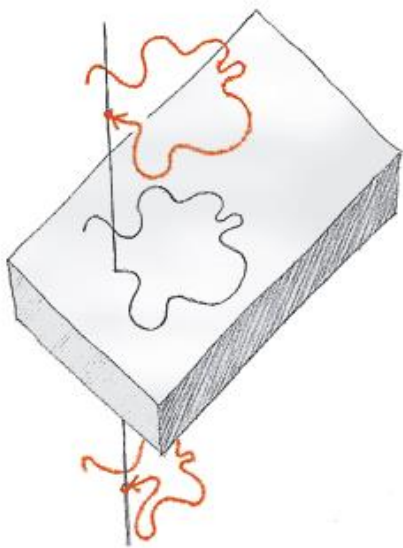


# Szikraforgácsoló huzalok

**EDM (Electrical Discharge Machining)**, amelyre kissé viccesen használhatnánk az **Exact Difficult Machining** kifejezést is!

## 1. Huzalos szikraforgácsolás alapjai

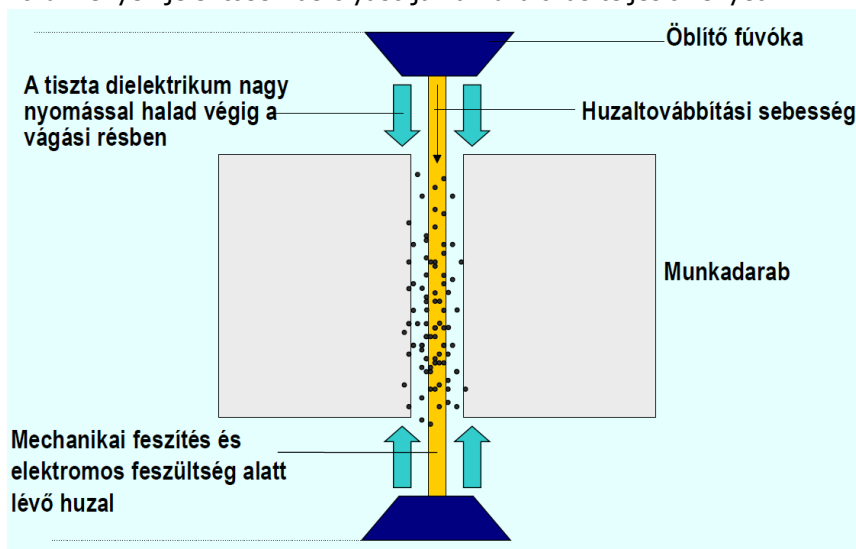


A szikraforgácsolás elve viszonylag egyszerű. A munkadarabot és a szerszámot úgy helyezzük megmunkálási pozícióba, hogy azok ne érintkezzenek. Marad egy rés, amit „dielektrikummal” töltünk meg. A munkadarabot és a szerszámot egy kábellel rácsatlakoztatjuk egy áramforrásra. Általában a huzal a katód és a munkadarab az anód. A katód (huzal) kopása nem jelent kritikus problémát, mert a huzal folyamatosan megújul (huzaltovábbítás). Az áramkör tartalmaz még egy kapcsolót is. Ha a kapcsoló zárt állapotban van, akkor a munkadarab és a szerszám között feszültség keletkezik. A huzalos szikraforgácsolásnál az anyagot egy „különleges” huzallal vágjuk. Ennek során a huzal egy előre programozott pályát fut be. A felső és alsó huzalvezetések független mozgatásával alámetszések vagy kúpos felületek alakíthatók ki a legnagyobb pontossággal és legfinomabb felületminőséggel.

Huzalos szikraforgácsolás során nagyon rövid idejűek a kisülések (1-2  $\mu$ s maximum). A nagyoló fokozatokban a csúcs áramerősség akár 600 A /ms kisülés is lehet. A generátor technológia kulcsfontosságú a huzalos szikraforgácsoló berendezések tekintetében. A mai digitális generátorok

fejlesztésénél arra törekednek, hogy az a fővágáshoz nagy szikra energiát, míg a simító (Trim) vágásokhoz pedig ultra finom szikrákat biztosítson.

