

A hegesztőhuzal és az áramátadó kapcsolatának és kopásának elemzése

Investigation of the contact and wear of the welding wire and MIG-welding contact tubes

Készítette:

Kristóf Dániel

Németh Levente

Konzulens:

Dr. Dobránszky János

BME Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék

TDK Szekció: Anyagtudomány és technológia

2011.



Tartalomjegyzék

1. A vizsgálandó probléma	3
1.1 Bevezetés és célkitűzés	3
1.2 A fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés általános bemutatása	3
1.3 A huzalelőtoló berendezés bemutatása	4
1.4 Az áramátadó és a villamos érintkezés bemutatása	6
1.5 A probléma forrása	8
1.5.1 Az áramátadó elhasználódásából származó járulékos költségek áttekintése	8
1.5.2 A kopást befolyásoló tényezők	8
2. A huzaltolási ellenállás vizsgálati módszerének kidolgozása	10
2.1 A koptató hatás megfigyelése, mérése	10
2.2 Az áramátadó és huzal között fellépő súrlódási erő mérése	10
2.3 A súrlódási erő, hegesztőpisztolyban megvezetett huzal esetén	12
2.4 A húzási sebesség hatása a súrlódási erőre	14
2.5 Különböző huzaltípusok súrlódásának vizsgálata	15
2.5.1 A mérendő huzaltípusok ismertetése	15
2.5.2 Különböző huzaltípusok súrlódásának összehasonlító mérése	16
3. Lehetőségek a koptatóhatás csökkentésére	19
3.1 Az áramátadó forgatása	19
3.1.1 A forgatás hatásosságának kérdése	19
3.1.2 A forgató berendezés ismertetése	19
3.1.3 A forgatás hatásának mérése	20
3.1.4 Axiális irányú erő minimalizálásához szükséges forgatási sebesség mérése	21
3.1.5 Kapcsolat a húzási, forgatási sebesség és az axiális súrlódási erő nagysága között	24
3.1.6 Technikai kopásgörbe felvétele félüzemi tartóteszt segítségével	25
3.2 Az elektrokémiai polírozás hatása a felületre	28
3.2.1 Az elektrokémiai polírozás lehetősége	28
3.2.2 Az eletropolírozás működése	28
4. Következtetések	32
5. Irodalom	34

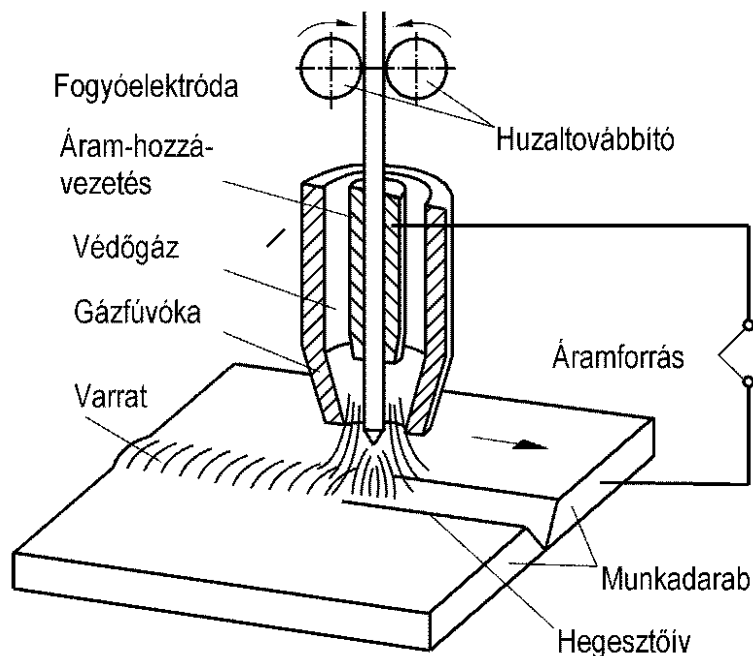
1. A vizsgálandó probléma

1.1 Bevezetés és célkitűzés

A hegesztés a legfontosabb kötőtechnológia a gyártási folyamatokban. Az iparban jelentős számú cég létezik, melyeknek éves szinten több millió forint járulékos költsége származik a fogyóelektródás védőgázos ívhegesztő berendezés áramátadó alkatrészének kopásából. Az áramvezetés fizikai mechanizmusa az áramátadó és a hegesztőhuzal csúszó kontaktusos érintkezése esetén és maga a csúszó kontaktus részletei még nem kellőképpen tisztázottak tudományosan. Dolgozatunkban tanulmányozzuk az áramátadó kopását, valamint megvizsgálunk néhány saját elképzelést, melyekkel elméletileg az alkatrész élettartama növelhető. A dolgozatban felhasznált eredmények az általunk elvégzett kísérletekből származnak.

1.2 A fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés általános bemutatása

Az iparban a legelterjedtebb hegesztési eljárás, köszönhetően nagyfokú termelékenységének, valamint robotizálhatóságának, a fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés. A folyamat során a fogyóelektróda végtelenített huzal formájában egy tekercsen található a berendezésben, arról egy, néhány esetben két görgőpár, az előtoló berendezés továbbítja a hegesztőpisztolyhoz, ahol egy áramátadóval érintkezve feszültség alá kerül, majd a pisztoly végét elhagyva, közeledve a hegesztendő munkadarab felé, a huzal végén ívet gyújt, ami megolvasztja a huzalt és a felületet, amivel érintkezik (1. ábra). A két, illetve a gyakorlatban három olvadék találkozásakor létrejön a hegesztett kötés.

