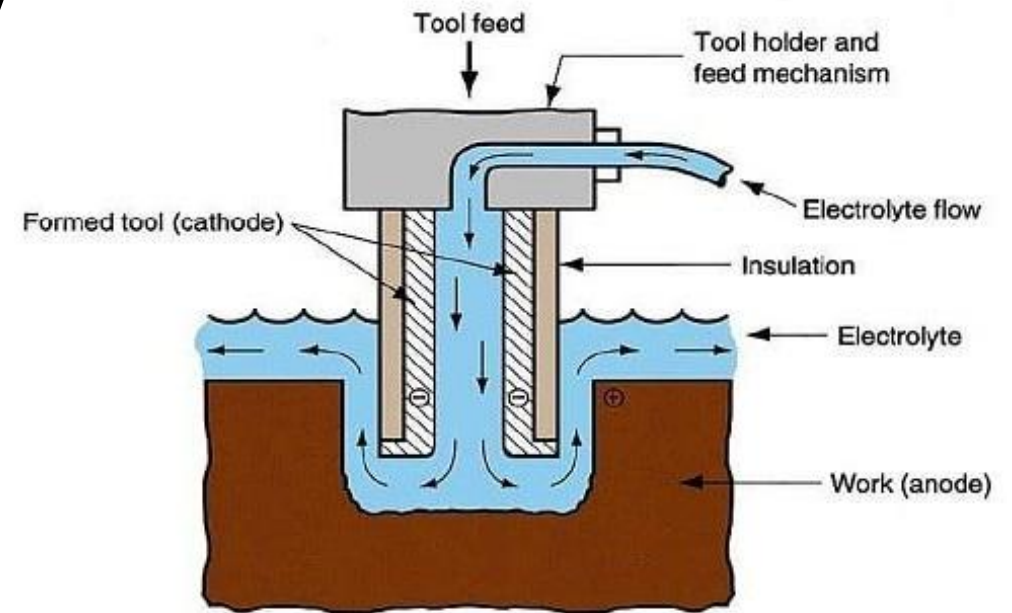


Elektrokémiai
anyagmegmunkálások
Electrochemical Machining
(ECM)

Elektrokémiai anyagmegmunkálások elve

- Az elektrolízis jelenségét használják fel anyagleválasztásra.
- Az elektroliton keresztül kis feszültségű, nagy áramerősségű egyenáram folyik át.
- Az anód felületéről elektronok válnak le, a fémes kötés a felületen felbomlik, így a fémionok oldatba mennek.
- A katód felé H^+ ionok áramlanak és a felületén H_2 molekulák formájában kiválnak.
- A leválasztott anyagot az elektrolit áramlása elszállítja.



Oldódás és passzíválódás

- Színfém anód esetén az oldódás akkor indul meg, ha a fém és az oldat közti potenciál-különbség pozitívabb, mint az oldatba merülő fém reverzibilis elektródpotenciálja.
- Keverék elektród (ötvözet) **potenciálja** ugyanakkora, mint a kevésbé nemes (azaz negatívabb normálpotenciálú) alkotórészből álló elektródé volna ugyanabban az oldatban.
- **Ha ötvözet oldódik**, akkor először a kevésbé nemes alkotórész oldódik, a nemesebb alkotórész észrevehető mértékben csak a másik alkotórész teljes feloldódása után megy oldatba.
- **Passzivitás:** vannak fémek (pl. vas, nikkel, króm, alumínium, tantál), amelyek sokkal pozitívabb potenciálon mennek oldatba (nagy áramsűrűségek esetén), mint az elméletileg számított egyensúlyi potenciál. Néhány ionfajta jelenléte megakadályozhatja a passzíválódást (pl. a vas Cl^- ionok jelenlétében nem passzíválódik)
- A **passzivitás oka** általában a fémfelületen kialakuló vékony, összefüggő oxidhártya.

