

NGB_AJ012_1 Forgácsoló megmunkálás
(Forgácsolás és szerszámai)

Korszerű technológiák

Dr. Pintér József
2018.

Felhasznált irodalom

Dr. Kodácsy János - Dr. Pintér József:

Forgácsolás és szerszámai. Széchenyi István Egyetem 2011. Digitális Tankönyvtár.

Pápai Gábor.ppt prezentációja 2013.

Dr. Szmejkál Attila – Ozsváth Péter

Járműszerkezeti Anyagok és Megmunkálások II.

(Előadásanyag 2007-2008) – BME

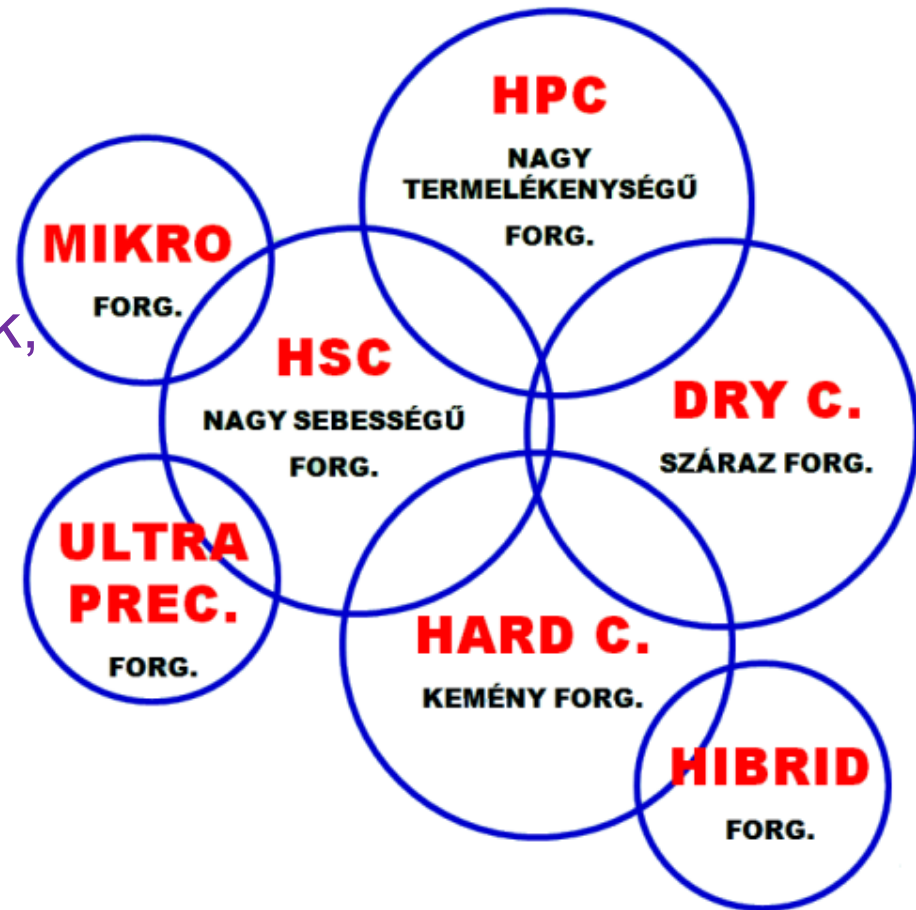
Járműgyártás és –Javítás Tanszék, BP

Igaz Jenő – Pintér József: Forgácsoló

megmunkálás III. (Forgácsoló megmunkálások)

SZE, Győr

A versenyképesség, termelékenység állandó növelési kényszere kihívást jelent a technológia fejlesztésének. A gyártási költségek, átfutási idő csökkentése, a gyártás rugalmasságának, minőségének, megbízhatóságának növelése, új anyagok megmunkálása, környezetvédelmi előírások szigorodása következtében intenzív fejlesztés folyik a technológiai eljárások, szerszámgépek és szerszámok területén.



Új technológiai területek és azok kapcsolódása

1. Nagysebességű forgácsolás HSC
2. Nagytermelékenységű forgácsolás HPC
3. Keménymegmunkálás HARD C
4. Minimálkenés, szárazforgácsolás DRY C (MMS)
5. Ultraprecíziós megmunkálás UP

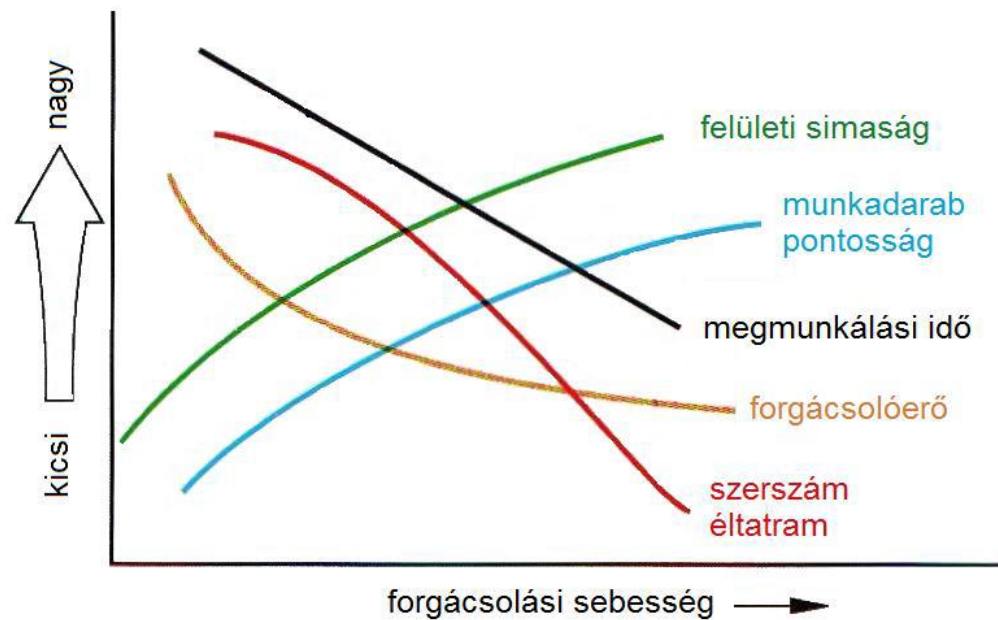
Nagysebességű forgácsolás

HSC (High Speed Cutting)

