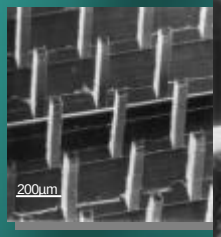
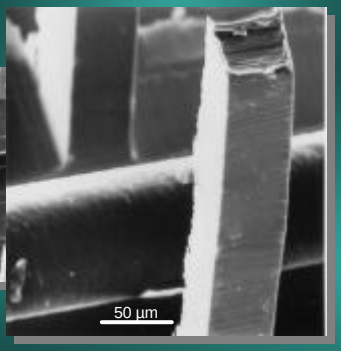
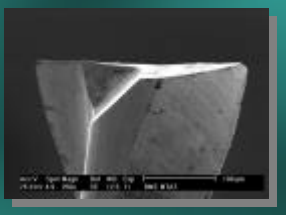
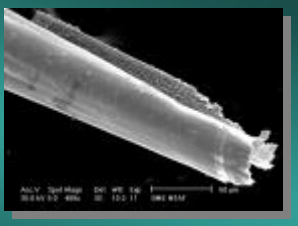
Mikroforgácsolás



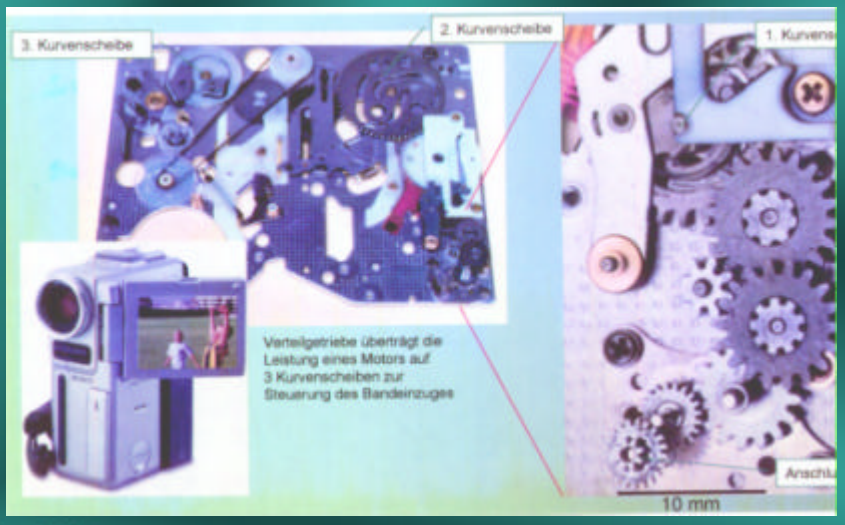






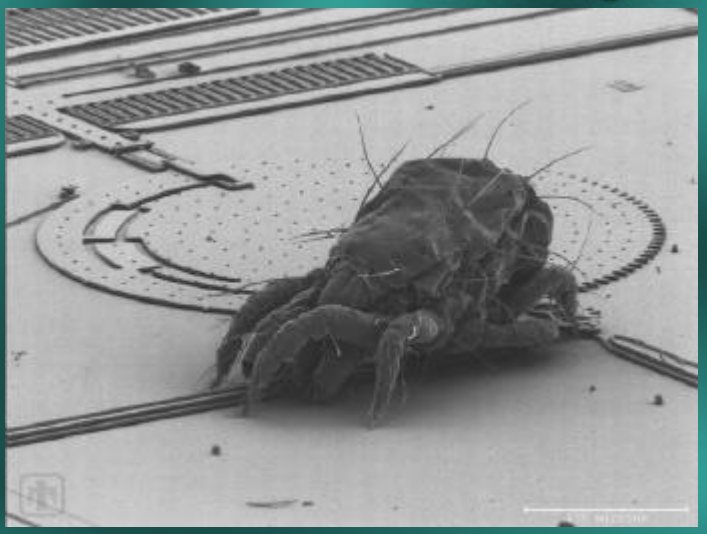
Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikroforgácsolás



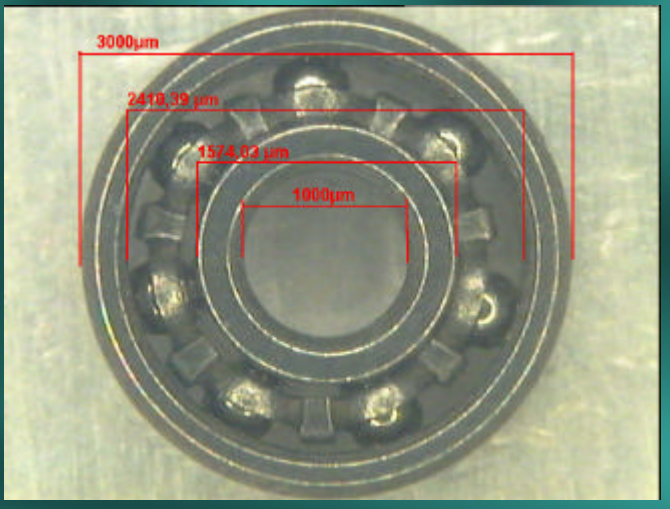
Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikroforgácsolás



Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

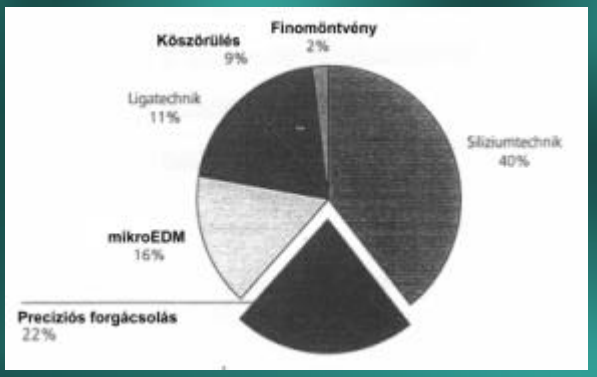
Mikroforgácsolás



Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikrorendszerek előállítása

Mikroforgácsolás



Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikroforgácsolás

	Maratás	LIGA (bis Galvanik)	Mikro forgácsolás	Lasertechnik
egyszerű struktúrák	++	++	++	++
pontszerű	++	o	++	++
nagy felület	++	++	++	+
kis és nagy felületek	o	++	++	+
szabad görbék	o	++	++	+

	Maratás	LIGA (bis Galvanik)	Mikro forgácsolás	Lasertechnik
2 merőlegos sík	++	++	++	++
több merőlegos sík	o	o	++	+
2 ferde sík	++	+	++	++
több ferde sík	+	–	++	+
szabad felület	–	–	+	o

