

# A FINOMMEGMUNKÁLÁSOK HELYZETE AZ IPARILAG FEJLETT ORSZÁGOKBAN ÉS HAZÁNKBAN

HORNUNG ANDOR\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

TÓTH ISTVÁN\*\* és VERNÓCZI GYÖRGY\*\*\*

[Beérkezett 1970. május 18-án]

## I. Bevezetés

A rohamosan fejlődő gépipar a gépek működő felületeinek mind nagyobb méretpontossággal és mindinkább jobb felületi minőséggel történő elkészítését követeli meg. Ugyanis ezek a feltételek teszik lehetővé a gépek minőségének és élettartamának a növelését. Ezeket a követelményeket a finommegmunkálások fokozott alkalmazásával lehet biztosítani. Jelen tanulmány nem kíván foglalkozni a finommegmunkálások azon módszereivel, amelyek csupán a felületi minőség megjavítására szolgálnak (pl. nikkell- és krómbevonatok előtti megmunkálások) anélkül, hogy az alakhűséget és a méretpontosságot ez alkalommal megnövelnék.

Ugyancsak nem kívánunk foglalkozni jelen összeállításban a szabályos egy, esetleg többélű szerszámokkal végzett finommegmunkálásokkal, mint pl. a gyémántesztergálással, a keményfémmeel végzett finomesztergálással és finommarással. Ugyanis a nagy igénybevételnek kitett gépalkatrészek működő felületei leginkább kemény, edzett kivitelűek, amelyeknek a végső finommegmunkálása az említett szabályos élű szerszámokkal nem végezhető el. Így összeállításunk szabálytalan, sokélű kötött vagy szabad szemcsével végzett finommegmunkálásokra korlátozódik.

A továbbiakban azokat a megmunkálásokat nevezzük finommegmunkálásoknak, amelyekkel az azonos művelet útján végzett nagyoló megmunkálás után következő simító megmunkálással  $R_a = 0,4 \mu\text{m}$  felületi érdesség érhető el. Mind a méretpontosság, mind az alakhűség növelésére alkalmas finommegmunkálások: a tükrösítés (leppelés), a dörzscsiszolás (honing), a tükrösimitás (szuperfinis) és a köszörülés különböző válfajai.

A tükrösítés alkalmas a legfokozottabb követelmények kielégítésére, azonban a termelékenysége kicsiny és nagy szakértelmet kíván, különösen a kézi és félig gépi eljárásoknál. Ugyanis a teljesen gépesített *tükrösítés* csak az

\* HORNUNG ANDOR, Budapest VIII. Reguly Antal utca 33.

\*\* TÓTH ISTVÁN, Budapest XI. Bartók Béla út 126.

\*\*\* VERNÓCZI GYÖRGY, Budapest VIII. Mező Imre út 25.

eljárásnak megfelelően kialakított hengeres, sík és gömbfelületek megmunkálására alkalmas. A *dörzscsiszolás* furatok nagy pontosságú és fokozott felületi minőségű megmunkálására jó termelékenységgel és gazdaságossággal mellett használható. A *tükrösímitás* főleg külső hengeres és sík felületek megmunkálására alkalmas fokozott felületi minőség mellett és újabb eljárásokkal az alakhűséget is javítja. Pontosan megválasztott viszonyok mellett jó termelékenységgel dolgozik.

A *köszörülés* a leggyakrabban alkalmazott finommegmunkálás, amely igen erős fejlődésben van mind a köszörűgépek, mind a köszörűkorongok minőségének megjavítása útján. Ezzel eléri, hogy mind méretpontosság, mind alakhűség és felületfinomság szempontjából a köszörüléssel nagy termelékenység mellett igen jó eredményeket lehet elérni. A köszörülés nagy jelentőségét támasztja alá az a tény is, hogy a szakirodalom az utóbbi évtizedekben igen sokat foglalkozik a köszörülést fejlesztő kutatások ismertetésével.

Néhány példa a köszörülés fejlesztésének a fontosságáról:

A *Szovjetunióban* a leningrádi *Össz-szövetségi Tudományos Köszörülési Intézet* (rövidítve: *VNIIAS*) 1200 dolgozót foglalkoztat, az amerikai *Norton Co.* a köszörülés, a köszörűkorongok és a köszörűgépek gyártásának fejlesztésére 1500 főből álló kutatóosztályt tart fenn. A japán *Köszörűs Mérnökök Egyesülete* az 1965. évi adatok szerint 458 tagot számlál. Két akadémikus vezetésével 56 tag 26 egyetemen, 43 tag 12 állami kutatólaboratóriumban, a további 359 tag pedig 174 különböző üzemből foglalkozik a köszörülés időszzerű kérdéseivel.

Mint általában minden forgácsoló megmunkálásnál, ha az nagy helyi mechanikai és hőigénybevétel mellett történik, a munkadarab felületi rétegében visszamaradó feszültségek keletkeznek. Ezek hatására üzem közben a felületi rétegből leválásokkal, esetleg deformációkkal kell számolni. Az erősen igénybevett gépalkatrészek működő felületeinél — a visszamaradó feszültségek következtében — a kopás és súrlódás növekedésével kell számolni. Ezzel szemben azoknál a végső simító megmunkálásoknál, amelyeket kis nyomás, kis sebesség és ennek következtében kis hőmérséklet mellett végeznek, a visszamaradó feszültségek majdnem teljesen eltűnnek vagy olyan kis értékűek, hogy azok mellett nagy felületi nyomás és nagy sebesség ellenére is igen kedvező súrlódási és kopási értékeket lehet elérni. Az ilyen működő felületű gépalkatrészek tehát igen jó minőséget és hosszú élettartamot eredményeznek.

Kis sebességgel és kis felületi nyomással dolgozó finommegmunkálási módok: a tükrösítés, a tükrösímitás és — bizonyos mértékig — a dörzscsiszolás.

A visszamaradó feszültségek megállapítására ma már a hazai vonalon is megfelelő módszerek és berendezések állnak rendelkezésre. A gépalkatrészek kopása, azaz élettartama szempontjából tehát a felületi rétegekben visszamaradó feszültségeknek igen lényeges befolyásuk van, azonban ezek a szab-

ványokban még nem jutnak kifejezésre. Ugyanis mind a hazai, mind a külföldi felületi érdességi szabványok csak a felületek *mikrogeometriájával* foglalkoznak, azonban a felületi réteg *feszültségi állapotára* nem térnek ki. Ennek ellenére amint az újabb kutatások bizonyítják a gépek minőségére, kopási viszonyaira és élettartamára a felületi rétegek állapota lényeges befolyást gyakorol. Így az elkövetkezendő kutatások és vizsgálatok feladata — a felületi igénybevételek mértékétől függően — annak a megállapítása, hogy a kérdéses gépalkatrész működő felületi rétegének milyen végső simító megmunkálást kell kapnia.

## II. A finommegmunkálások teljesítményének, ill. termelékenységének megítélése

A finommegmunkálások teljesítményét ugyanúgy, mint az egyéb forgácsoló megmunkálásokét is legjobban a percenként leválasztott anyagterfogat, ill. a  $V_f$  fajlagos forgácsteljesítménnyel lehet legjobban megítélni. Az utóbbi az 1 lóerővel egy perc alatt lemunkált anyagterfogatot adja meg. Ez az érték tükrösítésnél  $0,05 : 0,3 \text{ cm}^3/\text{Le min}$ , igen durva, nagyteljesítményű köszörülésnél pedig  $3 \text{ cm}^3/\text{Le min}$  értéket is elérhet. A megkívánt méretpontosság és felületi minőség szerint a gépek pontossága és a felhasznált köszörűkorongok minősége szerint érhetőek el az előbbi határok közötti közbeeső értékek. A részletes értékekre az egyes finommegmunkálási módok ismertetésénél kerül majd sor.

## III. Tükrösítés

Ezt a módszert a legpontosabb mérőeszközök, idomszerek felületeinek, igen pontos gépek alkatrészeinek stb., továbbá a legnagyobb méretpontosságot, alakhúséget és felületi minőséget megkívánó fémfelületeknek a végső simító megmunkálására használják. Tükrösítésnél két eljárás használatos: a *szabad szemcsével* és a *kötött, beágyazott szemcsével* történő megmunkálás. Az elsőnél rendszeren edzett, nagykeménységű felületek és a lágyabb szerszám közé vivő folyadékkal szabadon vezetik be a csiszoló szemcséket állandóan finomodó fokozattal. A szerszám és a munkadarab közötti relatív mozgás segítségével koptatják a szemcsék a megmunkálandó felületet. Kezdetben a nagyobb felületi egyenlőtlenségek lemunkálására nagyobb anyagterfogat leválasztása mellett durvább csiszolószemcséket és nagyobb viszkozitású vivő-kenő anyagot használnak. A méretpontosság fokozatos növelésével és a felületi minőség állandó javításával fokozatosan finomabb szemcsét és hígabb vivő folyadékot használnak.

A kötöttszemcsés tükrösítésnél a lágyabb szerszámfelületbe hengerlik a különböző finomságú csiszolószemcséket és így az anyag leválasztását a kiálló szemcsecsúcsok végzik. Ez a módszer kevésbé jó csiszolószemcse-kihasználással dolgozik, de bizonyos esetekben jobb a termelékenysége, mint a szabadszemcsés változatnak.

A gépi tükrösítésnél általában a szabadszemcsés módszert használják, de szemben a kézi tükrösítéssel, ahol a szerszám és a munkadarab között felületi érintkezés van, itt a hengeres felületek gépi tükrösítésénél az érintkezés csak vonalbeli. Ekkor a két tükrösítő szerszám közé helyezett munkadarabok részint gördülő, részint csúszó mozgást végeznek. Gépi síktükrösítésnél a munkadarabok és szerszámok között síkbeli érintkezés mellett meghatározott pályájú csúszó mozgást hoznak létre. A gépi tükrösítés termelékenységét a kézi tükrösítéssel szemben az növeli, hogy egyszerre több darabot munkálnak meg.

A tükrösítés teljesítménye — különösen a kézi tükrösítés legfinomabb fázisaiban — igen kicsiny, mert a leválasztott anyagterfogat percenként a köbmilliméternek is csak tört része.

Tükrösítéssel tízezred mm pontossággal is lehet dolgozni és a kapott felületi érdesség mérőszáma az  $R_a \approx 0,005 \mu\text{m}$ -t is elérheti. Ez már olyan kis érték, hogy a szokásos gyémánt-tűs tapintóval dolgozó érdességmérő műszerekkel nem mérhető. Az alakhúséget sík felületeknél optikai síküveggel — az interferenciásíkok segítségével — lehet ellenőrizni. Ezeket az értékeket a mérőhasábok gyártásánál alkalmazzák. Ilyen pontosságokat természetesen csak állandóan 20 °C mellett légkondicionált helységekből lehet elérni.