Rendszer	$e^0(\text{V})$
Li/Li^+	-3,020
K/K^+	-2,920
Ba/Ba^{2+}	-2,900
Na/Na^+	-2,710
Al/Al^{3+}	-1,660
Zn/Zn^{2+}	-0,760
Fe/Fe^{2+}	-0,440
Sn/Sn^{2+}	-0,140
Pb/Pb^{2+}	-0,130
Fe/Fe^{3+}	-0,040
$\text{H}_2/2 \text{H}^+$	0,000
Sn/Sn^{4+}	0,050
$\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}^{4+}$	0,150
Cu/Cu^{2+}	0,340
$\text{O}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4 e^- \rightarrow 4 \text{OH}^-(\text{aq})$	0,401
$2\text{I}^-/\text{I}_2$	0,540
$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$	0,760
Ag/Ag^+	0,800
Pb/Pb^{4+}	0,800
$2\text{Br}^-/\text{Br}_2$	1,070
$\text{O}_2(\text{g}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 4 e^- \rightarrow 4 \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$	1,229
$2\text{Cl}^-/\text{Cl}_2$	1,360
$\text{Cl}^-/\text{ClO}_3^-$	1,450
$2\text{F}^-/\text{F}_2$	2,850

Elektrokémiai alakcsüllyesztés

- Szerszám negatívja alakul ki a megmunkálás során, figyelembe véve a megmunkálási rést.
- Az anyagleválasztási sebességnek megfelelő előtolást kell biztosítani a szerszámnak.
- Munkadarabnak fémesen vezetőnek kell lenni.
- Nagy Si és C tartalmú ötvözetek megmunkálására az eljárás nem alkalmas → passzíválódás.



Elektrokémiai alakcsüllyesztés

- Technológiai jellemzők:

- Anyagleválasztási sebesség:

$$Q = \frac{60 \cdot 10^3}{96500 \cdot \rho} \frac{A}{n} I$$

A – a leválasztott fém atomsúlya

n- oxidációs fok változás

96500 – Faraday szám

I – áramerősség

ρ - sűrűség

- Előtolási sebesség:

$$v_f = \frac{Q}{F} = \frac{60 \cdot 10^3}{96500 \cdot \rho} \frac{AI}{nF} = KJ \text{ [mm/min]}$$

F – felület

J – áramsűrűség

$v_f = 0.5-20 \text{ mm/min}$

- Áramsűrűség: $J=15-300 \text{ A/mm}^2$

- Elektrolit ellenállása:

$$R = \frac{1}{\chi} \frac{\delta}{F} \quad [\Omega]$$

δ – munkarés

χ – elektrolit fajlagos vezetőképessége

- $v_f = K \frac{I}{F} = K \frac{\chi F}{\delta F} U = K \frac{\chi}{\delta} U$

arányos a feszültséggel állandó munkarés esetén

- $\delta=0.025-0.75 \text{ mm}$

- $I=50-20000 \text{ A}$

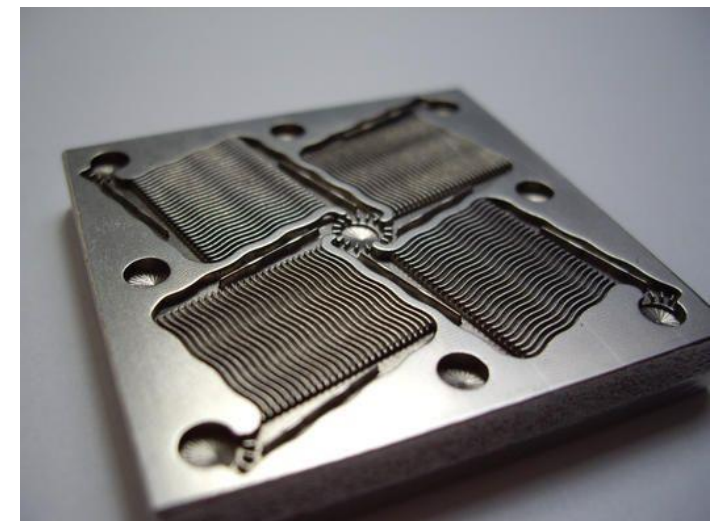
- $Q=650-4500 \text{ mm}^3/\text{min} \cdot 1000 \text{ A}$

Elektrokémiai alaksüllyesztés

- Elektrolitokkal szemben támasztott követelmények:
 - Jó villamos vezetőképesség
 - Ne legyen mérgező és korróziós hatású
 - Minél olcsóbb legyen
- Alkalmazott elektrolitok:
 - Nátriumklorid vizes oldata
 - $c=60-240$ g/l
 - Erős korróziós hatás
 - Nátriumnitrát vizes oldata
 - $c=120-480$ g/l
 - Kevésbé korrozív
 - Jobb felületi érdességet ad
 - Villamos vezetőképessége kisebb
- Hajlamos a passzíválódásra
- Elektrolitok adalékai
 - Felület aktív anyagok
 - Felületi érdességet csökkentő anyagok
 - Korrozív hatást csökkentő anyagok
- Az elektrolitot az áram melegíti, hűteni kell, ha felforr az leállítja a folyamatot.
- Hőmérsékletét $32-52$ °C között tartják.
- Nyomása: $p=1.4-20$ bar
- Mennyisége: $V=0.9$ l/min·100A
- Sebessége: $v=25-50$ m/s