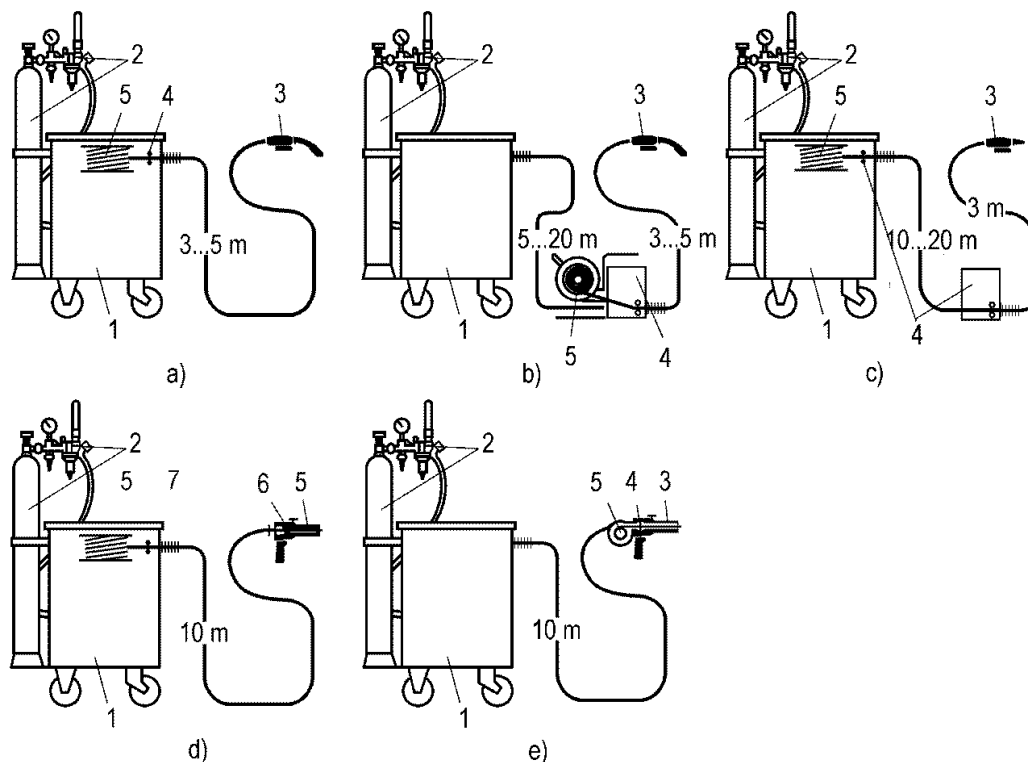


1. ábra. A fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés elvi vázlata [1]

A légkörben található oxigén és nitrogén káros hatásaitól a pisztoly fejébe vezetett védőgázzal óvjuk a varratot. A védőgáztól függően három fogyóelektródás ívhegesztést különböztünk meg. A semleges (nemes) gázos fogyóelektródás ívhegesztést (MIG- Metal Inert Gas, 131 és 137 számjelű eljárások), melyhez Európában elsősorban argont (AFI-eljárás, Argonvédőgázos Fogyóelektródás Ívhegesztés), míg a tengerentúlon héliumot alkalmaznak (HeFI- eljárás Héliumvédőgázos Fogyóelektródás Ívhegesztés). Ezenkívül létezik aktív védőgázos fogyóelektródás ívhegesztés (MAG- Metal ActiveGas, 135 és 136 számjelű eljárások), mely esetében szén-dioxid védőgázt alkalmaznak (innen ered a köznyelvben elterjedt, helytelen CO-hegesztés elnevezés) valamint a keverék védőgázos (kevertgázos, leggyakrabban argon és szén-dioxid 82:18 arányú keveréke) fogyóelektródás ívhegesztés. Nagyobb varratméretek esetén találkozhatunk az ikerhuzalos MIG/MAG eljárással, mellyel a termelékenységet lehet jelentős mértékben növelni gépesített hegesztés esetén. [1], [2], [5], [6]

1.3 A huzalelőtoló berendezés bemutatása

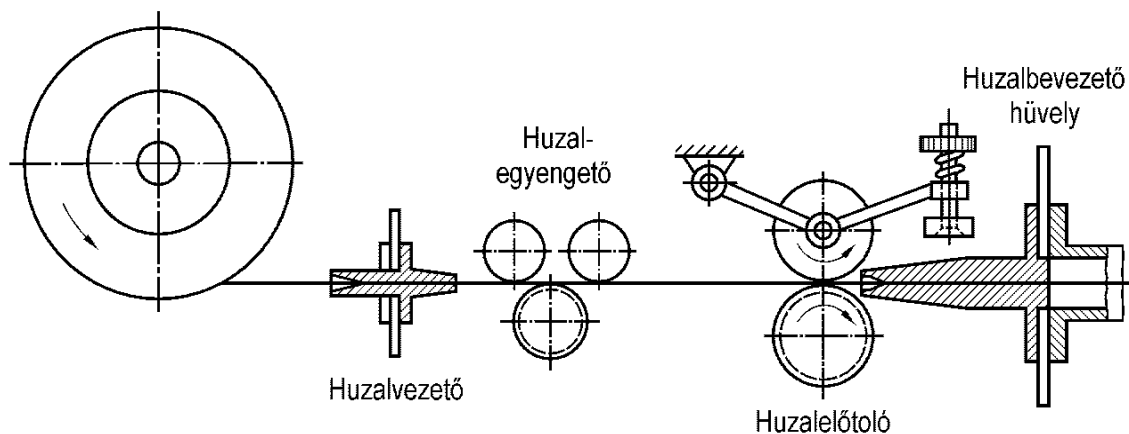
A huzalelőtoló berendezés fő feladata a hegesztőhuzal egyenletes, megtörés nélküli előtolása a beállított huzalsebességgel. A jelenleg alkalmazott előtolók 2-20 m/min sebességgel dolgoznak. A stabil hegesztési folyamat feltétele a huzalelőtolási sebesség és a huzalleolvadási sebesség egyensúlya.



2. ábra. A huzalelőtolás változatai fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztő berendezéseken
a) kompakt; b) univerzális; c) tandem; d) húzó-toló (push-pull); e) kis huzaldobos
1 áramforrás; 2 védőgázellátás; 3 hegesztőpisztoly tömlővel; 4 huzalelőtoló; 5 huzaldob; 6 huzalhúzó; 7 huzaltoló [1]

- Kompakt, zárt rendszerű, huzalelőtolóval egybeépített áramforrás 0,8-1,2 mm átmérőjű huzallal, legfeljebb 3-5 m hosszú hegesztőtömlővel.
- Univerzális, különálló huzalelőtoló berendezés 0,8-2,4 mm huzalátmérővel. A huzalelőtoló és az áramforrás között tetszőleges a távolság, a huzalelőtoló és a pisztoly között 3 m.
- A tandem hegesztő-berendezés hasonlóképpen használható, mint az univerzális, azal a különbséggel, hogy a hegesztési munkahely váltásakor a hegesztőnek nem kell a huzaldobot mozgatnia.
- A húzó-toló (push-pull) berendezés előnye, hogy vékonyabb, 0,6 mm átmérőjű, valamint alumíniumhuzalok is használhatók. Hatósugara 10 m.
- A kis dobos berendezésnek a hegesztőpisztolyában van a huzaldob (max. 0,5 kg acélhuzallal). Alumínium vékony huzalos hegesztéshez a legalkalmasabb berendezés.

Az ív megszakításakor a huzalelőtolást is szabályozni kell, a huzal nem futhat bele a hegfürdőbe. Helyesen beállított elektróda-visszaégési idő esetén az elektróda kevéssel a hegfürdő felett áll meg. Túl hosszú visszaégési idő az áramvezető hüvelyig való visszaégést okozhat, ill. a huzal végén kialakuló megdermedt hozaganyagcsepp akadályozza az újragújtást.



