



SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM

GYŐR

Különleges megmunkálási technológiák M_aj003_1

Mechatronikai mérnöki MSc szak

Ultraprecíziós megmunkálás Nagysebességű forgácsolás

3. előadás

Összeállította: Dr. Pintér József



Különleges technológiák

1. Ultraprecíziós megmunkálás (UP)
 2. Nagysebességű forgácsolás (HSC)
-



Ultrapreciziós megmunkálás

- a 17. században: rézből tükröt üveg és porcelán megolvasztására. ill. csillagászati tükörteleszkópok készítésére
- E. Maignan 1648-ban: eszterga hiperbolikus (aszférikus) fémtükrök esztergálására
- 1945: szerszámélként természetes gyémánt egykristály



Ultraprecíziós megmunkálás

- **UP fejlődését a teljesítménylézerek kifejlesztése, valamint az infravörös optika elterjedése ösztönözte**
- **szokásos elnevezések: szubmikronos-, ultraprecíziós megmunkálások, nanotechnológia, mikroforgácsolás, stb**



Ultraprecíziós megmunkálás

Megmunkálási eljárás/változat	Megkövetelt pontosság Alakhiba/Érdesség (R_a)	Osztálybasorolás
Esztergálás, marás	50 μm / 1,6 μm	Finommegmunkálás
Finomesztergálás. köszörülés	25 μm / 0,24 μm	Precíziós megmunkálás
Leppelés, finomköszörülés	10 μm / □ 0,13 μm	Nagy pontosságú megmunkálás
Mikroforgácsolás, mikroköszörülés	1 μm / □ 0,1 μm	Ultraprecíziós megmunkálás
Polírozás, elektro-kémiai polírozás	0,1 μm / □□ 0,01 μm	Nanotechnológia



Ultraprecíziós megmunkálás

Alkalmazási terület 1.		Anyag	Követelmény
Fényvisszaverő optikai elemek (tükrök)	Scanner a megmunkáló lézerekhez Sík- és parabolatükrök a megmunkáló lézerekhez Fénymásoló és lézernyomtató dobok	Alumínium Réz Arany Nikkel Ezüst Platina Molibdén	Reflexió: 98% Alakpontosság: 0,2...0,01 μm Érdesség: $R_a \approx 0,005 \mu\text{m}$



Ultraprecíziós megmunkálás

Alkalmazási terület 2.		Anyag	Követelmény
Áteresztő optikai elemek (lencsék)	Freznellencse Germánium lencse napelemek lencsái A lézersugarak fókuszáló és kiléptető lencsái	Optikai műanyagok Germánium Szilícium Ga As, Zn Se, Zn S	Alakpontosság: 0,2...0,01 μm Érdesség: $R_a \approx 0,002 \mu\text{m}$

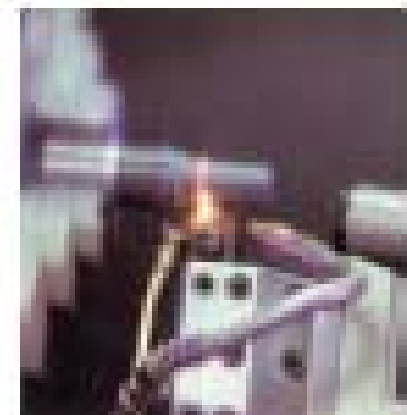


Ultraprecíziós megmunkálás

Alkalmazási terület 3.		Anyag	Követelmény
Mechanikai elemek, alkatrészek	Mágn. merev adattárolók (harddiszk) Videorekorderekhez szalagvezető görgők Légcsapágyazás alkatrészei Vákuumtömítések Részecskegyorsítók elektródái	Alumínium Nikkel Réz Sárgaréz	Alakpontosság: 0,5...0,1 μm Érdesség: $R_a \approx 0,01 \mu\text{m}$



Ultraprecíziós megmunkálás




Előnyök:

- ❖ Hűtést nem igényel
- ❖ Kisebb ráhagyás – anyagtakarékos
- ❖ Egy forgácsoló él dolgozik – kisebb deformáció, nagy pontosság
- ❖ Nagy anyagleválasztási sebesség
- ❖ Jó felületi minőség
- ❖ Egyszerű szerszámmal bonyolult profilt lehet gyártani



Ultraprecíziós megmunkálás

- Vastartalmú anyagok gyémánt éllel nem forgácsolhatók,
- Köbös bórnitrid (CBN)  ultraprecíziós keménymegmunkálás
- Technológiai adatok:
 - ❖ Méretpontosság: IT5
 - ❖ Forgácsolási sebesség: $v = 600 \dots 2000 \text{ m/min}$
 - ❖ Forgács keresztmetszet: $A_c = 0,5 \dots 500 \mu\text{m}^2$
 - ❖ Éllekerekedés a szerszámon: $r_a = 0,01 \dots 1 \mu\text{m}$
 - ❖ Forgácsolóerő: $F_v = 0,1 \text{ N} \dots 10 \text{ N}$