A huzalelőtolás sebessége általában kb. 8 – 12 m/perc. Régi mondás és igazság a huzalos szikraforgácsolással kapcsolatban: „Flushing, flushing , flushing” – „Öblítés, Öblítés, Öblítés” – minden csak ez után. Az öblítési körülmények jelentősen befolyásolják a huzalozás teljesítményét.



## 2. Huzalelektróda típusok

### 2.1 Vörösréz huzalok

A vörösréz volt a legelső szikraforgácsoló berendezéseken használt huzalelektróda anyag. Ugyan a vezetőképessége kiváló, azonban a szakítószilárdsága alacsony. A magas olvadáspont és az alacsony gőznyomás viszony erősen behatárolja a használhatóságát. Napjainkban csak az igen idős berendezéseken használják, ahol az áramellátás ehhez a típushoz lett kifejlesztve.

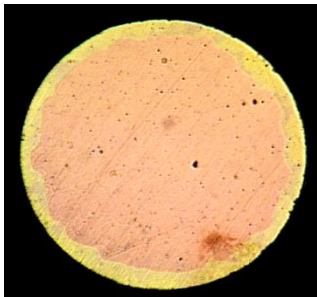
## 2.2 Sárgaréz huzalok

A sárgaréz huzal volt az első logikus alternatíva, amikor a szikraforgácsolással foglalkozó fejlesztők jobb eredmények után kutattak. A sárgaréz huzalok vörösréz és cink kombinációi általában Cu 63-65% és Zn 35-37% arányban. A cink biztosítja a magasabb szakítószilárdságot, alacsonyabb olvadáspontot és magasabb gőznyomás viszonyt, így ellensúlyozva a relatív veszteséget a vezetőképességben. Éppen ezért a sárgaréz hamar a legelterjedtebb anyag lett a huzalelektrodák tekintetében az általános szikraforgácsolási feladatoknál. Napjainkban a kereskedelmi forgalomban számos szakítószilárdságú sárgaréz huzal kapható, különböző huzalátmérőkkel.



Bevonat nélküli sárgaréz huzal mikroszkóp alatt

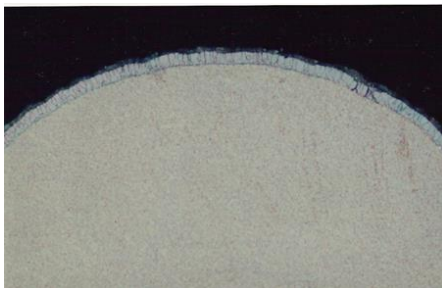
## 2.3 Bevonatos sárgaréz huzalok



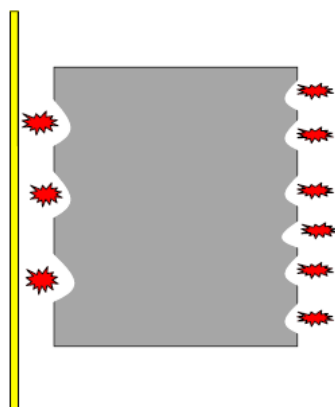
Gyorsvágó huzal mikroszkóp alatt. Mag anyaga vörösréz, 15 µm-es Zn bevonattal

Mivel a sárgaréz huzalt nem lehet gazdaságosan előállítani nagyobb cink koncentrációval, ezért a következő logikus lépés az ún. bevonatos huzalok előállítása volt. Ezen huzaloknak jellemzően egy vörösréz vagy sárgaréz magja van a vezetőképesség és szakítószilárdság érdekében, valamint galvanikus tiszta vagy szórt cink bevonattal rendelkeznek a jobb szikraképződés és öblítés eléréseért. Eredetileg „gyors” huzaloknak hívták ezeket a típusokat, mert jelentősen növelhető velük az anyagválasztás a huzalos szikraforgácsolás során. Napjainkban rengeteg bevonatos huzaltípus

érhető el, különböző mag anyaggal, bevonatokkal, bevonat mélységgel és szakítószilárdsággal, annak érdekében, hogy megfeleljenek a gépi- és alkalmazástechnikai követelményeknek. Ámbár a sárgaréz huzaloknál drágábbak, mégis gazdaságos alternatívát kínálnak számos megmunkálás során. A bevonatos huzalok megnövelik a kopó alkatrészek és a szűrők élettartamát is.