A tükrösítés legújabb, nagyteljesítményű megmunkálásmódját fejlesztette ki a *Speed Fam Corporation*, amelynél lágy szerszámfelületek helyett edzett acélból készült felületet használnak. Így a szemcsék nem nyomódnak bele a szerszámba és jelentősen, nagyobb nyomást lehet alkalmazni, mint a szokásos tükrösítő eljárásnál. Ezzel a módszerrel még 0,25 mm anyagréteget is gyorsan és gazdaságosan lehet edzett acél munkadarabokról igen kis tőrés mellett lemunkálni.

Az új, nagyteljesítményű síktükrösítő gépek a kis méretektől a méteres nagyságrendű munkadarabokig alkalmasak a munkadarabok megmunkálására és ezekkel az eddigi munkaidőnek törtrésze alatt lehet 1 : 2  $\mu\text{m}/\text{m}$  határon belüli síkpontosságot elérni. Az így megmunkált felületek az ellendarabbal egymáshoz szorítva összetapadnak, hasonlóképpen mint a mérőhasábok. Tehát az alakpontosságon kívül még ezekkel a tükrösítő gépekkel a felületi érdesség kis értéke is biztosítható. Ezzel a módszerrel nagy gőzelzáró felületek, valamint igen kis érdességi értékkel rendelkező csúszó felületek készíthetők el az eddigi hántolási idő törtrésze alatt.

A tükrösítés a hazai üzemekben elég ritkán kerül alkalmazásra. Ugyanis a finom mérőeszközök gyártása hazai vonalon még igen kis méretű. Egyes

motorgyárok a nagy méretpontosságot és fokozott felületi minőséget megkívánó dugattyúcsapszegek megmunkálásánál tükrösítést használnak. Azonban az újabb időkben ennél a végső simító megmunkálásnál a tükrösimitásra tértek át.

#### IV. Tükrösimitás

Az 1930-as években végzett kutatások nyomán bebizonyosodott, hogy a régebben szokásos eljárással köszörült felületek bizonyos gépalkatrészek működési követelményeinek nem mindig felelnek meg. Ugyanis kiderült, hogy a vasúti kocsikban nagyobb távolságra saját kerekeiken szállított autók üzembehelyezéskor mormogó hangot adtak, amely a további használatban még tovább erősödött.

A vizsgálatok kiderítették, hogy a hosszú utazás alatt a terhelésnél fellépő rezgések következtében a golyóscsapágyak golyói a futógyűrűk felületeibe a felfekvési helyeken mintegy „bebrinelleződtek”. Amikor üzem közben a golyók ezekre a helyekre értek, a finom elmozdulás okozta a csapágyzajt. A további kutatások kimutatták, hogy a golyóscsapágyak felületi minősége nem volt megfelelő, mert a visszamaradó felületi egyenetlenségeket a terhelés alatt álló golyók a vasúti utazás alatt benyomták. Ebből következett, hogy a golyóscsapágyak futó felületeit finomabbra kellett megmunkálni, ami finomszemcsés alakos köszörűszerszámmal történt, amellyel a kiemelkedő felületi egyenetlenségeket lemunkálták és ezzel a zajt okozó jelenségeket megszüntették.

Ebből a jelenségből kiindulva kezdtek behatóan foglalkozni a felületi érdességi problémákkal és megállapították, hogy a felületi minőség javításával a csapágyfelületek közötti súrlódási munka igen jelentősen lecsökkenthető és a felfekvés százalékos értéke is lényegesen növelhető. Így el lehet érni, hogy a csapágyak teherbírása növelhető, valamint a gépek élettartama is — a kopás csökkentése következtében — növelhető. További kísérletek kimutatták, hogy szemben a kevésbé finomra munkált csúszófelületű motorokkal, amelyeknek a mechanikai hatásfoka 75%, tükrösimitással megmunkált csúszófelületű motoroknál 90 ÷ 92%-ot is elértek. Ez amellet, hogy igen jelentős tüzelőanyagmegtakarítást jelent, a motorok élettartamát is többszörösére növeli. De ennél az eljárásnál csak akkor lehet termelékeny munkát elérni, ha az alkalmazott jó minőségű köszörűszerszám jellemzői igen pontosan alkalmazkodnak a megmunkálandó anyag keménységéhez és minőségéhez. Ez esetben az autóiparban szokásos csapágyfelületek megmunkálása nem haladja meg az egy percet.

Az itt elért eredményekben igen nagy szerepet játszik, hogy a tükrösimitással megmunkált felületen már nincs a köszörülésből visszamaradt megsérült vagy kilágyult felületi réteg, valamint a visszamaradó feszültségek

is olyan kis értékűek, hogy igen kedvező kopási és súrlódási értékeket adnak. Ez egyszersmind a gépalkatrész jó minőségét és nagy élettartamát is biztosítja.

Ezt az eljárást a *Chrysler autógyár* fejlesztette ki és alkalmazásával az utóbbi években olyan eredményt ért el, hogy a gyártott autóinak a jótállását a motor és a hajtómű tekintetében öt évre, ill. 80 ezer km-re emelhette fel. Ezzel az üzleti fogással az utóbbi években az eladott autók számát 35%-kal sikerült megnövelni és ennek következtében mind a *Ford*, mind a *General Motors* az addigi egy évi, illetőleg 16 ezer km-es jótállását kénytelen volt a kétszeresére növelni. Ezt a külső felületek megmunkálására szolgáló eljárást az *európai autóipar* is nagymértékben alkalmazza. A hazai vonalon mind a *Csepel Autógyár*, mind a *Magyar Gördülőcsapágy Művek* az utóbbi időkben bevezette.

A tükörsimítás általában a felületi minőséget javító művelet, mert méretmegmunkálásra általában nem szokás használni. Ugyanis a pontos méretet az előző megmunkálási műveletnek kell biztosítani, mert ennél csak a visszamaradt felületi egyenlőtlenségeket távolítják el, amivel a munkadarab átmérőjét rendszeren csak néhány  $\mu\text{m}$ -rel csökkentik. Ennél a megmunkálásmódnál az időegység alatt lemunkált anyagterefogat kis értékű. Így pl. a  $80 \times 65$  méretű csapágnál, ha átmérőben  $0,004$  mm-t munkálnak le, akkor  $0,033$   $\text{cm}^3/\text{min}$  a lemunkált anyagterefogat. De ez csak akkor lenne helytálló, ha tömör anyagot munkálnánk le. Minthogy azonban itt csak a kiálló felületi egyenlenségeket munkálják le, így a kiszámított anyagterefogatnak csak  $\frac{2}{3}$ -a  $:\frac{1}{2}$ -e kerül lemunkálásra. Az elérhető felületi érdességi értékek tükörsimításnál  $R_a = 0,1 : 0,03 \mu\text{m}$ .

## V. Dörzscsiszolás

Ezt a műveletet az autómotorok hengerfuratainak a megmunkálására fejlesztették ki. Ugyanis az autómotor forgattyús szekrényeinek felső része a hengerfuratokat is magában foglalja és ezért az ilyen nagy, nehéz munkadaraboknak a megmunkálása olyan köszörűgépen, amelyen a munkadarab forog, nem volt megoldható. Így erre a célra az ún. *bolygórendszerű köszörűgépeket* fejlesztették ki. Ennél a géptípusnál a munkadarab áll és a köszörűkorong végzi a forgácsoló főmozgáson kívül mind a fogásvételi, mind az oldalirányú eltolási mellémozgásokat. Ebből többszörös csapágyazási nehézségek következnek, amelynek következtében ilyen gépeknél még a legkedvezőbb viszonyok mellett is a szokásos automotor-hengerfuratméreteknél egy furat köszörülése  $15 \div 20$  percet vett igénybe. Az egyszerre több furat megmunkálása sem volt megoldható és azonkívül sem a kapott méretpontosság, sem alakhűség és felületi minőség az állandóan növekedő igényeket nem elégítette ki.

Ennél a műveletnél a megmunkálandó furatba annak átmérőjétől függően 3 : 8 köszörűrudat helyeznek el, amelyeket a megmunkálás folyamán fogásvétel céljából szét lehet feszíteni. Az alkalmazott sebesség, amellyel a dörzscsiszoló szerszámot a furatban forgatják és a furat teljes hosszának a befutására fel és le is mozgatják, a szokásos köszörülési sebesség  $1/40$ -e :  $1/60$ -a. A fejlődött meleg, valamint a forgács elvezetésére és a forgácsoló szemcsék anyagleválasztásánál a sűrűlódás csökkentésére hűtő-kenő folyadékot használnak. Ez régebben petróleum volt, de újabban erre a célra különlegesen kifejlesztett folyadékokat használnak. Ez a művelet igen termelékeny és mind a méretpontosság, mind a felületi minőség és alakhűség szempontjából kifogástalan furatok készítésére alkalmas.

Ha az előfúrt furatnál a ráhagyás nagy, akkor a dörzscsiszolást is két műveletre: nagyolásra és simításra osztják meg. A dörzscsiszolás arra is alkalmas, hogy az előmunkálásból eredő alakhibát: kúpossgot és ovalitást is eltávolítsa. A termelékenysége olyan nagy, hogy az autóiparban szokásos egy-két perces műveleti idővel a gépsorokba minden további nélkül beállítható, azonkívül a motorok hengerfuratától függően 4—6—8 furatot is lehet egyszerre megmunkálni.

Ennél a műveletnél nagyolásakor  $V_f = 0,7$ , simításnál pedig a kívánalmak szerint  $0,4 : 0,2 \text{ cm}^3/\text{Le}$  min értékek érhetők el. A simító dörzscsiszolásnál  $R_a = 0,12 \div 0,03 \mu\text{m}$  felületi érdességi értékek tarthatók be.

Bár ezt a műveletet végső finommegmunkálásnak tartják, de ezzel  $32 \text{ cm}^3/\text{min}$  anyagterfogatot is le lehet választani, miközben a felületi érdesség és a mérettűrés kedvező értékeken tartható. Újabban  $1500 \times 12\,000$  furatot is megmunkáltak dörzscsiszolással, és épült gép 30 m hosszú löketre, 75 Le teljesítménnyel.

Megfelelő csiszoló anyag és hűtő-kenő folyadék, valamint megfelelően kialakított szerszámmal kézi dörzscsiszolással (melynél a munkadarabot vagy a szerszámot géppel forgatják és a tengelyirányú előtolást kézzel végzik) igen jelentős anyaglemunkálás érhető el. A *Sunnen Products Co.* tapasztalta, hogy  $25 \times 35 \text{ mm}$  méretű öntöttvas furat  $0,25 \text{ mm}/\text{perc}$  értékkel növelhető, ami  $0,35 \text{ cm}^3/\text{min}$  értéknek felel meg. Lágy acélnál ennek  $2/3$ -a, kemény acélnál pedig  $1/3$ -a érhető el.