3. ábra. Huzaladagoló berendezés (Munske szerint)[1]



4. ábra. Hegesztőgép huzalelőtoló berendezése

A huzalelőtoló görgők készülhetnek sima hornyos és fogazott hornyos. A huzalelőtoló görgők és a huzalbevezető gyűrű távolságának irányértékére vonatkozóan a gyártók tesznek javaslatot. E távolságon belül a huzal nem törik meg és nem gyűrődik be. A huzalelőtoló görgőket egy vagy két motor hajtja. A huzalelőtölés erőszükségletét 3-4 m hosszú huzaltömlő esetén az alábbi táblázat [1] mutatja be:

Huzalátmérő, d_e (mm)	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2
Legkisebb előtoló erő, F (N)	40	50	70	100	120	150	180	250

1. táblázat. A szükséges előtolóerő a huzalátmérő függvényében

A jó hegesztőpisztolynak a lehető legkönnyebbnek kell lennie. Hosszú varratok hegesztésekor nehéz fizikai munkát jelent a hegesztőpisztoly megfelelő szögben tartása és vezetése. [1], [2], [3], [4]

1.4 Az áramátadó és a villamos érintkezés bemutatása

A fent említett kopó alkatrészek közül részletesebben az áramátadóval, az ún. *dűznivel* foglalkozunk. Ez egy rézből készült, 10-35 mm hosszúságú, átlagosan 10 mm külső átmérőjű alkatrész, aminek forgástengelyén egy furat helyezkedik el, ebben közlekedik a hegesztőhuzal (5. ábra). Az áramátadó hüvely d_a furatátmérője:

$$d_a = d_e + 0,2 \pm 0,05 \text{ mm}$$

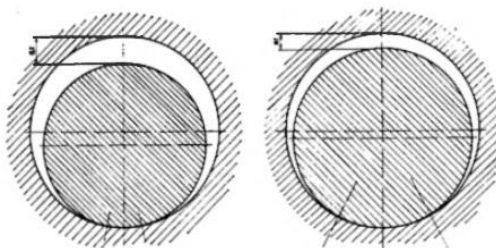
Ahol d_e az elektróda átmérője, a gyakorlatban 0,6 mm-től 3 mm-ig terjedhet. Fontos szerepe van a kötés létrejöttében, a varrat helyéhez irányítja a hegesztőhuzalt, valamint ellátja a megolvasztásához szükséges elektromos energiával.



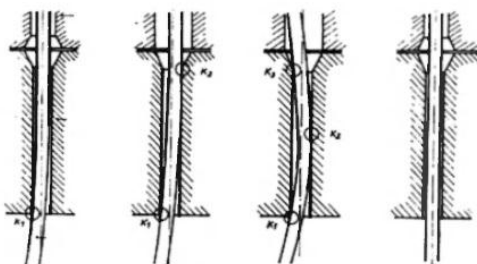
5/a, 5/b ábra. Az áramátadó új és használt állapota

Igénybevétele jelentős, a belsejében 1,5-20 méter/perc sebességgel mozgó huzal, az áramátadás miatt kenés nélkül, érintkezik az áramátadó furatfelületével. [1] Az áramvezetés fizikai mechanizmusa és az áramátadó és a hegesztőhuzal csúszó kontaktusos érintkezése esetén még nincs kellően tisztázva. Feltehető, hogy az érintkezés a durva felületekből adódóan csak érdességi csúcsokban jön létre, melyek többnyire idegen anyaggal is szennyezettek. Ezáltal az érintkezési felület jelentősen kisebb, mint a geometriai körülményekből adódó lát-

szólagos érintkezési felület. Az érintkezés keresztmetszetében vizsgálva e felületet látható, hogy az érintkezés csak kis tartományban lehetséges, és hogy ez a tartomány a két átmérő különbségének csökkenése esetén növekszik (6. ábra). Valójában azonban a hegesztőhuzal keresztmetszete sem ideálisan kör alakú, valamint a hegesztőanyag tekercsben történő tárolása görbületet ad a huzalnak, melynek sugara a tekercsen lévő huzal mennyiségétől függ. [4]



6. ábra. Az érintkezés tartománya [4]



7. ábra. Különböző érintkezési helyek a görbület függvényében [4]

A huzal görbületének függvényében különböző érintkezési helyek adódnak (7. ábra). Kevésbé görbült huzal esetén csak egy érintkezési pont van, az áramátadó „szájnyílásánál” (K1). Nagyobb görbület esetén kettő (K1, K2), illetve három (K1, K2, K3) ponton érintkezik a két alkatrész. Ideálisan egyenes és központozított huzal elméletileg át tud futni az áramátadón, hogy falával érintkezne. [4]

A koptató igénybevétel mellett hőterhelése is számottevő, néhány mm-re helyezkedik el a közel 1500°C hőmérsékletű olvadáktól, valamint az általa vezetett huzal is jelentős hőt közöl. Hűtésében fontos szerep jut a már említett védőgázoknak. Az alkatrész használhatóságát tovább rontják azok a fémcseppek, amik a hegesztés során, elkerülhetetlen módon a furat nyílásának közelében tapadnak meg. Ezek, valamint a belsejében lerakódó szennyeződések növelik a huzal és az áramátadó közti elektromos ellenállást, és a huzal elakadását, vagy besülését okozhatják. Amennyiben ez a hiba nem következik be, a koptatóhatás kiváltotta anyagleválás megváltoztatja a furat geometriáját, növeli átmérőjét, ezáltal a huzal nem a megfelelő szögben hagyja el a pisztolyt, valamint a szabálytalan, szennyezett belső felület az áramátadásban játszott szerepének sem tud eleget tenni. A gyakorlati tapasztalat az, hogy nem automatizált, kézi hegesztés során, átlagosan egy-másfél áramátadó hüvely bír ki egy teljes műszakot.

1.5 A probléma forrása

A fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés hátránya, hogy a berendezésben az eljárás módjából következően sok a súrlódó erő, emiatt jelentős kopás lép fel, főként a görgőknél, a huzalvezető spirálban lerakódott por, fémszemcsék miatt, valamint a pisztolyban az áramátadóban. A hegesztés gyakorlatában a járulékos költségek felmerülése komoly hatással van a folyamat teljes anyagi terheire. Ezen említett költségek javarészt a hegesztés utáni munkadarab tisztítására, azaz a nem a varratba kerülő, onnan kirepülő, fröcskölő fémcseppek eltávolítására, valamint a kopó alkatrészek cseréjére fordítódik.

1.5.1 Az áramátadó elhasználódásából származó járulékos költségek áttekintése

Az előző bekezdésben említettük, hogy az áramátadó hüvely elhasználódása miatt szükséges cseréje költséget jelent. Egy termelési folyamatban azonban az alkatrészcsere szükségszerű következménye a berendezés hasznos munkaidejének felfüggesztése. Ez a hegesztőrobotokra különösen igaz, ahol a karok minden mozdulata a lehető leghatékonyabbra van programozva, hiszen többnyire az új alkatrész beszerelésének idejére az egész gyártósor leállásra kényszerül.[6] Az alábbiakban egy hegesztőipari cég kopásból és fogásból származó éves költségeit mutatjuk be.

Felhasznált huzalmennyiség (kg/év)	100000
Felhasznált áramátadók száma (db/év)	7500
Felhasznált áramátadók költsége (HUF/év)	1 500 000
1 db áramátadó, spirál, gázterelő vagy görgőpár cseréjének ideje (perc)	10
A kopó/fogyó alkatrészek cseréje miatti kényszerű leállások ideje (h/év)	804
A kopó/fogyó alkatrészek cseréje miatti kényszerű leállások költsége (HUF/év)	2 700 000
Fröcskölés eltávolításának anyag és gépköltsége (HUF/év)	2 000 000

2. táblázat. Kopásból származó költségek

Belátható, hogy ez az összeg jelentős kiadást eredményez, melyet érdemes volna redukálni. A fröcskölés eltávolítása költségét azért írtuk be a táblázatba, mert a fröcskölés mértéke az áramátadó kopottságától is függ. Gyakran panaszkodnak a hegesztő munkások, hogy a kopott áramátadó kevésbé vezeti meg a huzalt, annak vége „imbolyog”. Ez a kellemetlen effektus a varrat pozícionálhatóságát is rontja, tehát a kopás mértékének csökkentésével két problémát mérsékelhetnénk egyszerre.