Szerszámgép:

❖ Főorsó:

- aerosztatikus; $n = 6000 \dots 12000$ f/min
- tehermentesített, rezgéscsillapított szíjhajtás
- futáspontossága: $0,05 \mu\text{m}$
- merevsége: $500 \text{ N}/\mu\text{m}$ (orsóközépen)
- anyagminőség: kerámia (deform. 7x kisebb),
szánszálerősítésű műanyag (deform. 15x kisebb)
- elektrom. (érintk. nélküli) nyomatékátvitel



Ultraprecíziós megmunkálás

Szerszámgép:

- ❖ Vezetékek: aerosztatikus (CBN → hidrosztatikus)
- ❖ Környezet: klímatisztált, $20 \pm 0,5 \text{C}^\circ$, relatív nedvesség tartalom: 50%, hőegyensúly, emberi jelenlét nem kívánatos
- ❖ Rezgésszigetelt alap, gépágy: gránit, gömbgrafitos. öv., kerámia
- ❖ Munkadarab befogás: vakuumtokmány, műanyag, üveg ragasztással



2. Nagysebességű forgácsolás (HSC)

A forgácsoló megmunkálás **termelékenységének** növelésének egyik útja a forgácsoló főmozgás és az előtolás sebességének növelése. Az 1980. évi chicagói nemzetközi szerszámgép világkiállításon az első olyan szerszámgépek, amelyek a nagysebességű megmunkálás gyakorlati megvalósítását jelentették. Az angol nyelvű szakirodalomban: **High Speed Cutting** (rövidítése **HSC**) terjedt el a szakirodalomban, (ritkábban a **High Speed Milling**, nagy sebességű marás, rövidítése **HSM**)



A nagysebességű forgácsolás elméleti alapjai és feltételei

❖ Carl Salamon (1920) ➡ acél, színes és könnyű fémeket forgácsolt $v = 440$ m/min (acél), $v = 2850$ m/min (réz) és $v = 16\ 500$ m/min (alumínium) forgácsolási sebességgel.

Korábban ➡ mértékadó álláspont ➡ klasszikus a forgácsolási sebesség (v) és az éltartam (T) között fennálló Taylor összefüggés:

$$C_v = T^m v_c$$




Taylor összefüggés csak egy meghatározott határsebességig érvényes

☞ ezen határon túl fellép a „halál völgye” a drasztikusan megnövekedett forgácsolási hőmérséklet és szerszámkopás miatt.

☞ Salomon kísérleteinek eredménye ezzel ellentétes eredményt hozott ☞ a forgácsolási sebesség egy bizonyos határon túli növelése a forgácsolási hőmérséklet esetenként jelentős mértékű csökkenéséhez vezet (6. ábra).

