változóak.

Például a fa különböző módon viselkedik, ha az erő a rostokkal párhuzamosan vagy azokra merőlegesen hat.

Fontos szerepe van az anyagok szilárdsági viselkedésében a hőmérsékletnek. A hőmérséklet-változás alakváltozásokat eredményez, és ha ezek nem alakulhatnak ki szabadon, akkor feszültségeket ébreszt. Ugyanakkor azonban a hőmérséklet-változás az anyag szilárdsági tulajdonságait is lényegesen módosítja. Közismert dolog, hogy az acél folyási határa a hőmérséklet növelése következtében csökken, és egy határon túl szilárdsága teljesen megszűnik. Az is megállapítható az acélokról, hogy amíg szobahőmérsékleten a kuszás igen csekély, magas hőmérsékleten már jelentős mértékű lehet.

Nagyon alacsony hőmérsékleten viszont a folytacél elveszti képlékeny tulajdonságait és az öntöttvashoz hasonlóan ridegen viselkedik.

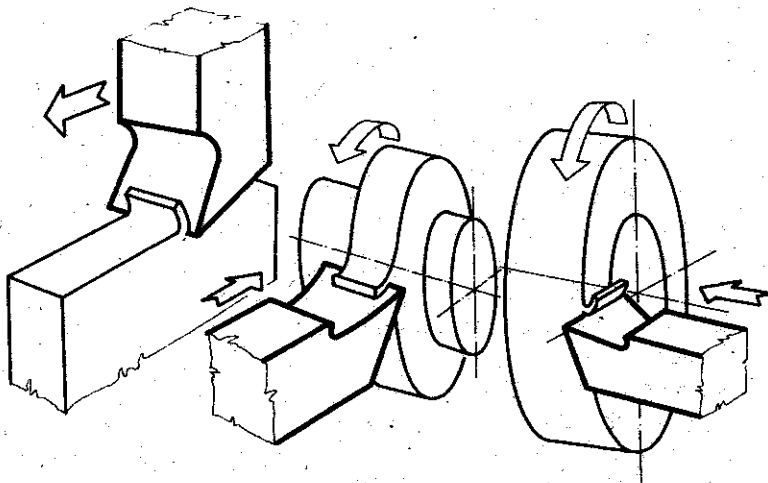
A szilárdságtan ma már klasszikusnak nevezhető elmélete, a rugalmasságtan a teljesen rugalmas állapotban lévő testek feszültségeinek és alakváltozásainak meghatározásával foglalkozik, és a hőmérsékletnek, illetve az időtényezőnek (viszkozitás, kuszás, relaxáció) a szilárdsági tulajdonságokra gyakorolt hatását figyelmen kívül hagyja. A képlékenységtan viszont a részben vagy teljes egészében képlékeny állapotban lévő testek és szerkezetek feszültség- és alakváltozásállapotát vizsgálja, és a szilárdsági tulajdonságokat a hőmérséklettől és az időtől ugyancsak függetlennek tekinti. Nyilvánvaló, hogy egy elmélet annál pontosabb, minél több jelenséget képes figyelembe venni. A pontosabb elmélet azonban bonyolultabb számításokra vezet, ezért segítségével csak egyszerűbb feladatok oldhatók meg, illetve bonyolultabb feladatoknál közelítések alkalmazására van szükség.

Forgácsoláskor a munkadarab, a szerszám és a forgács kölcsönhatásának területét forgácstőnek nevezzük. A forgácstőben erőhatás, alakváltozás, anyagszakadás és surlódás lép fel, hatásukra jelentős hő fejlődik és intenzív kopás megy végbe.

A forgácsolási jelenségek minden részletének szabatos magyarázatára a fémfizika és a képlékenységtan még nem képes. Ezért a forgácsolási jelenségeket elsősorban kísérleti úton igyekeznek tisztázni. A kísérleti vizsgálatokat olyan egyszerűsített forgácsolási modellel célszerű végrehajtani, hogy a forgácstő feszültségi és alakváltozási állapota a lehető legegyszerűbb legyen. Kötött-forgácsoláskor ugyanis, amikor a szerszám csucsa is részt vesz a forgács leválasztásában, a főél mellett a mellékél is forgácsol, s így a forgácsolt felület összetettsége következtében gátolt alakváltozások és bonyolult kereszthatások érik a forgácstőben az anyagot.

Szabad-forgácsolás esetén, amikor a szerszámnak csak egy egyenes éle dolgozik, s a megmunkált felület megegyezik a forgácsolt felülettel, egyszerűbbé válik a forgácstő megfigyelése és jó közelítéssel még a képlékenységtan sík alakváltozások elmélete is alkalmazható. Pontosabban az ún. orthogonális szabadforgácsolási modell választható ala-





4.1. ábra  
Orthogonális szabadforgácsolási modellek

pul a megfigyelésekhez, ahol a szerszám éle mindig merőleges az előtolóirányra, illetve (4.1. ábra) a munkasíkra.

#### 4.1 A forgácsképződés vizsgálati módszerei

A kutatók a forgácsképződés folyamatának vizsgálatára négy alapvető kísérleti módszert dolgoztak ki:

- a munkadarab oldalfelületének megfigyelése,
- filmfelvétel,
- optikai feszültségvizsgálat,
- mikrociszolat készítése.

Ha a munkadarab oldalfelületét polirozzák, s az így előkészített felületre négyzetes hálót karcolnak vagy maratnak, a munkadarab a terhelés hatására deformálódik, és a négyzetes hálózat vonalainak torzulásából következtetések vonhatók le a deformációk, valamint a feszültségek nagyságára és irányára. A megfigyelés megkönnyítése érdekében a kísérleteket lágy anyagon (ólom, horgany) végzik viszonylag nagy fogásmélységgel és előtolással. A nagy forgácskeresztmetszet leválasztásakor jól láthatóvá válik a négyzethálózat deformációján keresztül az alakváltozás forgácsolás közben.

Filmfelvétel készítésekor a filmfelvevő berendezést úgy állítják be, hogy az együtt mozogjon az esztergakés csucsával, és a forgácsolóél

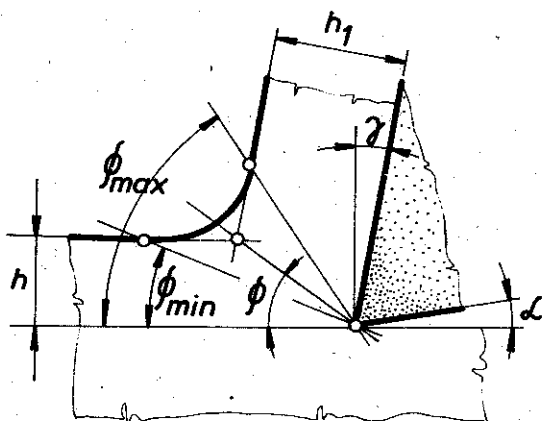
környezetében lejátszódó jelenségeket fényképezze. Forgácsolás közben másodpercenként 1000...10000 felvétel készül. A kis expozíciós idő lehetővé teszi a forgácsképződési folyamat lassított lejátszását. A módszer hátránya, hogy különleges berendezést igényel, a beállítások bonyolultak és a kísérlet lefolytatása költséges.

Optikai feszültségvizsgálatot különösen demonstrációs célokra és a feszültségeloszlás megfigyelésére végeznek. Ennél a módszernél azt a fizikai jelenséget használjuk fel, hogy egyes átlátszó anyagok (pl. celluloid) terhelés hatására kettőtörővé válnak. Ha ezeket az anyagokat polarizált fényben vizsgáljuk, a keletkezett feszültségek hatására un. izoklin- és izokróm-vonalak jelennek meg, amelyek elrendeződéséből következtetni lehet a feszültségek nagyságára és helyzetére. A vizsgálatokhoz többnyire a munkadarabot készítik celluloidból, vagy plexi üvegből és a szerszámot acélból vagy ólomból, de ha a szerszámban ébredő feszültségeket is ki akarjuk mutatni, akkor a szerszám modellje üvegből készül. A terhelés hatására keletkező képet lefényképezik és a fénykép az optikai feszültségvizsgáló berendezés hitelesítési diagramjának segítségével értékelhető ki. Hátránya az eljárásnak, hogy csak áttetsző, izotróp anyagok vizsgálatára használható, és ezáltal a fémek forgácsolásakor lejátszódó jelenségekre csak következtetni tudunk a modell-kísérletből.

Mikrocsiszolat készítéséhez a forgácsolást hirtelen meg kell szakítani, majd a forgácstó környezetét a munkadarabból kivágni. A kivágtott darab oldalfalületét a metallográfiából ismert módszerekkel csiszolják és maratják. A maratás feltárja a szövetszerkezet változásait, amelyet mikroszkópon át megfigyelhetünk. A szövetszerkezet megváltozásából, a szemcseszerkezet torzulásából, a szemcsék elcsuszásából következtetni lehet a forgácsképződés során lejátszódó jelenségekre is.

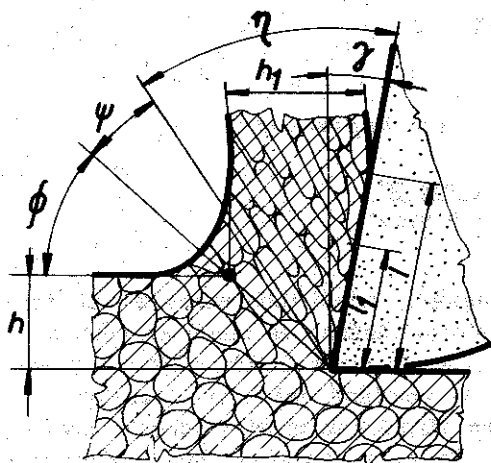
## 4.2 A forgácstó alakváltozásai

A forgácsolás elméletében a forgácsleválasztás mechanikájának vizsgálatakor az irányisik tanulmányozásából indulunk ki. Az irányisik az a felület, amely mentén a forgácsok a szerszám éle előtt a forgácstóból elmozdulnak. Az irányisik a forgácsképződés jellegzetes felületétől a bevezetett elméleti egyszerűsítések következtében vált. A valóságos viszonyokat sokkal jobban tükrözi az a megközelítés, amely a forgácsképződési zóna legyezőszerű elhelyezkedését tételezi fel (4.2. ábra). Ez a feltételezés a forgácsolási zóna kísérleti tapasztalatok szerint kimutatott görbe izoklináit és izokrómáit egyenesekkel közelíti.