1.5.2 A kopást befolyásoló tényezők

Tribotechnikai szempontból a kopás az az anyagmennyiség, amely a súrlódási erő hatására részecskék formájában leválik az érintkező felületekről és elhagyja az érintkezési tartományt, mely jelenség nem elkerülhető, csak csökkenthető károsodási folyamat. A súrlódással kapcsolatos ismereteink még napjainkban is hiányosak, ezért a tervezőmérnök elsősorban az empirikus, kísérleti adatokra támaszkodva hozhat technikai döntéseket.

A súrlódási erő „soktényezős” megközelítése:

$$F_s = f(F, v, A, \rho, H, R_z, W, E, V, T, D, Y, \text{stb.})$$

ahol:

F: a terhelés,

E: alakváltozási energia,

v: a csúszási sebesség,

V: az alakváltozás térfogata,

A: a tényleges érintkezési felület,

T: hőmérséklet,

ρ : sűrűség,

D: a környező közeg tulajdonságai,

H: keménység,

R_z : a felületi érdesség,

Y: a kísérleti rendszer jellemzői.

W: a felületi energia.

A hegesztési eljárás nem teszi lehetővé az alapvető súrlódáscsökkentő eljárások (kenőanyag, anyaggár módosítás) alkalmazását, ezért alternatív megoldásokra van szükség az amortizáció redukálása érdekében. [7]

2. A huzaltolási ellenállás vizsgálati módszerének kidolgozása

2.1 A koptató hatás megfigyelése, mérése

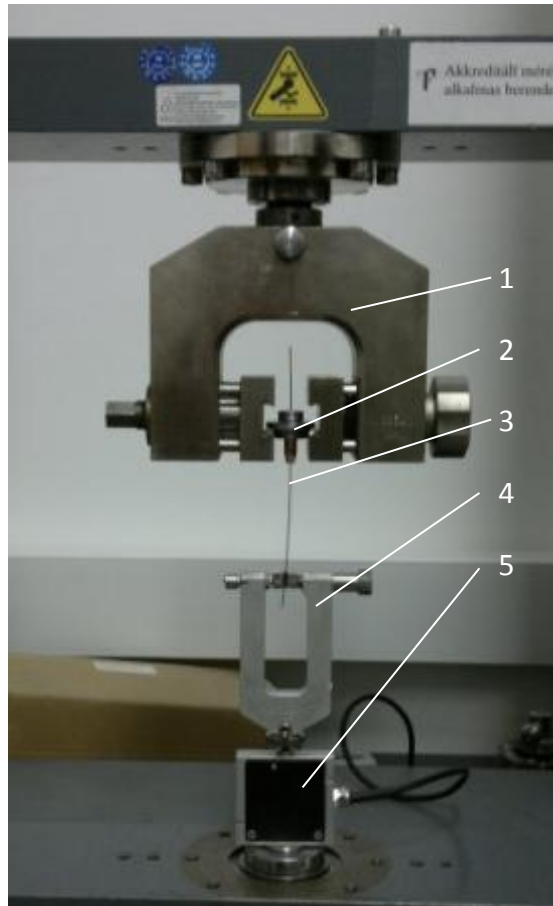
Elsődleges célunk az áramátadó kopásának tanulmányozása. Tudni szeretnénk, hogy a különböző paraméterektől milyen mértékben függ az áramátadó faláról leváló anyag mennyisége. Ennek tanulmányozását a következőképpen oldottuk meg: a hegesztőhuzal és az áramátadó relatív elmozdulását, és a kettő közti súrlódási erőt mérhető módon akartuk modellezni, ennek megfelelően a kísérleti összeállítást egy szakítógépben valósítottuk meg. Mivel nagyon kis erőre számítottunk, ezért az alábbi méréseinket egy akkreditált mérésre alkalmas, 0-20 N méréstartományú erőmérő cellával ellátott, Zwick Z005 típusszámú, I. pontossági osztályú szakítógépen végeztük el (8. ábra), mely a Polimertechnika Tanszék tulajdonában van. Ennek segítségével vettük fel az erő-elmozdulás diagramokat.



8. ábra. Zwick Z005 típusú szakítógép

2.2 Az áramátadó és huzal között fellépő súrlódási erő mérése

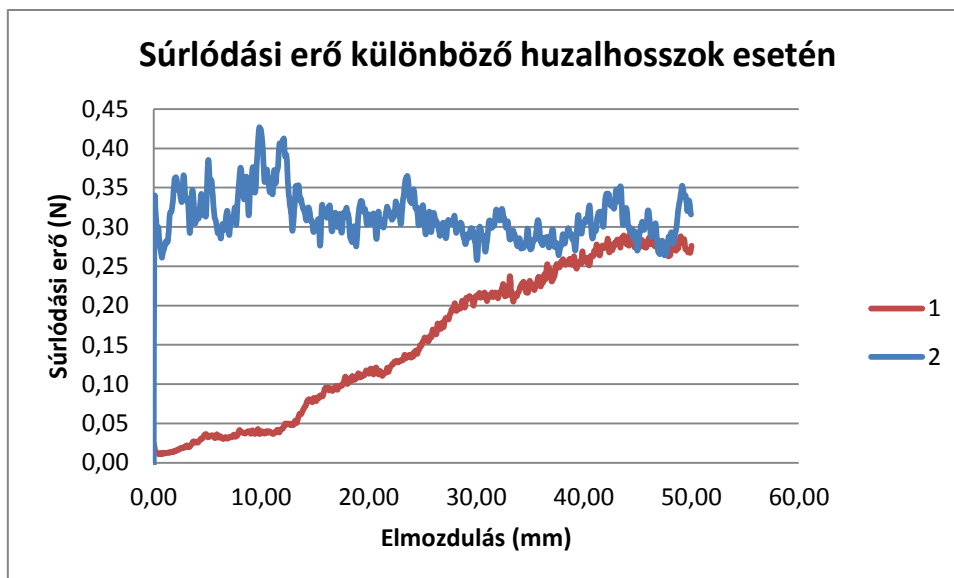
Méréseink során először az áramátadó és huzal között fellépő súrlódási erőt mértük oly módon, hogy a helyben maradó erőmérő cellához rögzített huzaldarabon húztuk a szakítógép mozgó befogójához rögzített áramátadót 50 mm hosszon 75 mm/min sebességgel. A mérést a befogások kivitelezhetősége miatt kellett így végeznünk, de a végeredményül kapott relatív elmozdulás megegyezik azzal az esettel, ha a huzalt mozgatjuk és az áramátadó áll (9. ábra).