Új kifejlesztés a *Micromatic Hone Corporation* csúcsnélküli dörzscsiszoló gépe, amellyel a fogaskerekek furata és egyszerre az egyik vagy mindkét homloklapfelülete munkálható meg. Ezzel igen jó pontossági értékek érhetők el. Dörzscsiszolásnál — különösen az európai autóiparban — igen elterjedt a gyémánt dörzscsiszoló szerszámok használata. Kezdetben csak öntöttvasat munkáltak meg, de ma már lágy és edzett acélt, sőt alumíniumot és sárgarézet is dörzscsiszolnak gyémánt szerszámmal. Ennél az alkalmazásnál a szerszám nagy élettartama a döntő, mert egy szerszámkészlettel közepesen  $30 \div 40$  ezer furat munkálható meg, középértékben  $0,05 \text{ mm}$ -es ráhagyással. A *General*

*Electric Co.* kísérletei szerint a gyémánt dörzscsiszoló szerszám különösen előnyös megszakított felületű és zsákfuratokban a SiC, valamint Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> anyagból készített szerszámokkal szemben, mert ez utóbbiak az ilyen furatok megmunkálásakor gyorsan tönkremennek. Érdekes, hogy az *Amerikai Egyesült Államokban* a kedvező európai tapasztalatok ellenére sem igen használják a gyémánt dörzscsiszoló szerszámokat. A  *hazai vonalon* a gyémánt dörzscsiszoló szerszámok használata terjed és ezt elősegíti, hogy a  *hazai Gránitgyár* is gyárt ilyen szerszámokat és azonkívül a *Szovjetunió* is szállít ilyen műgyémánt szerszámokat.

### 1. Fogaskerekek dörzscsiszolása

A fogaskerekek fogprofiljának dörzscsiszolása egyre szélesebb körű alkalmazásra talál az iparban. Az eljárás célja, hogy a hőkezelt, nagy felületi keménységű egyenes és ferdefogazatú hengeres fogaskerék fogazatának finomfelületi megmunkálásával javítsa a geometriai pontosságot és a felületi érdeséget. Termelékenység szempontjából messze felülmúlja az eddig ismert és alkalmazott fogaskerék finomfelületi megmunkáló eljárásokat és a fogaskerekek működése szempontjából optimális pontosságot és alacsony zajszintet ad.

Az eljárás az *Amerikai Egyesült Államokból* indult el az 1950-es évek közepétől. 1960 óta fokozatosan előtérbe kerül alkalmazása az iparilag fejlett országokban is, mint pl. a *Szovjetunióban*, Angliában, Franciaországban és a Német Szövetségi Köztársaságban. 1965-től foglalkoznak bevezetésével a KGST országok, köztük hazánk is, kutatva az alkalmazás feltételeit és eredményes bevezetésének lehetőségeit. Alkalmazási területe az eddigiek alapján a gépjármű- és szerszámgépiparban gyártott fogaskerekek megmunkálására terjedt ki. Fogaskerék-dörzscsiszoló gépet *Amerikán* kívül *Anglia*, a *Szovjetunió*, a *Német Szövetségi Köztársaság* és hazánk is gyárt. Ugyanez vonatkozik a különleges szerszámok tervezésére és gyártására is. A gépek és szerszámok lényegében azonos működési elven alapulnak, de konstrukciójukban, kivitelükben és főleg alkalmazásukban, ill. felhasználásukban igen eltérőek egymástól.

A dörzscsiszoló megmunkálás során a 180 : 240 mm külső átmérőjű szerszámot — amely egyenes vagy ferdefogazatú, köszörűszemcsés anyagú, műanyagkötésű fogaskerék — hézagmentes kapcsolódásba hozzuk a megmunkálendő fogaskerékkal úgy, hogy azzal csavarkerékpárt alkosson. E kitérő tengelyű szerszámunkadarab kapcsolatnál az egyik elem a hajtó és — a foghántoláshoz hasonlóan — nem alkotnak zárt kinematikai láncot.

A forgácsleválasztás céljából a szerszámot a munkadarabbal radiális irányban, állandó nagyságú erővel (10 ÷ 45 kp-dal) rugalmasan összeszorítjuk, miközben az egyik elem csak a forgó, a másik pedig forgásán kívül — a teljes foghossz megmunkálása céljából — tengelye irányában haladó alternáló,



valamint e mozgásra szuperponálódó kis amplitúdójú kis frekvenciájú rezgőmozgást végez. E mozgások eredményeképpen keletkező profil- és foghossz-irányú relatív csúszások következtében történik a jól szabályozható forgácsoló megmunkálás.

A forgácsolási (csúszási) sebesség  $1 \div 3$  m/sec értékű, ami lényegesen kisebb, mint fogköszörüléskor. A kis forgácsolási sebesség csökkenti — sőt a tapasztalatok szerint kizárja — a beégések, mikrorepedések, ill. a megmunkálás hatásaira a fogfelületen a felületi rétegben kialakuló igen káros húzó- és nyomófeszültségek megjelenésének valószínűségét. Ez a pillanatnyi — a dörzscsiszolás során létrejövő — csekély hőmérsékletek, valamint a fajlagos nyomások kis értéke és a bőséges petróleumos hűtés eredménye. Rendkívül előnyös az eljárás alkalmazása — a kis (max.  $3 \div 4$  perces) megmunkálási időn kívül — egyéb szempontokból is. A szerszám geometriája, ill. az alkalmazott köszörűszemcse minőségének és méretének függvényében a  $0,2 \div 0,5 \mu\text{m}$  felületi érdességet jellegzetes zárt megmunkálási karcok biztosítják, amely karcokban az olajmolekulák jól el tudnak helyezkedni. További előny, hogy a dörzscsiszolás eredményeként a működő fogprofil felületét nem a burkoló sokszög, hanem a folyamatos görbefulület képezi. Ezek eredményeként nagyobb terhelés esetén is a kenőolajfilm megszakadását és ezzel a fémes érintkezés létrejöttét eleve kizárjuk. Ezáltal növekszik a fogaskerekek élettartama és csökken a működő zajszint. Az alkalmazott szerszám — élettartama folyamán (amely  $1000 \div 1500$  hengeres fogaskerék) — profilja mentén felújítást (élezést) nem igényel, csupán esetenként a gépre szerelt lehúzógyémánttal fejkörén kíván utánszabályozást, ami átmérőjének csökkenését eredményezi.

Dörzscsiszolással jelenleg külföldön max. 610 mm, belföldön max. 300 mm külső átmérőjű fogaskerekek munkálhatók meg. A 300 mm-nél nagyobb átmérőjű fogaskerekek megmunkálására függőleges, ez alatt pedig vízszintes munkadarab-szerszám tengelyelrendezésű gépeket fejlesztettek ki. A kifejlesztett szerszámok  $m = 2 \div 10$  mm modulusos fogaskerekek megmunkálására alkalmasak. A megmunkálás eredményeként — az előmunkálás minőségétől függően —  $2 \div 3$  fogaskerék pontossági osztállyal javul a minőség és a zajszint  $6 \div 8$  dB-lel csökken, a megmunkálás előtti állapothoz viszonyítva. Az amerikai autógyárak és a francia *Simca* autógyár évek óta eredményesen alkalmazza az eljárást. A szovjetunióbeli *ZIL Autógyárban* 21 fogaskerék-dörzscsiszoló van üzemben, hogy csak a legnagyobbakat említsük. Hazánkban a *Csepel Autógyár*, a *Szerszámgépipari Művek esztergagépgyára* és a *Vörös Csillag Traktorgyár* alkalmazza már fogaskerékgyártásban a dörzscsiszoló eljárást.

A külföldi eredmények és az igen gazdag hazai tapasztalatok alapján látható, hogy a fogaskerék-dörzscsiszolás alkalmazásának igen nagy távlatai vannak. Egyes esetekben teljesen helyettcserélni tudja a kisebb termelékenységgű fogköszörülést. Ez jelentős megtakarítást eredményez és gazdaságosságánál

fogva széleskörű elterjesztése fokozza általános vonatkozásban is a gyártott fogaskerekek minőségét.

Az eljárás továbbfejlesztésére és alkalmazása szélesebb területre történő kiterjesztésére világszerte, így hazánkban is komoly kutatómunka folyik. Folyamatban van a kúpfogaskerekek és a kismodulusos hengeres fogaskerekek finomfelületi megmunkálásával kapcsolatos módszerek kifejlesztése. A termelékenység fokozása céljából újabb dörzscsiszoló szerszám típusok vannak kifejlesztés alatt, amelyek lehetővé teszik a megmunkálási időnek a felére vagy akár az egyegyedére csökkentését.

## VI. Köszöriülés

A finommegmunkálások között a köszöriülésnek van a legnagyobb fontossága. Az alkalmazása igen széleskörű és fontossága a gépiparban állandóan növekszik. A fejlett ipari országokban az összes forgácsoló szerszámok kb. 20%-a köszöriűgép. Az egyéb finommegmunkáló gépek száma a köszöriűgépeknek csak  $1/20 \div 1/30$  része.

A hazai gépipar e vonalon nagyon elmaradott, mert a köszöriűgépek az összes forgácsoló gépeknek mindössze 5%-át teszik ki. A *Kohó- és Gépipari Minisztérium* felismerve az iparban a köszöriülés fontosságát, a fejlesztésre és kutatásra — az 1968 évtől kezdődő három évre — 19 millió Ft-ot irányzott elő. De ehhez számítandó még a vállalatok hozzájárulása, ami további komoly összeget tesz ki. A köszöriülés elméleti alapjait a végzett kutatások és a szakirodalom szerint ma már tisztázták. Azonban még igen sok kísérletre és kutatásra van szükség, hogy a már tisztázott elméleti alapokat hogyan lehet a gyakorlati felhasználásra alkalmazni. Minthogy a köszöriülés a legbonyolultabb forgácsoló megmunkálás, ezért igen sok változója van és a legtöbb tudományos szakikkben ismertetett kísérleti eredmények megismétlése a legtöbb esetben nem jár sikerrel, mert a kísérleti viszonyok közlésében a leggyakrabban hiányoznak igen lényeges adatok.