4.2. ábra

A forgácsképződési zóna legyezőszerű elhelyezkedése



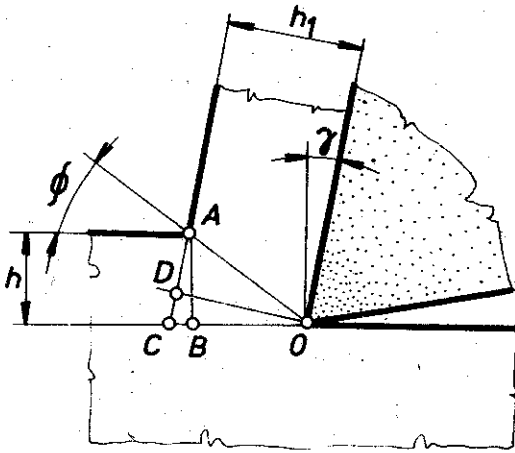
4.3. ábra

A forgács szerkezeti-szögének értelmezése

Folyamatos forgács metallográfiai elemzésével kimutatható, hogy a forgács mikro-szerkezeté különbözik az alapanyagétól és csiszolatán olyan csuszási vonalak láthatók, amelyek iránya nem esik egybe az irányik irányával. A csuszási sík és az irányik közötti szög - a szerkezeti szög - ( $\psi$ ) arra a fő alakváltásra jellemző, amely a forgácstőben a forgácsselemeknek az alapanyagtól történő elválásáig végbement. (4.3. ábra). A szerkezeti szög és az irányvonal hajlásszögének értéke a forgácstőről készített csiszolatról közvetlen lemérhető, azonban a mikrocsiszolat készítése

igen költséges és hosszadalmas előkészítést igényel. Ezért, ha megfelelő a kisebb pontosság, akkor az irányvonal hajlásszögének nagyságát közelítő számítással határozzák meg geometriai összefüggések alapján (4.4. ábra).

Mint hogy a forgácstőre a szerszám nyomást gyakorol, a nyomóerő hatására a forgács tömörödik, tehát a leváló forgács ( $h_1$ ) vastagsága nagyobb lesz a leválasztandó réteg ( $h$ ) vastagságánál.



4.4. ábra

Az irányvonal hajlásszögének meghatározása geometriai összefüggések alapján

Az irányvonal hajlásszögének nagysága az ABO derékszögű háromszögből határozható meg:

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{AB}{BO}$$

A 4.4. ábra alapján belátható, hogy

$$BO = CO - CB =$$

$$= \frac{h_1}{\cos \gamma} - h \cdot \operatorname{tg} \gamma$$

- mivel az ODC háromszögből  $CO = \frac{h_1}{\cos \gamma}$  és az ACB háromszögből  $CB = h \cdot \operatorname{tg} \gamma$
- behelyettesítés után az irányvonal hajlásszöge:

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{h \cdot \cos \gamma}{h_1 - h \cdot \sin \gamma}$$

Minél nagyobb a forgács vastagsága, annál több energiát kell fordítani a leválasztandó anyagréteg deformálására, és annál nagyobb a nyirási sík - irány sík - területe is. Az irány sík hajlásszögének csökkenése tehát a forgácsolási körülmények romlását jelzi. A levezetett összefüggés és a kísérletek tanúsága alapján az is kimutatható, hogy a homlokszög növelésekor (egyébként változatlan forgácsolási körülmények között) nő az irányvonal hajlásszögének nagysága.

A munkadarabról leválasztott forgács fémtani vizsgálatokor a forgácson kétféle alakváltozás figyelhető meg. Ezek közül az irány síkkal - adott forgácsolási körülmények között - azonos szögben hajló rétegződés az elsődleges, a fő-alakváltozás, s a forgácson a szerszám homloklapjához közeli részén a surlódásból származó alakváltozás pedig a másodlagos alakváltozás.

A nyirási zónában az alakváltozás a forgács deformáltságára jellemző mutató. A nyirási zónában keletkező alakváltozások értelmezésénél feltételezik, hogy a teljes alakváltozás az irány síkban megy végbe,

és elhanyagolják a forgácstó egyéb helyein (a forgácsban, a szerszám homloklapján) végbemenő alakváltozásokat.

A forgácsolási kísérleteknél a forgácstóban lejátszódó jelenségekre gyakran nem közvetlenül a forgácstó vizsgálatából, hanem közvetve a forgács alakváltozásából következtetnek. A forgácsnak ezt az alakváltozását a forgács-alakváltozási tényezővel ( $\xi$ ) jellemezzük.

A forgács-alakváltozási tényező ( $\xi$ ) a leválasztott forgács valamely mért méretének és a leválasztandó réteg ugyanazon elméleti méretének a hányadosa. A forgács-alakváltozási tényező értéke háromféle módszerrel határozható meg:

- a forgácsvastagság mérésével ( $\xi_h$ )
- a forgácshossz mérésével ( $\xi_L$ )
- a forgácskeresztmetszet mérésével ( $\xi_A$ ).

A forgács vastagodását jelző forgácsalakváltozási tényező:

$$\xi_h = \frac{h_1}{h} = \frac{\text{a forgácsvastagsága}}{\text{közepes forgácsvastagság}} > 1$$

A forgács szélesedését is jelezhetjük a forgácsalakváltozási tényező alábbi formális megfogalmazásával:

$$\xi_b = \frac{b_1}{b} = \frac{\text{a forgács szélessége}}{\text{fogásban lévő élvonalhossz}} > 1$$

A forgács rövidülését a ( $\xi_L$ ) forgácsalakváltozási tényező fejezi ki:

$$\xi_L = \frac{L_1}{L_0} = \frac{\text{a forgács hossza}}{\text{a munkavonal hossza } L_1 \text{ hosszú forgács leválasztásakor}} < 1$$

A forgácskeresztmetszet mérésével meghatározható forgácsalakváltozási tényező ( $\xi_A$ ):

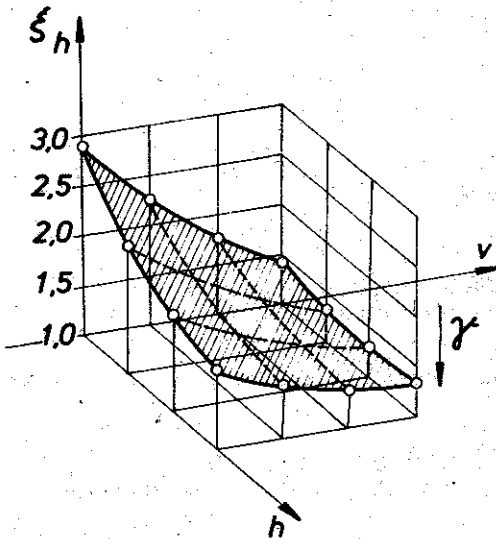
$$\xi_A = \frac{A_1}{A_c} = \frac{\text{a forgács mért keresztmetszete}}{\text{elméleti forgácskeresztmetszet}} > 1$$

$$\xi_A = \xi_h \cdot \xi_b$$

Tekintettel arra, hogy a forgács tényleges hosszának meghatározása sok nehézséggel jár, mert a forgács két oldalát mérve más és más méretet kapunk, sőt a rövid és tört forgácsot adó anyagoknál a két forgácshosszt össze sem tudjuk hasonlítani. Ezért használjuk pontosabb vizsgálatoknál a forgácskeresztmetszet mérési módszert. A leválasztandó forgácskeresztmetszet elméleti értékét számítással, a leválasztott forgácskeresztmetszet nagyságát pedig méréssel kell megállapítani. Ezzel az eljárással azt a gyakorlati pontatlanságot is el lehet kerülni, hogy a forgácsvastagság-mérési módszernél elhanyagoltuk azt, hogy a forgácsnak nem csak a vastagsági, hanem a szélességi mérete is változik.

A térfogatállandóság törvényének értelmében:

$$\xi_h \cdot \xi_b \cdot \xi_L = \frac{h_1}{h} \cdot \frac{b_1}{b} \cdot \frac{L_1}{L_0} = 1$$



4.5. ábra

A forgácsalakváltozási tényező változása a forgácsolási adatok függvényében

gáljuk, akkor azt tapasztalhatjuk, hogy az irányvonal hajlásszöge a forgácsalakváltozási tényező segítségével is meghatározható:

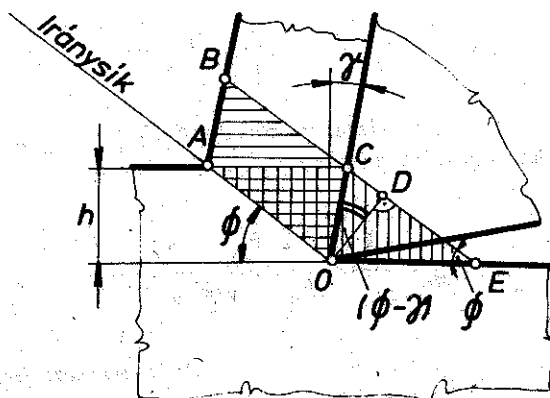
A forgácsvastagság-méréssel meghatározott forgácsalakváltozási tényező a forgácsolási adatok függvényében kísérleti tapasztalatok alapján a 4.5. ábrán látható módon változik. Minél kisebb a forgács deformációja, annál kisebb a forgácsalakváltozási tényező értéke, azaz annál kedvezőbb a forgácsleválasztási folyamat. A tapasztalat azt mutatja, hogy a közepes forgácsvastagság, a forgácsolósebesség vagy a homlokszög növelésével - a forgácsolási körülmények egyébként változatlanul tartása mellett - a forgácsalakváltozási tényező csökken.