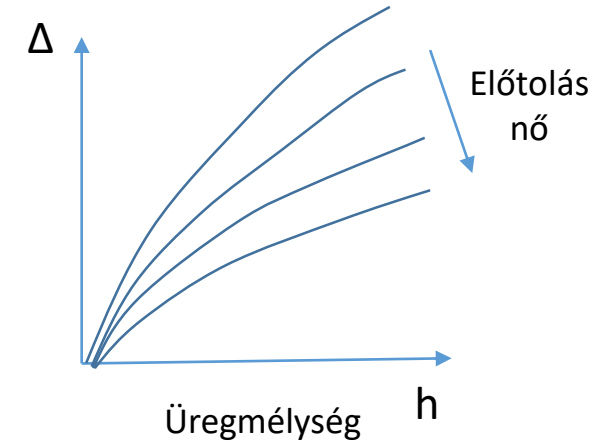
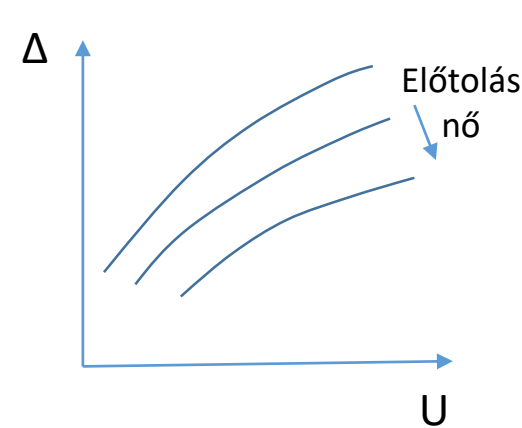
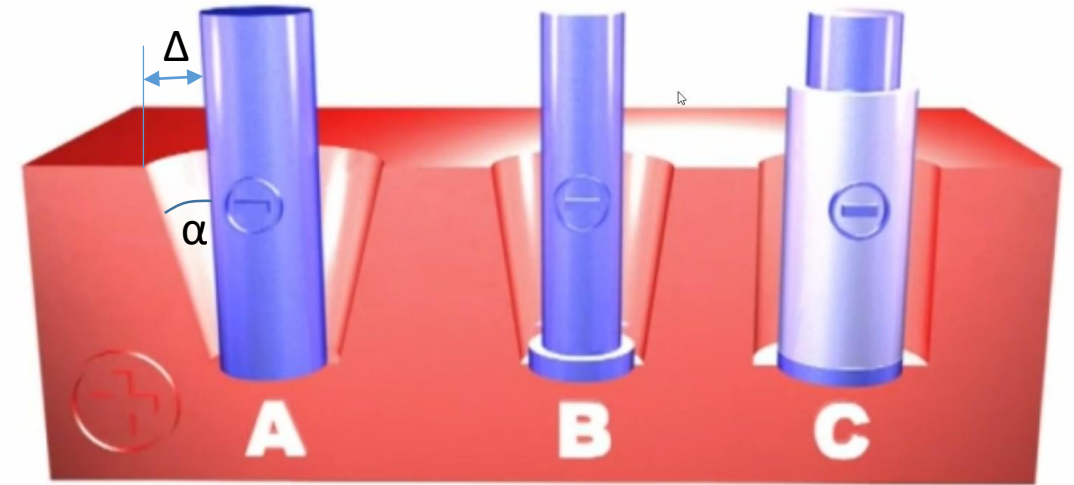
Elektrokémiai alaksüllyesztés

- Szerszámok jellemzői:
 - Szerszámköltség nagy, de nincs szerszámkopás – tehát hosszú ideig használhatóak.
 - Általában lágy anyagból készülnek (Sr, Cu, bronz) → gondos kezelést igényelnek
 - Szerszám elektród anyagokkal szemben támasztott követelmények.
 - Jó villamos és hővezető képesség
 - Jó megmunkálhatóság
 - Korrozíóállóság
 - Rezgésállóság
 - Jó felületi minőség
 - További elektród anyagok
 - Wolframréz, rozsdamentes acél, Ti