A nagysebességű forgácsolás HSC (High Speed Cutting):

Forgácsolás nagy sebességgel és előtolással, kis fogásmélységgel, a megmunkálási idő és a felületi érdesség csökkentése, az utólagos kézi munkák, köszörülés, polírozás kiküszöbölése céljából.

A forgácsolási sebesség növekedésének hatását az ábrán láthatjuk. A megmunkálás pontossága, a felület simasága nő, a megmunkálási idő, forgácsoló erő csökken, de a szerszám élettartama is!



A HSC technológia előnyei:

- megmunkálási idő csökkentése
nagy fajlagos forgácsleválasztás (cm^3/kW)
- nagy felületi simaság ($R_a \approx 1 \mu\text{m}$)
- komplikált rezgésre hajlamos (pl. vékonyfalú) munkadarabok problémamentes megmunkálása kis forgácsoló erő (30-40%-kal kisebb) és magas gerjesztő frekvencia miatt
- a forgácsolási hő szinte teljes mértékben a forgáccsal távozik, nincs munkadarab-hődeformáció; jó alak és méretpontosság
- jó forgácsolak, az anyag viselkedése ridegebb (tört forgács)
- száraz forgácsolás, minimálkenés lehetséges
- a HSC előnyei a műanyag-, gumi-, fröccsszerszámok, süllyesztékek grafit- és rézelekt-ródák gyártásánál csak akkor realizálódnak, ha CAD/CAM rendszerrel együtt, optimálva alkalmazzák.

HSC szerszámgéppel szembeni követelmények:

- ❖ nagy stabilitás és merevség
- ❖ nagy fordulatszám (20000...60000 ford/perc), rezgésmentes, kiegyensúlyozott főorsó
- ❖ kis gyorsítandó tömegek, dinamikus (1-3 g) előtolás-hajtás
- ❖ speciális HSC-re kifejlesztett NC vezérlés
- ❖ elszívó berendezés, gyors forgácseltávolítás
- ❖ „golyóálló” munkatér-borítás
- ❖ HSC szerszámot nemcsak a forgácsolóerő, hanem a jelentős nagyságú hanem a jelentős nagyságú röpítőerő is terheli,

A szerszámmal szemben támasztott követelmények:

- nagy kopásállóság, melegkeménység
- nagy szilárdság változó terhelés esetén is
- nagy hősokkállóság

A felsorolt követelményeknek a finom, ultrafinom szemcsés, bevonatos **keményfém** felel meg legjobban.

A **szerszám**kialakítás követelményei:

- ❖ körszimmetrikus kialakítás
- ❖ minimális kiegyensúlyozatlanság
- ❖ nagy axiális, radiális futáspontosság
- ❖ optimált élgeometria
- ❖ nagy forgácstér
- ❖ nagy merevség
- ❖ feszültséggyűjtő helyek kiküszöbölése

➤ **szertelt szerszámok** esetén:

- ❖ alakzárás lapkarögzítés
- ❖ szerszámtest nagy csillapítású anyagból, kis tömeggel (Al, Mg, Ti) készüljön
- A szerszámoknál gondoskodni kell a megbízható, pontos **befogásról**,
- A **szerszámok kiegyensúlyozása** elengedhetetlen.

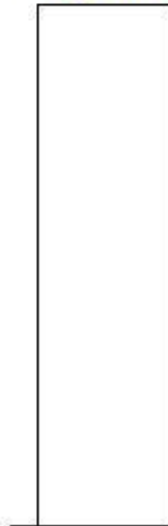
Öntőszerszám hagyományos és HSC megmunkálásának összehasonlítása

Hagyományos megmunkálás:

- elektródagyártás
- tömbös szikraforgácsolás
- polírozás

hagyományos megmunkálás

32,5 óra



HSC komplett megmunkálás

8,5 óra



Méret: 200 x 140 mm
marási mélység: 48 mm
Legkisebb rádiusz: 0,5 mm
Anyag: 1.2767 (X45NiCrMo4) HRC 57

Nagytermelékenységű forgácsolás

HPC (High Performance Cutting)

A nagyteljesítményű forgácsolás, a HPC (High Performance Cutting)

- ❖ jelentősen nagyobb **leválasztási teljesítményt** biztosít nagyobb forgácsolási sebesség és előtolás mellett, mint a hagyományos,
- ❖ a HSC-hez viszonyítva **kisebb sebességgel, nagyobb fogásmélységgel** dolgozik, mely nagyobb érdeességet eredményez.

A HPC megmunkálási folyamat négy határértéken

- gép maximális teljesítményén
- maximális nyomaték és előtolóerővel
- maximális, a hajtás és vezérlés által megengedett előtolási sebességgel
- maximális szerszámterheléssel való forgácsolást jelent.

A nagyteljesítményű forgácsolás, a HPC (High Performance Cutting)

- ❖ A fajlagos anyagleválasztásnak $\left(\frac{\text{cm}^3}{\text{min. kW}}\right)$ maximuma van, mely a gép munkadarab-, szerszámoldali peremfeltételektől függ HPC esetén nemcsak a főidő, hanem a mellékidő csökkentése is a cél.
- ❖ Új megmunkálási stratégiákkal, eljárásokkal, kombinált szerszámokkal növelik a teljesítményt.
- ❖ A HPC eljárást alkalmazzák üreges szerszámok, formák nagyolására, integrált repülőgépipari alkatrészek gyártásánál, melyeknél a teljes térfogat 80-95%-át kell leforgácsolni.