Ha az előzőekben meghatározott irányvonal hajlásszögének összefüggését megvizs-

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{h \cdot \cos \gamma}{h_1 - h \cdot \sin \gamma} = \frac{\cos \gamma}{\frac{h_1}{h} - \sin \gamma} = \frac{\cos \gamma}{\xi_h - \sin \gamma}$$

Az összefüggésből jól látható, hogy az irányvonal hajlásszöge és a forgácsolási tényező között határozott összefüggés van. Ezért a forgácsolási kutatásoknak gyakran használt eljárása a forgácstó alakváltozásának vizsgálata.

Sokáig az a vélemény uralkodott, hogy a forgácsolási tényező a forgácsképződéssel járó alakváltozás kifejezője. A nyirási zóna alakváltozása azonban a forgácstó anyagrészeinek viszonylagos elcsuszásából fejezhető ki (4.6. ábra).



4.6. ábra

A nyirási zóna alakváltozása a forgácstó részeinek viszonylagos elcsuszásából fejezhető ki

Induljunk ki abból a feltevésből, hogy a forgács egy elemi vastagságú rétege (OABC), amely az irányvonal (megfelel az OA iránynak) mentén deformálódott, az alakváltozást megelőző helyzetben az ECAO paralelogramma volt. Forgácsképződéskor a munkadarab megmunkálendő felületén elhelyezkedő C pont elmozdulva a CB egyenes mentén, a forgács külső részén lévő B pontba került. Az E pont pedig az EC egyenesen elmozdulva a C pont helyére került, miközben a szerszám homloklapján torlódva az O szerszámélponttól a C pontig torlódott. A viszonylagos elmozdulás ennek megfelelően:

$$\xi_{\Phi} = \frac{EC}{OD}$$

ahol az OD távolság az elemi forgácsréteg vastagságának felel meg. Geometriai összefüggések alapján felírható, hogy az

$$EC = ED + DC$$

továbbá  $ED = OD \cdot \operatorname{ctg} \Phi$ , az OED derékszögű háromszögből, és  $DC = OD \cdot \operatorname{tg}(\Phi - \gamma^*)$ , az ODC derékszögű háromszögből adódóan. Ennek megfelelően a nyirási zóna alakváltozása:

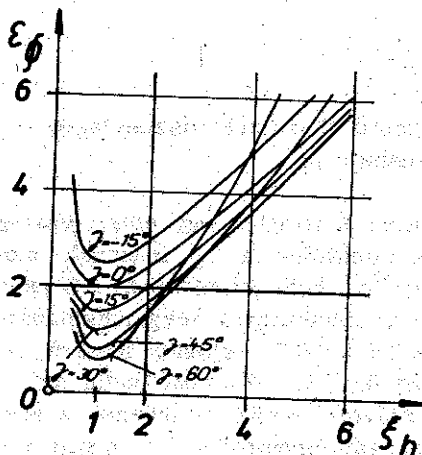
$$\xi_{\Phi} = \operatorname{ctg} \Phi + \operatorname{tg}(\Phi - \gamma^*)$$

Ezt átalakítva és behelyettesítve az irányvonal hajlásszöge és a forgácsalakváltozási tényező értéke közötti függvénykapcsolatot kifejező összefüggést:

$$\xi_{\Phi} = \frac{1}{\operatorname{tg} \Phi} + \frac{\operatorname{tg} \Phi - \operatorname{tg} \gamma^*}{1 + \operatorname{tg} \Phi \cdot \operatorname{tg} \gamma^*} = \dots$$

majd elvégezve a lehetséges azonos átalakításokat és célszerű egyszerűsítéseket, a nyirási zónában végbemenő alakváltozás:

$$\dots \xi_{\Phi} = \frac{\xi_h^2 - 2 \xi_h \cdot \sin \gamma^* + 1}{\xi_h \cdot \cos \gamma^*}$$



4.7. ábra

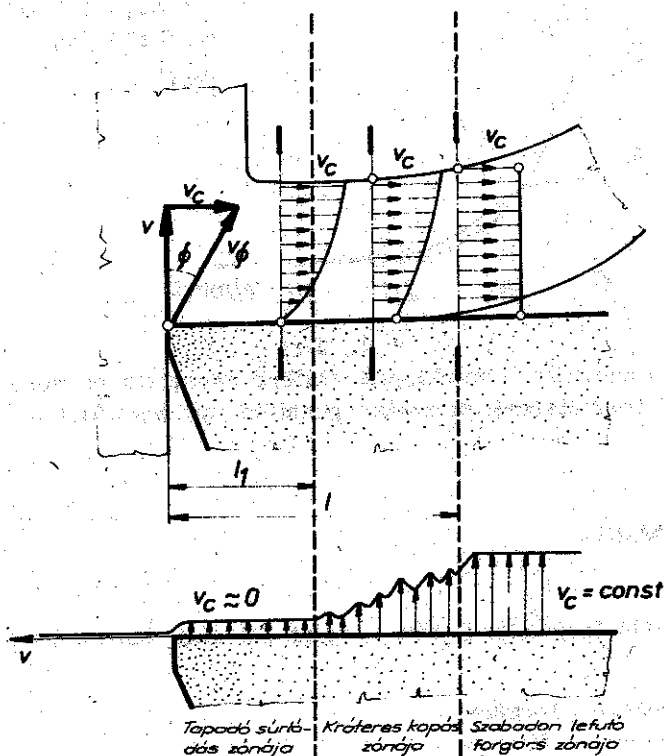
A forgácsalakváltozási tényező és a nyirási zóna alakváltozása közötti kapcsolat

A levezetett összefüggés alapján egyértelmű kapcsolat állapítható meg a forgácsalakváltozási tényező és a nyirási zónában bekövetkező alakváltozás között. Ezt a függvénykapcsolatot különböző homlokszögek mellett ábrázolva (4.7. ábra) szemléletesen követhető a forgácsalakváltozási tényező hatása a nyirási zóna alakváltozására, és az is belátható, hogy a különböző homlokszögek mellett minimális alakváltozás a nyirási zónában akkor jön létre, ha a forgácsalakváltozási tényező értéke:  $\xi_h = 1$ .

A forgács másodlagos alakváltozását a forgácsnak a szerszám homloklapján történő surló-



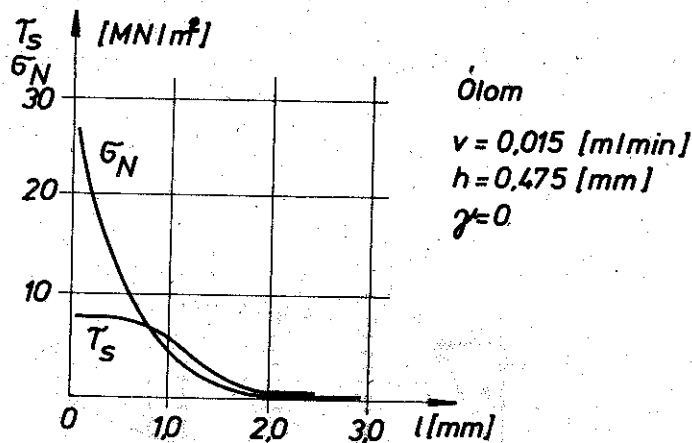
dása eredményezi. A forgács áramlása a szerszám homloklapján bo-  
nyult surlódási folyamat közben megy végbe. A forgácsolás technoló-  
giai körülményeitől függően a homloklap egy részén kötéses surlódás  
keletkezik, amelynek eredményeképpen a forgácsnak a szerszám homlok-  
lapjához közeli rétegei a forgács haladási sebességénél ( $v_c$ ) kisebb se-  
bességgel mozdulnak el. A kötéses surlódás legtöbbször a szerszám fo-  
kozatos kráteres kopását eredményezi. Minél nagyobb a forgács alak-  
változása okozta keményedése, annál nagyobb a surlódási erő. A forgá-  
csolás folyamán a forgács lefékezett részei a szerszám homloklapján  
felrakódást képezhetnek. A forgács lefékezett rétegének alakváltozása  
jóval nagyobb, mint a forgács egyéb részeinek. A forgács lefékezett ré-  
tegének alakváltozása a szerszám forgáccsal takart felületének csak egy  
részén megy végbe (4.8. ábra), majd ezen a kötéses surlódási szakaszon  
tuljutva, a forgács a homloklaptól való elhajlásáig kötés nélküli surló-  
dással halad.



4.8. ábra

A forgács különböző rétegeinek sebességei a szerszám homloklapja mentén

A forgács másodlagos alakváltozását főleg a homloklapon kialakuló feszültségviszonyok határozzák meg. Puhafémrel végzett kísérletekkel meghatározták a szerszám homloklapján fellépő csuszató és normál feszültségek eloszlását (4.9. ábra). A normál feszültségek értéke a szerszám élénél maximális, majd egyenletesen csökkenve a forgácsnak a homloklaptól való elválási pontjában nullává válik. A csuszatófeszültségek a szerszám élétől a kötési zóna hosszán lényegében állandó értékek, majd ettől kezdve egyenletesen csökkennek nullára. Az eddig elmondottak alapján belátható, hogy a forgács másodlagos alakváltozása a szerszám homloklapján ébredő feszültségektől, a fellépő hőmérséklettől, valamint a forgács és a szerszám érintkező felületeinek állapotától függ.