9. ábra. A mérés elrendezése

(1) szakítógép mozgó befogója; (2) rögzített áramátadó; (3) hegesztőhuzal
(4) álló befogó; (5) erőmérő cella

A valóság-hű vizsgálat érdekében a mérendő hegesztőhuzal darabot az eredeti görbült állapotában hagytuk, nem egyenesítettük ki, így a huzal az áramátadón való áthúzása során hasonlóképpen érintkezett vele, mint a tényleges hegesztési eljárás során. A kiegyenesítés ötlete azért vetődött fel bennünk, mert a kezdeti mérésekkor a várt közel konstans nagyságú erő helyett monoton növekvő görbéket kaptunk (10. ábra). Ebből arra következtettünk, hogy a huzal görbülete túlságosan nagymértékben befolyásolja a mért erőt, mely mérési bizonytalanságot eredményez, lehetetlenné teszi a reprodukálhatóságot, melyet igyekeztünk elkerülni. Beláttuk azonban, hogy a huzaldarabok kiegyenesítése során sérülne a rajtuk lévő bevonat, és a mérés menete is távolodna az életszerűségtől, melyhez ragaszkodni próbáltunk. A hiba okának a huzaldarab hosszát találtuk, és kísérletezni kezdtünk az optimális hosszúság-kiderítése céljából. Tudtuk, hogy a 100 mm hosszúságú huzaldarab esetén a befogás helyéhez annyira közel van mért huzalszakasz, hogy a huzal görbülete jelentősen befolyásolta a mért erő értéket. Felső korlátnak az 500 mm-es huzaldarabot sejtettük, hiszen itt már a huzal saját tömegéből származó kihajlása rontja el a mérést, ezt a sejtésünket igazolta a mért eredmények nagymértékű szórása, tehát tovább vizsgálódtunk, és arra az eredményre jutottunk, hogy a huzal befogási pontja és az áramátadó közötti kezdeti távolság ideális értéke 125 mm, mely mellett közel állandó nagyságú erőket mértünk (10. ábra). A mért súrlódási erő értékek minimum három mérés átlagerőinek számtani közepei.

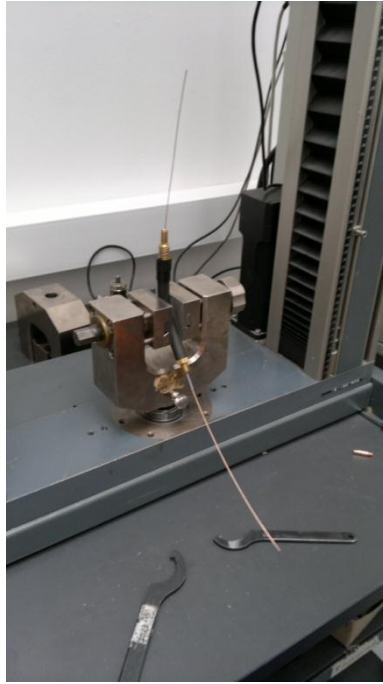


10. ábra. Súrlódási erő különböző huzalhosszok esetén
(1) L=100 (mm); (2) L=200 (mm)

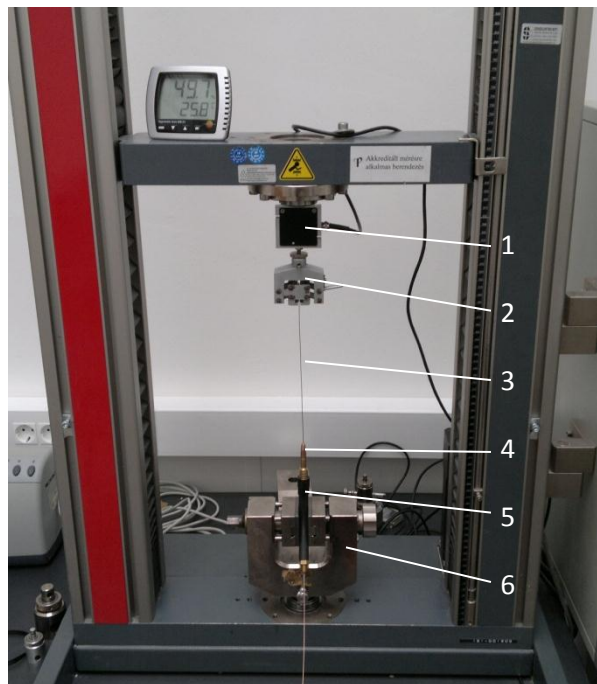
Az (1) jelű görbéhez hasonló eredményeket produkáló huzalhosszokat és befogási távolságokat elvetettük, a (2) jelű görbéhez hasonló eredményeket tekintettük relevánsnak (L=200 mm, kezdő befogási távolság: 125 mm).

2.3 A súrlódási erő, hegesztőpisztolyban megvezetett huzal esetén

A vizsgálat életszerűbbé tétele érdekében az addig használt pófás befogó helyett a huzalt egy hegesztőpisztolyon és a hozzárögzített áramátadón átvezetve mértük a súrlódási erőt, mivel ez egy tökéletesebben reprodukálható befogás (11. ábra). Ennél a konfigurációnál megoldható volt a valós mozgások kivitelezése (12. ábra). Vizsgálódásunk tárgya a pisztolyon és áramátadón, valamint a csak pisztolyon az áramátadó nélkül átvezetett huzal áthúzása közben fellépő súrlódási erő mérése, és a különbség kiszámítása volt, hogy megtudjuk, valós esetben mekkora az áramátadóban fellépő súrlódási erő. A huzal a hegesztőgépben elhelyezett huzaldobtól a pisztolyban található áramátadóig kétféle vezetékben mozoghat: huzalterelő spirálban (bowden), illetve huzalterelő teflonban. Utóbbiban nyilván kisebb súrlódási erő ébred, ezért mindkét betéttel elvégeztük a mérést. Bowden esetén azt tapasztaltuk, hogy az így mért erő nagysága jóval meghaladja a csak az áramátadóban mért erőét, valamint a szórás nagyobb nála, így nem tudtuk megmérni, hogy valós esetben mekkora súrlódási erő ébred az áramátadó és a huzal között. Huzalterelő teflonvezeték esetén igazoltuk a kisebb súrlódási erő fellépését (13. ábra), mely körülbelül negyede a bowdenben mért erő nagyságának, az áramátadó jelenléte viszont hasonlóképpen nem okozott változást a súrlódási erőben, pedig a 2.2 esetben mért, illetve a teflonvezetékben mért erő nagysága közel azonos. Ebből arra következtettünk, hogy a súrlódási erőt eredményező tényezők nem additívak, ezért ez a mérési módszer számunkra nem releváns. Mivel nem tudtuk kimutatni az áramátadóban fellépő súrlódást, így a további méréseket a 2.2 bekezdésben leírtak szerint végeztük.