Keménymegmunkálás

HARD C

Forgácsolás kemény állapotban

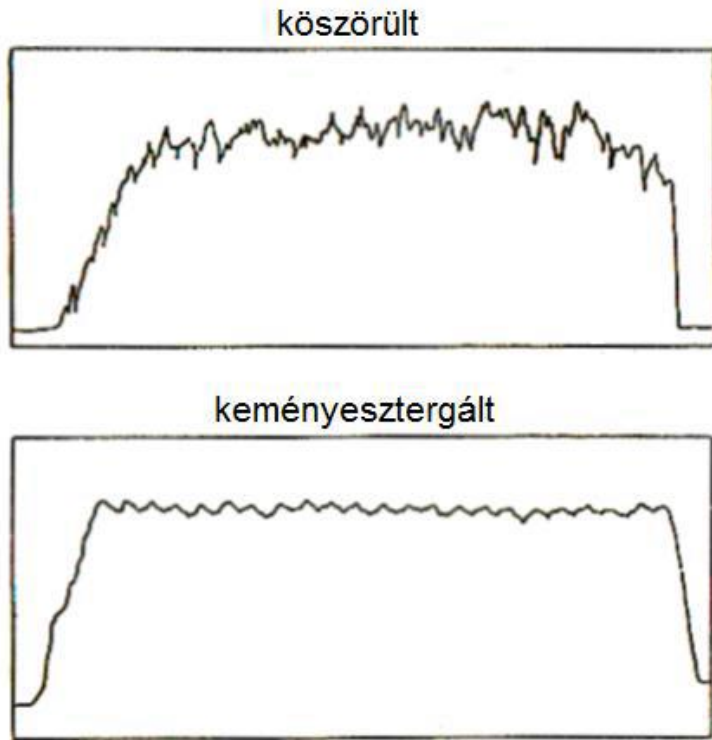
Az élananyagok, bevonatok, és a szerszámgépek fejlesztése lehetővé tette, hogy edzett acélokat, öntöttvasakat kemény állapotban 45-50 HRC felett határozott élgeometriájú szerszámokkal is megmunkáljanak.

A kemény állapotban történő forgácsolás termelékenyebb, rugalmasabb, mint a hagyományosan alkalmazott köszörülés, szikraforgácsolás. A megmunkálás egy felfogásban, szárazon végezhető. A gyártási sor rövidebb, nincs külön lágy és kemény forgácsolás, a gyártási idő csökken. Komplikált felületek egyszerűen előállíthatók. A kemény megmunkálás az esztergálás területén indult, a köszörülés kiváltását célul tűzve.

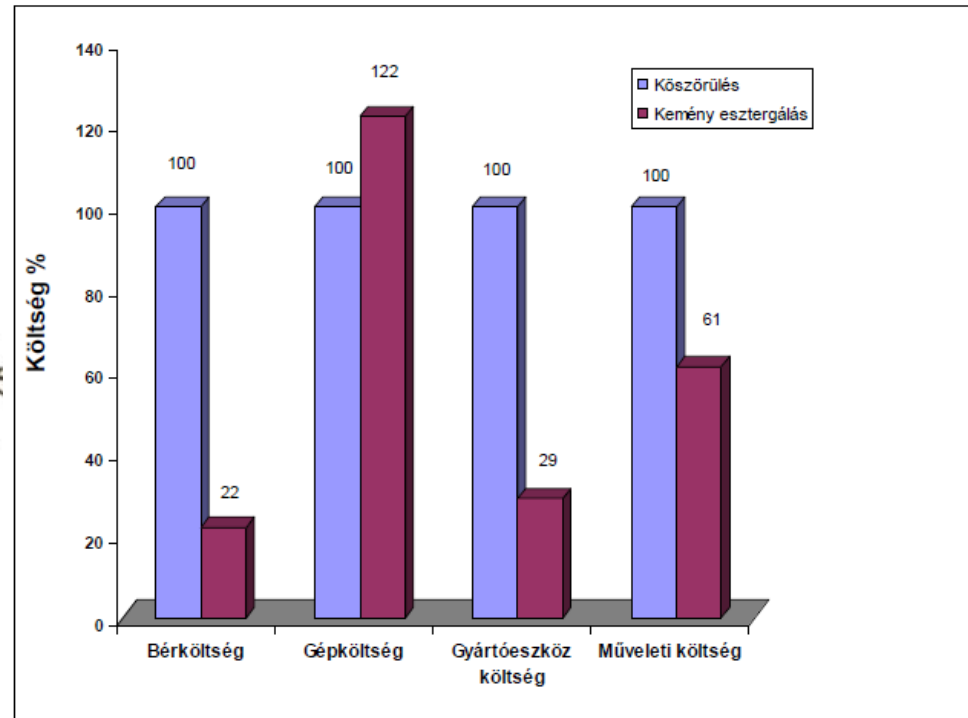
Kis beruházás – csak a szerszám ill. lapka! – miatt kis sorozatok esetén is gazdaságos. Tartós pontosságot és jó felületi jellemzőket (pl. hordfelületi tényező) biztosít.

Keménymegmunkálás

A kemény esztergálás elsősorban a köszörülés kiváltására alkalmas (pl. csapágygyártás).