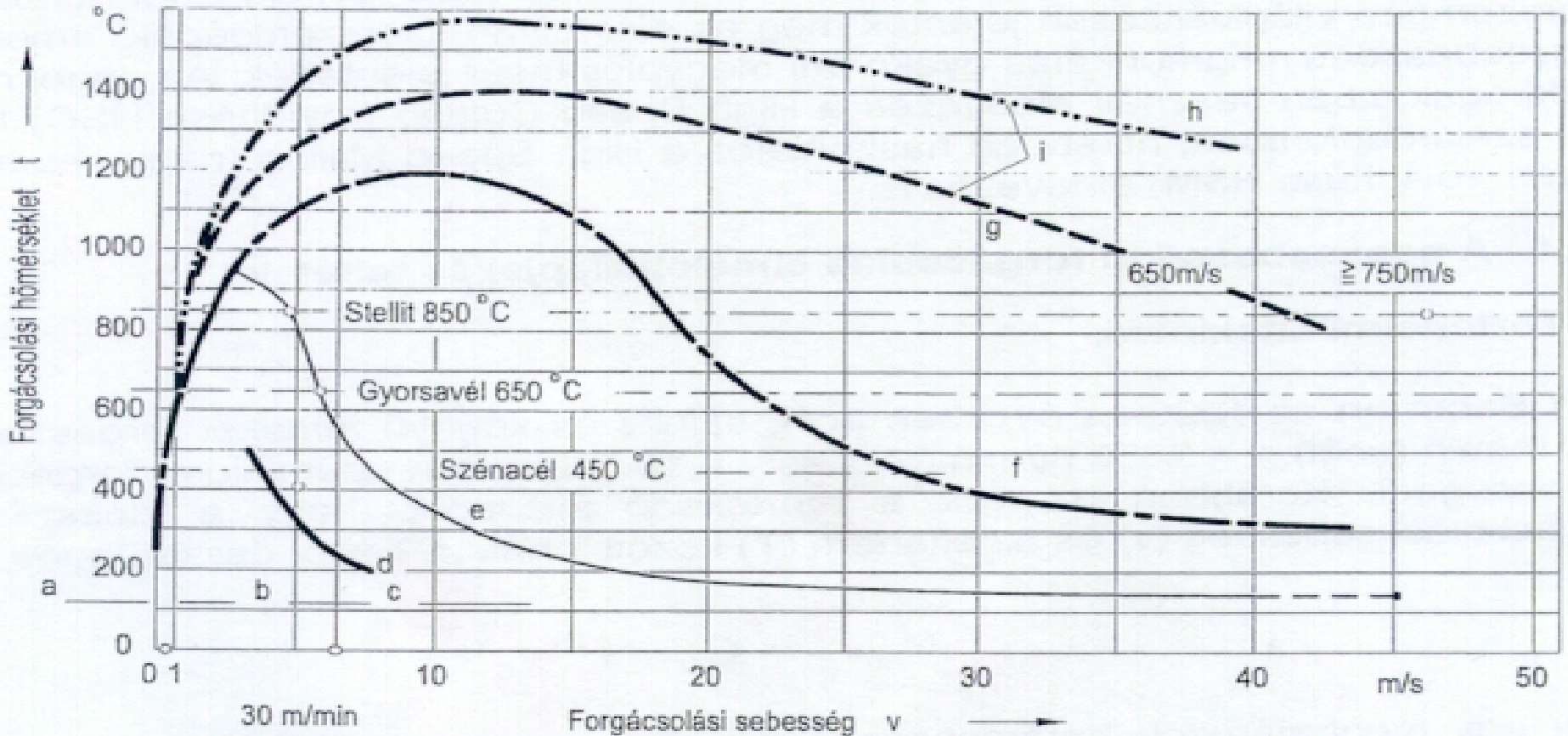


A 6. ábrából  valamennyi megmunkálandó anyagnál létezik egy olyan forgácsolási sebességtartomány (ábrán b-vel jelölve), amely sebességtartományban nem lehetséges a gazdaságos forgácsoló megmunkálás.

Megjegyzés:



az alumínium forgácsolásakor – azonos szerszáméltartam mellett – az alkalmazható forgácsolási sebesség lényegesen nagyobb, mint acél forgácsolása esetén.

Fontos  az alumínium az élrátétképződési hajlam miatt $v_c < 90$ m/min alatt nem forgácsolható.




6. ábra. A forgácsolási hőmérséklet és a forgácsolási sebesség összefüggése. Jelölések: a megmunkálható; b megmunkálás nem javasolt; c megmunkálható; d lágy alumínium; e vörösréz, sárgaréz; f bronz; g öntöttvas; h acél



- Az 1950-es években több országban, köztük az USA-ban is, ballisztikus kísérletekkel ellenőrizték Salomon hipotézisét.
- Alumínium ötvöztetésű anyagból készített lövedékeket lőtték ki keményfém és gyorsacél szerszámélek mentén $v = 4\,500$ m/min és $v = 73\,200$ m/min közötti forgácsolási sebességgel.
- A nagysebességű filmfelvételek  ténylegesen forgácsolási folyamat valósult meg  igen jó felületi minőség keletkezett, és szerszámkopás nem volt érzékelhető.





- Ebben az időben még nem álltak rendelkezésre olyan szerszámok és szerszámgépek, amelyek ebben a sebességtartományban képesek lettek volna forgácsoló megmunkálásra.
 - Bizonyítást nyert  a „halál völgyére” vonatkozó korábbi elmélet nem igaz. Ellenkezőleg: igen nagy forgácsolási sebességek esetén az időegység alatt leválasztott forgácsmennyiség, illetve a forgácsoló szerszám éltartama jelentősen megnő.
-