4.9. ábra

A szerszám homloklapján fellépő csuszató és normál feszültségek eloszlása puhafém forgácsolásakor

### 4.3 Forgácsfajták

A leváló forgácsot fajtája szerint két nagy csoportba szoktuk sorolni:

- töredezett forgács,
- folyamatos forgács.

Töredezett forgácsról akkor beszélünk, ha a leválasztandó anyagréteg a megmunkálandó felületről darabokra törve távozik. Folyamatos forgács keletkezésekor a leválasztandó anyagrétegből hosszabb, rövidebb összefüggő forgács képződik. Mivel a keletkezett forgács alakja számos

tényezőtől függ (pl.: a munkadarab anyagától, a forgácsolási sebességtől, a forgácsoláskor alkalmazott hűtéstől, ill. kenéstől stb.) az egyes forgácsfajták között éles határvonalat nem lehet húzni, hanem mindig csak a vizsgált esetre jellemző forgácsalakulásról beszélhetünk.

Rideg anyagok forgácsolásakor általában, képlékeny anyagok forgácsolásakor pedig olyan esetekben keletkezik töredezett forgács, amikor a forgácsoló - ill. az alakváltozási sebesség viszonylag kicsi. Ilyenkor a forgácsselemek a szerszám éle előtt összenyomódnak. Amikor egy-egy forgácsselemben a keletkező feszültség eléri a tárgy nyomószilárdságát és a forgács alakváltozóképesége kimerül, a forgácsdarab a forgácsolt felületből kitorik (4.10/a ábra).

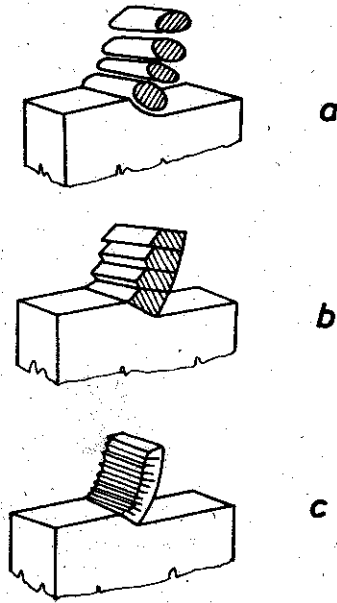
A keletkező forgács tehát különálló darabokból áll. A darabok méreteiket tekintve lehetnek porszem nagyságúak, de lehetnek akár köbcentiméter méretűek is. A forgácsselemek a szemcsehatárok mentén töredeznek ki, ezért töredezett forgács keletkezésekor a megmunkált felület érdesebb.

A töredezett forgács keletkezését tehát olyan megmunkáláskor, amikor a megkívánt felületi érdesség elérése a cél, kerülni kell. Ez a forgácsolási körülmények célszerű megválasztásával még a rideg anyagoknál is biztosítható.

A folyamatos forgács keletkezésekor a leváló forgácsselemek összefüggő szalagot alkotnak. A folyamatos forgács keletkezése szívós, ill. képlékeny anyagokra jellemző. A folyamatos forgácsokat három csoportba sorolhatjuk:

- lemezes, vagy nyirt forgács,
- folyó forgács,
- élsisakos forgács.

Ha töredezett forgács keletkezésekor a forgácsolási sebességet növeljük, egy bizonyos sebesség elérése után a forgácsselemek nem különálló darabokban, hanem egymáshoz tapadva válnak le. A forgácson, melynek hátfelülete a szerszám homloklapján surlódva sima lesz, az egyes forgácsselemek az első és az oldal felületén jól megkülönböztethetők. Ha a forgácsot kézzel meghajlítjuk, törése az egyes lemezek men-

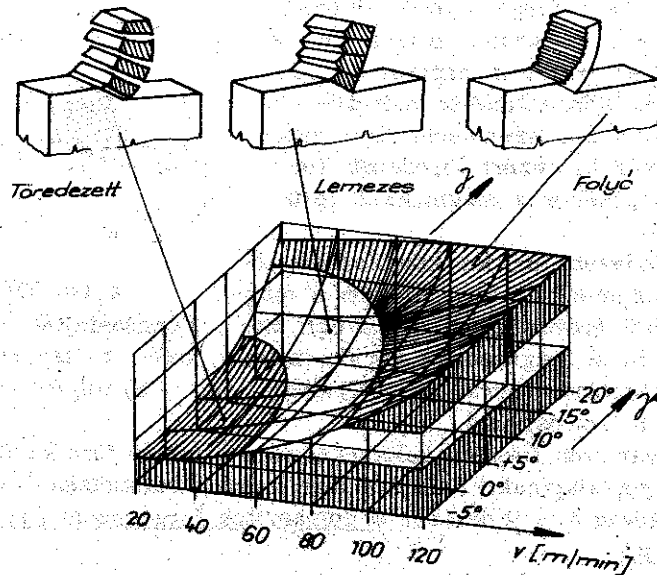


4.10. ábra  
Forgácsfajták: a) töredezett-, b) lemezes- és c) folyó-forgács

tén következnek be. A lemezes forgács forgácsselemei a nyomás és a keletkező hő hatására hegednek össze. A leváló forgács alakja és a forgácslefutás iránya elsősorban a forgácsselemek elmozdulását meghatározó irányú helyzetétől függ (4.10/b ábra).

Szivós és képlékeny anyagok viszonylag nagyobb sebességgel történő megmunkálásakor a forgácsban az egyes forgácsselemek már szabad szemmel nem különböztethetők meg. Az ilyen alakban leváló forgácsot folyó-forgácsnak nevezzük (4.10/c ábra). A folyó forgács is elemekből tevődik össze, de ezek csak mikroszkópi vizsgálattal ismerhetők fel. A folyó forgács hátoldala is sima, de első oldala a lemezes forgácséhoz hasonlóan, az elemek elcsuszása miatt érdes. A forgácsolási deformációk a folyó forgács keletkezésekor a legkisebbek. Ezért simító jellegű megmunkálásakor folyó forgács keletkezésére célszerű törekedni.

A forgácsolósebesség és a szerszám homlokszögének a forgácsfajták kialakulására gyakorolt hatását acél forgácsolásakor a 4.11. ábra mutatja.

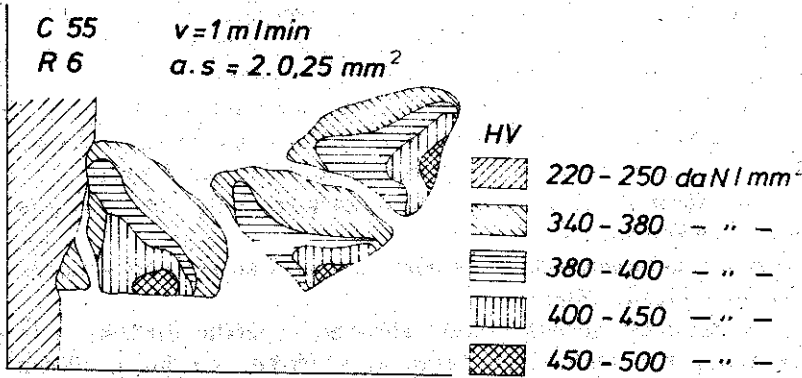


4.11. ábra

A forgácsolósebesség és a szerszám homlokszögének hatása a forgácsfajták kialakulására

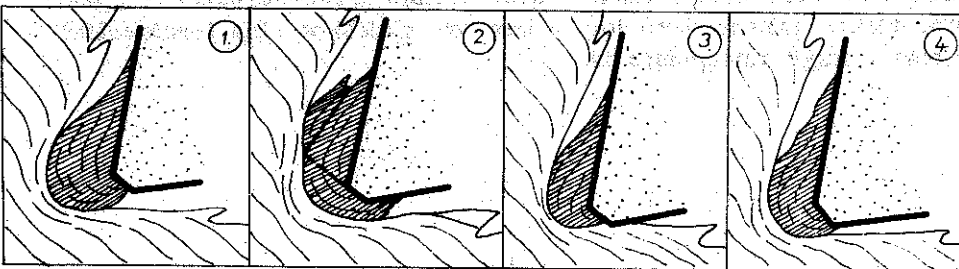
Az előzőekben megállapítottuk, hogy a forgácsolás folyamán mindig keletkezik maradó alakváltozás is. A maradó alakváltozás nagysága a munkadarab tulajdonságaitól és a forgácsolási körülményektől függően különböző. Az alakváltozás nagyságától függően a maradó alakváltozást szenvedett rétegben jól kimutatható keményedés észlelhető. A forgácsolási keményedésnek természetesen csak folyamatos forgácsot adó anya-

goknál van jelentősége, rideg anyagok forgácsolásakor ez a keményedés a töredezett forgács miatt elhanyagolható. Folyó és lemezes forgács keletkezésekor a legnagyobb keménységet a forgácsnak a szerszámmal érintkező része mutatja. (4.12. ábra). A homloklaptól távolodva csökken a forgács keménysége. A keményedés mértéke ugyanannál az anyagnál is változik a maradó alakváltozás mértékének függvényében. Mint-hogy az alakváltozás nagyságára a forgács alakjából is következtethetünk, nyilvánvaló, hogy a forgácsolási keményedés más lesz a lemezes-, a folyó- és az élsisakos forgács keletkezésekor.



4.12. ábra  
A forgácsselemek felkeményedése

Élsisakos forgács keletkezésekor a szerszám éle előtt a forgácsstő anyagából egy kemény anyagréssz képződik. Ez az élrátét növekszik és a forgácsolt felület felé is kiterjed. Az élsisak nagysága és alakja állandóan változik, s ha az élsisak szétroppan, általában három részre szakad: egyik része a forgácsolt felületre tapad, másik része a forgáccsal együtt eltávozik, harmadik része a kés élén marad és ismét növekszik (4.13. ábra).