A köszöriülés elméleti és gyakorlati összefüggéseinek egyik sokat vitatott kérdése az egy szemcsére eső ill. a közepes forgácsvastagság. Ennek az elméleti meghatározása elég egyszerű, ha a köszöriűkorongban elhelyezkedő szemcséket mint szabályos golyókat fogjuk fel. Azonban a későbbi vizsgálatok kiderítették, hogy a gyakorlatban az elméleti szemcsezámnak csak mintegy  $1/20 \div 1/50$  része dolgozik. Ugyanis a valóságban a korongban elhelyezkedő szemcsék teljesen szabálytalanok és a forgástengelytől számított távolságuk is teljesen szabálytalan. Így érthető, hogy az elméleti értékhez képest sokkal kevesebb szemcse dolgozik. Ugyanis az egy szemcsére eső elméleti közepes forgácsvastagság a fogásmélységnek, a korongátmérőnek, a munkadarabátmérőnek, az elméleti szemcsetávolságnak és a fordulatonkénti előtolásnak

a korong szélességéhez viszonyított gyakorlati értékei mellett  $0,1-0,01 \mu\text{m}$  között változik. Ha tehát valamely szemcse csak  $1 \mu\text{m}$ -rel mélyebben van, mint a szomszédja, már nem vesz részt a forgácsoló munkában és így természetes, hogy a ténylegesen dolgozó szemcsék száma az elméletinek csak egészen kis törtrésze.

Egy további vitatott kérdés, hogy vajon az egyes köszörűszemcsék a köszörülés közben keletkező radiális erő következtében a kötőanyag rugalmas deformációja miatt köszörülés alatt elmozdulnak-e. Ez a jelenség is befolyással van az egy szemcsére eső közepes forgácsvastagságra. Itt a vélemények megoszlanak és a legújabb vizsgálatok a szemcsék köszörülés alatti rugalmas deformációját nem erősítették meg.

A legújabb kísérletek arra utalnak, hogy a köszörülés minőségére, termelékenységére és gazdaságosságára a rezgési jelenségek igen lényeges befolyást gyakorolnak. A rezgési jelenségek igen nagy mértékben függvényei a kísérletnél felhasznált gép szerkezetének és kivitelezési technológiájának. Ezekre pedig a kísérletek adatainak közlésénél legtöbbször semmi utalás sem található. A legújabb kutatási irányok most kezdik figyelmüket ezekre a jelenségekre fordítani.

Minthogy az egy szemcsére eső forgácsvastagság igen kis értékű, ezt még lényegesen befolyásolják a köszörülésnél jelentkező rezgési jelenségek is. Köszörülésnél ugyanis kétfajta rezgés keletkezik. Az *elsődleges* vagy *alaprezgés* egyensúlyhibából adódik és így a frekvenciája megegyezik a korong fordulatszámának frekvenciájával, az amplitúdója pedig az egyensúlyhiba mértékétől és a rezgő tömeg nagyságától függ. Köszörülés közben azonban még *öngerjesztett rezgések* is fellépnek, amelyek részint a korong, részint a munkadarab inhomogenitásából keletkeznek. Ezek következtében mind a korongon, mind a munkadarabon hullámosság következik be. Ezeknek a másodlagos rezgéseknek a frekvenciája az elsődleges rezgéseknek a többszöröse, az amplitúdója pedig a tömegviszonyoktól és a csapágyhézag méretének csillapító hatásától függ.

Ezekkel a jelenségekkel kapcsolatos kutatások igen komoly rezgéselméleti tudományos felkészültséget és rezgésvizsgálati műszerfelszerelést kívánnak meg.

A köszörülésnél fellépő rezgésekkel igen részletesen foglalkoznak az ENIMSZ-ben, azonkívül még sok tudományos és kutatóintézetben. Így pl. ezeket az Angliában évenként tartott *Szerszámgép Tervezési és Kutatási Konferenciákon* (Machine Tool Design and Research Conference, röviden *MTDR*, valamint *CIRP* konferenciákon) többszörösen megvitatják.

Az 1965. évi *MTDR* konferencián SWEENEY, valamint PAHLITZSCH és CUNTZE ismertette az ezzel kapcsolatos kutatásaik eredményeit. Az utóbbi olyan készüléket is szerkesztett, amelynek segítségével a munkadarabnak a másodlagos rezgési frekvenciának és amplitúdójának megfelelő ellenirányú

impulzusokat adtak és ezzel igyekeztek az alakhibát, valamint a felületi érdességet megjavítani.

NICOLA TODOROV az ENIMSZ kísérleteire támaszkodva úgy javította meg köszörülésnél a rezgésekből fellépő alakhibát és felületi érdességet, hogy köszörülés közben a köszörűkorong fordulatszámát kis határok között változtatta. Ezzel a bizonyos korong és munkadarab fordulatszám-viszony mellett a korongon és munkadarabon keletkező hullámosságot némileg elsimította.

Az elsődleges rezgés amplitúdóját gondos kiegyensúlyozással ki lehet küszöbölni, a másodlagos rezgéseket pedig igen pontosan és kis hézaggal futó korongorsó-csapágyazással olyan kismértékűre lehet csökkenteni, hogy mind alakhűségi, mind felületi érdességi vonalon a később ismertetett kedvező értékek érhetőek el.

A kenéssel és súrlódással kapcsolatban végzett kutatások kimutatták, hogy az ún. vékony film kenés esetén 10 olajmolekula méretének megfelelő térközben, azaz  $0,025 \mu\text{m}$ -nél a kenési és elmozdulási viszonyok fenntarthatók. Ehhez természetesen megfelelő alakpontosság és felületi érdességi érték szükséges. Ebből következik, hogy még hidrodinamikus kenés esetén is tized  $\mu\text{m}$  nagyságrendű hézaggal is lehet csapágyat készíteni. A jelenlegi technológiai gyakorlat ezt az értéket még nem érte el.

Az újabb időkben a tükörsimítás és dörzscsiszolás eredményeinek előtérbe kerülése a köszörűgép és köszörűszerszám gyárakat arra ösztönözte, hogy javítsák a köszörüléssel elérhető méretpontosságot, felületi minőséget és alakhűséget. Ennél a fejlesztési munkánál általában két főirány mutatkozik. Az első a *köszörűgépek minőségének növelése*, a másik a *növelt sebességű köszörülés* nyújtotta előnyök kihasználása. Igaz, hogy ez utóbbinál sem lehet figyelmen kívül hagyni a minőségi követelmények kielégítését.

A köszörűgépek minőségi fejlesztésével jelenleg elérték, hogy 25-ös szemcsenagyságú (a régi jelzés 80) alumíniumoxid anyagból készített jó minőségű kerámiai kötésű köszörűkoronggal kiváló minőségű köszörűgépen  $1 \mu\text{m}$  méretpontosság mellett üzemszerűen  $R_a = 0,06 \mu\text{m}$  felületi érdességi érték érhető el. De végső esetben egész finom szemcsenagyságú F 28 (régii jelzés 500) koronggal  $R_a \div 0,01 : 0,02 \mu\text{m}$  érték is tartható. Az alakhiba is az elméleti körhöz viszonyítva  $0,1 \mu\text{m}$ , sőt még ennél is kisebb értéken belül volt.

### 1. A köszörűgépek csapágyazásának fejlesztése

Köszörülésnél, mint a leghonyolultabb forgácsolási eljárásnál a leválasztott elméleti forgácsvastagság  $0,1 : 0,01 \mu\text{m}$  között van, de a valóságos érték is ritkán éri el az  $1 \mu\text{m}$ -nél nagyobb értéket, így nyilvánvaló, hogy jó köszörülési munka csak igen pontosan futó köszörűkoronggal érhető el. Ez a felvétel csak nagyon pontos és nagy alakhűségű fokozott felületi minőségű köszö-

rúrorsóval érhető el, amely a lehető legkisebb csapágyhézaggal fut. A gyakorlat bebizonyította, hogy köszörűgépeknél a szokásos hidrodinamikai csapágyazás, amelynél a hézag viszonylag elég nagy és a csap a csapágyban a terheléstől és a fordulatszámától függően excentrikusan helyezkedik el, nem vezethet kielégítő eredményre. Ezért tértek át már az 1930-as években köszörűgépeknél a *szegmens (Mackensen) csapágyakra*. Ennél a megoldásnál a jellegzetes hidrodinamikusan kifejlődő egyetlen olajjék helyett  $3 \div 6$  olajjéket alkalmaznak és így a csapnak a csapágyban a fordulatszámától és a terheléstől függő excentrikus helyzetét megszüntették.

A több olajjékes megoldás ugyanis a csapnak a csapágyban a fordulatszámától és terheléstől függő elmozdulását megszünteti, mert a forgástengelyt pontosan rögzíti igen kis csapágyhézag mellett. Az ilyen csapágyazás mechanikai hatásfoka  $0,6 \div 0,7$ , és bizonyos idő után éri el a stacioner állapotot meghatározott hőfokon, amikor a köszörűkorong-orsó pontos futását biztosítja. Ennél a megoldásnál elengedhetetlen feltétel a lehető legkisebb alakhibás és jó felületi minőségű csap. A csapágy-szegmensek ugyanis rendszeresen beállítható elrendezésűek.

A további kutatások azonban kimutatták, hogy még ilyen csapágyazás esetén is, talán inkább az elkészítési pontatlanságok következtében, köszörülés közben rezgések lépnek fel. Ezek a köszörült felület alakhúságára és felületi minőségére döntő befolyással vannak, amint ezt már előzőleg kifejtettük.

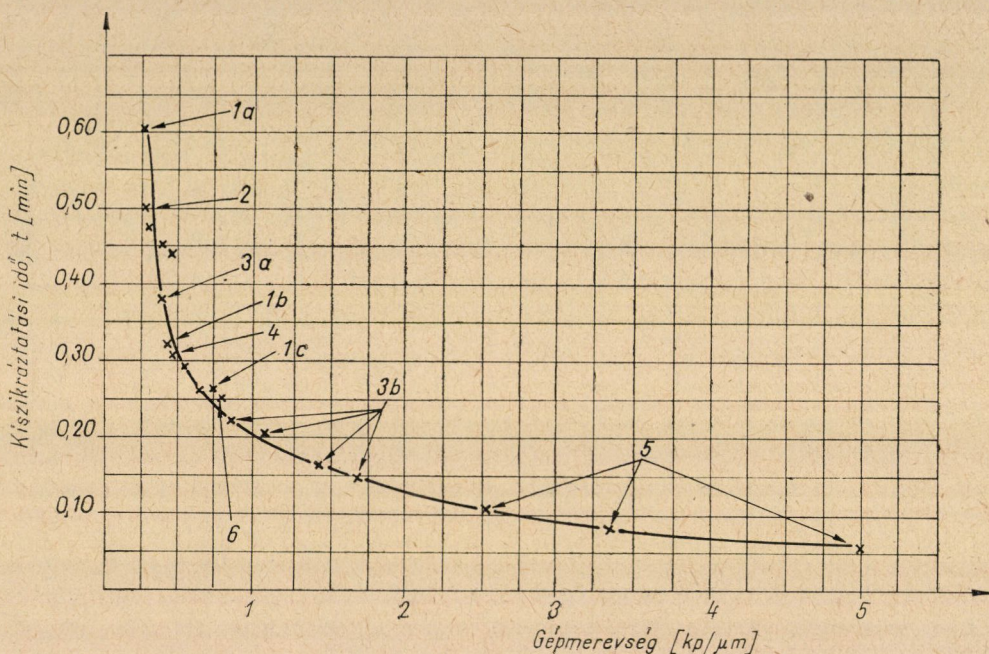
Az *elsődleges rezgés* a forgó alkatrészek és a korong gondos kiegyensúlyozásával olyan mértékig szüntethető meg, hogy a rezgés amplitúdója  $0,1 \mu\text{m}$ , sőt ennél kisebb értékű is lehet.