Elektrokémiai alakcsüllesztés

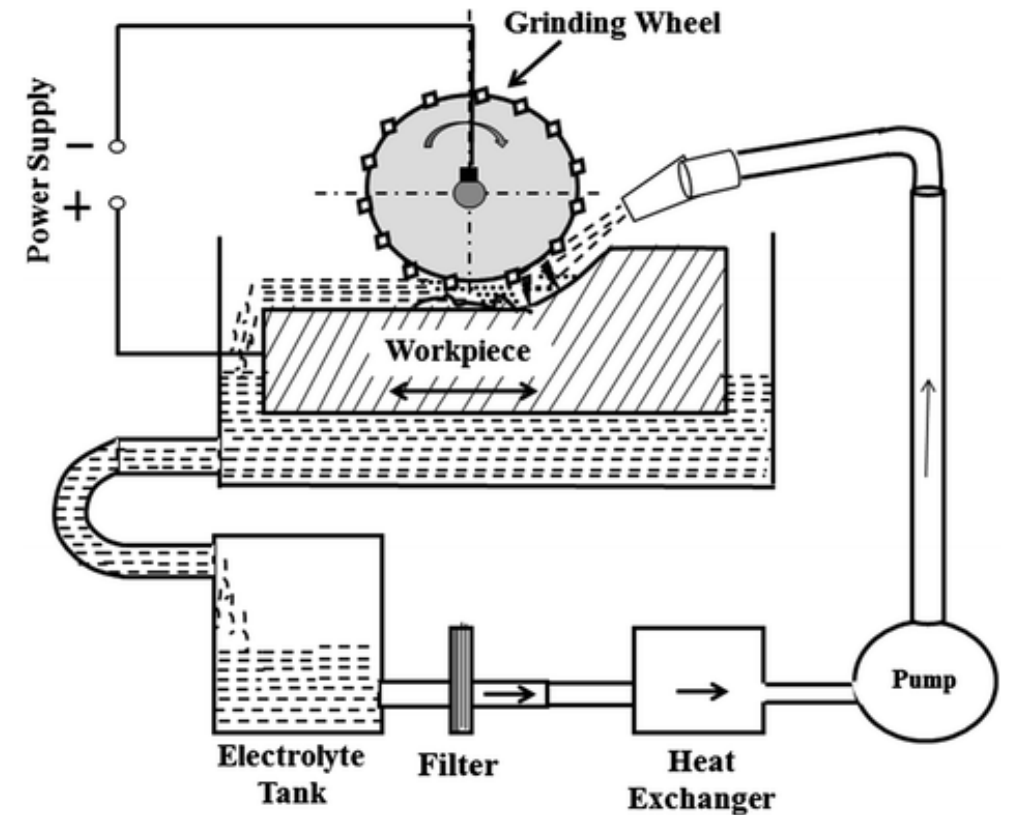
- Megmunkálási pontosság:
 - $\pm 0.03-0.05$ mm
 - Befolyásoló tényezők.
 - Elektród pontossága
 - Feszültség
 - Előtolási sebesség
 - Elektrolit hőmérséklete és koncentrációja
 - A fal mentén is van oldódás
 - Kissé kúpos lesz
 - Szigetelt elektróddal megszüntethető
 - Felületi érdesség elég jó
 - $R_a=0.25-0.75\mu\text{m}$, de függ az anyagtól is
 - Ni ötvözetek jobb felületi minőség
 - Acélok rosszabb felületi minőség
- Megmunkált felület mentes a mechanikus és termikus eredetű feszültségektől, beégésektől
- Felületi rétegben nincs változás, sőt eltávolítja az előző megmunkálás felületi rétegét \rightarrow kifáradási határ nő



Elektrokémiai köszörülés (elizálás)