4.13. ábra  
Az élsisak alakjának és nagyságának változása

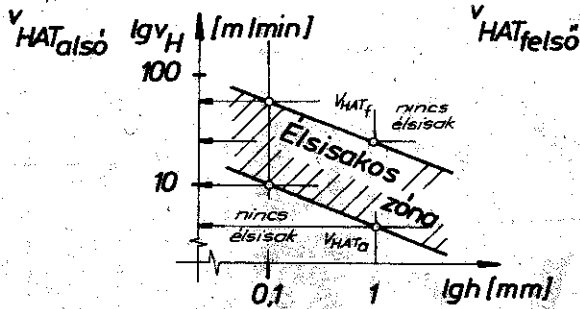
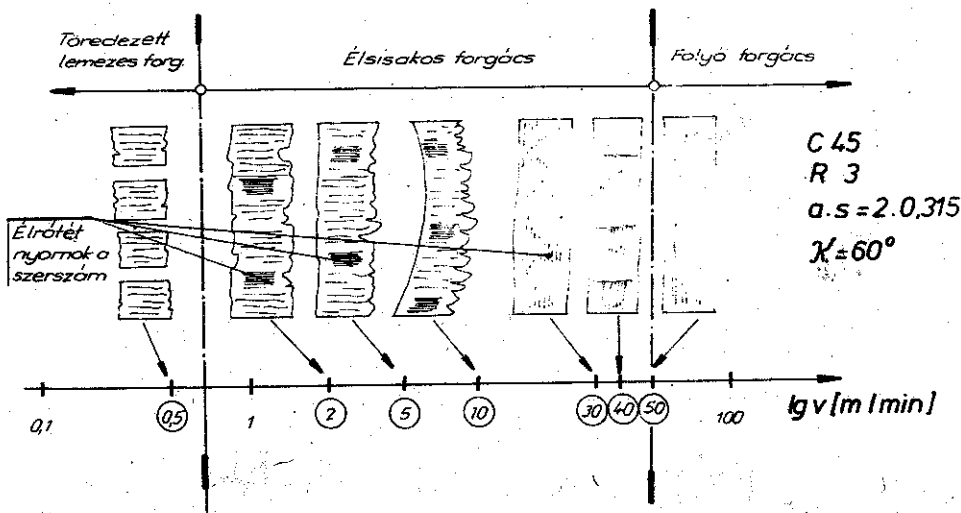
Az élsisak keletkezését általában a szerszám élénél fellépő nagy nyomóerővel, a jelentős surló ódással és a keletkező hővel magyarázzák. Az élsisak keletkezése megváltoztatja a forgácsolási viszonyokat. Mint-hogy keménysége jóval nagyobb a munkadarabénál, forgácsoláskor maga előtt tolja a leválasztandó anyagot. Az élsisak változó alakja és nagysága miatt egyenlőtlen forgácsleválasztás következik be, hatása egyszerűsítve úgy is értelmezhető, mintha a forgácsolóék ékszöge változna. Az egyenlőtlen forgácsleválasztás miatt a megmunkált felület érdesebb lesz. Az érdességet még az is fokozza, hogy a megmunkált felületre élsisakrészecskék tapadnak. Az élsisakrészecskék szétropanása és leválása pedig rezgéseket okozhat. Ezért különösen simító megmunkáláskor lehetőleg kerülni kell az ún. élsisakos zónában való forgácsolást.

Az élsisak-képződés elkerülhető a forgácsolási deformáció, a surlódás és a hőfejlődés csökkentésével. A forgácsolási deformációk elsősorban a forgácsolási sebesség növelésével és a szerszám homlokszögének növelésével csökkenthetők. A surlódás a szerszám homlok- és hátlapjának csiszolásával, kenéssel, a hőmérséklet pedig hűtő-folyadék alkalmazásával csökkenthető.

Az élrátét keletkezését elsősorban a forgácsolási sebességgel hozzák kapcsolatba (4.14. ábra)

Kis forgácsolási sebességeknél nehezen képződik élrátét, a forgácsolási sebesség növelésével általában az élrátétes zónába kerülünk, majd a sebesség növelésével elkerülhetjük az élrátét képződését. Meg kell jegyezni, hogy a gyorsacélszerszámmal acélokot forgácsolva a gyakorlatban használt forgácsolósebességeknél általában élsisakos forgács képződik. A 4.14. ábrán a forgácsolási sebességnek az élsisakképződésre gyakorolt hatását szeretnénk szemléletesen bemutatni a keletkezett forgácsminták elemzésével. Az élsisak a forgácsmintákon a felhegedt élrátétnyomokból, a forgácsszalag peremének szétszaggatottságából ismerhető fel, hatása ezenkívül a forgács sima hátlapjának mintázottságán, a rezgésnyomokban is megmutatkozik.

Az élsisakos zóna elkerülése érdekében minden anyagra megkereshető az élrátétképződés alsó- és felső határsebessége, amely adott forgácsolási körülmények mellett változó előtolásparaméterekkel is kimérhető. Ezáltal felismerhető lesz a keresett élsisakos zóna forgácsolási adatoktól függő tartománya is.



4.14. ábra

Az élűrés keletkezésének kapcsolata a forgácsolási sebességgel

#### 4.4 Forgácsolások és a forgácsolási tényező

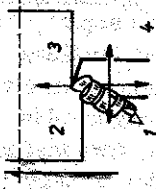
Fémek és ötvözeteik forgácsolásakor a keletkezett forgácsolások szerint általában rövid és hosszú forgácsot adó anyagokat különböztetünk meg. Az első csoport, amelybe minden rideg anyag besorolható, a forgács alakja és leválása szempontjából nem okoz problémát, a második csoportnál viszont amelyhez gyakorlatilag minden acél sorolható, a ma használatos forgácsolási sebességek mellett túlnyomórészt hosszú, kedvezőtlen alakú forgácsformák keletkeznek.

A forgács a nagy forgácsolási sebességgel végzett munka közben kisebb-nagyobb sugarú csavarfelületre tekeredve, vagy hosszú egyenes szalag alakjában hagyja el a munkadarabot. Az ilyen forgács könnyen rácsavarodik a forgácsoló szerszámra, vagy a munkadarabra, s veszélyez-

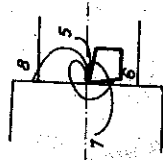
7	2	3	4	5	6	7	8
Szög alakú forgácsok 1.1 Hosszú 1.2 Rövid 1.3 Összetanóalatti	Cső alakú forgácsok 2.1 Hosszú 2.2 Rövid 2.3 Összetanóalatti	Tekercselt forgácsok 3.1 Lapos 3.2 Kúpason	Csavarvonal alakú lapos forgácsok 4.1 Hosszú 4.2 Rövid 4.3 Összetanóalatti	Csavarvonal alakú kúpas forgácsok 5.1 Hosszú 5.2 Rövid 5.3 Összetanóalatti	IV alakú forgácsok 6.1 Folytonos 6.2 Darabos	Elemi forgácsok	Tű alakú forgácsok

\*\* A forgácsirradiás irányát a kód harmadik száma jellemzi a következők szerint:

\*\* A forgácsirradiás irányát a kód harmadik száma jellemzi a következők szerint:



- .. 1 A munkadarabtól távolodó és az előtölg mozgás irányába eső
- .. 2 A munkadarab felé irányuló és az előtölg mozgás irányába eső
- .. 3 A munkadarab felé irányuló és az előtölg mozgással ellentétes irányú
- .. 4 A munkadarabtól távolodó és az előtölg mozgással ellentétes irányú



- .. 5 Megtörök a fűhámlak-lapon
- .. 6 Megtörök a szerstám-hallapon
- .. 7 Megtörök a megmun-kólendó felületen
- .. 8 Megtörök a forgácsalt felületen

4.15. ábra

A forgácsalakok forma szerinti szabványos kódolási rendszere (MSz 3905)



teti a dolgozót, megsértheti a megmunkált felületet, és a szerszámgép termelékenységének a csökkenését okozhatja. A forgács helyszükséglete nagy, azaz tárolási térfogata a leválasztott fém térfogatának többszöröse. Ezzel a problémával különösen akkor kell foglalkozni, ha nagy az időegység alatt leválasztott forgácsmennyiség. Ilyenkor a forgács összegyűjtése és elszállítása nehéz feladatot jelent. Az említett nehézségek jelentősen csökkenthetők, ha a forgácsolás folyamán csavart, vagy felapritott forgácsot sikerül előállítani. Ez veszélytelenebb a dolgozóra, könnyebben eltávolítható a munkatérből, kisebb a helyszükséglete, és az ilyen forgácsnak a műhelyből való elszállítása is egyszerűbb.

Kialakulásának megfelelően a forgácsokat nyolc forma szerinti osztályba lehet besorolni. A szabvány az egységes értelmezés érdekében az MSz 3905 előírásaihoz műszaki irányelvként csatolta a forgácsalakok kódolt jelölési rendszerét is (4.15. ábra). Ez a jelölési rendszer megegyezik a forgácsalakok egyszerű és félreértést kizáró módon való megnevezésére szolgáló nemzetközi jelölési kódrendszerrel. A forgácsalak kód három, egymástól pontokkal elválasztott számjegyből áll. Az első számjegy a forgácsalakra utal, a második ezen belül a megjelenési formát jelzi, míg a harmadik számjegy a forgácslefutás irányát, illetve a forgácsstörés helyét mutatja meg.