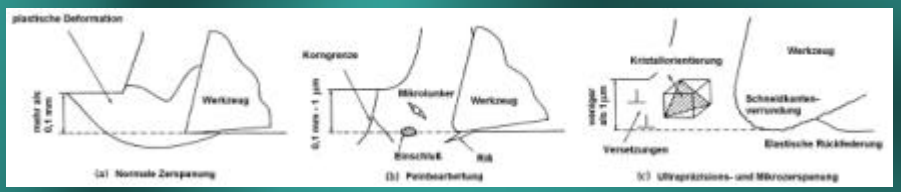
Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikroforgácsolás
Elefánt
2m
Kéz, madár
10cm
IC Chip
1cm
Homokszem
Ø1mm
Hajszál
Ø100µm
Sejt
Ø10µm
Porszem
Ø1- 5µm
Mikroforgácsolás (1...999µm)
Mikrotechnológia
Nanotechnológia
Elektronikai struktúra
20nm
IBM
Betuk atomokból
6,5nm
DNS lánc
2nm
Atom
0,1- 0,4nm
Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikroforgácsolás
Mikroköszörülés ¬
Mikroesztergálás ¬
Mikrofúrás ¬
Mikroforgácsolás
➔Mikromarás
Flexibilitás
• egy gépen sokféle megmunkálás
• „minden” anyag megmunkálható
• CIM lehetősége
Gyorsaság
• nagy fajlagos forgácstérfogat
• készremunkálás egy gépen
• Nincs szükség maszkra
Alakszabadság
• független a kristályorientációtól
• változatos szerszámforma
• szabadon programozható szerszámmozgás
• tényleges 3d-s felületek
Mikrorendszerek gazdaságos mikromechanikai strukturálása kis - és közepes darabszám esetén
Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Forgácsleválasztás

Mikroforgácsolás

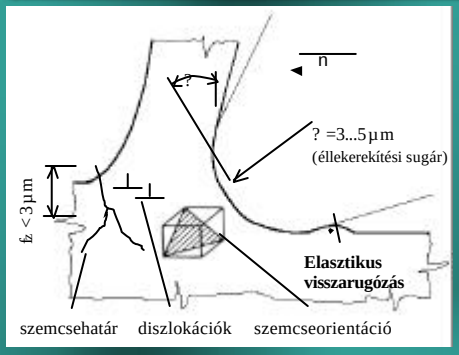


Takács Márton tm@manuf.bme.hu

BME

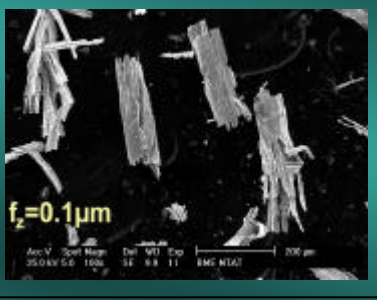
Forgácsleválasztás

Mikroforgácsolás



- Negatív homlokszög, pontról pontra változik a szerszámél mentén
- Rel. gyengébb szerszám → rel. nagyobb terhelés → elhajlás, kisebb éltartam
- Ellenirányú oldalon a bekezdéseknél nincs anyagleválasztás → rugalmas és képlékeny deformáció → felkeményedés (egy ponton a szerszám akár 100-szor is áthaladhat)
- Határozott forgácsleválasztás f_z=0.1µm-nál is

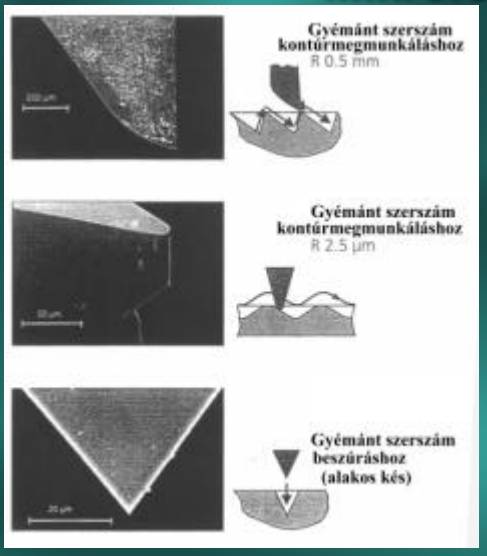
- Forgácsleválasztást befolyásolja: szemcseorientáció, -határ, diszlokációk
- Szerszám éllekerekítési sugarának szerepe elsodleges (→ -? ; h<? ; rel. nagyobb F_c)
- Karcsú szerszám → kis fogelotolás → eltávolítandó réteg kisebb az éllekerekítésnél



Takács Márton tm@manuf.bme.hu

BME

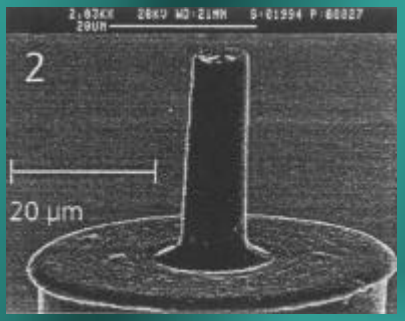
Mikroesztergálás



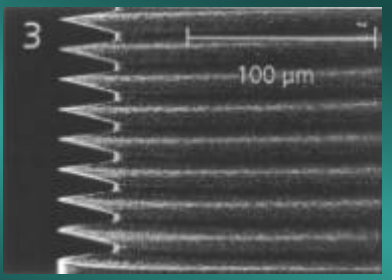
Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikroesztergálás

Mikroforgácsolás



Hosszesztergálás

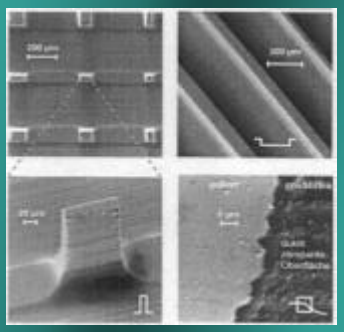


Profilesztergálás

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikroköszörülés

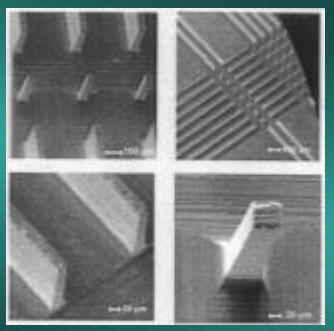
Mikroforgácsolás



Kvarcüveg

Paraméterek:

Mikroméretu köszörukorong
Szemcsenagyság: 12-25 µm
Szinterelt fémes kötés
v_c= 40 m/s
a_e= 200 µm
a_p= 300 µm
v_{ft}= 0,5 mm/min

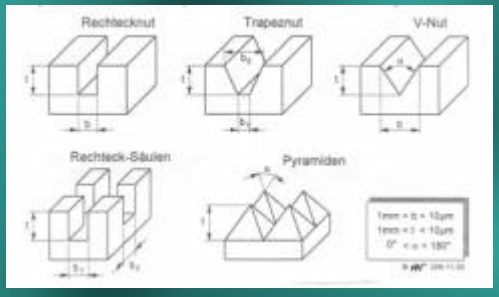


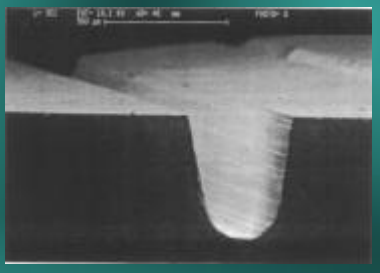
Zirkonoxid-kerámia

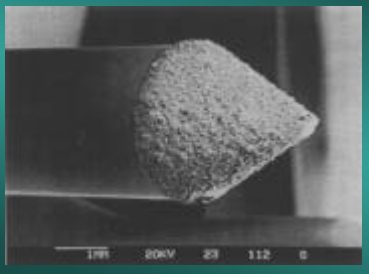
Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikroköszörülés