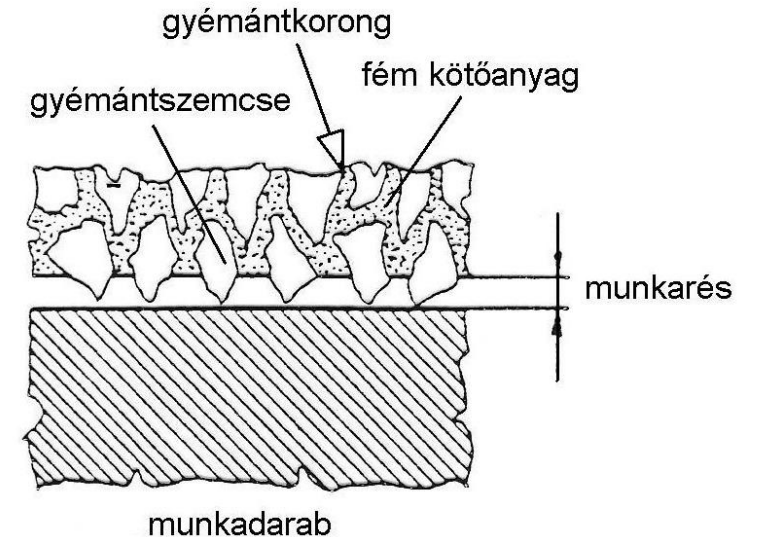
Electrochemical grinding (ECG)

- Egyesíti az anódos oldást és az abrazív megmunkálást.
- Az anyagot legnagyobb részét (95-98%) az anódos oldás választja le, a maradék 2-5%-ot pedig a korong abrazív hatása.
- A szerszám fémkötésű köszörű korong, amely megmunkálás közben forog.
- Paraméterek:
 - Feszültség: $U=4-14\text{ V}$
 - Áramerősség: $I=50-3000\text{ A}$
 - Áramsűrűség: $J=75-230\text{ A/cm}^2$