A *másodlagos rezgéseket*, ha teljesen nem is lehet megszüntetni, de megfelelő módszerekkel igen kis értékre szoríthatók le. Ez olyan csapágy-megoldások kifejlesztéséhez vezetett, amelyeknél a csapágyhézag az elérhető legkisebb, hogy ezzel a másodlagos rezgések amplitúdója csak igen kis méretű lehessen. Ilyen csapágy-megoldást fejlesztett ki a *Brown & Sharpe* gyár a hidrosztatikus köszörűgép csapágyazásával. Ennél a csap igen kis hézag mellett kb. 10—15 at nyomású olajban fut, és ha fellép valamely központból kitérítő erő, ez a csapágy különböző olajszakjaiban nyomáskülönbséget hoz létre, ami a csapot újra a központba tereli vissza.

Az ilyen csapágyazásnál még nagy erő esetén sincs a központból nagyobb kitérés, mint kb.  $0,05 \div 0,1 \mu\text{m}$ . Ez igen merev köszörűorsó-megoldást eredményez és azt központosan tartja mind állandó, mind lüktető erőhatás esetében, és így a munkadarab köralak-hibája  $0,25 \mu\text{m}$  fölé nem emelkedik. Az a tapasztalat, hogy az ilyen csapágyazásoknál javul a korong éltartama és nagyobb igénybevételekkel lehet dolgozni anélkül, hogy káros rezgés, azaz csattogás lépne fel.

Nem elég azonban a rezgések csökkentése szempontjából csupán a köszörűorsó csapágyazásának a merevsége, hanem az egész köszörűgépnek

kellő merevségűnek kell lennie. Erre igen jól rámutat a svéd *Slipmaterial-Naxos* köszörűszerszám gyár kutatólaboratóriumának kísérlet-sorozata. Ugyanannál a munkadarabnál ugyanazon felületi érdességi érték eléréséhez a kis merevségű  $0,3 \text{ kp}/\mu\text{m}$  köszörűgépen  $0,6$  perc kiszikráztatási idő szükséges, szemben a  $2,5 \text{ kp}/\mu\text{m}$  merevségűvel, ahol ennek csak  $1/6$  része kell (1. ábra).



1. ábra. A kiszikráztatási idő változása megadott felületi érdességi érték elérésére a köszörűgépek merevségének a függvényében, a *Slipmaterial-Naxos* kísérletei nyomán (az ábrán feltüntetett szám- és betűjelek a kísérletnél használt köszörűgépre vonatkoznak)

A kísérletek azt is kimutatták, hogy ugyanazon gyártmányú gépek különböző egyedei között is számottevő merevségi eltérések voltak.

A *Brown & Sharpe* gyár köszörűgépeinél a köszörűorsó és a hasonló csapágyazású munkadarab-orsó futáspontossága  $0,1 \mu\text{m}$  körül van. Ilyen értékek mellett természetesen nem helyeselhető, hogy a hazai köszörűgép-pontossági szabványban a köszörűorsó futáspontosságára  $5 \mu\text{m}$  a megengedett ütés.

Tulajdonképpen nem az a baj, hogy a szabvány  $5 \mu\text{m}$  ütést enged meg, mert más országok köszörűgép-pontossági szabványai is ilyen értékeket adnak meg, hanem az, hogy a hazai köszörűgépek ezt az értéket is tartják. Ezzel szemben a zajmentes golyóscsapágyaknál a golyópályák alakhibájára az előírás maximálisan  $0,4 \mu\text{m}$ , amelyet  $5 \mu\text{m}$  futáspontosságú köszörűorsóval nem valószínű, hogy be lehet tartani.

A másik nagy futáspontosságú csapágyazási megoldás, amellyel a *Taft-Pierce Manufacturing Co.* igen jó eredményeket ért el, a különleges pontosságú golyóscsapágyazás. Végül a svájci *Studer Kőszőrűgépgyár* olyan hidrodinamikus csapágy-megoldást fejlesztett ki, amelynél szintén igen kis csapágyhézaggal fut a kőszőrűorsó csapja és az ilyen építésű géppel érték el az előzőleg említett nagy méretpontosságot, kiváló felületi minőséget és nagy alakhúséget.

Az ilyen nagy pontosságú kőszőrűorsó-csapágyazások előállítása még a *Német Szövetségi Köztársaság* kőszőrűgépgyáraiban sem kielégítő. A hazai vonalon e területen még nagy hiányosságok vannak. A legjobb eredményeket eddig a *Csepeli Szerszámgépgyárban* az angol *Matrix* licencia alapján gyártott kőszőrűgépeknél érték el. A hidrosztatikus csapágyazás és vezetékialakítás tette még lehetővé a gördülőcsapágy-iparban a legújabb időkben elterjedt teljesen új elvek szerint ellenőrzött erővel működő furatkőszőrűgépek felépítését. Ezeknél a *Heald Machine Co.* gyártású gépeknél nem a fogásmélységet, hanem a radikális kőszőrülő erőt tartják állandó értéken és ez a majdnem súrlódás nélkül működő hidrosztatikus keresztzán-ágyazással oldható meg. A gyenge kőszőrűorsó a radiális erő hatására kihajlik, amit a kőszőrűorsó szögbeállításával ellensúlyoznak.

## 2. Növelt sebességű kőszőrülés

A nagy pontosságú kőszőrűgép csapágyazásával a szokásos  $30 \div 35$  m/sec korongsebesség mellett is elérhetők az ismertett eredmények, a kőszőrülési munka minőségének, termelékenységének és gazdaságosságának növelésére viszont igen jelentős eredmények érhetők el a növelt sebességű kőszőrüléssel. A jelenlegi tapasztalat szerint általában a kőszőrűkorongok forgácsolóképessége megközelítően a korong kerületi sebességének a négyzetével arányos. Ezért nyilvánvaló, hogy már kisebb mértékű sebességnöveléssel kőszőrülésnél jelentős eredmények érhetők el.

Kőszőrülésnél a nagy sebesség következtében igen jelentős a melegfejlődés, amelyet a megolvadt forgácsok szikrázása is bizonyít. A növelt sebességű kőszőrülésnél úgy képzelhető el, hogy a fejlődött nagyobb meleg miatt könnyebb a forgácsleválasztás. Ezt a növelt sebességnél a csökkenő radiális és tangenciális irányú forgácsolóerő is bizonyítja. Ebből következően kisebb a forgácsoló erő okozta lehajlás, ami a nagyobb pontosságot mozdítja elő, azonkívül a fajlagos korongelhasználódás is csökken, ami a korong éltartamát és élettartamát növeli meg. Az amerikai *Norton* gyár azzal propagálja a növelt sebességű kőszőrülést, hogy különben a kisebb sebességgel azonos viszonyok mellett a felületi érdesség legalább a felére, az alakhiba pedig a tizedére csökken (a *Norton* gyár növelt sebességgel dolgozó kőszőrűgépe golyóscsapágyas kivitelű).

A többi forgácsoló eljárásnál, nem is említve a gyorsacél-szerszámok bevezetését, a keményfém és kerámiai anyagból készített szerszámokkal a forgácsoló sebesség többszörösét lehet elérni, amivel szemben a köszörülésnél igen sokáig fennmaradt a hagyományos 30—35 m/sec kerületi sebesség alkalmazása. Ennek oka jórészt abban keresendő, hogy a kerámiai kötésű korongok szilárdsága biztonsági okokból régebben nem engedett meg nagyobb sebességet. Ugyanis már a 30 m/sec sebességgel dolgozó korongok üzemi közbeni szétrobbanása is igen súlyos baleseteket okozhat.

A Szovjetunióban már az 1950-es évek elején rátértek a nagyobb sebességű kerámiai kötésű köszörűkorongok gyártására és a növelt sebességű köszörülést sikeresen alkalmazták. 1957-ben a leningrádi *Iljics Köszörűszerszámgyár* termelésének 20%-a 50 m/sec kerületi sebességgel dolgozó korong volt. Ez meghaladta a hazai teljes köszörűszerszámgyártás akkori összes mennyiségét.

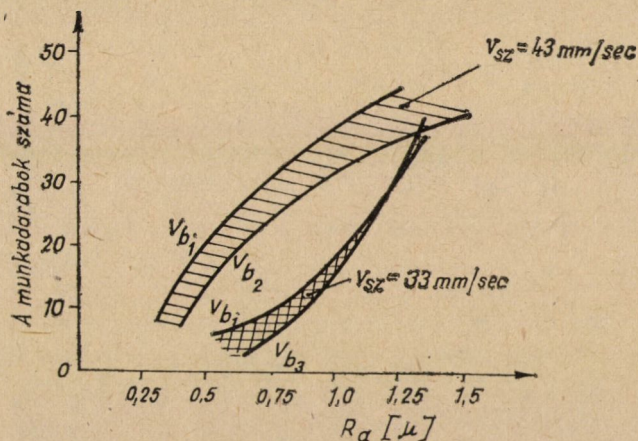
Azóta különösen a *Német Szövetségi Köztársaságban* is komoly kísérleteket végeztek a növelt sebességű köszörülés alkalmazásának céljából mind az erre alkalmas köszörűgépek, mind a köszörűkorongok kifejlesztésére. Ma már a legtöbb ottani köszörűgépgyár 60 m/sec sebességre alkalmas köszörűgépeket gyárt és az 1968. június havában tartott aacheni *Szerszámgyép Konferencián* 10 mm széles kerámiai kötésű köszörűkoronggal 120 m/sec sebességű köszörülést mutattak be. A korongot a *Guillaume Werk*, heueli nyugatnémet cég szállította. A västerviki svéd *Slipmateriaál-Naxos* köszörűszerszámgyár 80 m/sec sebességig szállít kerámiai kötésű köszörűkorongokat.