Mikroforgácsolás

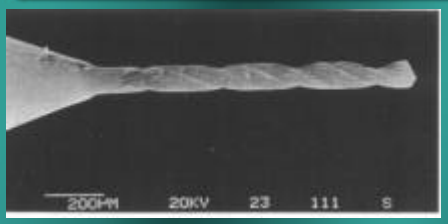


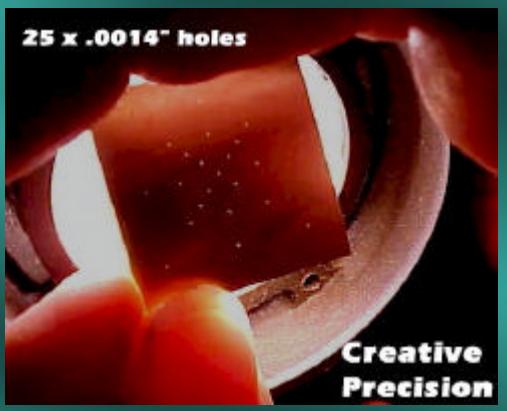




Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

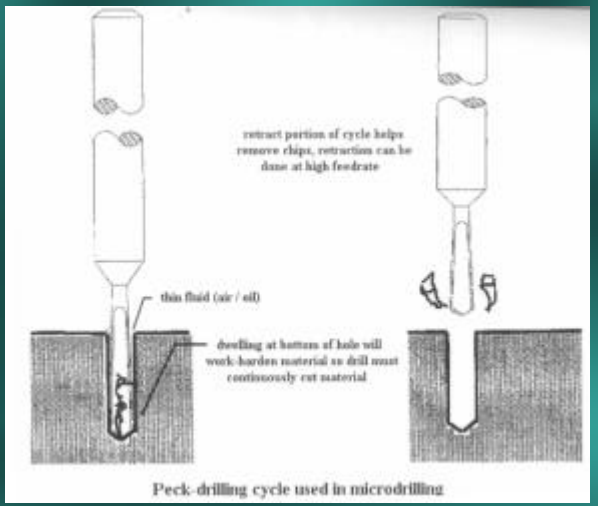
Mikrofúrás





Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikrofúrás



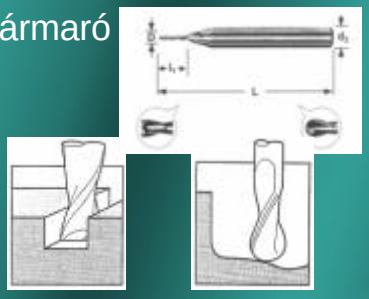
Peck-drilling cycle used in microdrilling

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

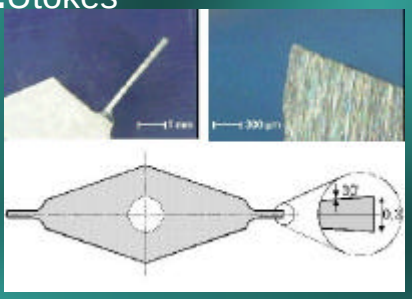
Mikromarás

Mikroforgácsolás

1. Származó



2. Ütokés



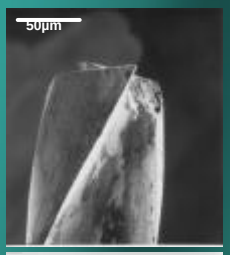
Mikromarás sajátosságai:

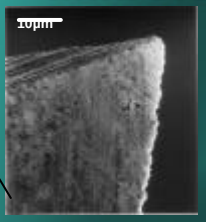
- kis átméro → nagy fordulatszám
  ⇒ speciális orsó (n=30.000-200.000 1/min)
- nagy pontosság ⇒ fokozott szerszámgépoldali követelmények (0,1 - 1µm)
- kisméretu forgácsleválasztás → egyes szemcsék hatása;
  → éllekerekítési sugár!

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

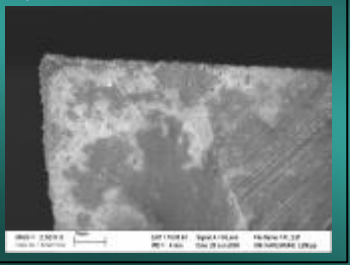
Mikromarás

Mikroforgácsolás



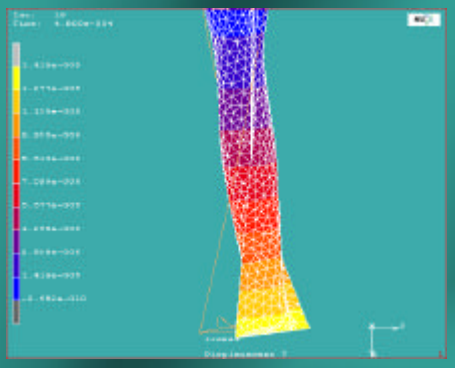


- Keményfém: WC-Co, mikroszemcsés, 2 élu, bevonat nélküli szerszámok
- Többféle gyártmány elérheto (Magafor, HAM, Jabro Tools, Kobelco, Gloor), min Ø100µm
- Élezési problémák
- Éllekerekítési sugár: 3-5µm
- Éltartam = élettartam



Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

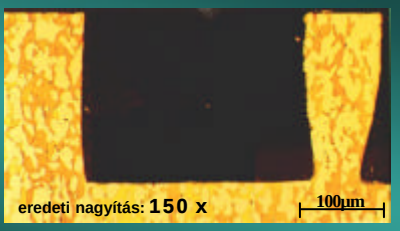
Szerszámdeformáció



Számított: $f = \frac{F_c \cdot l^3}{3EI_y} \approx 13mm$

Végeselemes számítás: 14.2 µm

Kép alapján mért:: ~15 µm



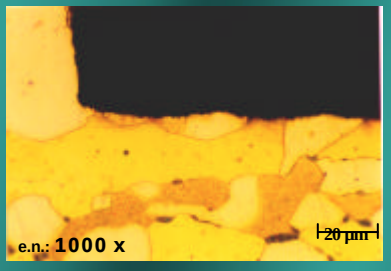
- Szerszámelhajlás a forgácsolási ero következtében

Paraméterek: Ø 300µm
CuZn39Pb3
v_c=60m/min, f_z=1 µm
a_p=15 µm → 0,3 µm

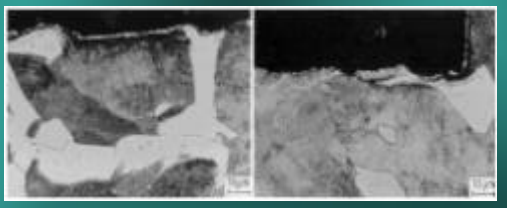
Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Anizotrópia hatása