Precíziós huzal mikroszkóp alatt. Mag anyaga sárgaréz 15 µm-es Zn bevonattal



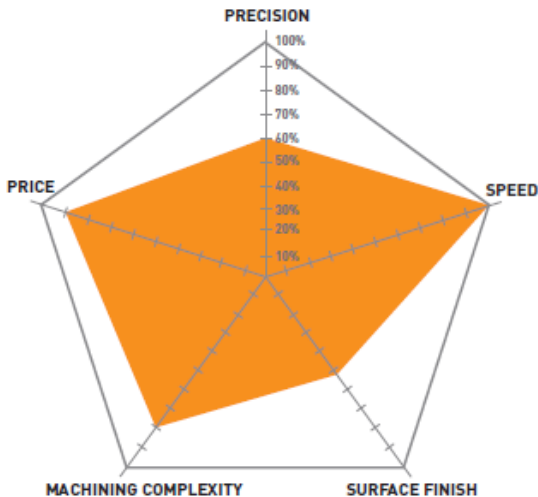
A bal oldali sárga vonal a sárgaréz, a jobb oldali szürke pedig a bevonatos huzalt mutatja. Piros színnel vannak jelölve az eróziós folyamat során létrejövő szikrák. Az ábrán jól látszik, hogy a bevonatos huzal esetében ugyanakkora felületen a szikrák sűrűbbek, számuk nagyobb. Ez magyarázza azt, hogy a bevonatos huzallal általában nagyobb anyagválasztás, jobb felület és pontosabb munkadarab érhető el.

## 2.4 Finom huzalok (Molibdén és Volfrám)

A nagy precizitású huzalos szikraforgácsolási munkák esetén gyakran előfordulnak igen kisméretű belső rádiuszok, amelyekhez 0.02-0.05 mm átmérőjű huzalelektrodákra is szükség lehet. Ilyen alkalmazások során a sárgaréz és bevonatos huzalok már nem praktikusak, mivel ilyen méretekben a teherbíró képességük nem megfelelő. Ezekben az esetekben molibdén és volfrám huzalokat használnak. A limitált vezetőképesség, magas olvadáspont és alacsony gőznyomás viszony miatt nem alkalmasak vastag anyagok megmunkálására és igen alacsony a vágási sebességük. A MolyCarb kompozit huzal kiváló előnyökkel rendelkezik a kis átmérőjű megmunkálások esetében, mivel a molibdén huzalt egy grafit és molibdén-oxid keverékkel vonják be az öblítési körülmények javítása érdekében.

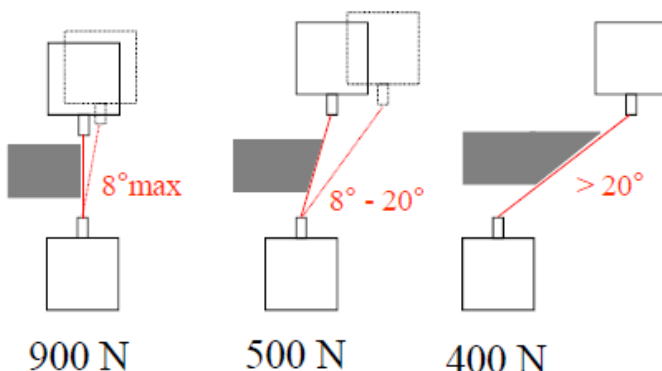
### 3. Alkalmazások

A nagyobb szikraforgácsoló huzalokat gyártó cégek mindegyike számos teszt alapján állapítja meg, hogy melyik típusú termékét milyen alkalmazásokhoz és milyen géptípusokhoz ajánlja. Egy huzalos szikraforgácsoló gép alkalmazási területe szerteágazó, a huzal kiválasztása kulcsfontosságú a termelékenység és optimális eredmények eléréséhez a sebesség, pontosság és felületminőség tekintetében. A huzal kiválasztásánál a legfontosabb szempontok: a precizitás, sebesség, felületi minőség, megmunkálás komplexitása (pl. kúpos vágás vagy lépcsős darabok rossz öblítési körülményekkel) a legkisebb munkadarabon vágandó rádiusz, képes-e a gép automatikus huzalbefűzésre és természetesen a huzal ára. A lenti ábra pl. egy nagy sebességű, közepes precizitást és felületi érdességet biztosító, meglehetősen komplex megmunkáláshoz ajánlott, ennek megfelelően az ára is magasabb. A gyártó szerint különösen ajánlott mechanikus alkatrészek egyedi vagy sorozatgyártásához, illetve kifejezetten magas ( $H \geq 150$  mm) munkadarabokhoz. A gyártó megadja azt is, hogy milyen típusú berendezéseken a leghatékonyabb a huzal. Jelen esetben ez a Charmilles 240cc és 440cc típusok, mivel az ún. CC-generátorhoz fejlesztették, így a vágási teljesítménye akár  $500 \text{ mm}^2 / \text{perc}$  is lehet.