Érdekes, hogy az amerikai köszörűkorong-gyárak a szakirodalomban igen hosszú ideig a növelt sebességű köszörülés ellen foglaltak állást és csak az utóbbi években tért rá a *Norton* gyár a 61 m/sec sebességgel dolgozó köszörűkorongok és köszörűgépek gyártására. Ezt azzal indokolják, hogy az *Amerikai Egyesült Államok* biztonsági előírásai sokkal szigorúbbak, mint az európaiak, azonkívül az ott gyártott nagyteljesítményű és nagyméretű korongokkal a szokásos sebesség mellett is igen jó termelékenységi eredményeket értek el, amelyhez járult még, hogy az ottani köszörűgépek motorteljesítménye többszöröse az európaiaknak. Így a fokozott sebességű köszörülésre való áttérés kevésbé volt indokolt.

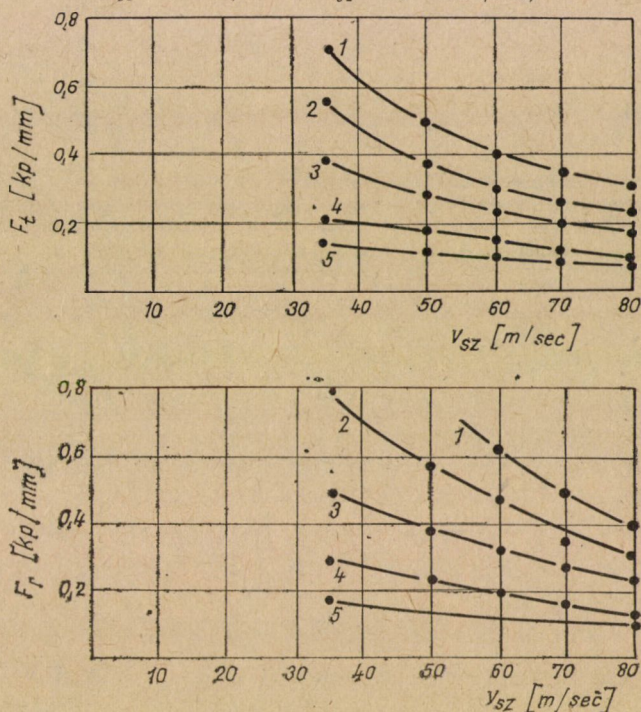
A növelt sebességű köszörülés nagy előnye, hogy a szokásoshoz képest különben változatlan viszonyok mellett a felületi érdesség értéke kb. a felére csökkent, amint ezt a 2. ábra *Champetier* kísérletei alapján bizonyítja. Ennek eredményeképpen gyakran elmaradhat a simító köszörülési művelet, mert a nagyolás végéhez csatlakozó néhány simító fogással az előírt felületi érdességi érték biztosítható. Továbbá kellő hajtóerő-teljesítmény mellett a gépi munka ideje is a felére, sőt még ennél is kisebb értékre csökkenthető.

Növelt sebességű köszörülésnél mind a radiális, mind a tangenciális erő csökken, amint *STRUNCK* kísérletei alapján a 3. ábra igazolja. Itt meg kell jegyezni, mint az ábrán is látható, hogy a szakirodalomban ismert kísérle-



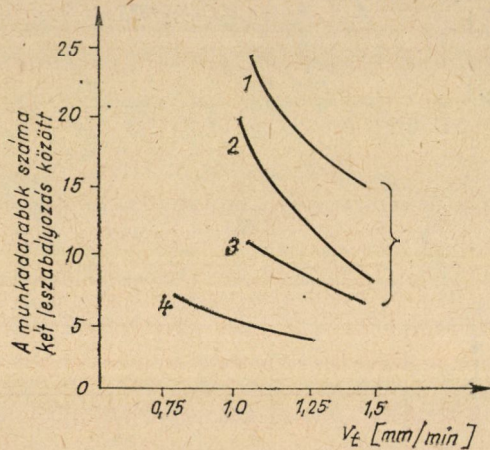


2. ábra. Kőszőrüléskor a felületi érdesség változása a kőszőrűkorong  $v_{sz} = 43$  és  $33$  m/sec sebességénél beszűrőkőszőrüléskor különböző  $v_b$  [mm/min] beszűrési sebességek és  $n_l = 100$ /min munkadarab-fordulatszámánál; CHAMPETIER nyomán (a vonalkázott diagramnál  $v_{sz} = 43$  m/sec,  $v_{b1} = 1$  mm/min és  $v_{b2} = 1,5$  mm/min; a kereszt-vonalkázású diagramnál  $v_{sz} = 33$  m/sec,  $v_{b1} = 1$  mm/min és  $v_{b2} = 1,25$  mm/min)



3. ábra. A  $F_r$  radiális és  $F_t$  tangenciális forgácsoló erők változása különböző  $v_{sz}$  korong kerületi sebességek függvényében különböző  $z'$  [mm<sup>3</sup>/mmsec] a kőszőrűkorong 1 mm szélességére 1 másodperc alatt lemunkált különböző anyagterfogatoknál; és a korongátmérő  $D = 350$  mm, a szemcse nagyság 32, a szemcseminőség KA (nemes korund), a korongkeménység J, a munkadarab anyaga C 45 acél, a munkadarab-átmérő  $d = 70$  mm; STRUNCK kísérletei nyomán ( $z'$  értéke az 1 görbénél  $2,93$  mm<sup>3</sup>/mm sec, a 2 görbénél  $2,198$  mm<sup>3</sup>/mm sec, a 3 görbénél  $1,465$  mm<sup>3</sup>/mm sec, a 4 görbénél  $0,732$  mm<sup>3</sup>/mm sec és az 5 görbénél  $0,365$  mm<sup>3</sup>/mm sec)

teket általában kisteljesítményű gépeken végzik. A 3. ábrán a köszörűkorong 1 mm szélességére eső, 1 másodperc alatt lemunkált anyagtérfogat közepesen  $z' = 2 \text{ mm}^3/\text{mmsec}$  értékeken mozog. Más kísérleti adatok is ritkán érik el a  $z' = 6\text{--}8 \text{ mm}^3/\text{mmsec}$  értéket. Ezzel szemben a svéd *Slipmaterial-Naxos* gyárban lefolytatott kísérleteknél  $z' = 36 \text{ mm}^3/\text{mmsec}$  érték szerepel 66 m/sec korongsebességnél.



4. ábra. A köszörűkorong éltartamának változása  $v_{sz} = 43$  és  $33 \text{ m/sec}$  kerületi sebességnél a  $v_b$  [mm/min] beszuró sebesség függvényében különböző  $n_t$  tárgyfordulatoknál, CHAMPETIER kísérletei nyomán (az 1 görbénél  $v_{sz} = 43 \text{ m/sec}$ ,  $n_t = 130/\text{min}$ ; a 2 görbénél  $v_{sz} = 43 \text{ m/sec}$ ,  $n_t = 180/\text{min}$ ; a 3 görbénél  $v_{sz} = 43 \text{ m/sec}$ ,  $n_t = 65/\text{min}$ ; a 4 görbénél  $v_{sz} = 33 \text{ m/sec}$ ,  $n_t = 50\text{--}100/\text{min}$ )

Végül növelt sebességű köszörülésnél a köszörűkorong-költség mintegy 40%-kal csökkenthető a megnövekedett éltartam következtében, amint ezt Champetier kísérletei alapján a 4. ábra igazolja.

A növelt sebességű köszörülésnél természetesen nehézségek is lépnek fel, amelyeket a kapott előnyök miatt el kell hárítani. A nagyobb sebesség következtében növekszik az elvezetendő meleg, tehát erősebb hűtésre van szükség, amit az is megnehezít, hogy nagyobb sebesség mellett a korong körül levegőgyűrű képződik. Ezt csak nagyobb hűtőfolyadék-nyomással lehet legyőzni. Természetesen a növelt sebességnél a kiegyensúlyozásra nagy gondot kell fordítani és megfelelően kialakított csapágyazást és kenést kell alkalmazni.

A növelt sebességet igen sikeresen alkalmazzák a köszörüléssel végzett darabolásnál, ahol 80, sőt újabban már 100 m/sec sebességgel dolgozó korongokat használnak. Ugyancsak 60 és 80 m/sec sebességű korongokkal dolgoznak az acélművekben az ötvözött acélbugák köszörülésénél. Mivel ezek nem tartoznak a finommegmunkálások közé, ezért ezek részletesebb ismertetésétől eltekintünk.

Növelt sebességű köszörülés alkalmazásában a hazai gyárainkban nagy az elmaradottság, csupán egy-két gördülőcsapágy-gyárban alkalmazzák. A hazai *Gránit Köszörűkorong Gyár* kifejlesztett 50 m/sec sebességre alkalmas kerámiai kötésű korngokat. Azonban jelenleg még a hazai ipar főleg a *Tyrolit* gyártású fokozott sebességre alkalmas korongokat használja.

### 3. Csúcsnélküli köszörülés

A híd típusú csúcsnélküli köszörűgépeknél mind a köszörű-, mind a továbbító korongot mindkét oldalon csapágyazzák, ily módon tízszer nagyobb a korongok merevsége az egyoldalon befogott korongokkal szemben. Ez nagy teljesítmény és széles korongok használatát teszi lehetővé, miáltal kellő pontosság mellett nagy anyagtérfogat lemunkálás érhető el (pl.  $25 \varnothing \times 50$  mm méretű öntöttvas szelepemelőknel 2,5 mm-t munkálnak le, azaz  $250 \text{ cm}^3/\text{min}$  anyagot választanak le  $100 \div 125$  Le teljesítménnyel).

Ugyanekkora anyagleválasztás érhető el nagyméretű öntöttvas hengerek köszörülésénél a *Landis* 200 Le teljesítményű gépeken két  $915 \varnothing \times 76$  koronggal. A hengerek  $68 \div 84$  scleroscop-keménységűek és öntés után a munkadarabokat tisztán köszörüléssel munkálják meg. E műveletnél is  $250 \text{ cm}^3/\text{min}$  anyagot választanak le, ami 117 kg/óra anyaglemunkálást jelent.

A csúcsnélküli köszörülés igen nagy előnye, hogy a továbbító korong nagy merevséggel tökéletesen támasztja a munkadarabot, ellentétben a csúcsok közti köszörüléssel, melynél hosszú munkadarabok köszörülésekor a köszörülési nyomás ellensúlyozására lünettát kell alkalmazni.