Köszörült és keménysztergált felület jellegzetes érdességi képe



Köszörülés és keménysztergálás költségeinek összehasonlítása

Keménymegmunkálás

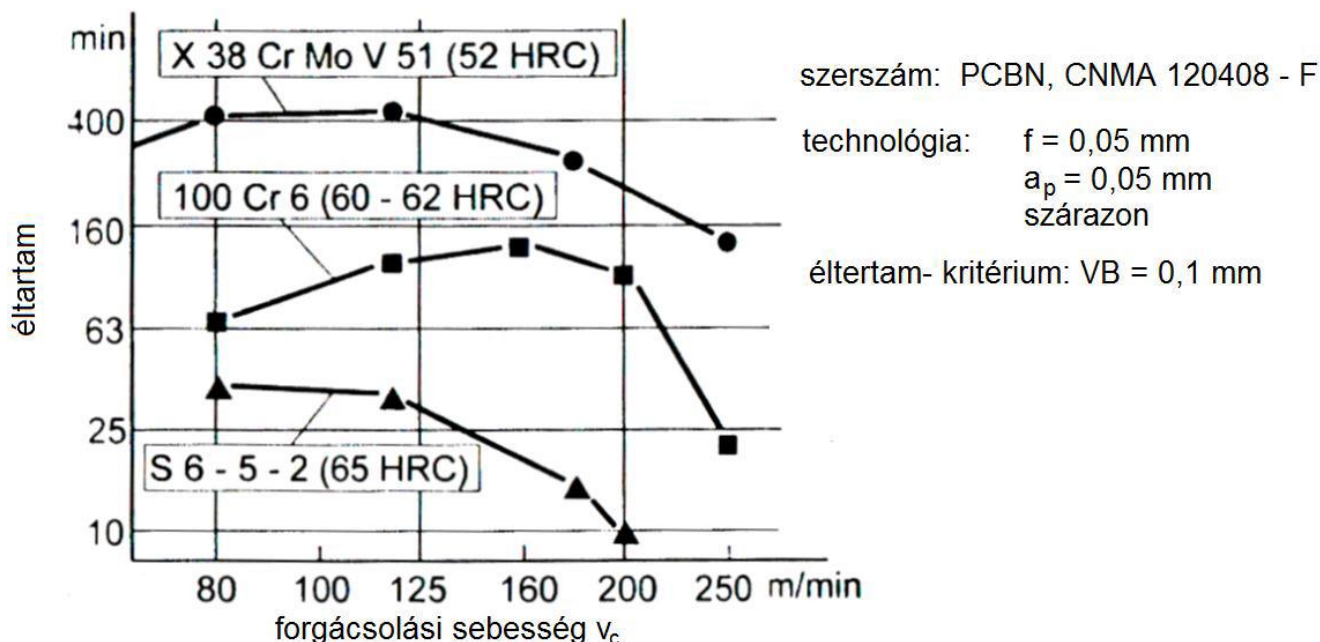
A **szerszám** lehet

- ❖ finomszemcsés ($<0,7 \mu\text{m}$) **keményfém**, K minőségű HW-K
- ❖ kevert **kerámia** CM, 30-40% TiC tartalommal, elsősorban megszakítás nélküli felületek simítására
- ❖ **köbös bórnitrid** PKB (CBN), nagy forgácsteljesítményhez durva szemcsés ($5-12 \mu\text{m}$) nagy (80%) **CBN** tartalommal
- ❖ finom megmunkáláshoz, kis fogásmélység és előtolás esetén finomszemcsés ($0,5-3 \mu\text{m}$) kis **CBN** tartalmú lapka
- ❖ Általában negatív élgeometriájú, védőfazettás szerszám
- ❖ Marásnál finom szemcsés keményfém tömör és váltólapkás szerszámokat használnak nagy hőállóságú bevonattal, pl. PLATIT n ACO nanokompozit, ez 1100°C -ig alkalmazható.

Keménymegmunkálás

A CBN szerszámok HRC 45-nél kisebb keménységű anyagok forgácsolásánál rohamosan kopnak, ezért ezen érték az alkalmazhatóságuk alsó határa.

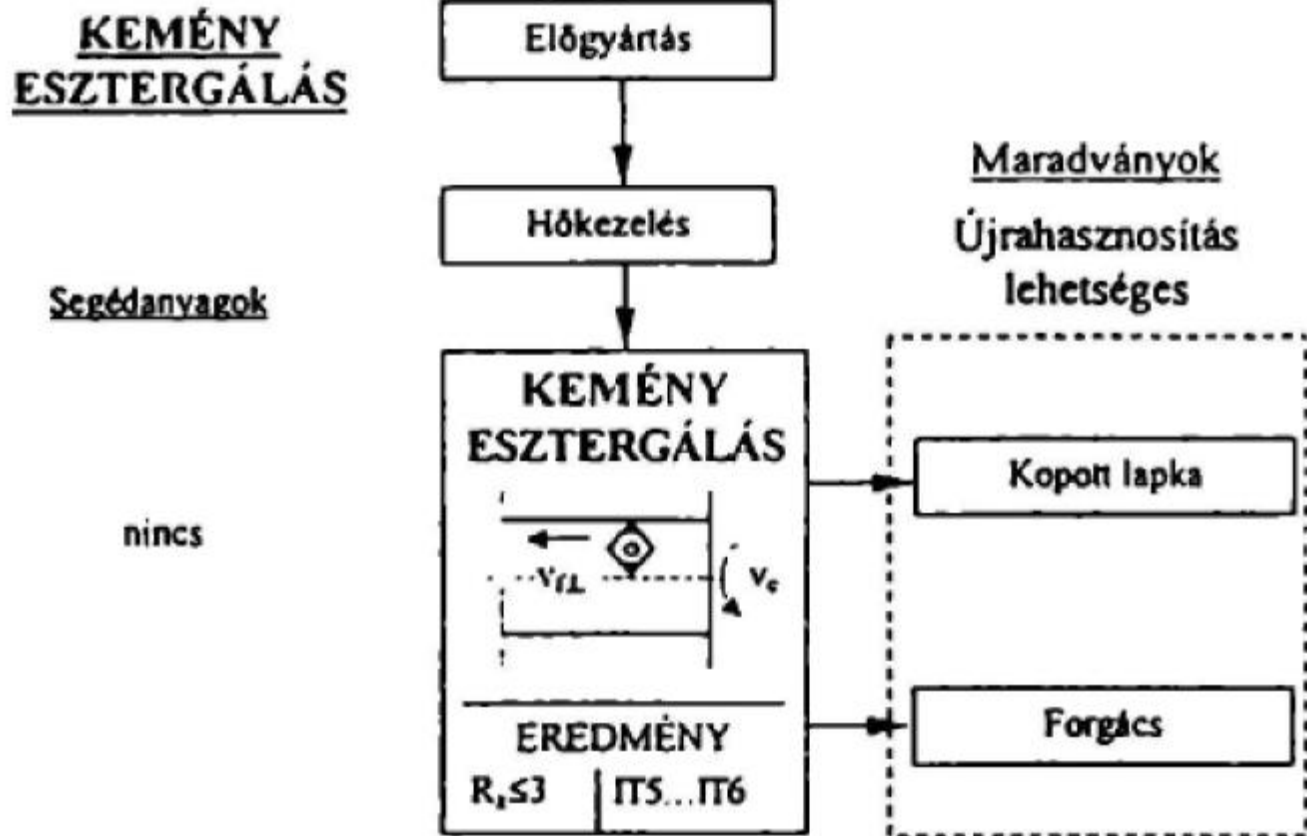
A diagramon látható: a sebességnek optimális értéke van (az éltartam szempontjából).