Mikro származás



Ütokéses mikromarás

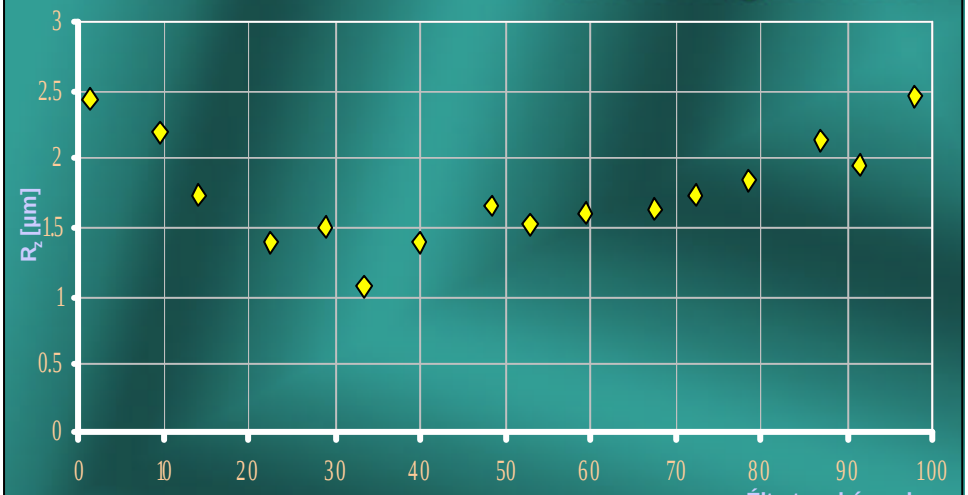


- Szemcsék tiszta átvágása
- Deformációs zóna, határmenti felkeményedés
- Eltéro szemcseorientáció → kés élére vonatkozó eltéro rugalmassági modulusz, eltéro anyagellenállás
- Szemcsék kitérése a kés elol és „visszarugózásuk” (mértéke orientációfüggo)
- Felnyílások a szemcsehatárokon