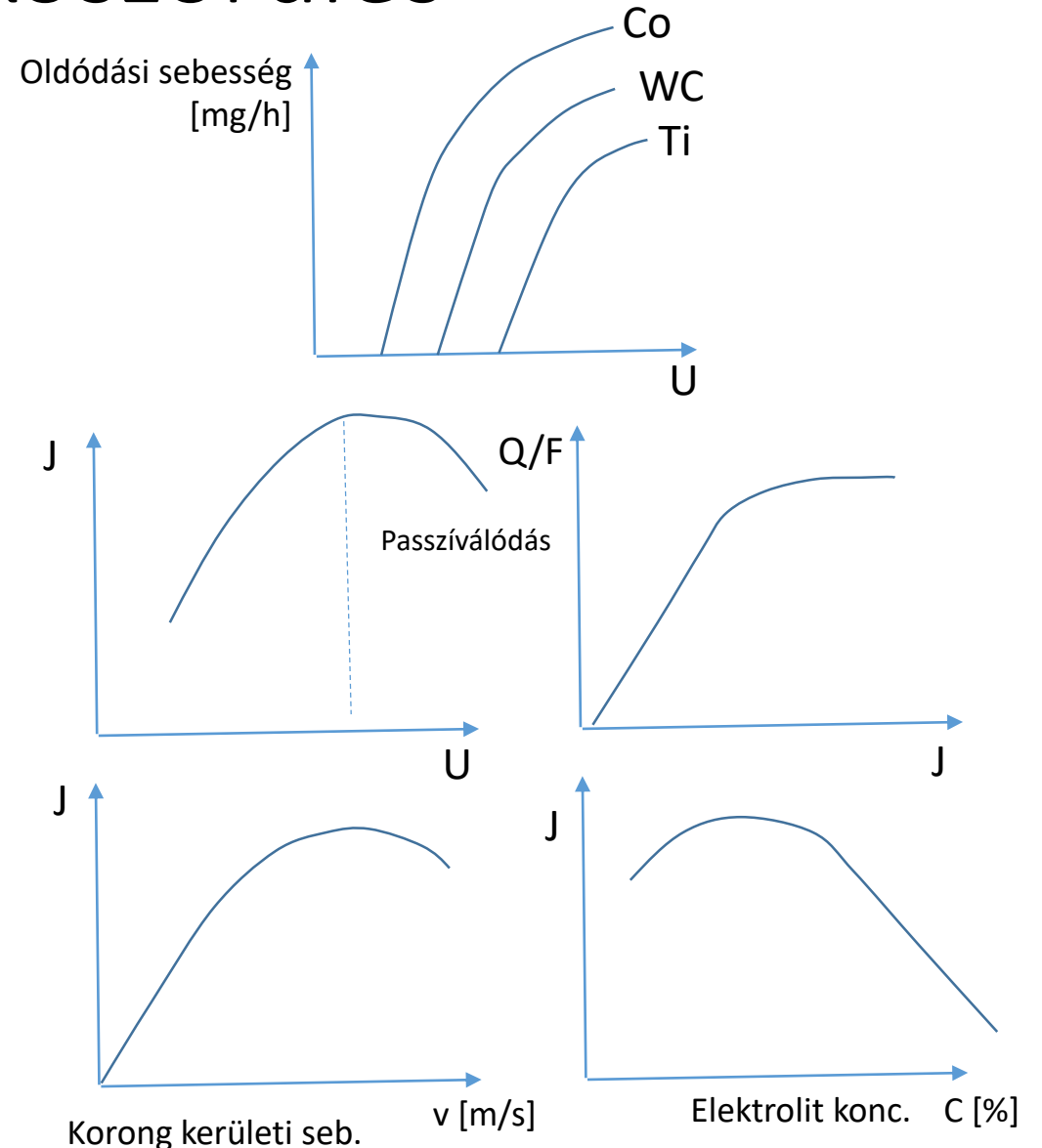
Elektrokémiai köszörülés

- Korong szerepe
 - Eltávolítja a keletkező, a folyamatot passzíválni hajlamos anódhártyát a munkadarab felületéről.
 - A kötőanyagból kiálló szemcsék állandó munkarést (max. 0.03 mm) biztosítanak és megakadályozzák a zárlatot.
 - Folyamatosan áramoltatja az elektrolitot a munkatérben.
- Korong kerületi sebessége: $v=25-30$ m/s
- Alkalmazása:
 - Keményfém szerszámok köszörülése
 - Ötvözött acélok, titán ötvözetek köszörülése.