A legtöbb huzalos szikraforgácsoló technológiát használó vállalkozás a bevonat nélküli sárgaréz huzalt alkalmazza a megmunkálások során. A kereskedelmi forgalomban lévő huzalok közül a legnagyobb felhasználás a  $\varnothing 0.25$  mm-es,  $900 \text{ N/mm}^2$  szakító szilárdsággal rendelkező DIN 160-as huzaldobbal rendelkező típusból történik. Ez esetben az cégek többsége leginkább az ár alapján választ beszállítót. Érdeemes tudnunk, hogy a szikraforgácsoló huzalokat gyártó vállalkozások folyamatosan fejlesztik terméküket is speciális megoldásokat kínálnak a különböző szikraforgácsoló berendezés típusokhoz alkalmazásuktól függően. A kiválasztás során nagy a felelőssége a gyártó és forgalmazó vállalatoknak is. A bevonatos huzal előnye számos esetben megkérdőjelezhetetlen a sárgaréz huzalokkal szemben. Azonban létezik olyan alkalmazás, amely során ez az előny az ár/érték arány szempontjából nem jelentős. Ilyen eset áll fenn legtöbbször a  $< 10$  mm vastagságú munkadarabok huzalos szikraforgácsolása során, ahol általános megmunkálások esetén a sárgaréz huzallal is ugyan olyan jó eredményeket lehet elérni.

A következő ábra egy általános szabály, amely támpontot ad a megfelelő szakítószilárdságú huzal kiválasztásához. Azt, hogy milyen szakító szilárdsággal rendelkező huzalt válasszunk a kúpvágás mértéke befolyásolja.



Általánosságban elmondható, hogy a huzalos szikraforgácsolás fő alkalmazási területe inkább a szerszám-és formagyártás, mintsem az alkatrészgyártás, ennek oka a relatív kis sebesség. Ahhoz, hogy a huzalos szikraforgácsolás termelékenységét növelhessük a vágási teljesítményt is növelnünk kell. A mai modern berendezéseken a megfelelő technológia alkalmazásával kiváló eredményeket érhetünk el.



Az ábrán látható munkadarab:

- Teljes kontúr: 433 mm
  - Magasság 60mm
  - Huzal típus: Ø 0.33mm Xcc (nagy sebességű „nagyoló” huzal)
  - Anyag: K107
- Huzalozási idő 1 óra (400mm<sup>2</sup>/min.)

A vágási sebesség jelentős növelésének egyetlen lehetősége a nagyobb átmérőjű, „nagy sebességű” huzalok alkalmazása a fővágás során. Ennek vonzata, hogy a szikraforgácsoló berendezésen elérhető legyen a nagyobb teljesítményű generátor is.

#### 4. Gazdaságossági számítás

A huzalos szikraforgácsolás tekintetében a huzalok felhasználása egy jelentős költség. Ezzel is magyarázható, hogy a vállalatok igyekeznek ezen költséget minimalizálni, azaz a legkedvezőbb árú megoldást választani. Azonban érdemes elgondolkodni a következő számításon, amely a bevonat nélküli sárgaréz és bevonatos sárgaréz huzal általános különbséget mutatja. Természetesen a megmunkálási sebesség különbség nagyban függ számos ismérvtől, mint a megmunkálandó anyag és méret vagy az öblítési körülmények.