CBN szerszám éltartam-görbéi különböző keménységű anyagok esztergálásánál

Keménymegmunkálás

A keménymarás lehetősége megváltoztatta az üreges szerszámok gyártási folyamatát



Az alapanyaggyártók edzett alaplapokat szállítanak, melyekből kemény-forgácsolással, HSC-vel történik a szerszám készre munkálása, elmarad a lágy forgácsolás, edzés, szikraforgácsolás

Keménymegmunkálás

Eljárás	Élanyag	Forgácsolási adatok	Érdesség és pontosság
Keményesztergálás	CBN, kevert kerámia, finomszemcsés keményfém	$v_c = 100-220$ m/min $f = 0,05-0,2$ mm	$R_z = 1-3$ μ m IT6 – IT7
Keményfűrés	keményfém, TiN-bevonatos	$v_c = 40-60$ m/min $f = 0,02-0,04$ mm	$R_z = 2-4$ μ m IT7 – IT9
Keménymarás	CBN, finomszemcsés keményfém	$v_c = 200-350$ m/min $f = 0,1-0,2$ mm	$R_z = 2-5$ μ m IT7 – IT10

A keményforgácsolási eljárások és az adott technológiai adatok mellett elérhető pontosságok és érdességek

Szárazforgácsolás, minimálkenés DRY C (MMS)

Szárazforgácsolás, minimálkenés

Elsősorban környezet- és egészségvédelmi okok miatt célszerű a forgácsolást hűtő-kenő folyadék nélkül, szárazon végezni.

Száraz forgácsolás esetén elmarad a hűtő-kenő berendezés beruházási, üzemeltetési és karbantartási költsége, a hűtő-kenő folyadék beszerzési, kezelési és megsemmisítési költsége, a környezet – levegő, víz, talaj – szennyezése elmarad, és megszűnik az egészségkárosítás – bőr- és légúti betegségek – veszélye is.

Szárazforgácsolás esetén azonban gondoskodni kell hűtés-kenés elsődleges funkciójának

- hűtés (munkadarab, szerszám, szerszámgép)
- kenés (munkadarab – szerszám)
- forgácseltávolítás (munkatérből, munkadarabból)
- megfelelő pótlásáról.

Szárazforgácsolás

- ❖ A szárazforgácsolásnak megfelelően kell a szerszámot, szerszámgépet, technológiát kialakítani, összehangolni.
- ❖ A hűtés elhagyásával a forgácsolási hőmérséklet megnő.
- ❖ Az élményeknek nagy melegkeménységgel, jó kémiai ellenállással, nagy hőkifáradási határral, nagy nyomásállósággal és szívóssággal kell rendelkezniük.
- ❖ A bevonat megválasztásának követelménye a nagy hőállóság mellett, a kis súrlódási tényező és a megfelelő hőszigetelés, kis hővezetőképesség.
- ❖ Hűtés helyett az alakváltozásból keletkező hőmennyiség az élgeometria optimálásával, a súrlódásból adódó hő a megfelelő bevonat megválasztásával csökkenthető.
- ❖ A súrlódás csökkenthető a nyomóerő csökkentésével, HSC alkalmazásával.

Szárazforgácsolás

❖ A hő szerszámba való behatolását csökkenthetjük bevonattal, az érintkező hőátadó felületek és átadási idő csökkentésével, a nagy hőtartalmú forgács gyors elvezetésével.

❖ forgácstér optimalizálásával, HSC alkalmazásával.

Száraz forgácsolásnál a forgács eltávolítása a

- munkadarabból,
- szerszámból,
- munkatérből,
- szerszámgépből

jelenti a legnagyobb problémát, mely csak a gép, készülék, szerszám megfelelő szerkezeti kialakításával oldható meg. A forgácseltávolítás történhet gravitáció útján, elszívással, lefúvatással.