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikromart horony vizsgálata

Mikroforgácsolás

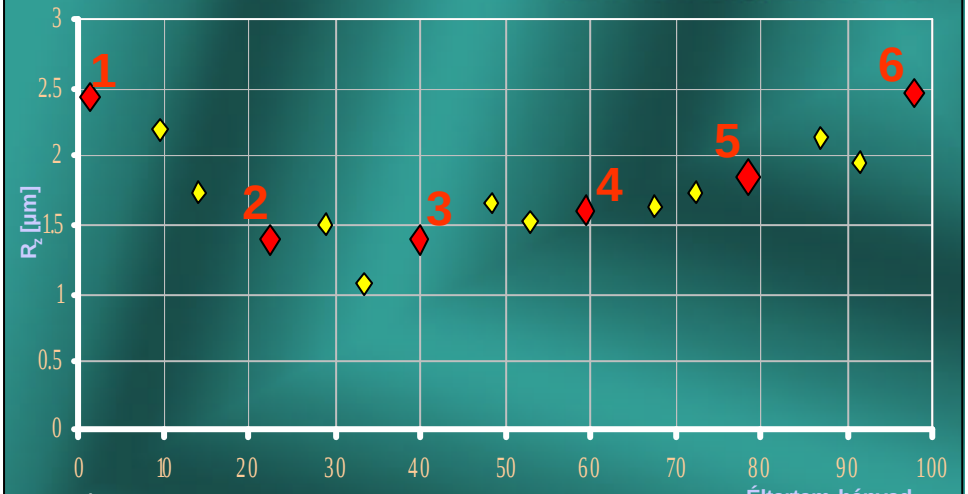


Paraméterek: Ck45 V450 (HRC 40), Ø300µm, v_c=30m/min, f_z=3µm, a_p=20µm

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikromart horony vizsgálata

Mikroforgácsolás

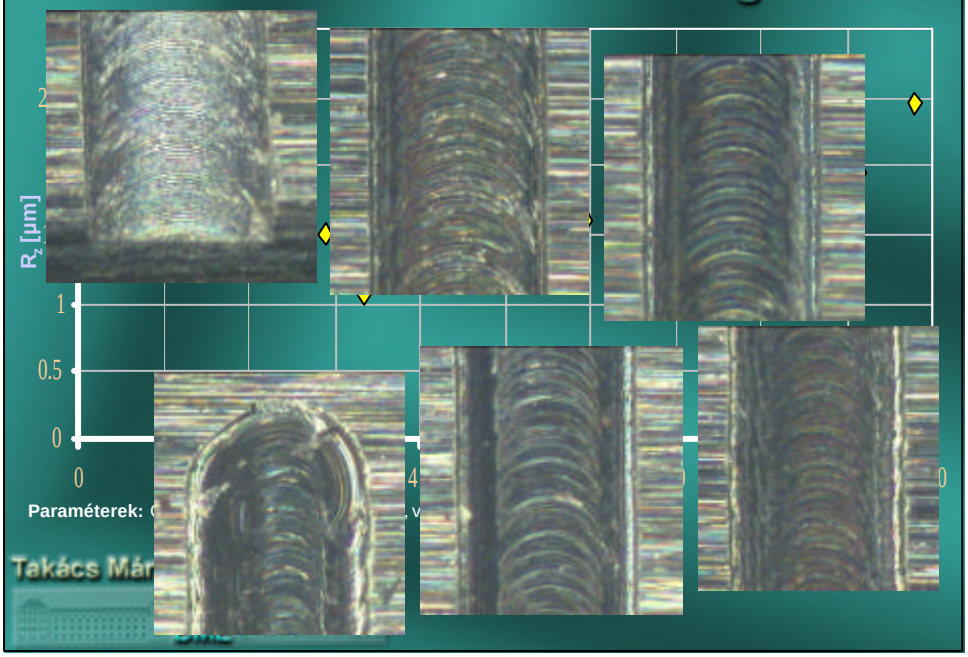


Paraméterek: Ck45 V450 (HRC 40), Ø300µm, v_c=30m/min, f_z=3µm, a_p=20µm

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

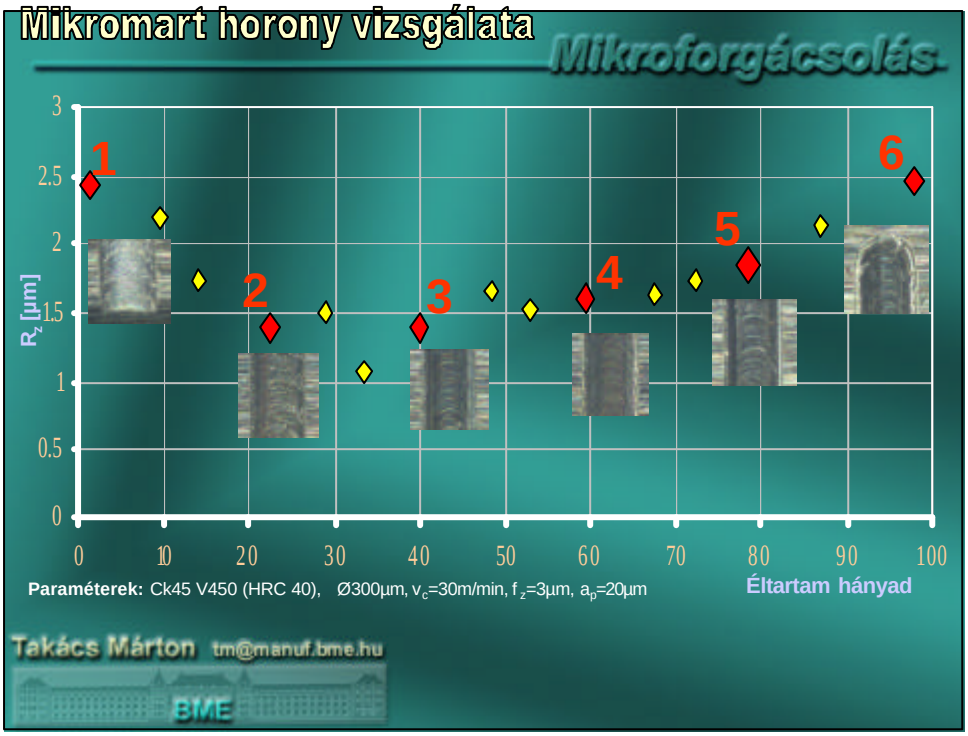
Horonyfenék

Mikroforgácsolás



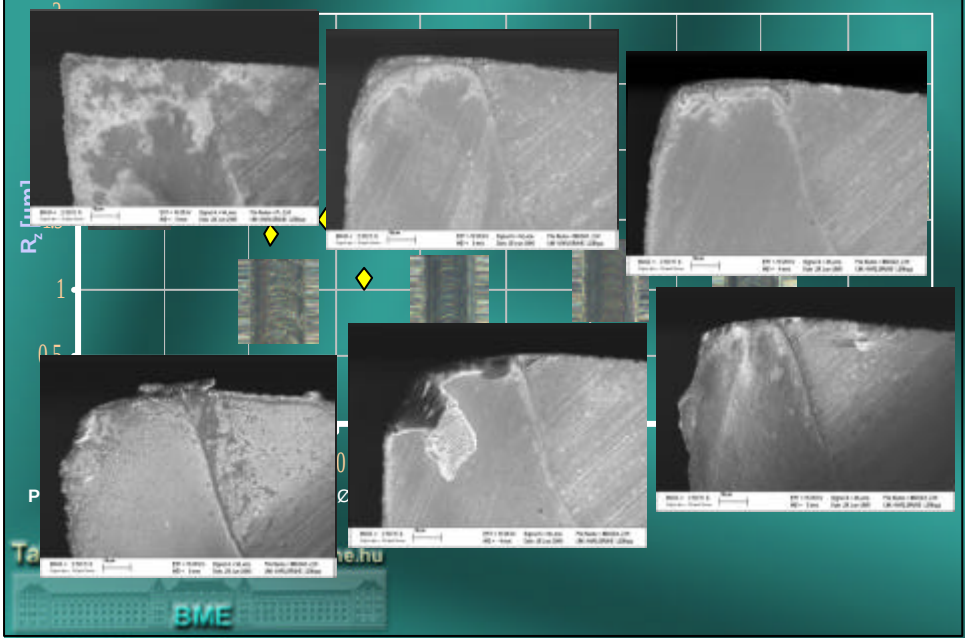
Mikromart horony vizsgálata

Mikroforgácsolás



Szerszámkopás

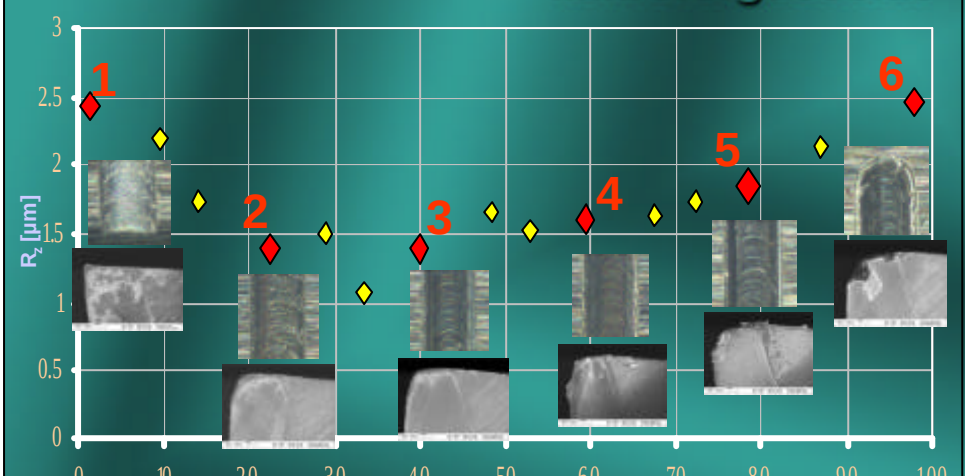
Mikroforgácsolás



BME

Mikromart horony vizsgálata

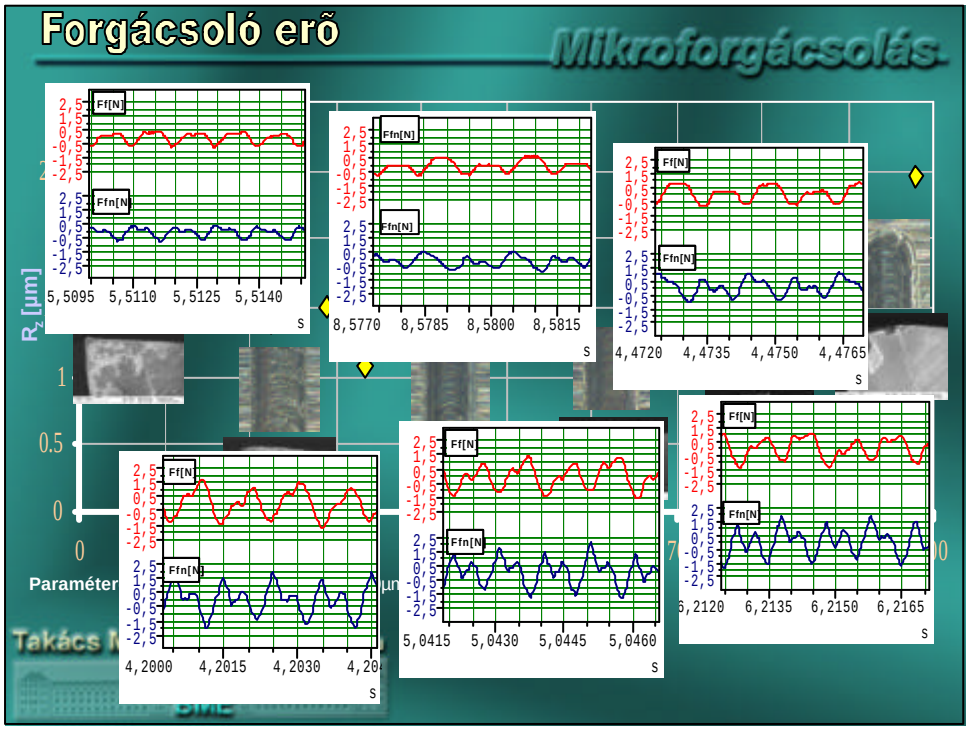
Mikroforgácsolás

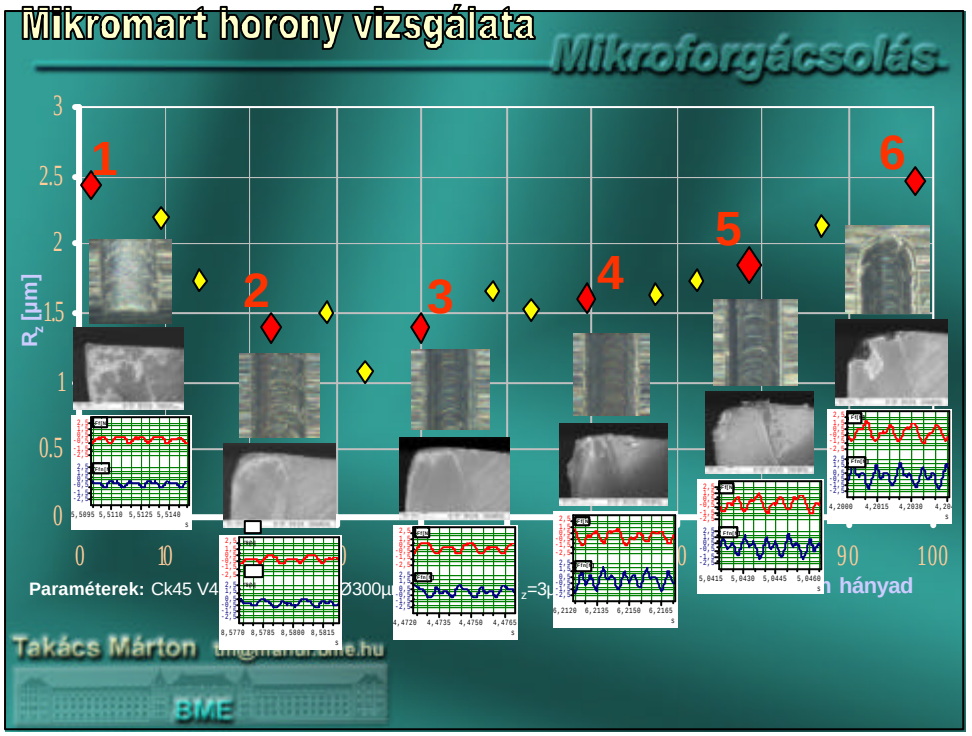


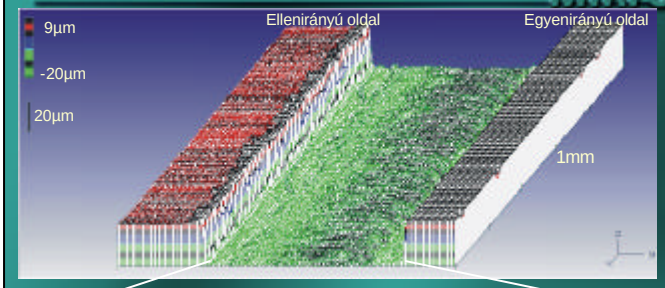
Paraméterek: Ck45 V450 (HRC 40), Ø300µm, v_c=30m/min, f_z=3µm, a_p=20µm

Takács Márton tm@manuf.bme.hu

BME


Forgácsoló erõ
Mikroforgácsolás
Ff[N]
Ffn[N]
s
Takács M
BME


Mikromart horony vizsgálata
Mikroforgácsolás
1
2
3
4
5
6
Paraméterek: Ck45 V4
hányad
Takács Márton
BME



Paraméterek:

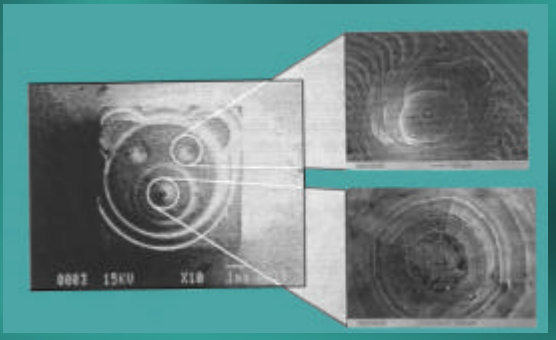
Ø 300µm
Ck45 T450
v_c=30m/min
f_z=3µm
a_p=20µm

- Nagyobb fogelotolás esetén kisebb mértéku sorjaképzodés
- Jobb minoség az egyenirányú oldalon

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Rádiuszos szármarás

- **CuZn39Pb3**
- **keményfém gömbmaró Ø 400µm**
- **n=65.000 1/min**
- **3 tengelyes gép**