## VII. Csiszolószalag

A köszörűkorongoknak újabban erős versenytársa akadt még a pontos köszörülési munkáknál is a csiszolószalagokban. A szalagköszörülés különösen rudak simító megmunkálásánál terjedt el leginkább  $38 \varnothing$  mm alatti méreteknél. De újabban a rudak köszörülésnél  $305 \varnothing$  mm-ig is felmennek négy fejű berendezéssel, amelyen 200 mm széles szalagokkal dolgoznak fejenként 60 Le-vel és  $82 \text{ cm}^3/\text{min}$  anyagot választanak le. A *Carborundum Co.* tapasztalatai szerint a rudak köszörülésénél megkétszereződött a leválasztott anyagmennyiség és a felszerelési idő is csökkent. Az alakhűsége és mérettűrést szalagköszörüléssel egy áteresztésben megkapták, holott a csúcsnélküli, korongos köszörülésnél erre a munkára két áteresztésre volt szükség. Természetesen az ilyen szalagköszörű-munkáknál a szalag sebessége  $30 \div 35$  m/sec volt. Szalaggal köszörülik a fémes és nemfémes hengereket, kéregöntésű, műanyag, acél és alumínium, valamint a króm és nikkellémezeket.

Újabban áttértek a vékony szalagok használatára (pl. ipari szárítókat  $1500 \times 3000$  mm méretnél csak 100 mm széles szalagokkal köszörülik. Ugyan-

csak előtérbe került szalagokkal a beszúrásos köszörülés is és ekkor a megmunkálás órák helyett csak perceket tesz ki. Egy *Le Blond* típusú esztergára 2080 mm szélességű szalagköszörű-berendezést szereltek fel 150 lóerős motorral. Ezzel 630 Ø mm hengereket köszörültek 0,0125 ÷ 0,07 mm/fordulat fogással. Az ilyen szalagok termelékenysége nagy, mert jelentősen növelt fogásmélységgel dolgoznak.

Ma már gyémántszemcsés szalagokat is használnak. Erre az *Amerikai Egyesült Államokban* szerzett tapasztalatok szerint igen alkalmas a *General Electric Co.* által gyártott mesterséges gyémántszemcse.

A *hazai iparban* a szalagköszörülést alig használják, pedig mind termelékenységnövelés, mind gazdaságossági szempontból a bevezetése és alkalmazása igen kívánatos.

### VIII. Fogaskerék-köszörülés

E művelet termelékenysége igen megnőtt a *Reishauer*-féle csigakorongos fogaskerék-köszörüléssel, amely a régi eljárás hat-nyolcszorosát is eléri. Az *Amerikai Egyesült Államokban* licencia alapján ezeket a gépeket a *Fellows* gyár gyártja. A korong leszállóvezetését alakos gyémántgörgő helyett kis darabszámoknál gazdaságosabb egyetlen gyémánttal végezni. Ezenkívül még azt a tapasztalatot is szerezték, hogy durvább szemcséjű korongok használata sem a pontosságot, sem a felületi minőséget károsan nem befolyásolja, viszont a termelékenység jelentősen növekszik. Így a szemcsenagyságot 12-ről 25-re (a régi jelzés szerint 140-ről 80-ra) lehetett növelni. A másik előny még ennél a gépnél, hogy a köszörülési sebességet 50%-kal csökkenteni lehet ha *T-15* szupergyorsacélt vagy más nehezen köszörülhető anyagot kell megmunkálni.

Az a felfogás, hogy fogaskerék-köszörülést csak edzett anyagoknál mint végső simító megmunkálást célszerű alkalmazni. Ezzel szemben kiderült, hogy pontos fogaskerekek gyártásánál még lágyacél fogaskerekeknel is néha gazdaságosabb a fogakat teliből köszörülni, mint marni vagy gyalulni (pl. erősen ötvözött krómnikkel-acél fogaskerekeknel 32 óráig tartott a fogazás a régebbi módszerekkel, a köszörüléssel ugyanaz a munka nagyobb pontossággal 4 óra alatt készült el).

### IX. Nagyteljesítményű köszörülés

Még a nagyteljesítményű köszörülési munkákat is a finommegmunkálások közé lehet sorolni, mert nagy anyaglemunkálás mellett mind a nagy pontosság, mind a jó felületi minőség biztosítható. Erre az első példa, hogy a *General Electric Co.* gőzturbina és hajtómű gyárában a közepes méretű gőz-

turbina és hajtómű házak osztófelületeinek megmunkálására 7000 mm átmérőjű forgó asztalú köszörűgépet készítettek 3000 mm átmérőjű szegmenskoronggal és 250 Le teljesítménnyel. Ezzel a géppel a régebben alkalmazott marás és hántolás helyett a munkadarabok osztófelületeit egynegyed idő alatt munkálták meg tisztán köszörüléssel, és a hántolás elmaradhatott, mert a köszörült felület anélkül is tökéletesen tömített.

Mint látható, nagy felületek lemunkálására a forgóasztalú szegmenskorongos köszörűgépek kerültek előtérbe. Így pl. *Blanchard* 150 Le 1225—2450 mm átmérővel és 125 lóerős 1070 : 2150 mm átmérővel. Az utóbbi géppel 180 perc alatt munkálták meg azt a felületet, amelynek a gyalulásához 320 percre volt szükség. Itt anyagmegtakarítás is volt, mert 1,6 mm-rel kevesebb anyagot kellett lemunkálni, mint gyalulással. A használt köszörűszegmensek durva szemcséjűek és *G* keménységűek voltak. A kezdeti fogásmélység 1,5 mm volt, amelyet 0,5 mm-re csökkentettek, ha már a felületen meg volt a teljes érintkezés. A kívánt méret és felületi minőség elérésére kiszikráztatás után a szegmenseket leszabályozták és az utolsó néhány századmilliméter lemunkálására a végső fogásmélységet 0,01 mm-re csökkentették. Ennél a műveletnél a köszörűkorong jóságai foka 25 volt.

Szintén nagymérvű forgóasztalos köszörűgépet használtak egy másik gyárban, amikor egy 7 tonnás *Ni-Hard* öntvény minden oldaláról 13 mm-t kellett lemunkálni a 250 lóerős *Mattison* 160 típusú köszörűgéppel.

Hosszú munkadarabokat ide-oda mozgóasztalú géppel munkálnak meg egészen 6,35 mm oldalankénti anyaglemunkálással. A 125 lóerős *Thompson* gépen több mint 1 t súlyú szerszámgépágyakról 500 mm átmérőjű 150 mm szélességű korongokkal kb. 3,2 mm-t munkáltak le 0,025 mm síkbeli pontossággal, a munkadarab másik oldaláról pedig 9,55 mm-t. Ezek csak 6,2 és 14,6 percet vettek igénybe és az összes idő 51,8 perc volt. A közepes anyaglemunkálás 665 cm<sup>3</sup>/min volt, ami 5,3 cm<sup>3</sup>/Le min értéknek felelt meg és összesen 13 800 cm<sup>3</sup> anyagot munkáltak le, 80 cm<sup>3</sup> korongelhasználódás mellett. Ez 150 jóságai foknak felelt meg. A korongköltség 0,48 dollár volt munkadarabonként, így a munkaidő is igen lerövidült kis költségek mellett, és a felületi érdesség  $R_a = 0,5 \mu\text{m}$  volt. Ennél jobb felületi minőséghez további simító köszörülésre és valamivel több időre volt szükség.

Ehhez hozzá kell még tenni, hogy a svéd *Slipmaterial-Naxos* gyárban egy 25 kW teljesítményű köszörűgépen beszúró köszörüléssel 66 m/sec korongsebesség mellett és 40 m/min tárgysebességnél 0,055 mm/fordulat fogásmélységgel 17 kg/óra (36,2 cm<sup>3</sup>/min) acélt köszörültek le. Csúcsnélküli köszörüléssel hosszú, vékony munkadarabot nagyobb termelékenységgel és gazdaságosabban tudtak megmunkálni jobb méretpontosság és felületi minőség mellett, mint az eddigi eszterga-automatán végzett munkánál.

Általában Európában még elég kevéssé hódított teret az ilyen nagyteljesítményű köszörülés és az alkalmazott legnagyobb teljesítményű 100 lóerős-

köszörűorsó hajtóteljesítményű gépet az acéliparban bugaköszörülésnél használják. A  *hazai vonalon*  még ilyen nagyteljesítményű köszörűs munkával nem találkozunk.

### X. A köszörülés automatizálása

A köszörülés automatizálása a művelet bonyolultsága miatt elég lassan halad. Azonban mind termelékenység, mind méretpontosság szempontjából igen jó eredmények érhetők el köszörülésnél az aktív mérés alkalmazásával. Egyik ilyen berendezés segítségével 0,005 mm méretpontosság mellett a termelékenység közel nyolcszorosára növekedett külső köszörülésnél. Furatköszörülésnél is jelentősen nőtt a teljesítmény az aktív mérés bevezetésével. Ekkor ugyanis elmaradt a minden darab utáni leszabályozás, mert ezt csak minden tizedik darab után kellett elvégezni.

Egyes furatköszörűgép-gyárak megoldották az  *automatikus korongcserét*  is, ami szintén lényeges időmegtakarítást jelent, mert a furatköszörűkorongokat kisméretük miatt igen gyakran kell cserélni.

Igen jó eredményeket értek el a  *Landis Tool Co.*  vállalatnál az aktív mérés bevezetésével. Az elliptikusan köszörült alumínium dugattyúknál 0,5 mm rétegvastagság lemunkálása mellett 0,0063 mm tűréssel a megmunkálási idő 25 másodperc volt.

### XI. Gyémántszerszámok használata

A köszörülés egyik, a legutóbbi években igen rohamosan fejlődő ága a gyémántszerszámok gyors elterjedése. Ugyanis a nagykeménységű gyémántnak mint forgácsoló szerszámnak kitűnő tulajdonságai vannak. Nagy termelékenység mellett igen jó minőséget eredményez és a nagy élettartama következtében a nagy ár ellenében igen gazdaságos. A gyémánt szerszámok használatának fontosságát igazolja, hogy az  *Amerikai Egyesült Államokból*  származó adatok szerint, ahol kiemelkedően legnagyobb az ipari gyémánt felhasználása, gyémántszerszámok nélkül az amerikai ipar termelése felére csökkenne.

A gyémántszerszámok ugrásszerű fejlődését bizonyítja, hogy a  *De Beers*  konzern 1966. évi adatai szerint az évi fogyasztás 1920 és 1930 között némi ingadozással egymillió karát körül volt, ezzel szemben 1965-ben már 52 millió karátra (10,4 t-ra) emelkedett. 35 év alatt tehát 52-szeresére nőtt, ami közepesen évi 12% növekedésnek felel meg.