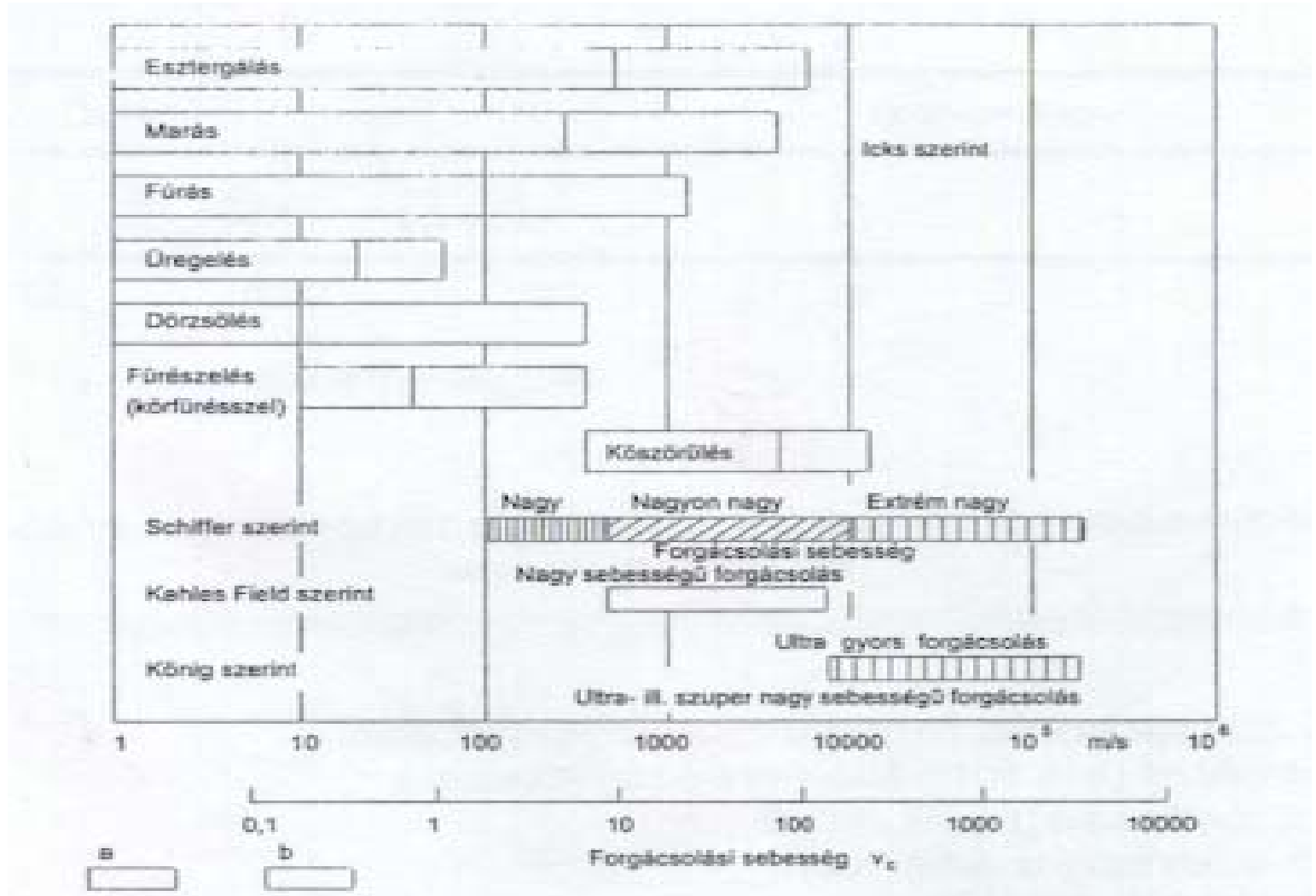
◆ A forgácsolási sebesség 500%-os növelésekor az időegység alatt leválasztott forgácsmennyiség 300%-al megnőtt, a fellépő forgácsoló erő pedig mintegy 70%-al csökkent. A megmunkált felület felületi minősége igen kedvezően alakult, a munkadarab és a szerszám hőmérséklete alig változott, a forgácsolási folyamat során keletkezett hő túlnyomó részét a forgács vezette el.