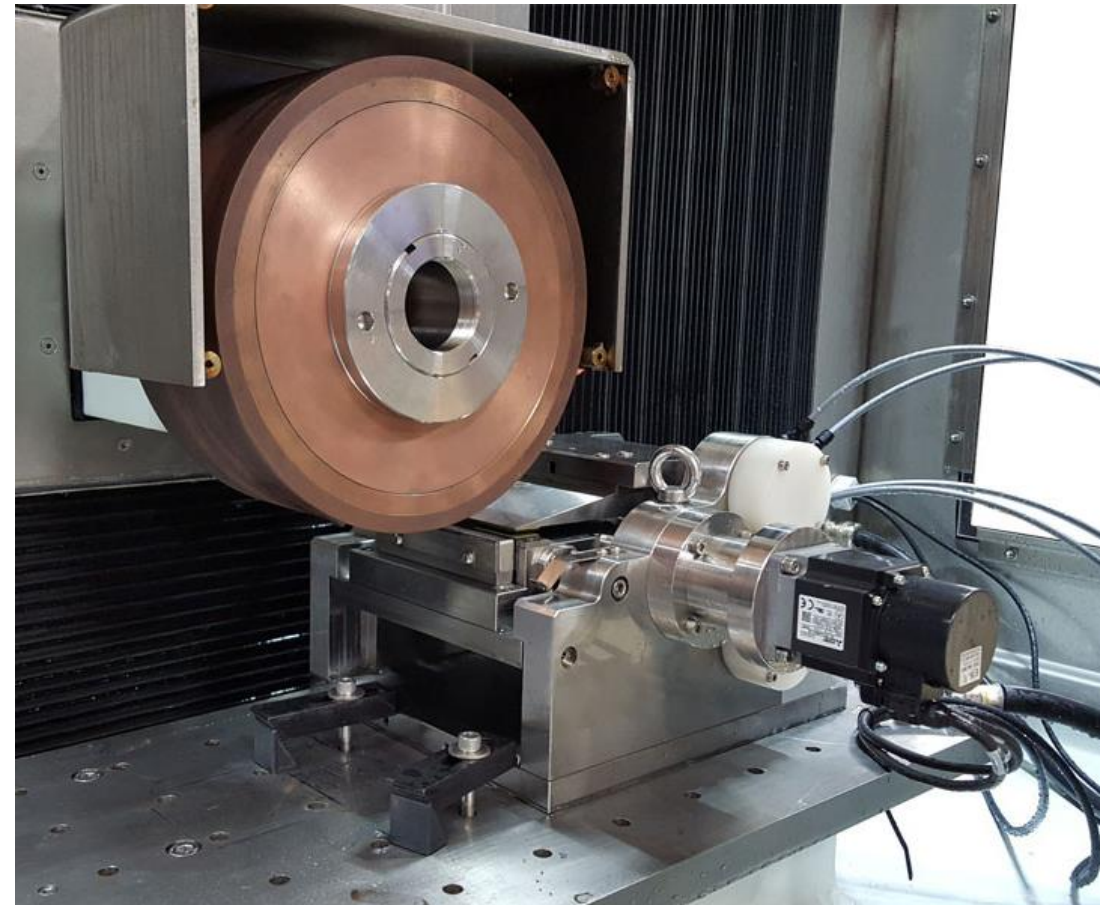
Elektrokémiai köszörülés

- Keményfémszerszámok köszörülése:
 - Hagományos köszörüléskor alkalmazott SiC szerszámokat kiszorította, de a gyémántszemcsés köszörülésnél is elterjedtebben alkalmazzák.
 - A keményfémet alkotó fémkarbidok és a kötőanyagként alkalmazott Co oldódási sebessége jelentősen eltér. A kötőanyag oldódása gyorsabb. A megmaradó karbid vázat a köszörűkorong szemcséi könnyen el tudják távolítani, bár a szemcsék nagy része is oldódik.



Elektrokémiai köszörülés

- Elektrolit:
 - Keményfémekhez nátriumnitrátot alkalmaznak
 - $c=120-240$ g/l koncentrációban
 - $T=32-43$ °C
 - $p=0.35-0.7$ bar
 - 50-100 μm szűrővel szűrni kell
 - Mennyisége: $V=1-1.2$ l/ min
- Szerszám:
 - Fémkötésű köszörű korong
 - Kopása nagyon kicsi
- Forgácsteljesítmény: $Q=160$ mm³/min·100A
- 45 HRC keménységű anyagoknál az anyagleválasztási sebesség tízszerese a hagyományos köszörülésnek.
- Megmunkálási pontosság: ± 0.0005 mm
- Felületi érdesség: $R_a=0.2-0.3$ μm



Elektrokémiai köszörülés

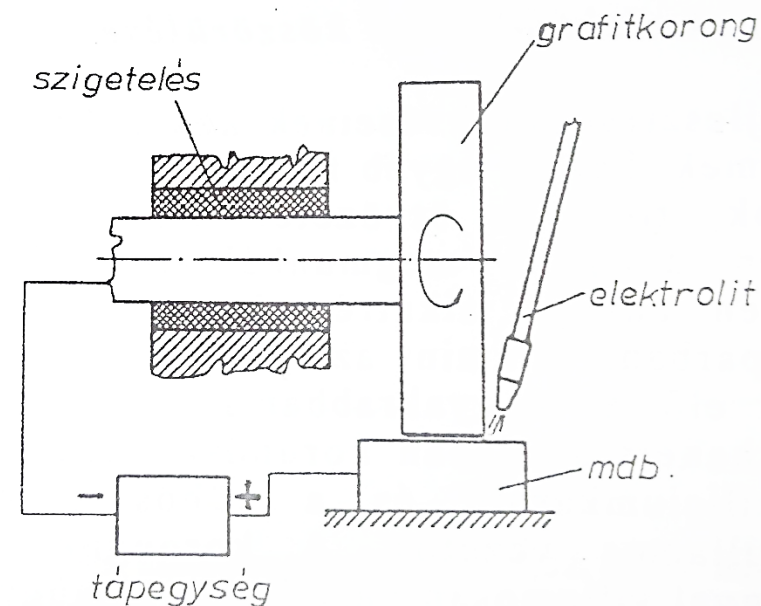
- Egyéb fémes anyagok elektrokémiai köszörülése
 - Nem csak keményfémeknél alkalmazzák.
 - Egyéb fémes anyagok: ötvözetlen és ötvözött acélok, Ti és ötvözetei, Zr, W, Mo
 - Felhasználási területek.
 - Úr kutatás, autóipar, textilipar, orvosi eszközök
 - Köszörű szemcsék: gyémánt helyett korund
 - Köötőanyag: vörösréz töltőanyaggal vezetővé tett műgyanta
 - Alkalmazott elektrolitok:
 - Fe, Ni, Co, Ti, Cr ötvözetekhez NaCl vizes oldata
 - W, Mo nátrium-karbonát, nátrium-hidroxid vizes oldata
 - Cu, Ag nátrium nitrit vizes oldata
 - Áramsűrűség nagyobb mint a keményfémeknél:
 $J=230 \text{ A/cm}^2$
 - Nincs passzíválódás a kisebb C tartalom miatt