A fejlődés további szakaszait vizsgálva 1950 és 1960 között 12 millió karátról 25 millióra növekedett, ami 7,7% évi emelkedés. De az utóbbi 5 évben 1960–1965 között 25 millió karátról 52 millióra növekedett, ami már évi 15,7% növekedést jelent. Ez kereken négyszerese a világ ipartermelés-fejlődésének, ha ezt az utóbbi években 4%-ra vesszük.

A gyémántot a legkülönbözőbb szerszámokban használják fel, pl. köszörűkorongokban, fűrészekben, dróthúzó kövekben vagy polírozó pasztaként. Az összes ipari gyémánt felhasználása az 1965 évi adatok szerint 74,5% szemcse, amelynek további részletezése 36,5% köszörűkorong, 20% fűrész és 18% finom porra oszlik meg. Ezekon kívül nagyobb méretű szerszámokra dróthúzó kövekkel együtt 12,75% és kőzetfúrókra ugyancsak 12,75% esik.

A gyémántszerszámok ilyen nagymértékű felhasználása azért lehetséges, mert a természetes gyémánt mellett igen nagy mértékben megnőtt a mesterséges gyémánt előállítás. Ezt először az 1960-as évek elején a *General Electric Co.* detroiti laboratóriuma oldotta meg és ez is hozzájárul, hogy az összes ipari gyémánt felhasználásból az 1960-as évek elején az *Amerikai Egyesült Államokra* 70% esett. Az 1960. évi összesen 25 millió karátból 18 millió jutott Amerikára (73%). Azonban az 1960-as évek közepén a kievi *Szuperkemény Anyagok Intézetében* is megoldották a mesterséges gyémánt előállítását és azóta a szovjet mesterséges gyémánt is bekapcsolódott a világversenybe és a mennyiségi termelés rohamosan emelkedik.

Természetesen a mesterséges gyémántból készült szerszámok helyes használata sok tapasztalatot és körütekintést igényel, mert különböző minőségeket állítanak elő és a szerszámok gyártásának sokféle változata van. Ezért különbséget kell tenni a megmunkálandó anyag minősége, az elérendő felületi minőség és a munkadarab kialakítása szerint a szemcse minősége, nagysága és a szerszám felépítése között.

A gyémántszerszámok termelékenységét növelő hatása annál jobban előtérbe jut, minél keményebb a megmunkálandó anyag. Így pl. az elektronikus iparban a félvezető szilíciumrúd darabolása 30 mm  $\div$  mellett a régi módszerrel 3 óráig tartott, ez a jelenlegi műgyémánt-fűrészsel csak 25 másodperc. Azonkívül a műgyémánt-fűrész vágási szélessége csak 0,1 mm, ami azért igen lényeges, mert a vágandó anyag ára megközelíti az aranyét, tehát a kis vágási hulladék nagy anyagmegtakarítást eredményez.

A gyémántszerszámok egyik igen jelentős alkalmazása a keményfém és kerámiai szerszámok köszörülése, élezése. Ezen a vonalon állandó haladás tapasztalható, mert régebben egy gramm műgyémánttal 200  $\div$  300 g keményfémeket lehetett leköszörülni, ma már vannak kísérleti értékek 4  $\div$  8 ezer g keményfém leköszörüléséről is. A gyémántszerszámok előállítási módjai és alkalmazásai ma már olyan nagy területet ölelnek fel, hogy messze meghaladja jelen rövid összefoglaló kereteit.

A gyémánt szerszámok hazai felhasználása állandóan növekszik és ehhez lényegesen hozzájárul, hogy a Szovjetunió *Budapest*en felállított műgyémántszerszám forgalmazó-irodát, amelyen keresztül viszonylag rövid idő alatt az egyes felhasználási célokra alkalmas gyémántszerszámokat üzemünk megvásárolhatják. Azonkívül a *Gránit Gyar* is jó minőségű gyémántszerszámokat állít elő.

## XII. Következtetések és javaslatok

Jelen áttekintő ismertetővel igyekeztünk a finommegmunkálások rohamos fejlődését mind világviszonylati, mind hazai szinten ismertetni. Ebből is nyilvánvaló, hogy ha gépiparunk nem akar az állandóan növekvő világversenyben lemaradni, akkor a finommegmunkálások fejlesztésére és iparunkban minél szélesebb körű alkalmazására teljes energiával fel kell készülni.

Ezek érdekében javasoljuk, hogy a *Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya* keretében működő *Elméleti Technológiai Bizottság* a finomfelületi megmunkálások kutatási és fejlesztési kérdéseivel foglalkozzon. Ugyanis, ha csupán a *Kohó- és Gépipari Minisztérium* vonalán megvalósítás alatt levő mintegy 25 ÷ 27 millió forintot kitevő, a népgazdasági szempontból nagyfontosságú, kutató és fejlesztő munkát tekintjük, ennek a tudományos irányítása és felügyelete a *Magyar Tudományos Akadémia* hatáskörébe tartozik.

Ehhez kiegészítésképpen hozzátartozik, hogy a jó minőségű és nagytermelékenységű finomfelületi megmunkálásokhoz jó minőségű szerszámokra (pl. köszörűkorongokra) van szükség. Ezek előállításuk külön igen komoly tudományos és gyakorlati technológiai probléma. Ezenkívül a finomfelületi megmunkálások technológiája üzeminkben igen alacsony színvonalú. Ezért az oktatásában igen komoly gyártástechnológiai tagozaton is csak néhány órát foglalkoznak finommegmunkálással, ami még az alapfogalmak elsajátítására sem elegendő. Azonban ezek a problémák külön tanulmányok keretében tartoznak.

### IRODALOM

1. MASZLOV, N. É.: A fémek köszörülésének elméleti alapjai. Nehézipari Könyvkiadó, Budapest 1953.
2. HORNUNG A.: Fémfelületek finommegmunkálása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1963.
3. PEKLENIK, J.: Ermittlung von geometrischen und physikalischen Kenngrößen für die Grundlagenforschung des Schleifens (disszertáció). T. II., Aachen 1957.
4. Hornung, A.: Die Möglichkeiten der Leistungsbestimmungen beim Schleifen. *Fertigungstechnik* (1956), II—III.
5. PAHLITZSCH, G.: Gegenwärtiger Stand von Technik und Forschung auf dem Gebiet des Präzision-Schleifens. *Microtechnic* (1963), II—III.
6. KRUG, H.—HONICIA, G.: Die elastische Verformung bei Schleifwerkzeuge. *Werkstattstechnik* (1964), II.
7. HORNUNG A.: A köszörülés és köszörűszerszámok fejlesztése. *Gépgyártástechnológia* (1963), III.
8. HORNUNG A.: Gyorsköszörülés. *Gépgyártástechnológia* (1964), V.
9. BRÜCKNER, K.: Schnittkräfte bei Schleifen. *Industrie Anzeiger* (1965), Nr. 79.
10. SWEENEY, G.: Grinding instability. Advances in Machine Tool Design and Research (International M. T. D. R. Conference V). Pergamon Press 1965.
11. ERNST, N.: Erhöhte Schnittgeschwindigkeit beim Aussenrund-Einstechschleifen und ihr Einfluss auf das Schleifergebnis. *Industrie-Anzeiger* (1966), Nr. 24.
12. HORNUNG, A.: Die Frage der Standzeit von Schleifscheiben. *Werkstattstechnik* (1966), Nr. 6.
13. PAHLITZSCH, G.—CUNTZE, E.: Berezgés keletkezése és csökkentése beszűrő köszörülésnél. *Gépgyártástechnológia* (1966), XI.



14. STRUNCK, J.: A köszörülés eredményeinek javítása növelt forgácsoló sebesség alkalmazásával és a szerszámgépekkel szemben támasztott követelmények. Szerszámgép Konferencia, Budapest 1968.
15. HORNING, A.: Gyémántszerszámok. *Gépgyártástechnológia* (1968), IV.
16. KRUG, H.—SCHIMMEL, G.: Der Zerspanungsvorgang beim Schleifen von Metallen mit hohen Geschwindigkeiten. *Werkstatstechnik* (1968), XII.
17. TODOROV, N.: A köszörűkorongon és a munkadarabon végbemenő rezgésfolyamat és hullámosodás különleges jellemzői és a megmunkálási pontosságra gyakorolt negatív hatásuk korlátozásának lehetőségei. Szerszámgép Konferencia, Budapest 1968.
18. CHAMPETIER, L.: Rectification ultra-rapide. *La Machine Outil Francaise* (1968), XII.
19. TARASOV, L. P.: Abrasive Metal Removal. *Machinery* (1968), III.
20. KAZINCZY L.: A forgácsolással megmunkált acélananyagú munkadarabok felületi minőségének komplex jellemzése. Kézirat, Budapest 1969.

#### The Situation of Fine Machining in the Advanced Industrial Countries and in Hungary.

In the course of the growth of the machine building industry, fine machining has obtained ever-increasing importance in improving quality. Especially machining methods using very hard and heat-resistant grains plays an important role, because these methods are suitable for high-precision machining of hardened surfaces to elevated standards of surface quality. These machining methods are: grinding, honing, superfinishing and lapping. The widest field of application has grinding, which at present is already suitable for removing vast quantities of material and guaranteeing the final quality of active surfaces in one set-up on high-powered machines (several 100 HP). But the other methods of fine machining have undergone a large development too, in which diamond grains and artificial diamond grains have played an important role. As for the economical and wide-spread application of fine machining in Hungary, much yet remains to be done.

#### Die Lage der Feinbearbeitungen in den entwickelten Industrieländern und in Ungarn.

Im Zuge der Qualitätssteigerung in der Maschinenindustrie erlangen die Feinbearbeitungen immer größere Wichtigkeit. Die Feinbearbeitungen mit Körnern von großer Härte und höher Wärmefestigkeit spielen eine besonders wesentliche Rolle, weil diese Methoden es gestatten auch gehärtete Oberflächen mit großer Genauigkeit und Oberflächengüte zu bearbeiten. Zu diesen Methoden gehören: Schleifen, Honen, Superfinish und Läppen. In weitesten Bereichen ist das Schleifen anwendbar, das heute mit Maschinen sehr hoher Leistung (mehrere hundert PS) nicht nur für das Abtrennen großer Spannmengen, sondern auch für die letzte Feinbearbeitung der Arbeitsfläche von Maschinenteilen in einer Aufspannung sehr wirtschaftlich ist. Die übrigen Feinbearbeitungsverfahren haben auch eine große Entwicklung durchgemacht, zu der Diamant und Kunstdiamant in großem Maße beigetragen haben. Bei der Verbreitung der Feinbearbeitungen sowie deren wirtschaftlicher Anwendung gibt es in Ungarn noch viel zu tun.