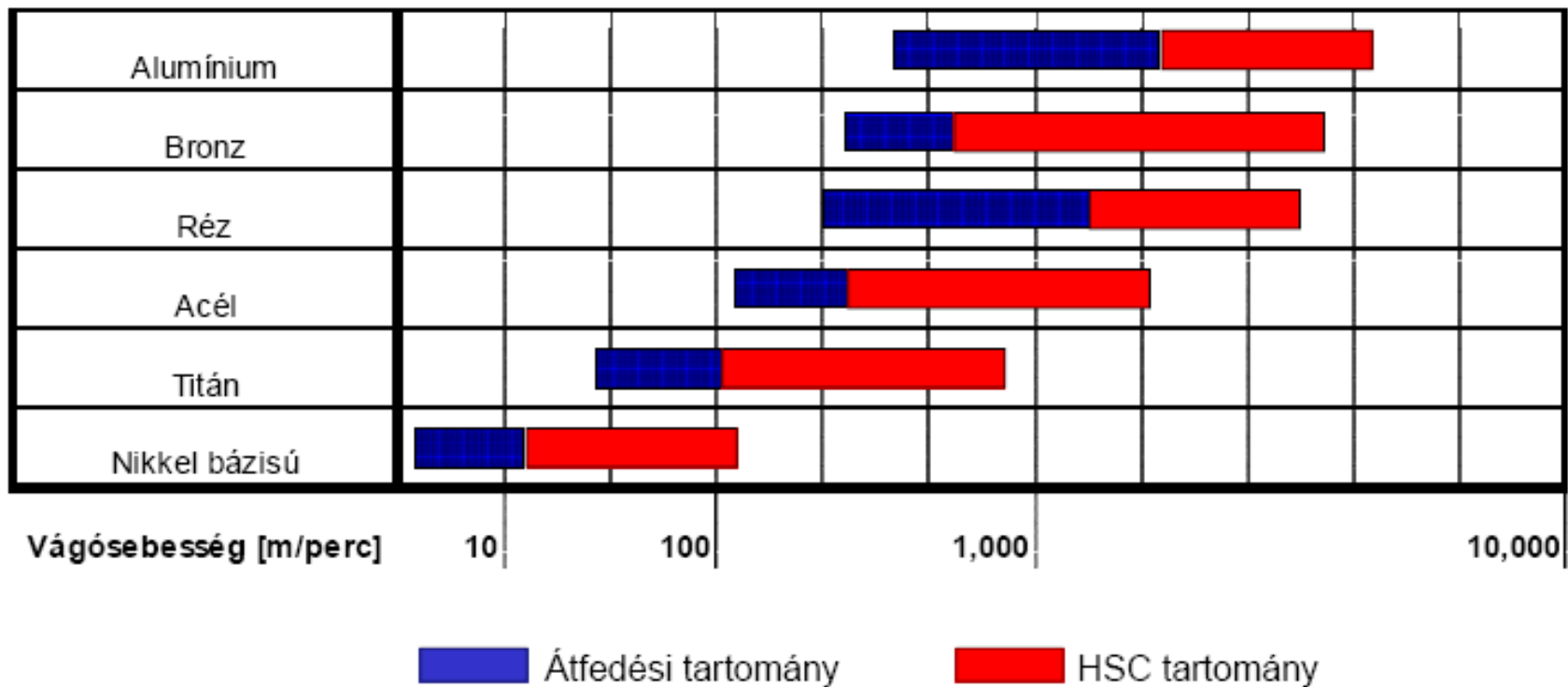


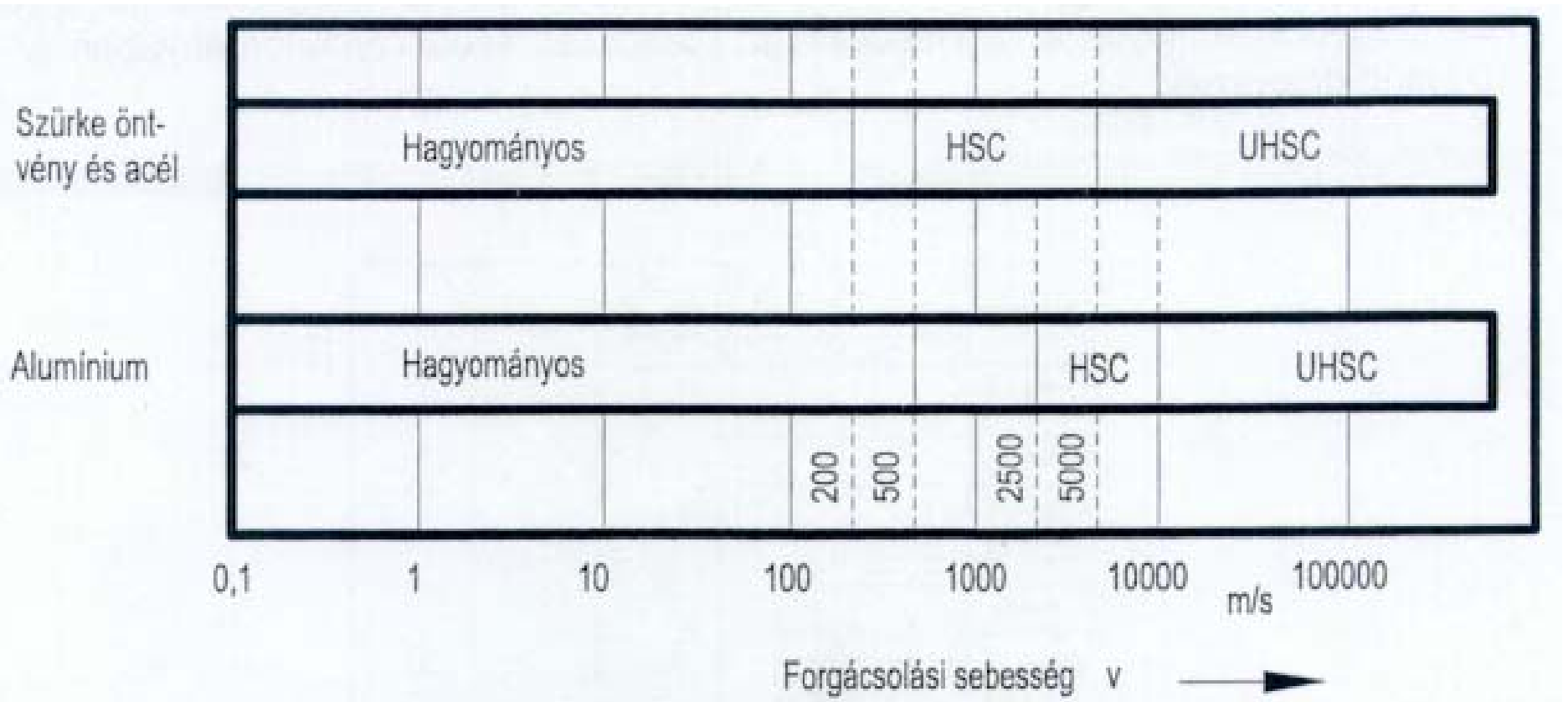
❖ Az 1980. évi chicagói nemzetközi szerszámgép-kiállításon az Ex-Cell-O olyan megmunkálóközpontot  főorsója $n = 40\ 000$ min-1 fordulatszámmal forgácsolt.