Szárazforgácsolás

- A forgács eltávolítását a munkadarabról megkönnyíti a vízszintes főorsó-elrendezés ill. a munkadarabok függőleges felfogása.
- A körszitalra fogott munkadarabot megforgatva kicentrifugálható a forgács.
- A hűtés hiánya miatt a gép – szerszám – készülék – munkadarab rendszer felmelegedéséből adódó hibák kiküszöbölésére már léteznek automatikus hőkompenzáló rendszerek.

Minimálkenés

- ❖ A szárazforgácsolásnál felvetődő problémák – éltartam-csökkenés, felhegedés, szövetszerkezet-változás a határrétegben, felmelegedésből adódó méret- és alakváltozás, korlátozott forgácseltávolítás – **minimálkenéssel (MMS – Minimalschmierung, MQL – Minimal Quantity Lubrication)** javítható, kiküszöbölhető.
- ❖ Kismennyiségű (**2-50 ml/óra**) kenőanyag sűrített levegőben elporlasztva és a forgácsolás helyére juttatva elég a súrlódás csökkentéséhez, felhegedés elkerüléséhez.
- ❖ A kenőanyag teljes mértékben elhasználódik, nincs maradék a munkadarabon és a forgácson.
- ❖ Nem szükséges a munkadarab mosása, a forgács közvetlenül újra feldolgozható.

Minimálkenés

- ❖ Az alkalmazott kenőanyag lebomló, környezetbarát növényi olaj, szintetikus észter, zsír, vagy alkohol a forgácsolandó anyagnak megfelelően.
- ❖ A minimálkenő berendezésben a kenőanyagot a tartályból a felhasználási helyre – a forgácsleválasztás helyére – kell szállítani.
- ❖ A kenőanyag hozzavezetése kétféle lehet:
 - Külső,
 - belső hozzavezetés

Külső hozzavezetés esetén a kenőanyagot nem lehet közvetlenül a forgácsleválás helyéhez vinni, mely a megmunkálás során változik, pl. fúrásnál. Szerszámcsere illetve váltás esetén új fúvókahelyzet beállítása szükséges. A külső hozzavezetéses rendszereket egyszerű gépeken pótlólag felszerelve alkalmazzák.

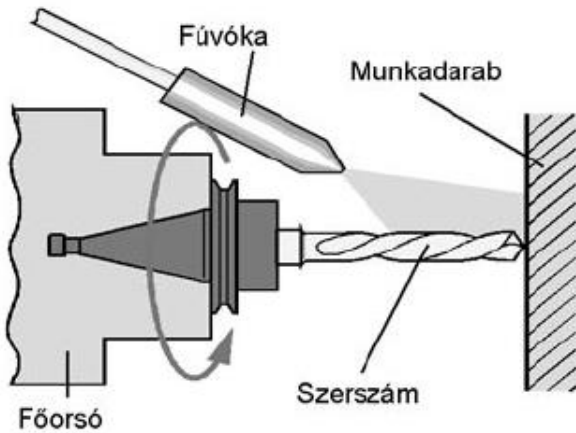
Minimálkenés

A **belső hozzávezetés** hűtőcsatornával/hűtőcsatornákkal történik, szerszámok lehetővé teszik a belső hozzávezetést, mely lehet

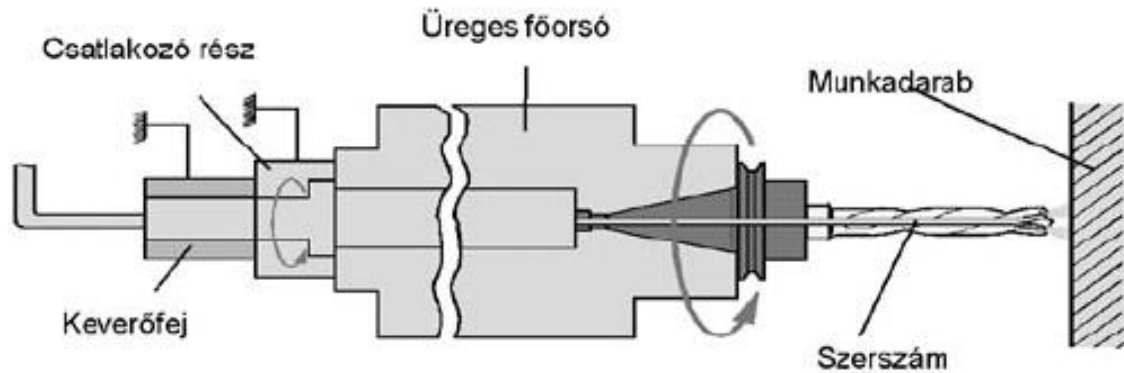
- ❖ **egycsatornás** (ábra); a permetet a gépen kívül hozzák létre (pl. booster), és egy vezetéken, forgó bevezetőn keresztül a főorsó furatán át juttatják a szerszámhoz. A nagy főorsófordulat miatt olyan permetet kell előállítani (cseppméret $\approx 1 \mu\text{m}$), mely nem centrifugálódik ki.
- ❖ **kétcsatornás** rendszer (ábra) esetén a levegőt és kenőanyagot forgó bevezetőn keresztül külön vezetik a keverőtérbe, mely lehet a szerszám befogóban, szerszámban. Így a kenőanyag kicentrifugálása kiküszöbölődik.
- ❖ Lényeges, hogy a levegő olaj keverés minél közelebb legyen a kenés tényleges helyéhez.