Magyarázat a számításhoz:

- V-változó: a huzalos szikraforgácsolás sebessége, értéke sárgaréz huzalal történő megmunkálás során 1.
- HK- huzalos szikraforgácsolás költsége: a huzalos szikraforgácsolás általános óránkénti költsége, bérköltség és a huzal ára nélkül. Tapasztalati érték, felhasználóktól függően változhat, de a számítás lényegét nem befolyásolja, értéke jelen esetben 15 EUR/óra
- F-huzalfogyás (kg/óra): szintén tapasztalati érték, amely felhasználástól függően változhat, értéke 0,25 kg/óra. Ez alapján egy 8 kg huzaltekercs kb. 32 munkaóra elégg.
- WK- huzal ára: sárgaréz huzal átlagára 8 EUR / kg. Bevonatos huzal ára kb. a sárgaréz huzal + 70-90%, jelen esetben 15 EUR/kg.

A számítás során használt képlet sárgaréz huzal esetében:

$$V \times (HK+F \times WK) = 1 \times (15 \text{ EUR/óra} + 0,25 \text{ kg/óra} \times 8 \text{ EUR/kg}) = \mathbf{17 \text{ EUR/óra}}$$

Ahogy fent említettük a bevonatos huzal egyik előnye a sárgaréz huzalal összehasonlítva az elérhető nagyobb sebesség. Nézzük meg a képletet, ha a bevonatos huzal sebessége 30%-al nagyobb, mint a sárgarézé. Ez esetben a V változó értéke 0,7, miközben a huzal költsége 15 EUR/kg

$$V \times (HK+F \times WK) = 0,7 \times (15 \text{ EUR/óra} + 0,25 \text{ kg/óra} \times 15 \text{ EUR/kg}) = \mathbf{13,13 \text{ EUR/óra}}$$

A számítás nagyon egyszerű, azonban jól mutatja a különbséget. Egy átlagos felhasználó tekintetében, ahol a huzalos szikraforgácsoló berendezés 1 műszakban napi 6 órát forgácsol (kb. 1584 üzemóra /év) a megtakarítás: (17 EUR/óra -13,13 EUR/óra) x 1584 óra = **6.130,08 EUR.**

#### 5. Összefoglalás

Az ideális szikraforgácsoló huzal négy fontos kritériumnak kell megfeleljen: magas vezetőképesség, megfelelő szakítószilárdság, optimális szikra és öblítési jellemzők. A tény az, hogy tökéletes típus nem létezik, mindig kompromisszumokat szükséges kötnünk az alkalmazás és elérendő eredményt figyelembe véve.

A vezetőképesség nagyon fontos, mivel ez biztosítja, hogy a huzal több áramot „vigyen”, amely „magasabb hőmérsékletű” szikrát és egyben nagyobb leválasztási anyagmennyiséget is jelent.

A szakító szilárdságnak olyannak kell lennie, hogy fenntartsa a huzal „egyenességét” és minimális legyen a vibráció a huzalfeszítés közben. Van néhány praktikus limit ezen a téren, amely a kúpvágással függ össze. A kemény, nagy szakítószilárdságú huzalok nem alkalmasak magas kúpszögű alkatrészek gyártására.

A minőség iránti egyre növekvő kereslet, ide értve a pontosságot és e mellett a produktivitást, a huzalok anyagára is kihatással van. A gyártók legnagyobb kihívása a kiváló „minőségű” szikra és öblítési folyamat megteremtése. Nagyon is kívánatos, hogy a huzal erodáljon, kopjon, mivel az elpárolgó huzalelektroda anyaga elősegíti az egymást követő szikrák ionizációs csatornájának kialakulását. Ezen felül a mikroszkópikus részecskékben végbemenő nagyobb fokú párolgás, jelentősen megnöveli az öblítési folyamat hatékonyságát, valamint az ívhatás elnyomásával stabilizálja a vágást.

A fentiek alapján a legjobb huzalelektroda anyag, amelynek olvadáspontja alacsony és gőznyomás viszonya nagy. Ez a két tulajdonság éppen elég fontos ahhoz, hogy feláldozunk egy csekély mértékű vezetőképességet.

Szabó Gábor  
Galika Szerszámgépek Kft.

Felhasznált irodalom:  
GFMS oktatási CD egyetemek részére, 2009  
AgieCharmilles wire-edm handbook, 2010

[www.intech-edm.com](http://www.intech-edm.com)

[www.galika.com](http://www.galika.com)

[www.gfms.com](http://www.gfms.com)