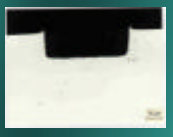
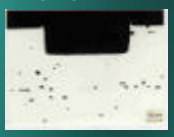
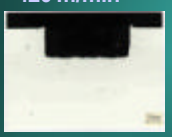
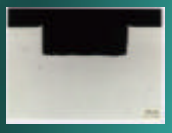
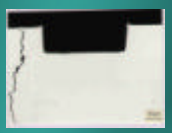
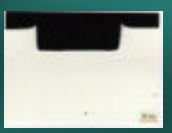
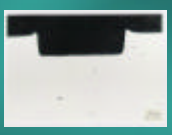
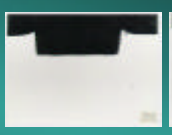
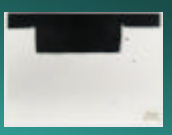
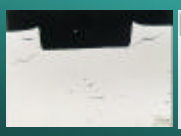
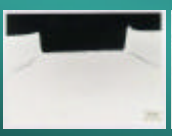
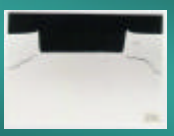


- **Tényleges 3d-s felület**
- **konkáv felületeken probléma:** v_c =0 m/min ⇒ **csak anyagdeformáció**

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Ütőkéses mikromarás

Mikroforgácsolás

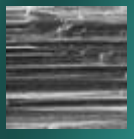
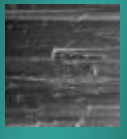
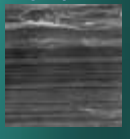
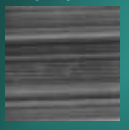
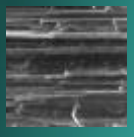
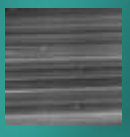
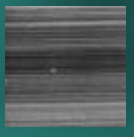
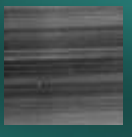
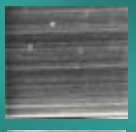
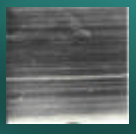
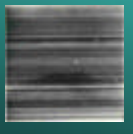
	5 m/min	100 m/min	220 m/min	420 m/min
Ck45 T450 (39.5 HRC)				
Ck45 T300 (51.3 HRC)				
Ck45 T180 (58.5 HRC)				
Ck45 edzett (61.5 HRC)				

Takács Márton tm@manuf.bme.hu

BME

Ütőkéses mikromarás

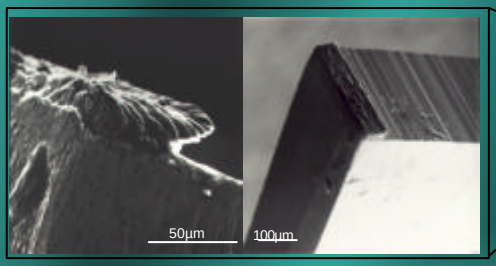
Mikroforgácsolás

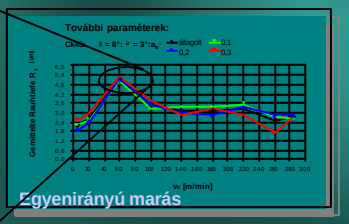
	5 m/min	100 m/min	220 m/min	420 m/min
Ck45 T450 (39.5 HRC)				
Ck45 T300 (51.3 HRC)				
Ck45 T180 (58.5 HRC)				
Ck45 edzett (61.5 HRC)				