Elektrokémiai-elektroeróziós köszörülés

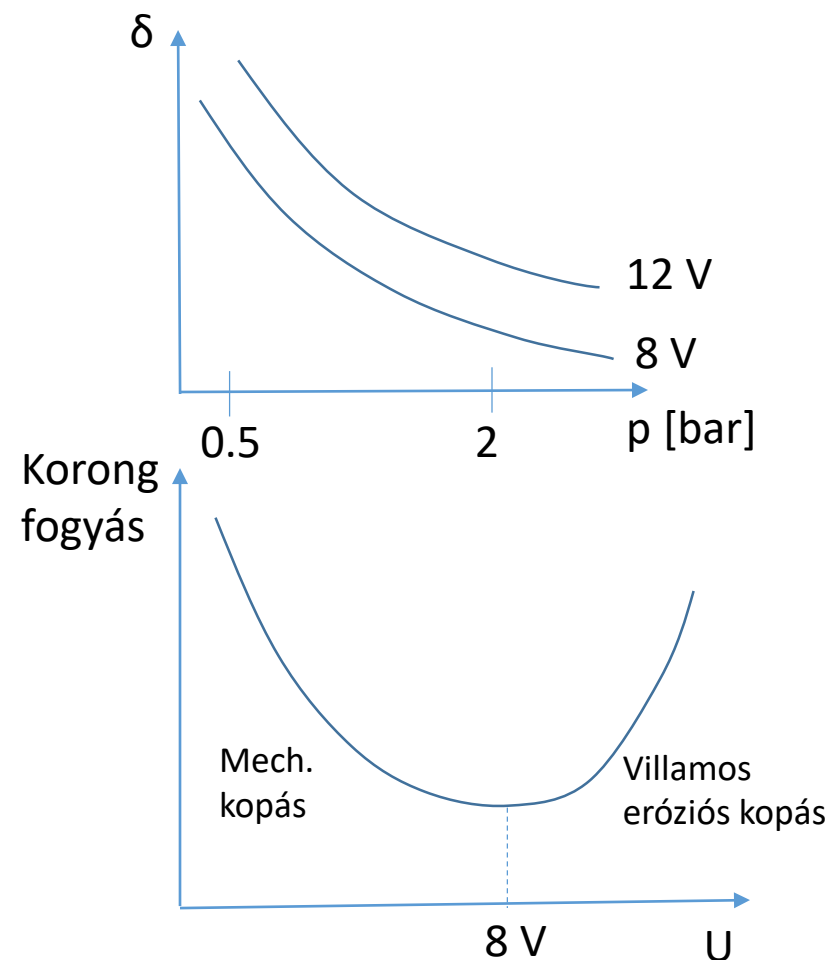
Electrichemical discharge grinding (ECDG)

- Két eljárás kombinációja
- + pólus mdb, - pólus szerszám
- Szerszám jellemzően forgó grafitkorong
- Váltakozó feszültséget, vagy lüktető egyenfeszültséget alkalmaznak
- Munkarés: $\delta=0.013-0.038$ mm
- Az anyag főként anódos oldás során válik le, de közben szikrakisülések is keletkeznek.
- Elroncsolja a folyamat közben keletkező passzíváló hatású oxidfilmet.



Elektrokémiai-elektroeróziós kőszőrülés

- Alkalmazás
 - Keményfémek bonyolult alakkőszőrülésére alkalmazzák
- Paraméterek
 - Egyenfeszültség: $U=4-12\text{ V}$, $I=200-1000\text{ A}$
 - Váltakozó feszültség: $U=8-12\text{ V}$, $I=200-500\text{ A}$
 - Munkadarab - szerszám kopás arány:
40:1 acél, egyenfeszültség
7:1 keményfém és acél, váltakozó feszültség



Elektrokémiai-elektroeróziós köszörülés

- Grafitkorong kerületi sebessége $v=20-40$ m/s
 - Növelése csökkenti a szikrakisülések gyakoriságát
 - Elektrolit melegedését is csökkenti
- Elektrolit
 - NaCl, NaNO₃ vizes oldata
 - $c=180-240$ g/l
 - $T=27-38$ °C
- Síkköszörüléskor 2.5 mm-es fogás esetén
 - $v_f=3.8$ mm/min keményfémre
 - $v_f=12.7$ mm/min acélra
- $Q=100$ mm³/min keményfém esetén
- $Q=240$ mm³/min acél esetén
- Pontosság: ± 0.03 mm
- Felületi érdesség:
 - $R_a=0.12-0.4$ μm keményfém esetén
 - $R_a=0.4-0.75$ μm acél esetén