A nagysebességű megmunkálás fogalma
Jó közelítéssel  amennyiben a forgácsolási sebesség meghaladja a $v = 500$ m/min értéket, nagysebességű forgácsolásról beszélünk.

A sebességhatár erősen függ a megmunkálás módjától is. A 9. ábrából  marásnál számottevően alacsonyabb a sebességhatár, mint esztergálásnál.







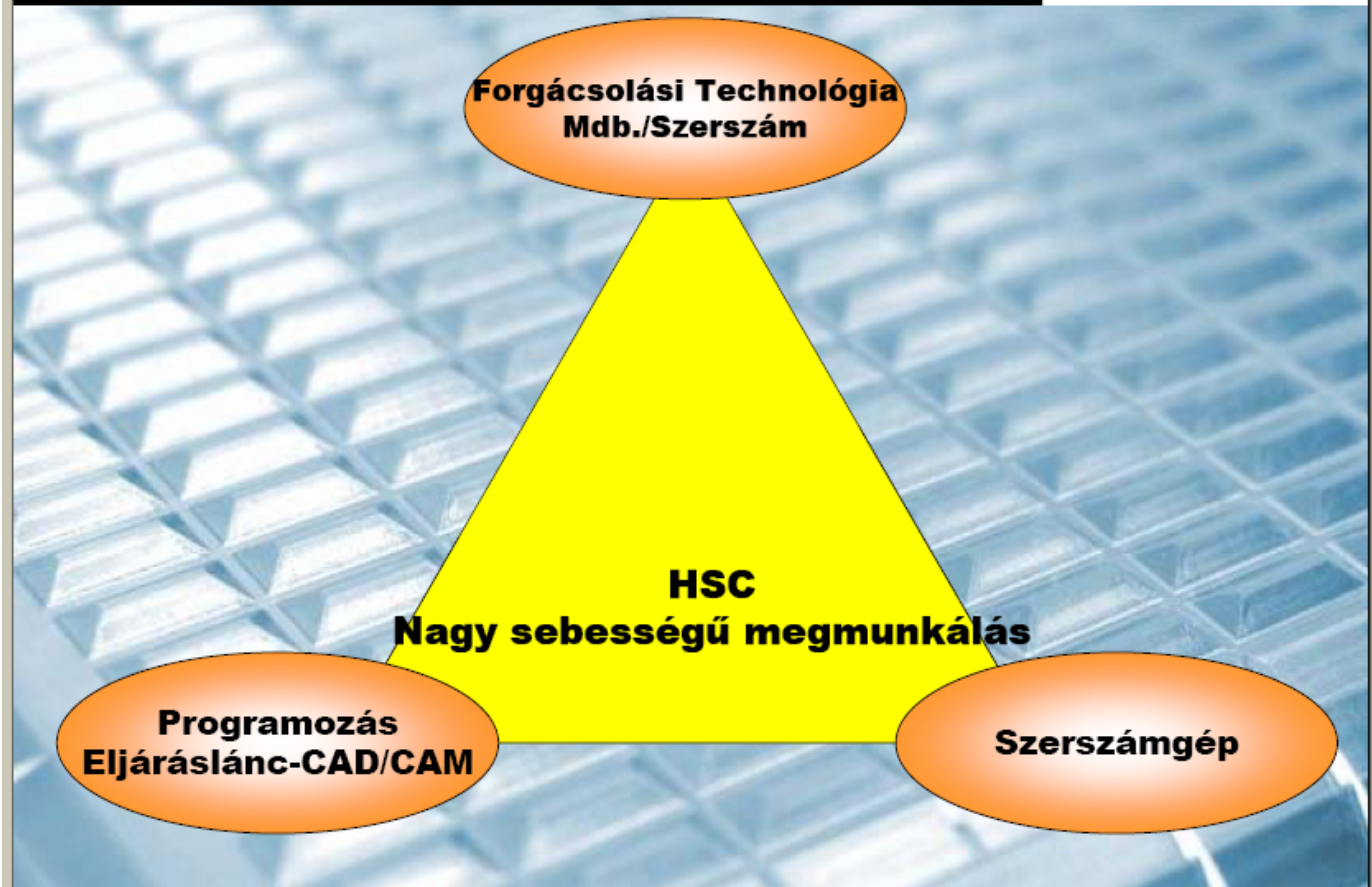


A sikeres HSC alkalmazást befolyásoló paraméterek a süllyeszték és öntőformagyártásban

DECKEL MAHO

Geretsried GmbH

Összeállította: Szűcs Ferenc

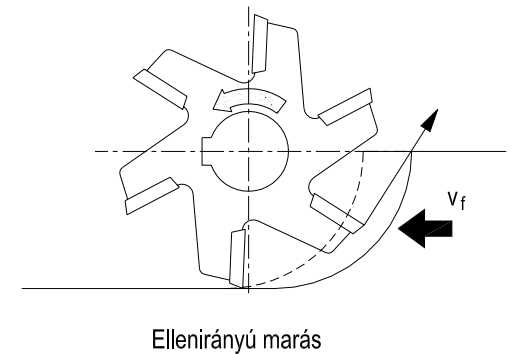
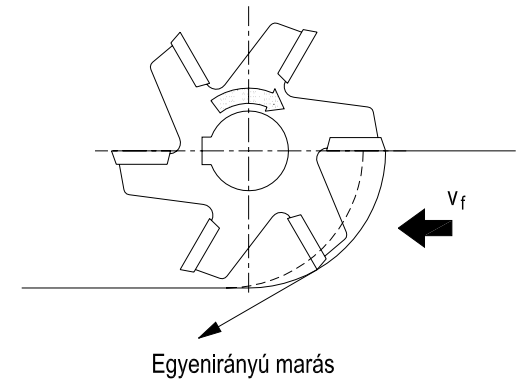




A HSC forgácsolási folyamat

jellemzői:

- a forgácsoló él előtt az anyag rideggé válik,
- a forgács a forgácstőnél képlékeny alakváltozás nélkül letörik,
- egyenirányú marás alkalmazása





A sikeres HSC alkalmazást befolyásoló paraméterek a sülyeszték és öntőformagyártásban

DECKEL MAHO

Geretsried GmbH

Összeállította: Szücs Ferenc

A környezettel szemben támasztott követelmények

Munkadarab

- Merev felfogatás
- HSM-helyes konstrukció
- HSM-helyes anyagválasztás

Szerszám

- Forgásszimmetria
- Minimális kiegyensúlyozatlanság
- Minimális körkörösségi hiba
- Optimális élgeometria
- Nagy merevség
- Elegendően nagy forgácsárok
- Minimális horony- ill, élhatás
- Nagy éllátfedés
- **Szerszámanyag**
- Kopásállóság
- Hőállóság
- Szívósság
- Kopásálló bevonat

Eljárás-lánc

- A HSM technológia ismerete
- Nagyteljesítményű CAD/CAM rendszer befolyásolható marási-pályagenerálással
- **Optimált marási stratégia**
- Egyenletes marás
- Állandó mértékű szerszámterhelés
- A szerszám folyamatosan fogásban
- Vad irányváltások kikerülése
- Óvatos bekezdés
- Kontúrral párhuzamos vagy spirálfirmájú marási pályák
- Előnyös marási feltételek a félgömbvégű ujjmaró esetére