Takács Márton tm@manuf.bme.hu

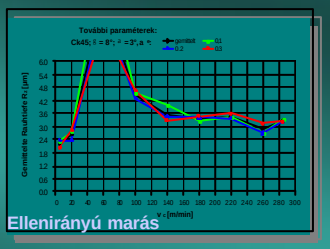
BME

Élrátét hatása



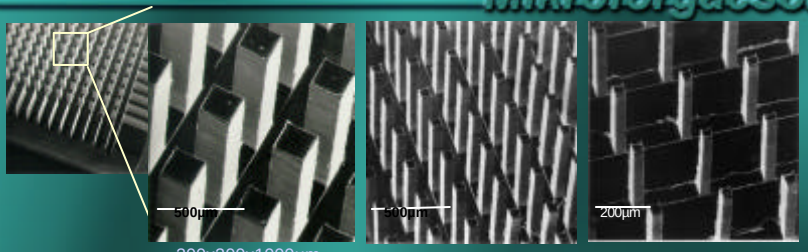


- v_c =40...120 m/min között élrátét képzodése miatt romlik a felületi minoség
- A homlokszög ill. vágási sebesség növelésével elkerülheto az élrátétképzodés
- Egyenirányú marásnál nagyobb az éltartam
- Kb. azonos felületi minoség egyen- ill. ellenirányú marásnál



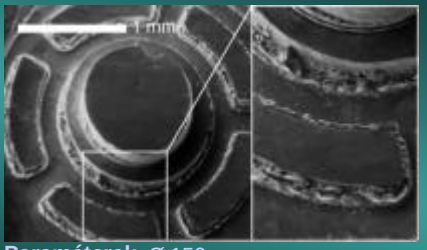
Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikromarási példák



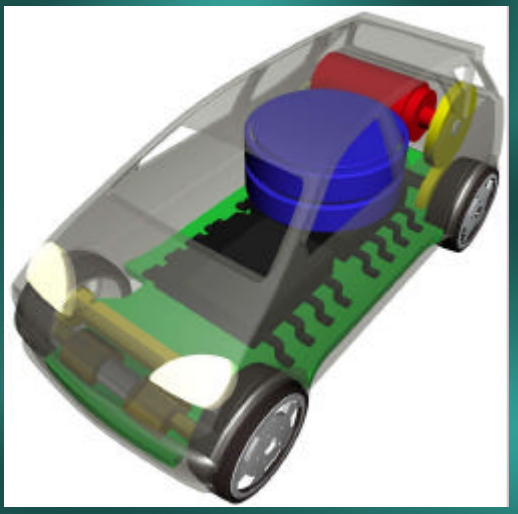
200x200x1000µm | 100x100x1000µm | 50x50x500µm

- Kedvezo optikai benyomás
- Jó felületi minoség (Rz =ca. 1µm)
- l/d viszony = 10
- Egyenes oszlopok
- Sorjaképzodés, eltávolítása pl. elektrokémiai polírozással
- Felhasználási példa: mikroméretu fröccsszerszám



Paraméterek: Ø 150µm
Ck45 V300 (HRC 51)
v_c=30m/min, f_z=1 µm, a_p=5 µm
Kb. 3 óra

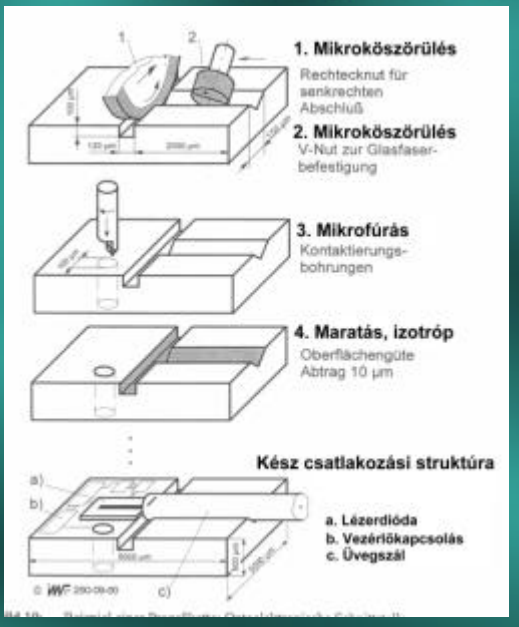
Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME



Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Eljárások ötvözése

Mikroforgácsolás



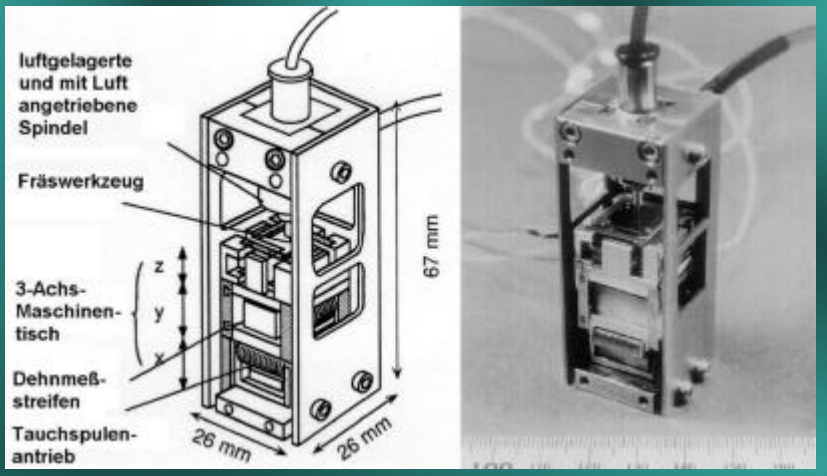
Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikromarógép

FANUC ROBOnano Ui

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikromarógép



Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikromarógép

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

µEDM

- Kisülési energia nagyságának csökkentése → leválasztott anyagmennyiség csökken → pontosság no

- Dielektrikum: olaj vagy víz

Olaj elonyösebb (rés: 1 µm)

Víz esetén nagyobb rés (5µm), de nagyobb sebesség (nagyobb pontatlanság)

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

µEDM

Mikroforgácsolás

Micro Electro-Discharge Machining (µEDM) - **Mikro-szikraforgácsolás**

Strukturálás akár 5 µm-ig!

Alkalmazás:

- Gyorsulásméro
- Eroegyensúly-jeladó
- Száloptika rögzítése
- Mikroméretu csapok, -fogaskerekek, -rugók
- Mikro-fröccsszerszámok
- Mikrolyukak

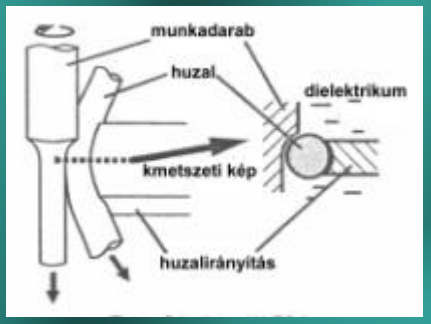
Takács Márton tm@manuf.bme.hu

BME

WEDG

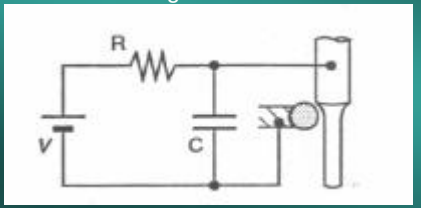
Mikroforgácsolás

Wire electrodischarge grinding - **Huzalos szikraforgácsolás**



- Alapelv megegyezik az EDM-el
- Ez a legalkalmasabb mikroméretu hengerek eloállítására
- Huzal megvezetése horonyban, sebessége 5-10 mm/min