A hosszan leváló szalagforgács általában nagyobb forgácskeresztmetszetnél és csak akkor alakul ki, ha az esztergakés nem, vagy rosszul beállított forgácsstörővel rendelkezik.

Az összegubancolódott forgács közepes és kis előtolásoknál keletkezik. (Kuszált forgács.)

Ezzel szemben a lapos csavarvonal alaku forgács kialakulásának különösen a kis csucssugaru szerszám, a kis fogásmélység és a nagy elhelyezési szög kedvez. Ezért ennek a forgácsformának a kialakulását az éles szélek miatt megnövekedett baleseti veszély elkerülése érdekében meg kell akadályozni.

A ferde csavarvonal alaku forgács általában akkor keletkezik, ha kis fogásmélységnél a forgácsolóélnék csak a csucssugaras része van fogásban.

A hosszu henger alaku spirál-forgácshoz való átmenet a fogásmélység megnövelésével érhető el. Ez a forgácsforma nagy helyigénye és az ezzel összefüggő szállítási és tárolási problémák miatt kedvezőtlen forgácsalaknak mondható.

A rövid hengeres csavarvonal alaku, valamint a spirál-forgács tömör formája miatt kedvezőbb adottságokkal rendelkezik. Kialakulásukat a növekvő előtolás segíti elő.

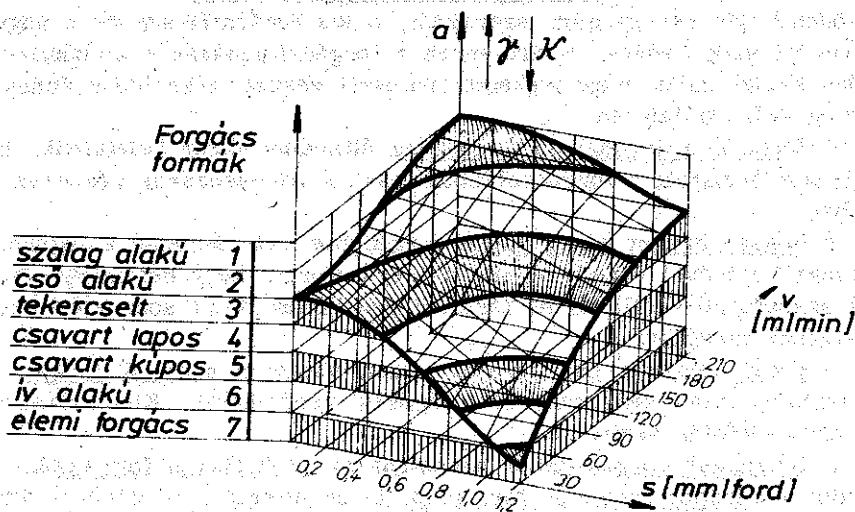
A tekerceslt forgácsokhoz hasonlóan az ivelt fűrtös forgácsok, valamint a darabos törmelék forgácsok is az előtolás növelésével állíthatók elő. Ezek a forgácsalakok, bár tárolási és szállítási könnyebbségük yitathatatlan, mégis a kedvezőtlenebb osztályba sorolhatók, mivel a nagy forgácsstörési frekvencia és az ezáltal megnövekedett forgácsolóerő

változása a szerszámra kedvezőtlenül hat. Ezenkívül az apró forgácsok szerke szét repülése a gépre és a kezelőszemélyzetre nézve fokozott baleseti veszéllyel jár.

A forgácsforma kialakulása ugyanúgy, mint maga a forgácsképződési folyamat soktényezős, bonyolult jelenség. A forgácsforma előzetes meghatározásának lehetősége a nagyszámu forgácsolási kísérletekkel alátámasztott tapasztalati megállapításokra hagyatkozik.

Azonos forgácsolási feltételek esetén a munkadarab növekvő szilárdsága alapján általában rövidebb tört forgácsok keletkeznek. A munkadarab szövetszerkezetének hatását vizsgálva: a durva szemcseszerkezettű anyag ugyanúgy kedvező forgácsforma kialakulásához vezet. Minél hosszabb ideig tart a forgácsolás, ez a szerszám homloklapján kialakuló kráteres kopás növekedéséhez a tekerceslt vagy csavart forgács kialakulásához, ill. a rövid tört forgácsok keletkezéséhez vezet. Emellett az egyes forgácsolószerszám-anyagok különböző surlódási tulajdonságai is hatással vannak a forgácsforma kialakulására. Minél nagyobb a szerszám és a forgács közötti tapadó surlódás területe, annál kedvezőtlenebb forgácsalakok alakulnak ki. A szerszámgép statikus és dinamikus viselkedése is hatással van a forgácsforma kialakulására. A hűtő-kenő folyadékok alkalmazása, mivel ez a forgácsolóél hőmérsékletét csökkenti, kedvező hatással van a jó forgácsforma és a forgácstörés kialakulására. Az alacsonyabb forgácsolási sebességeknél használt hűtő-kenő folyadékok viszont a hosszabb forgács kialakulását segítik elő.

Igen kis sebességgel forgácsolva minden anyagnál töredezett forgácsot kapunk. Ha szívós anyagok megmunkálásakor a forgácsolási sebes-



4.16. ábra

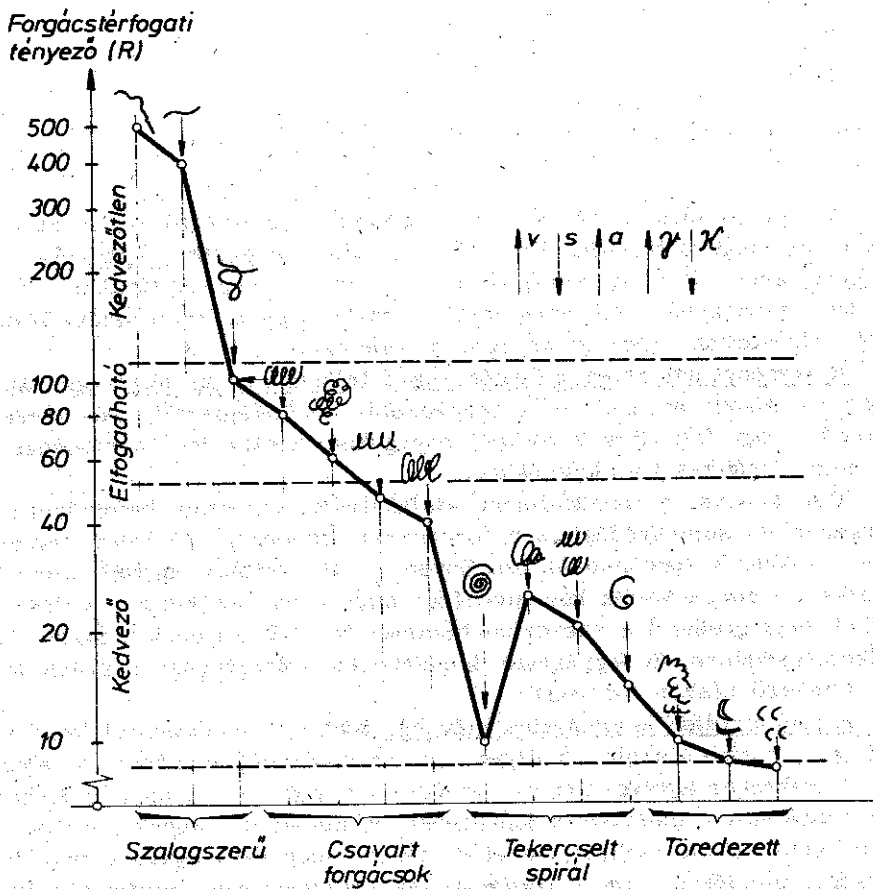
A forgácsolási adatok hatása a forgácsalakok kialakulására

séget növeljük, folyamatos forgács keletkezik. A sebesség növelésével a folyamatos forgács előbb lemezes, majd folyó forgács lesz.

A homlokszög növelés hasonló irányban hat a forgácsalakra, mint a forgácsolási sebesség növelése (4.16. ábra). Nagyobb homlokszög esetén a forgács egyenletesebb lesz. A homlokszög változtatásával, szivós anyagot forgácsolva, elérhető a töredezett forgácstól a folyó forgácsig valamennyi forgácsforma kialakulása.

Az előzőekben már többször említettük a leválasztott forgács számára szükséges térfogat és a leválasztandó anyagréteg eredeti térfogatának arányát. Ezt a viszonyszámot nevezzük a forgácstérfogati tényező-nek, amelynek jele:  $R$ . A forgácstérfogati tényező mérésekor meghatározott mennyiségű anyagot választanak le ( $V_{fém}$ ), majd megméri-  

$$R = \frac{V_{fém}}{V_{anyag}}$$



4.17. ábra

Az egyes forgácsalakokhoz tartozó forgácstérfogati tényezők értékei

választott forgács térfogatát is ( $V_{\text{forg}}$ ). A két számérték hányadosa a forgács térfogati tényező:

$$R = \frac{V_{\text{forg}}}{V_{\text{fém}}}$$

A forgács térfogati tényező nagysága nyilván kisebb, ha a forgácsot apróbb darabokra törjük. Mivel az egyes forgácsalakokhoz tartozó forgács térfogati tényező széles határok között változik (4.17. ábra), a technológus számára több lehetőség kínálkozik arra, hogy akár a forgácsolási adatok változtatásával, akár forgács törési eljárással kedvezőbb forgácsalakot érjen el.

#### 4.5 A forgácsolási keményedés és a felületi réteg tulajdonságai

A forgácsolásnál fellépő maradó alakváltozások hatására a deformált réteg megkeményedik. Ezt a keményedést nevezik forgácsolási keményedésnek. A rideg anyagok (pl.: öntöttvas) forgácsolásakor a bekövetkező keményedés elhanyagolható mértékű, így a forgácsolási keményedés elsősorban a szivós anyagokra jellemző.