Szerszám gép

- **Főorsó**
- Magas fordulatszám
- Széles fordulatszám tartomány
- Elegendő nyomaték
- Speciális csapágyazás
- Precíz szerszám befogás
- **Szánhajtás**
- Nagy előtolási sebességek
- Rövid gyorsulási idők
- **Koncepció**
- Minél kisebb mozgatott tömeg
- Nagy merevség
- Jó rezgés csillapítás
- **Vezérlés**
- Rövid mondatfeldolgozási idő
- Nagy tárolókapacitás
- **Biztonság**
- Teljes, törésbiztos burkolat
- Zajcsillapítás
- Levegőszűrés



A HSC forgácsolási folyamat jellemzői:

- csökken a forgács leválasztáshoz szükséges energia
 - jó felületi érdesség ($\approx R_a = 0,2 \mu\text{m}$),
 - kedvező szerszám éltartam,
 - hűtés nagy nyomású levegővel, illetve szerszámon keresztül
-



A nagysebességű forgácsolás alkalmazási területei:

- elsősorban a szerszám- és süllyeszték gyártásban, de egyre inkább teret kap a normál alkatrészgyártásban is, különösen a könnyű fémek és a műanyagok megmunkálása terén.
 - Ezen belül is elsősorban nagyobb sorozatoknál és nagy bonyolultságú alkatrészek gyártásában várható jelentős térhódítása.
 - A könnyűfémek és a műanyagok - anyagjellemzőik folytán - igen alkalmasak a nagysebességű forgácsolásra.
-

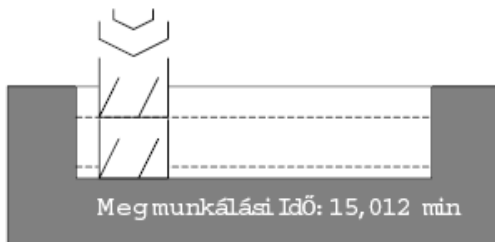


Négyszögzseb nagyoló marása Hagyományos / HSC marás összehasonlítása

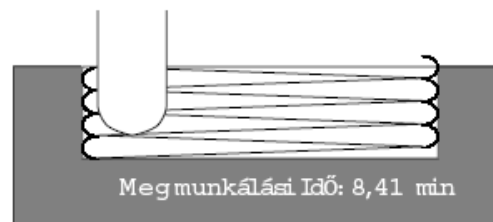
DECKEL MAHO

Geretsried GmbH

Összeállította: Szűcs Ferenc



Megmunkálási Idő: 15,012 min



Megmunkálási Idő: 8,41 min

Időmegtakarítás: 6,6 perc ≈ 44 %

Component: pocket
Material: 1.2344 (X40CrMoV 5 1)

tool no.	cutting tool	diameter	cutting material	operation	no.	length mm	calc. diameter	vc m/min	n rpm	fz	z	vf mm/min	th min	thges. min
1	center drill	10,00	HSS	center hole	1	7,00	10,00	15	477	0,100	1	48	0,147	0,147
2	drill	20,00	HSS	drilling	1	20,00	20,00	15	239	0,160	1	38	0,524	0,524
3	roughing cutter	20,00	HSS-TiN	pre milling "pocket" 100x100x20mm depth of cut 0,5xd (10mm) 2 cuts in Z - direction	1	1170,72	20,00	35	557	0,035	4	78	15,012	15,012
4	"KOBELCO" cutter	20,00	HM	milling "pocket" 100x100x20mm depth of cut 0,5mm 40 cuts in Z - direction	1	25096,00	20,00	250	3979	0,250	3	2984	8,410	8,410



A nagysebességű forgácsolás alkalmazási területei:

- Szerszámgyártás (edzett szerszámacélok, réz, öntöttvas, alumínium, grafit...),
- Kisméretű alkatrészek gyártása,
- Repülőgép alkatrészek gyártása (alumínium, rozsdamentes acél...),
- Járműipari alkatrészek gyártása (alumínium, öntöttvas, acél),
- Elektronikai ipar alkatrészeinek gyártása (alumínium, réz...),
- Orvosi műszergyártás (rozsdamentes acélok, titán),
- Edzett, kemény anyagok (akár 62 HRC keménységű anyagok) megmunkálása,
- Prototípus gyártás (alumínium, műanyagok...)



Szerszámgyártásban használatos technológiák arányainak változása

Gyártási technológiák	Technológiák arányai (%-ban)		
	1985	1995	2005
HSC-marás	4	10	46
Helyzetköszörülés	16	15	12
EDM és WEDM	80	75	42



**Köszönöm
megtisztelő figyelmüket!**