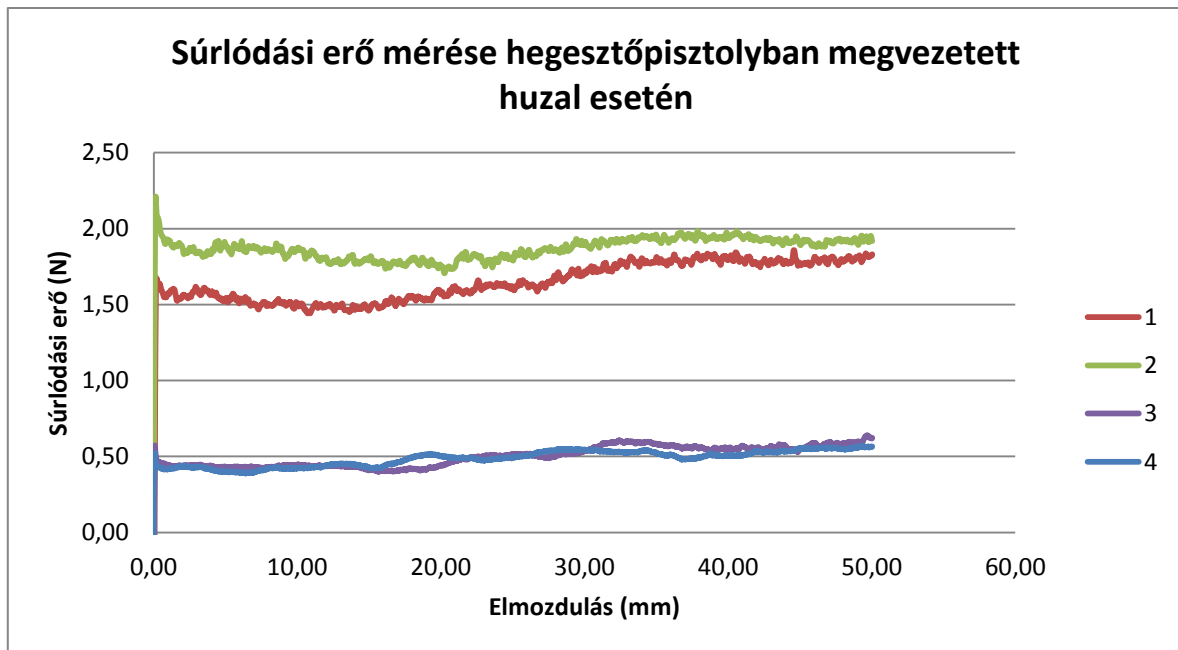


11. ábra. A hegesztőpisztolyban megvezetett huzal



12. ábra. A mérés elrendezése

(1) erőmérő cella, (2) mozgó befogó; (3) hegesztőhuzal; (4) pisztolyba rögzített áramátadó;
(5) hegesztőpisztoly; (6) álló befogó



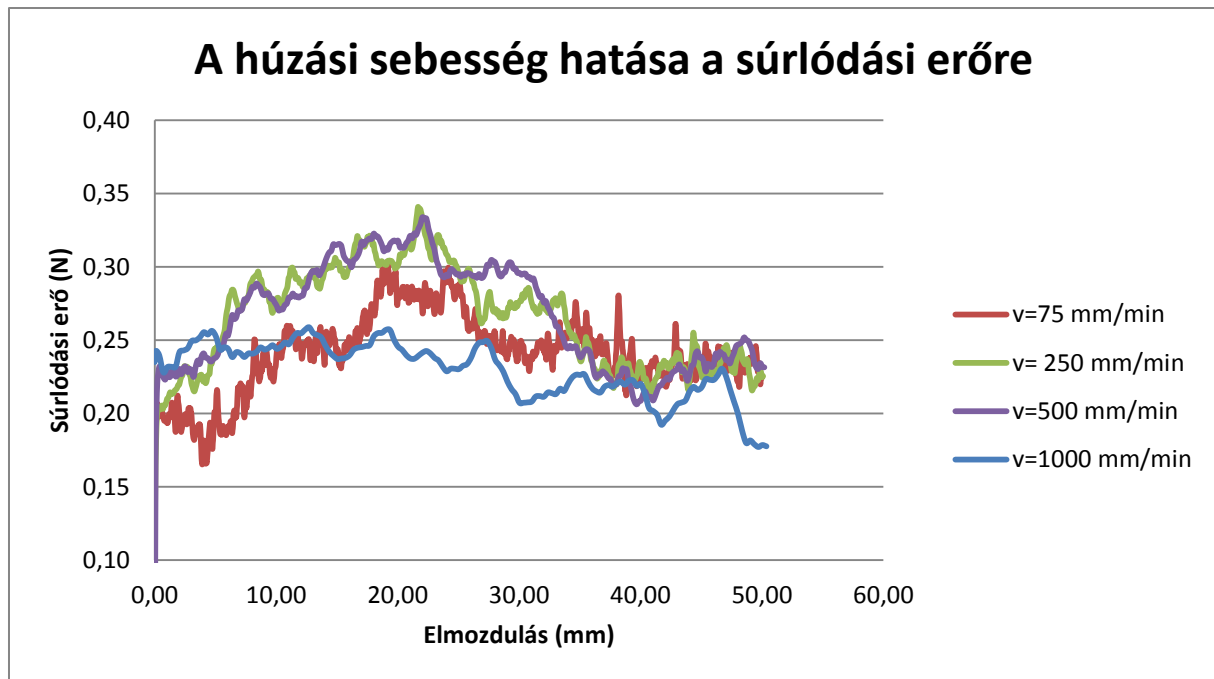
13. ábra. A mért súrlódási erők
 (1) bowdenben, áramátadó nélkül; (2) bowdenben, áramátadóval
 (3) teflonvezetékben áramátadóval; (4) teflonvezetékben áramátadó nélkül

2.4 A húzási sebesség hatása a súrlódási erőre

A Coulomb-féle súrlódáselmélet ugyan kimondja, hogy a súrlódási erő nagysága nem függ a csúszás sebességétől, azonban a gyakorlatban alkalmazott „soktényezős” megközelítés figyelembe veszi ezt a paramétert is, így mi is vizsgáltuk. Méréseinket a 2.2 bekezdésben ismertetett módon végeztük, különböző húzási sebességekkel.

A mérés paraméterei:

- a huzalok átmérője: 1,2 mm
- a huzalok típusa: bronzbevonatos szénacél huzal (Oerlikon Carbofil 1 Gold)
- a vizsgált darabok hossza: 200 mm
- a huzal befogási pontja és az áramátadó közötti kezdeti távolság: 125 mm
- az áramátadó axiális elmozdulás: 50 mm
- a húzási sebességek: 75 mm/min; 250 mm/min; 500 mm/min; 1000 mm/min



14. ábra. A húzási sebesség hatása a súrlódási erőre

A diagramon látható, hogy az értékek maximális szórása 0,2 N, és 40 mm elmozdulás után szinte azonosak.

Hegesztés során az előtolás 2-20 m/min sebességértékek között változhat, a különböző paramétereiktől függően, azonban az általunk használt szakítógép maximális húzási sebessége, az utolsó mérésnél alkalmazott 1 m/min értékű, így sajnos a méréssel nem sikerült meg tudnunk, hogy a valós sebességek mekkora hatással vannak a súrlódási erőre, viszont bizonyítottuk, hogy az általunk mért sebességtartományban a sebesség hatása elhanyagolható.