A keményedett réteg mélysége és a felkeményedés nagysága függ a megmunkálendő anyagtól és a forgácsolás körülményeitől. Természetes tehát, hogy folyó forgácsot adó anyagoknál kisebb lesz a keményedés, mint élrátétes forgácsoláskor.

Mint ahogyan a forgácsforma kialakulását, ugyanúgy befolyásolja a forgácsolási keményedést is a forgácsolás sebessége. Növekvő sebességnél csökken a forgácsolási keményedés. Az előtolás nagyobb mértékben növeli a forgácsolási keményedést, mint a fogásmélység növelése, továbbá megfigyelhető a szerszám homlok- ill. hátszögének a hatása is a felkeményedésre. A legnagyobb keményedés a forgácsnak a szerszámmal érintkező részén jön létre.

A forgácsolási keményedés mérését többfajta módszerrel lehet végezni (pl.: mikrociszolat, röntgen, mikrokeménység mérése), amelyek közül a mikrokeménység mérése terjedt el legjobban. Ennél a módszerrel a forgács töről csiszolatot készítenek és különböző helyeken mérik a keménységet. A kis terhelés lehetővé teszi, hogy csak egyes pontok keménységét mérjék ki, így a forgács tő és környezetének keménységváltozása jól követhető.

A forgácsolási keményedés hátrányos a további megmunkálás szempontjából, mivel az újabb réteg leválasztásakor a már felkeményedett

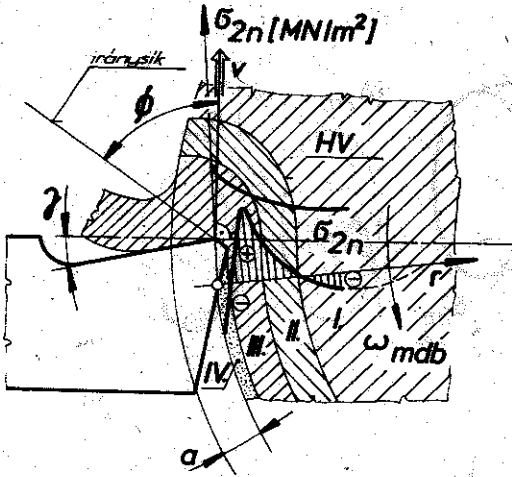
részt kell forgácsolni, amely nagyobb erőt igényel, jobban koptatja a szerszámot, a felület érdesebb lesz.

A forgácsolási keményedés mértékének csökkentését minden olyan módszerrel el lehet érni, amely a forgácsoló alakváltozásának csökkentését eredményezi.

Szabályos élgeometriájú szerszámmal végzett forgácsoláskor a felületi réteg tulajdonságai a megmunkált anyag jellegétől (képlékeny, ridegképlékeny, rideg) és annak a forgácsolóban létrejött állapotától függenek.

A felületi réteg állapotát elsősorban a forgácsolást kísérő alakváltozások és a fellépő hőhatás határozza meg. Kialakulásában igen nagy szerepe van a szerszám homloklapja és a forgács, valamint a szerszám hátlapja és a forgácsolt felület kölcsönhatásának is.

Képlékeny anyagok forgácsolásakor a fémnek az a térfogatrésze, amely a szerszám homloklapja előtt és az irányítók alatt helyezkedik el képlékenyen összenyomódik, rövidülést szenved. Ennek következtében az összenyomódott fém egyik része - amely az irányítók felett helyezkedik el - forgács formájában eltávozik, a másik része pedig - amely az irányítók alatt helyezkedik el - a szerszám hátlapja alatt eltérülve, a munkadarab felületi rétegét alkotja. Ez a felületi réteg részben a forgács elszakadása, részben a szerszám hátfelületének surlódása következtében képlékeny megnyulást (hosszabbodást) szenved.



4.18. ábra

A munkadarab felületén az alakváltozások következtében kialakuló jellegzetes rétegződés

Az alakváltozások eredményeképpen a forgácsoló mozgás irányában haladva jellegzetes rétegződést figyelhetünk meg a munkadarab felületi rétegeiben: (4.18. ábra)

- vékony, képlékenyen megnyult réteget, amelyben a kristályszerkezet jelentékeny torzulása vehető észre;
- vastagabb, képlékenyen megrovidult réteget, deformált texturára emlékeztető megnyújtott szemcsékkel;
- átmeneti réteget, amely rugalmasan alakváltozott állapotban van.

Természetesen az alakváltozások keménységnövekedést idéznek elő, illetve az egyenlőtlen térfogatváltozások következtében maradó feszültségekhez ve-

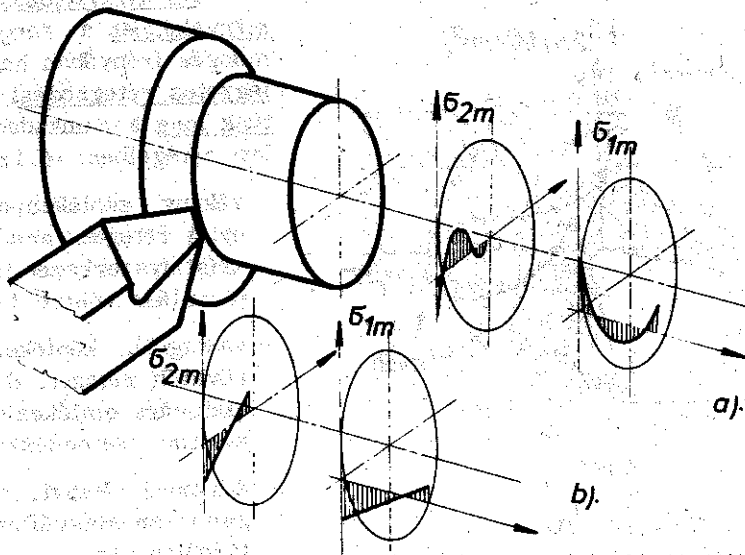
zetnek. Ezért csak a forgácsolási keményedés a felületi réteg állapotának megváltozását nem jellemzi egyértelműen.

Kötött forgácsolás esetén a felületi réteg állapotának alakulását az érintő- és tengelyirányú feszültségek sokkal beszédesebben jellemezhetik. Ha a felülettől távolodva a munkadarab anyagában a csökkenő intenzitású alakváltozások hatására a főmozgás irányában képlékeny megnyulás, képlékeny összenyomódás stb. megy végbe, úgy a rá merőleges irányban (az előtolás iránya) ellenkező értelmű: képlékeny összenyomódás, képlékeny megnyulás stb. keletkezik.

Ennek megfelelően a keményedés mellett az érintő- és tengelyirányú maradó feszültségek előjele az egyes rétegekben ellentétes lesz. Ez azt jelenti, hogy az érintőirányban maradó összenyomódást szenvedett rétegben húzó érintőirányú feszültségek maradnak vissza; viszont ugyanebben a rétegben a tengelyirányú maradó feszültségek nyomók, mivel ebben az irányban a réteg maradó megnyulást kapott. Szivós, képlékeny anyag megmunkálása esetén a maradó feszültségek egy lehetséges eloszlását mutatja be a 4.19/a ábra.

Ezeket a maradó feszültségeket kiegészítik még a tömörödés okozta fajtérfogat növekedéséből származó maradó nyomófeszültségek is.

Ha rideg anyag forgácsolásakor a felület alatti rétegben számottevő képlékeny alakváltozás nem lép fel, a felületi réteg tulajdonságait főleg a tömörődéssel járó fajtérfogat változások szabják meg, amelyek



4.19. ábra

A forgácsolás eredményeként a felületi rétegben visszamaradó un. maradó feszültségek eloszlása

mind érintő, mind tengelyirányban az egyes rétegekben azonos irányu alakváltozással járnak. Ennek megfelelően alakul a rétegekben a maradó feszültségek eloszlása is (4.19/b ábra).

A felületi réteg állapotát az alakváltozásból származó elváltozásokon kívül nagymértékben befolyásolja az alakváltozási és surlódási munkából származó hő is. A forgácstömben lejátszódó alakváltozás, a felmelegedés és lehűlés a munkadarab anyagától és számos technológiai tényezőtől függően (szerszámgeometria, technológiai adatok stb.) a szomszédos anyagrétegek különböző mértékű elmozdulásait idézik elő eltérő nagyságrendű méretekben. A rétegtulajdonságok kialakulásának komplex volta ellenére néhány fő befolyásoló tényező hatását bizonyos fokig különválasztva célszerű elemezni. Már a forgácsolási keményedés jelenségének megfigyelésekor észrevehető volt, hogy az eltávolított réteg vastagságának növelése és a homlokszög csökkentése a felület tömörödését növeli. E két tényező együttes hatása kis széntartalmu acélok-nál a képlékeny alakváltozást szenvedett réteg vastagságának növekedésében mutatható ki.

Mivel a homlokszög csökkenése a képlékeny alakváltozási és surlódási munka növekedéséből származó jelentékeny hőfejlesztéssel jár, nagy negatív homlokszögeknél a felületi réteg beedződése a maradó feszültségek eloszlásának a jellegét is megváltoztatja.

Különböző anyagok forgácsolásakor a szilárdságtól, a hővezető képességtől stb. függően a szerszám homloklapjának és a munkadarab felületének felmelegedése igen eltérő. A forgácsolási sebesség növekedésével - bár viszonylag csökken a munkadarabra jutó hő mennyisége - a megmunkált felület felmelegedése nő. A felületi réteg felmelegedése annál intenzívebb, minél rosszabb az anyag hővezető képessége.

Alacsony edzési hőfoku anyagok forgácsolásakor a forgácsolási sebesség növelése a felület mikrokeményiségének növekedésével jár, míg magas edzési hőfoku anyagoknál a felület mikrokeményiségének csökkenése tapasztalható.