Minimálkenés

Az MMS adagolása két módon történhet:



Külső kenés



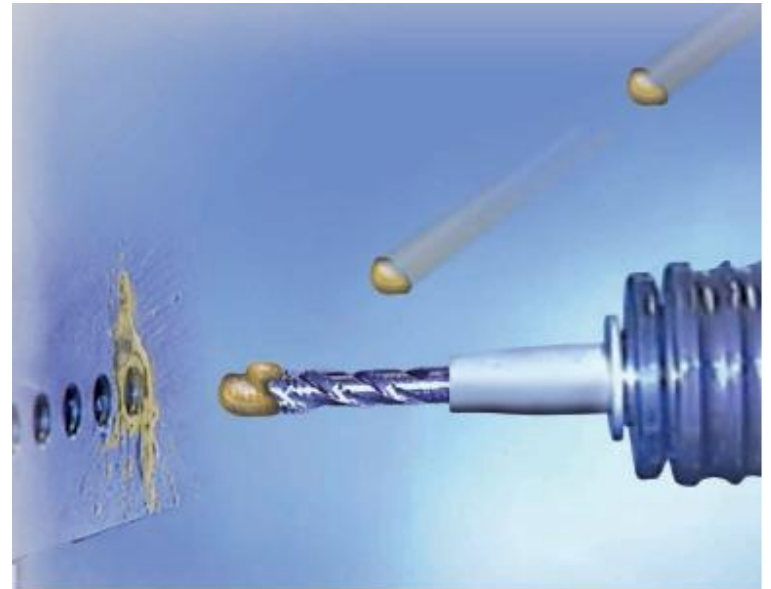
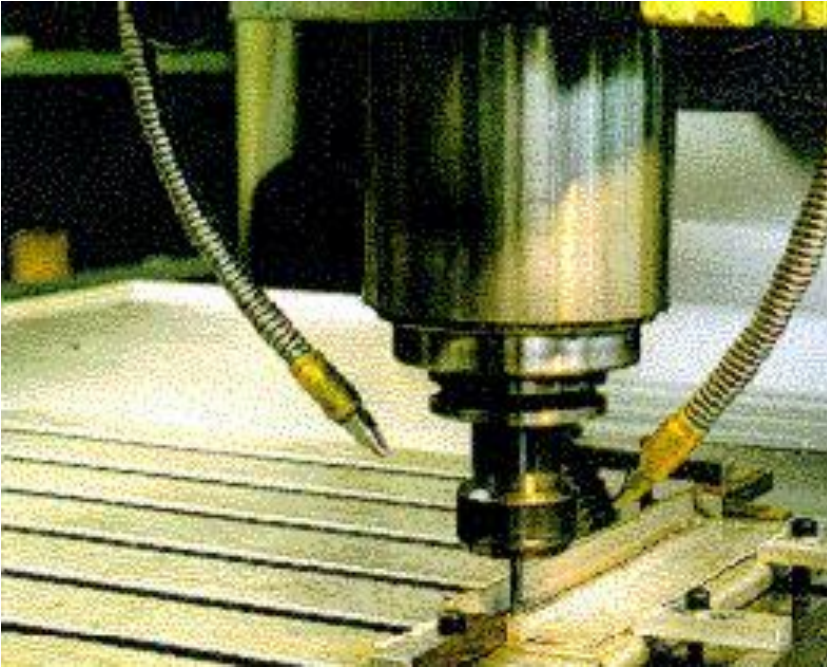
Belső kenés