2.5 Különböző huzaltípusok súrlódásának vizsgálata

Mivel a huzal koptatóhatása nagy szerepet játszik a gyakorlatban, kíváncsiak voltunk, hogy a különböző bevonatok milyen hatással vannak a fellépő súrlódó erőre. A huzalbevonatokat a gyártók folyamatosan fejlesztik, azok pontos összetétele, paraméterei ipari titkok, ezért nagy a versengés a piacon, melynek eredménye a bevonatos huzalok széles palettája. Ezek közül választottuk ki a leggyakrabban használt ESAB típusokat, melyekkel elvégeztük a 2.2 bekezdésben leírt kísérletet, melynek segítségével rangsorolni tudjuk a huzalokat, a fellépő axiális irányú erő nagyságának függvényében.

2.5.1 A mérendő huzaltípusok ismertetése

Megkülönböztetünk tömör, valamint portöltetű hegesztőhuzalokat. A tömör huzalok anyaga azonos a huzal mentén, de az előtolás megkönnyítésére egy vékony bevonattal rendelkeznek. A tömör hegesztőhuzalokat használják a leggyakrabban kis teljesítmény igényű felada-

tokhoz, az alumíniumhoz pedig az egyetlen megoldást jelentik. Tömör hegesztőhuzalok esetében az átmérő 0,6 mm-től egészen 2,4 mm-ig terjed. A porbeles huzalok egy vékony fémburkolattal rendelkeznek, belül pedig porral vannak töltve. Szerkezeti acélok hegesztésénél a porbeles hegesztőhuzalok fő előnye a minőség és a termelékenység. Néhány alkalmazásban a rozsdamentes porbeles hegesztőhuzalok terjednek a javuló termelékenység miatt. A porbeles huzalok 0,9 mm - 2,4 mm átmérőben kaphatóak. [2], [8] A tömör huzal anyaga leggyakrabban acél, melyet a jobb elektromos vezetés, korrózióvédelmi okokból rézzel vonnak be. Újdonság és az iparban egyelőre kevésbé elterjedt a bronzbevonatos acélhuzal, mely a rézbevonatos társa továbbfejlesztésének tekinthető. [9]

Az AristoRod huzal egy ESAB termék, mely egy rézbevonatmentes, szappanszerű, úgynevezett ASC bevonatú tömör hegesztőhuzal, ötvözetlen és időjárásálló acélok (mint például a COR-TEN, Patinax, Dilicor stb.) védőgázos fogyóelektrodás ívhegesztéséhez. [8]

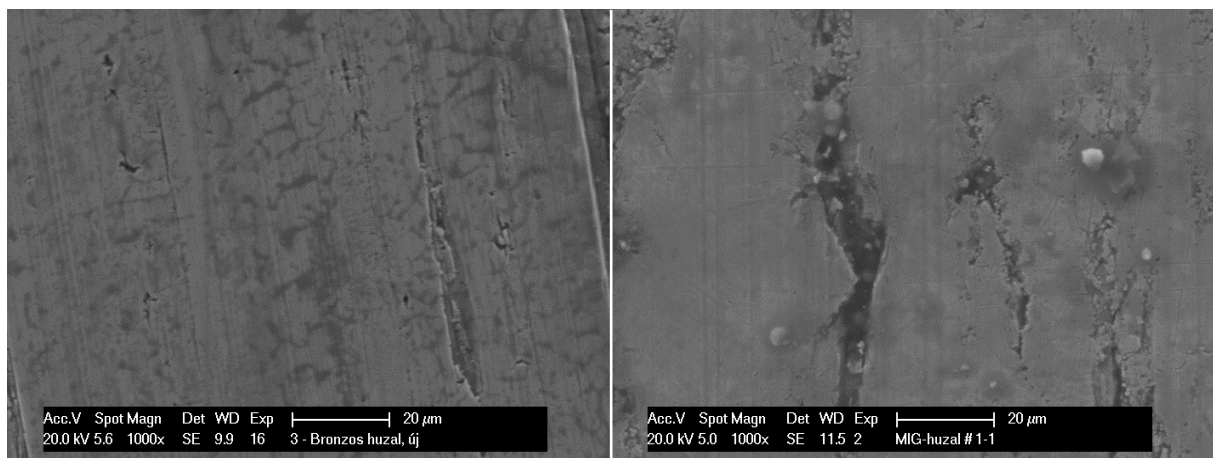
2.5.2 Különböző huzaltípusok súrlódásának összehasonlító mérése

A mérés paraméterei:

- a huzalok átmérője: 1,2 mm
- a vizsgált darabok hossza: 200 mm
- a huzal befogási pontja és az áramátadó közötti kezdeti távolság: 125 mm
- az áramátadó axiális elmozdulás: 60 mm
- a húzási sebesség: 100 mm/min

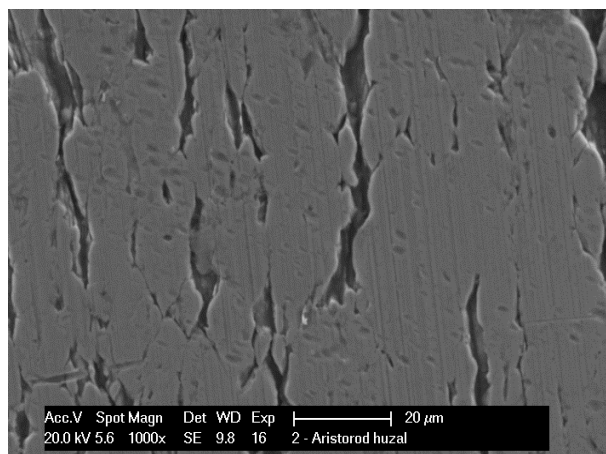
A vizsgált huzalok

- (1) bevonat nélküli tömör alumíniumhuzal (BÖHLER UTP A 47)
- (2) rézbevonat nélküli tömör acélhuzal (ESAB Autrod 12.50)
- (3) bronzbevonatos szénacél huzal (Oerlikon CARBOFIL 1 GOLD)
- (4) rézbevonatos szénacél huzal (ESAB OK Autrod 13.23)
- (5) Aristorod huzal (ESAB OK Aristorod 13.08)
- (6) portöltéses huzal (BÖHLER FOX Ti 60-FD)