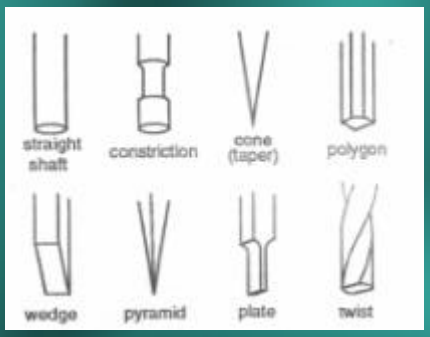
Relaxációs generátor WEDG-nél



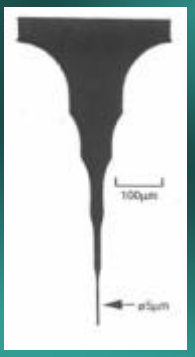
Takács Márton tm@manuf.bme.hu

BME

WEDG



WEDG-el kialakítható jellegzetes formák

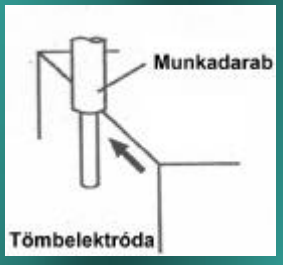


WEDG által gyártott mikrotu

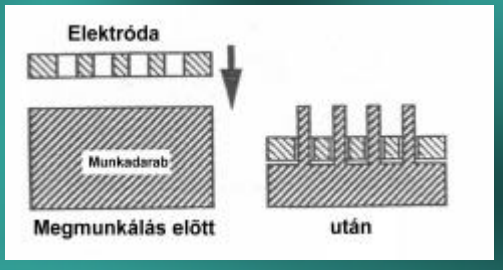
Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Reverse EDM

Reverse electrodischarge machining - Tömbelektródás szikraforgácsolás



Tömbelektróda

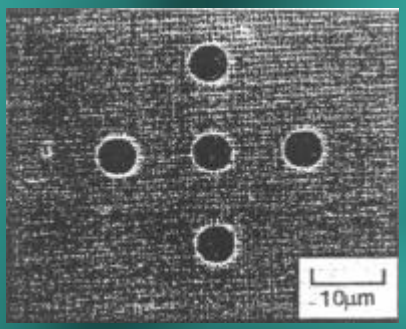


Hálóelektróda

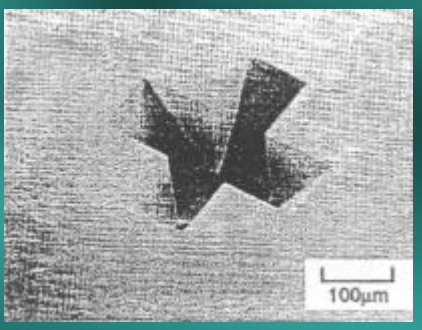
- Geometria behatárolt: egyenes vagy lépcsos
- Gyors

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Reverse EDM



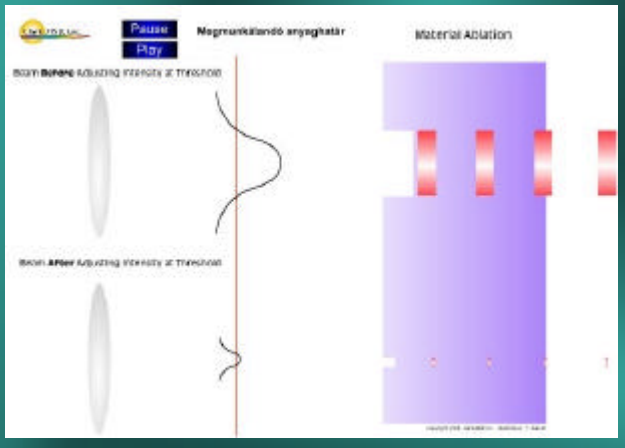
Mikrolyukak



Éles kontúrral rendelkezo mikroüreg

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Lézeres mikromegmunkálás



- Ultragyors impulzusok (<10 picosekundum) → nincs hodiffúzió
- Itt a fókuszfolt elérheti a sugár hullámhosszát)
- Gauss-eloszlású intenzitás

- Megfelelo fókuszálás →fókuszfolt 1/10-ede választható le
- Nincs hohatásövezet
- Transzparens anyagok belsejében is kialakítható struktúra

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Lézeres mikromegmunkálás

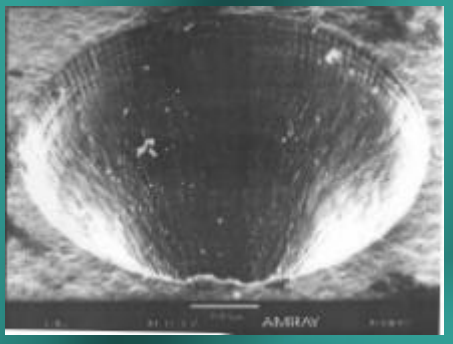
Mikroforgácsolás

Takács Márton tm@manuf.bme.hu

BME

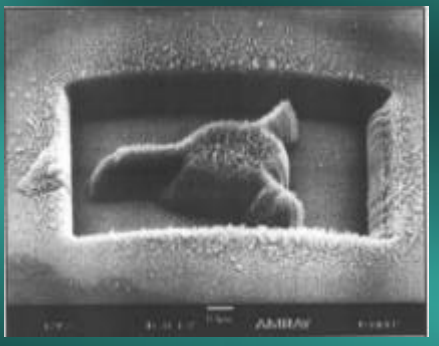
Lézeres mikromegmunkálás

Mikroforgácsolás



scaled bar=100 mikron

Excimer lézeres anyagleválasztás

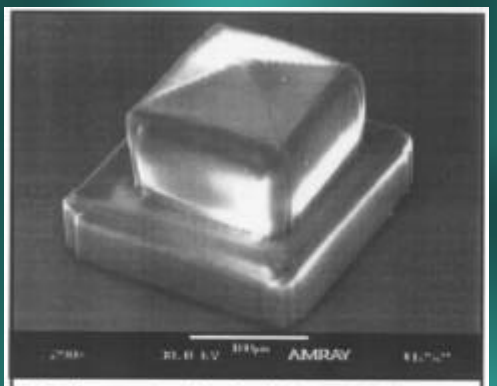


scaled bar=10 mikron

Takács Márton tm@manuf.bme.hu

BME

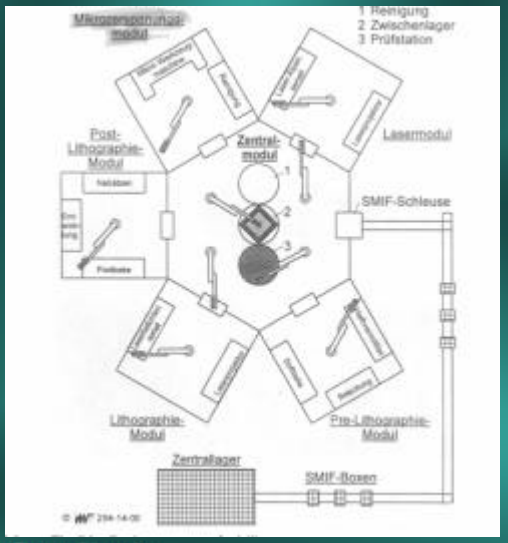
Lézeres mikromegmunkálás



Stacked square posts polymerized in 2 steps with 351 nm excimer laser. The top of the structure has a slight crown due to inability to maintain a flat surface of fresh polymer. The crossed lines on the top are due to mechanical hysteresis in the stages used to translate the polymer in a square pattern. Scale bar = 100 micrometers.

Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Mikroforgácsolás



Takács Márton tm@manuf.bme.hu
BME

Köszönöm a figyelmet!

Takács Márton tm@manuf.bme.hu

BME