Kívülről fúvókákon keresztül

A szerszám gép főorsó, illetve a szerszám csatornáin keresztül

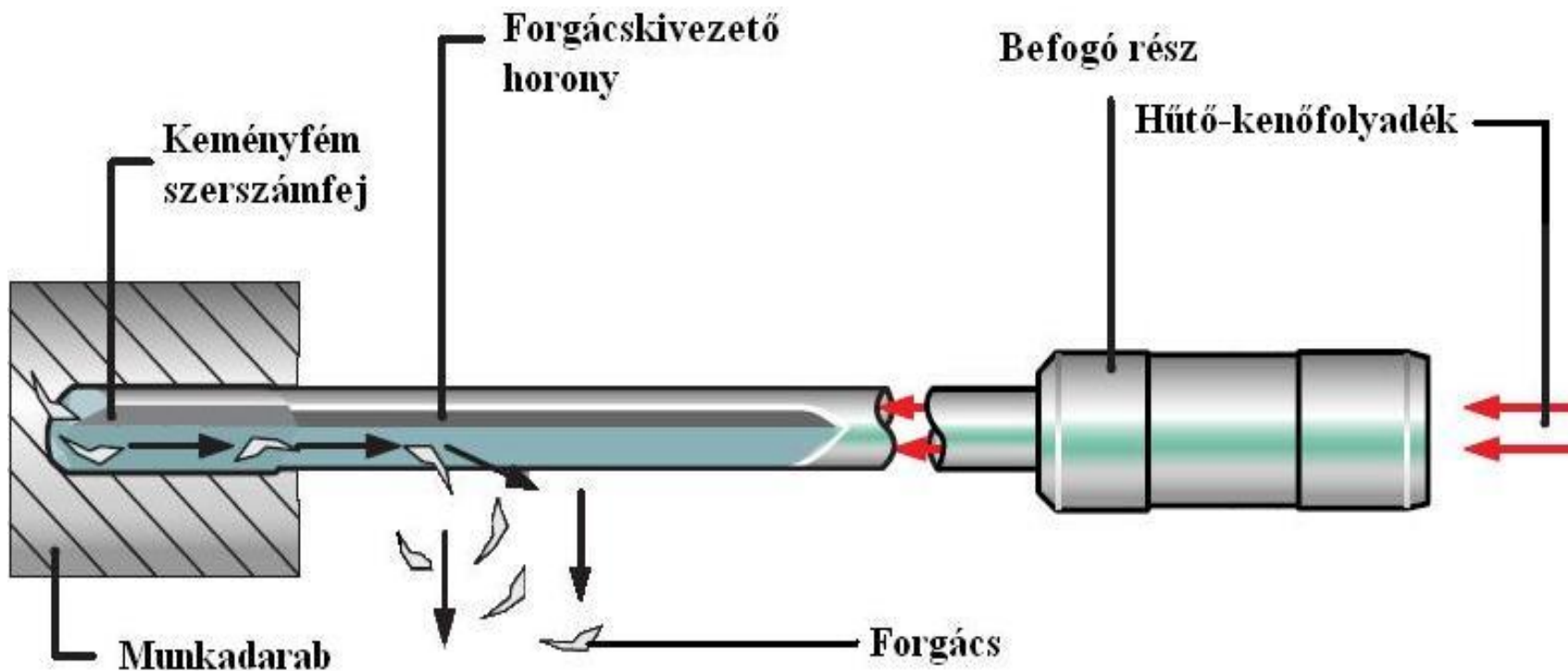
Minimálkenés változatai fúrásnál

Minimálkenés, száraz forgácsolás



Példák külső minimálkenésre

Minimálkenés, száraz forgácsolás



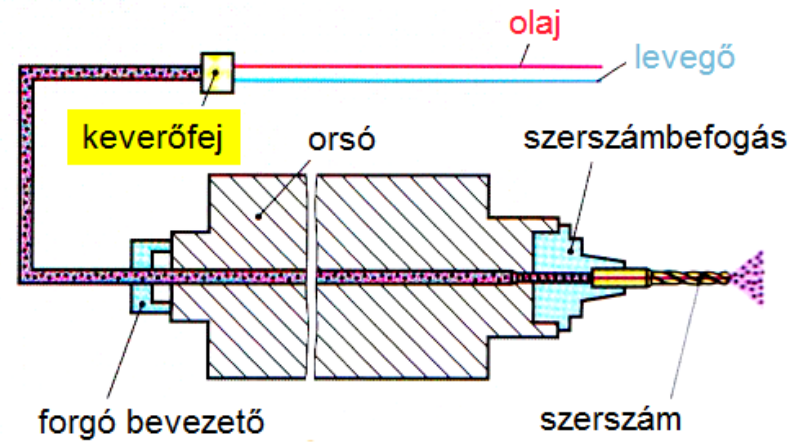
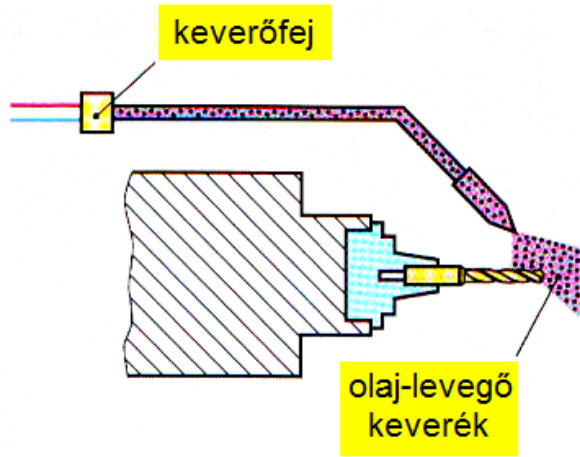
A kétcsatornás belső MMS adagolás

Minimálkenés

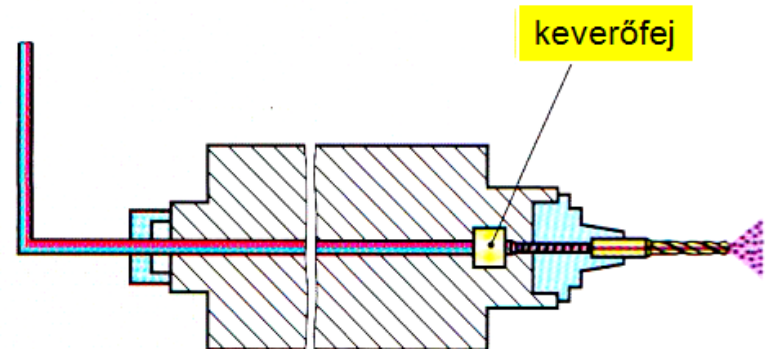
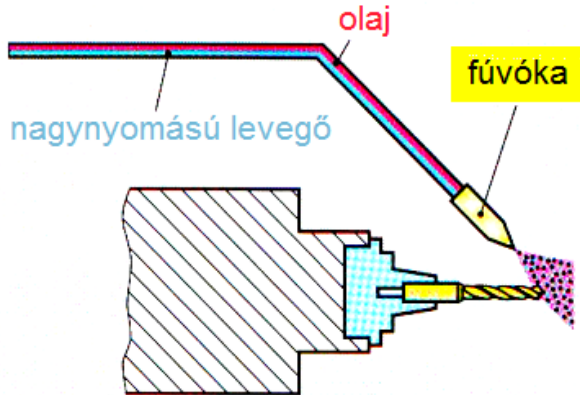
Külső hozzáférés,
fúvókákkal

Belső hozzáférés,
a szerszámon keresztül

Keverés a célgépben - külső



Keverés közvetlenül
a kilépés előtt



Minimálkenés

Gépsorokba, megmunkáló központokba magasan automatizált, belső hozzávezetésű rendszereket építenek be, a gép CNC-vezérlésébe integráltan; programozni lehet műveletenként, szerszámonként a permet összetételét – kenőanyag arányát és mennyiségét. Ilyen rendszerek dolgoznak ma már az autógyárakban, pl. az AUDI-Győr GROB gépein.

Ultrapreciziós megmunkálás UP

Ultraprecíziós 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

1. Ultraprecíziós megmunkálás UP

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

1. Ultrapreciziós megmunkálás UP

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, elektroké- miai 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 elektrodái	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: $F_v = 0,1 \text{ N} \dots 10 \text{ N}$

Ultraprecíziós megmunkálás

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: vákuumtokmány, műanyag, üveg ragasztással

Köszönöm a figyelmet!