Nagy széntartalmu anyag lágyított állapotban végzett forgácsolásakor, a technológiai körülményektől függően a felületi rétegben a maradó fázisváltozások lényeges keménységnövekedést idézhetnek elő, de ha ezek nem következnek be, úgy csak a tömörödés okoz lassu átmenetű felkeményedést.

Keményre nemesített anyagok forgácsolásakor a fellépő deformációk és a hő hatására egy vékony réteg újraedződik, amely alatt vastagabb megeresztett réteg helyezkedik el. Az újraedzett és megeresztett réteg vastagsága a forgácsolási sebesség növelésével nő.

A nagyszilárdságú anyagokban azonos technológiai körülmények között végzett forgácsoláskor általában lényegesen nagyobb feszültségek maradnak vissza, mint a kisszilárdságúakban.

A nem edződő, rossz hővezető anyagok forgácsolása során tapasztalt felmelegedés és lehűlés hatására a felületi rétegben eltérő eloszlási jellegű, nagy húzófeszültségek maradnak vissza.

## A fejezethez felhasznált és ajánlott irodalom jegyzéke

1. Dr. BAKONDI Károly - Dr. KARDOS Árpád: A gépgyártás technológiája I. Forgácsolás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1963.
2. BÁLINT Lajos: A forgácsoló megmunkálás tervezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1958.
3. DANIELJAN, A.M.: Rezanyije metallov i insztrument. Masgiz, Moszkva, 1950.
4. DEGNER, W. - LUTZE H. - SMEJKAL, E.: Spanende Formung. Theorie, Berechnung, Richtwerte, VEB, Verlag Technik, Berlin, 1968.
5. DUCA Zoltán: Bazele teoretice ale prelucrarilor pe masini unelte. Ed. didactica si pedagogica, Bucuresti, 1969.
6. Dr. FAZAKAS Balázs: Célgépek gépsorok, aggregátgépek szerzőszámozása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.
7. Dr. GRIBOVSZKI László - MOLNÁR József - SZMEJKÁL Attila: Az automatizált gyártás technológiai tervezése. NME. MTI kiadványa: J 4-714. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967.
8. ISZAJEV, A.I.: A felületi rétegeképződés folyamata fémek forgácsolása során. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1953.
9. KATTWINKEL, W.: Untersuchungen an Schneiden spanender Werkzeuge mit Hilfe der Spannungsoptik. Industrie Anzeiger 79./1957. H.36. s. 525-532.
10. KALISZKY Sándor: Képlékenységtan. Elmélet és mérnöki alkalmazások. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1975.
11. KÖNIG, W. - OTTO, F. - KLUF, W.: Spanformen bei der Drehbearbeitung. Möglichkeiten zur automatischen Erkennung. TZ für Metallbearbeitung, 1978. II. (Jg. 72.) s.: 13-18.
12. NYEKRASZOV, Sz. Sz.: Szoprotivlenije hrupkih materialov rezanyiju. Izd. "Masinosztroenyije", Moszkva, 1971.
13. OPITZ, Herwart: Moderne Produktionstechnik. Stand und tendenzen. Verlag W. Giradet, Essen, 1971.
14. REINHOLD, R.: Probleme der Spanbrechnung. Fertigungstechnik u. Betrieb 9. (1959.) H. 3. s.: 161-163.
15. THOMSEN, E.G. - DOHMEN, G.H. - SCHALLER, E.: Anwendung der Plastizitätsmechanik auf den Zerspanungsvorgang. Industrie-Anzeiger 85. (1963.) H. 46. s.: 967-974.



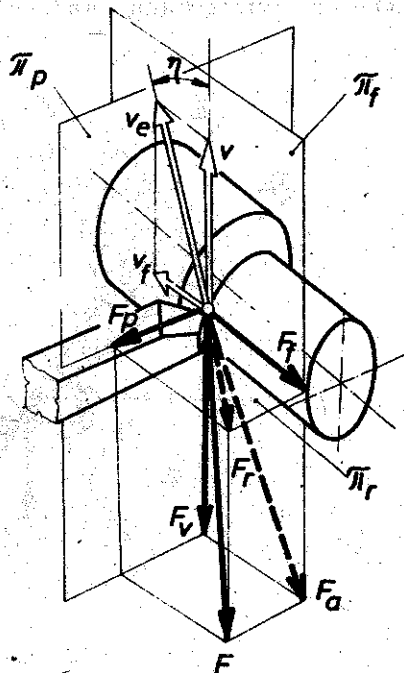
## 5. A forgácsolás erő- és teljesítményszükséglete

A forgács leválasztása erő hatására jön létre. A forgácsoláshoz szükséges erő ismeretére elsősorban a gyártóeszközök (szerszámgép, szerszám, készülék) kiválasztásához, új eszközök tervezéséhez, valamint a megmunkálási pontosság technológiai meghatározásához van szükség. A forgácsolóerő ismerete fontos a forgácsolási teljesítmény meghatározása miatt is.

A forgácsolóerő nagyságát elsősorban a megmunkálandó anyag szilárdsága, a leválasztandó forgácskeresztmetszet nagysága, a forgácsoló szerszám forgácsolóélekének geometriája és felületeinek minősége, továbbá a forgácsolósebesség nagysága és még sok más tényező határozza meg. A forgácsolóerő hatásvonalának iránya, illetve a forgácsolórendszeren belüli megoszlása a megmunkálási módtól is függ, és ezt elsősorban a szerszámok fajtája és a forgácsleválasztás körülményei befolyásolják.

A forgácsolóerő általában térbeli erő, és mindig a szerszámra hat. A forgácsolóerővel azonos nagyságú és hatásvonalu, de ellentétes értelmű, a munkadarabra ható erőt alakítóerőnek, vagy élnyomásnak nevezzük. Az élnyomás tehát az az erő, amely a forgácsolóéleknek a munkadarabra történő behatolásakor a forgácstövet terheli, ilyen értelmezésben az élnyomás alakítóerőnek is nevezhető.

Az eredő forgácsolóerőnek ( $F$ ) a forgácsolómozgások irányába eső összetevőkre bontását az 5.1. ábra



5.1. ábra

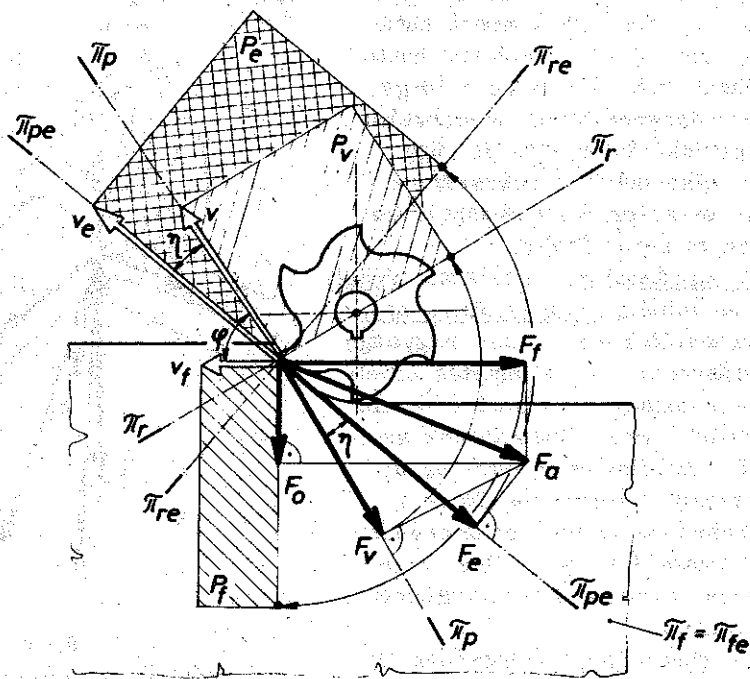
A forgácsolóerő komponensekre bontása kötött forgácsoláskor

szemlélteti. A forgácsoló főmozgás ( $v$ ) irányába eső összetevő a főforgácsolóerő ( $F_v$ ), az előtolómozgás ( $v_f$ ) irányába eső összetevő az előtolásirányu forgácsolóerő ( $F_f$ ), amely a munkasíkban hat, és az erre merőleges irányu komponens a ( $\pi_p$ ) tengelysíkban elhelyezkedő fogsávétel irányu forgácsolóerő ( $F_p$ ), amit a nemzetközi szakirodalom passziv erőnek is nevez.

Az eredő forgácsolóerőnek a munkasíkba eső vetülete ( $F_a$ ) az ún. aktiv forgácsolóerő ( $F_a$ ).

Az eredő forgácsolóerőnek a szerszámalapsíkba ( $\pi_r$ ) eső vetülete ( $F_r$ ) az előtolásirányu ( $F_f$ ) és a fogsávételirányu ( $F_p$ ) erőkomponensek eredőjeként határozható meg. Tolóerőnek is hívják.

Azokban a megmunkálási esetekben, amikor az előtolóirány ( $v_f$ ) nem merőleges a forgácsolóirányra ( $v$ ), azaz az előtolóirány hajlásszöge ( $\varphi$ ) eltér a  $90^\circ$ -tól, a munkasíkban az eredő forgácsolóerőnek az előtolóirányra merőleges vetülete az orthogonális forgácsolóerő - ( $F_o$ ) - komponens is jelentkezik. Ilyen megmunkálási eset pl.: a palástmarás (5.2. ábra). Ha az előtolóirány hajlásszöge  $\varphi = 90^\circ$ , (pl.: esztergálás), akkor az orthogonális forgácsolóerő-komponens ( $F_o$ ) azonos a főforgá-



5.2. ábra

A forgácsolóerő komponensekre bontása palástmarás esetében