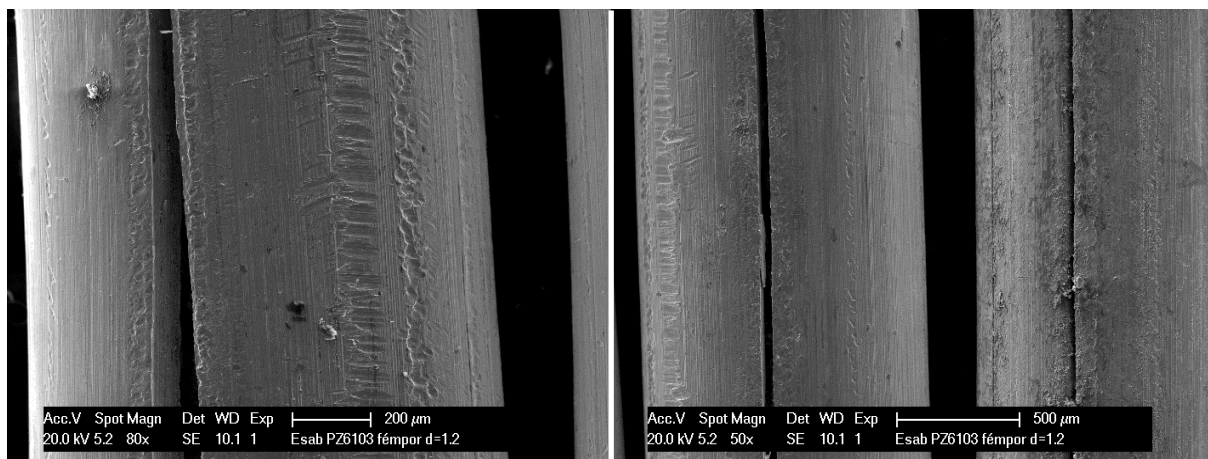


15. ábra. Új bronz- rézbevonatos huzalok felületének pásztázó elektronmikroszkópos képe

A bal oldali képen a bronzbevonatú, simább felületű huzal, a jobb oldali képen rézbevonatos huzal látható.



16. ábra. Az Aristorod huzalon lévő szappanszerű bevonat jobb tapadásához szükséges mikroméretű barázdák



17. ábra. A portöltetű huzal köpenyének illesztése

Előfeltevéseink szerint a bronzbevonatú és az Aristorod huzalok esetében kisebb súrlódás lép fel, hiszen ezek felülete a leginnovatívabb és a szakemberek visszajelzései is ezt tanúsítják.

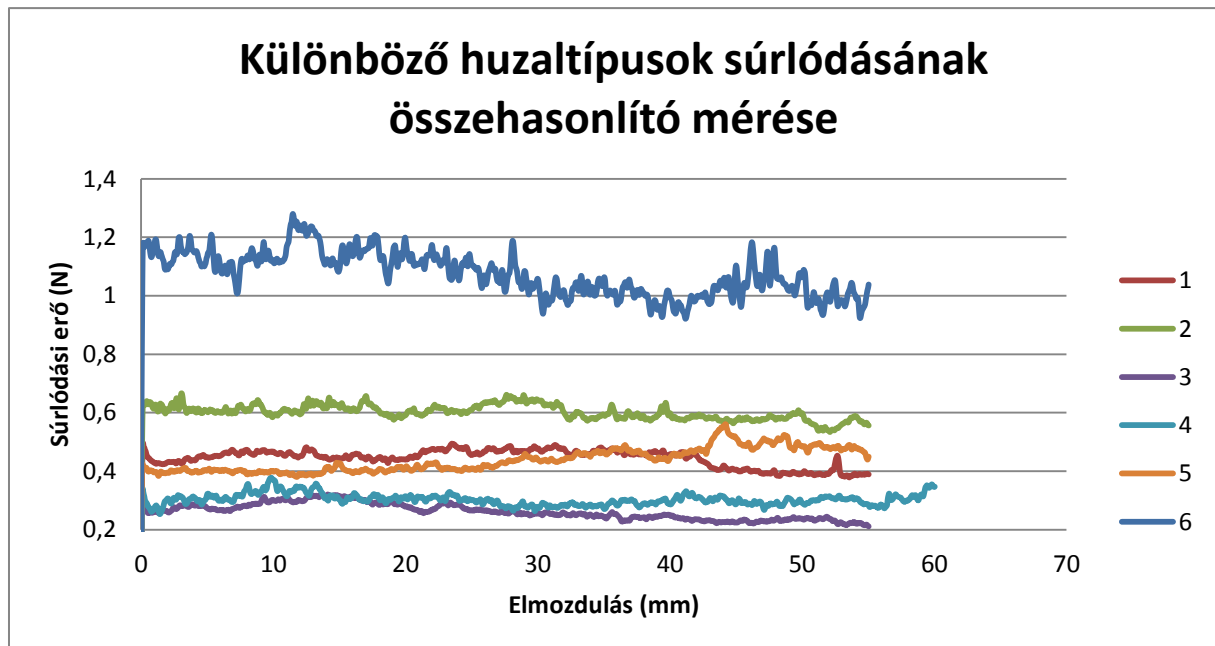
A huzalok rangsorolása a mért súrlódási erő szerint csökkenő sorrendben:

Huzaltípus	Átlagos mért súrlódási erő (N)
Bronzbevonatos szénacél huzal	0,26
Rézbevonatos szénacél huzal	0,30
Bevonat nélküli tömör alumíniumhuzal	0,44
Aristorod huzal	0,47
Rézbevonat nélküli tömör acélhuzal	0,60
Portöltéses huzal	1,07

3. táblázat. Különböző huzalok súrlódási ellenállása

Amint a táblázatban látható, a bronzbevonatos huzal beváltotta a hozzá fűzött reményeket, és a rézbevonatos huzal is meglepően jól teljesített, megelőzte a sokak által elismert

Aristorod huzalt. A bevonat nélküli huzalok esetében mértük a legnagyobb súrlódási erőt, a portöltéses huzal esetén valószínűleg azért sokkal nagyobb a mért erő, mivel annak keresztmetszete a gyártásából adódóan kevésbé ideális kör, mint a többi huzalnak.



18. ábra. (1) bevonat nélküli tömör alumíniumhuzal; (2) rézbevonat nélküli tömör acélhuzal; (3) bronzbevonatos szénacél huzal; (4) rézbevonatos szénacél huzal; (5) Aristorod huzal; (6) portöltéses huzal

A grafikonon látható értékek minimum három, de egyes esetekben hat (alumínium), illetve hét (rézbevonat nélküli tömör acélhuzal) mérés eredményeinek átlagai. A portöltéses huzal esetében annyira nagymértékű a súrlódás, hogy még ez az átlag sem „simult ki”, mint a többi huzalnál.

A mérés tanulsága, hogy a koptatóhatás jobb kimutathatósága érdekében portöltéses huzal-lal kell tartóteszteket végezni.

3. Lehetőségek a koptatóhatás csökkentésére

A dűzni élettartamának növelésének érdekében csökkenteni kell a leváló anyag mennyiségét, vagy a pontszerű anyagleválást el kell eloszlatni a felületen. Ezen hatások elérése érdekében a következő lehetőségeket vizsgáljuk meg:

3.1 Az áramátadó forgatása

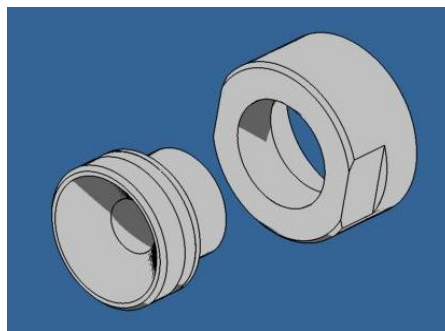
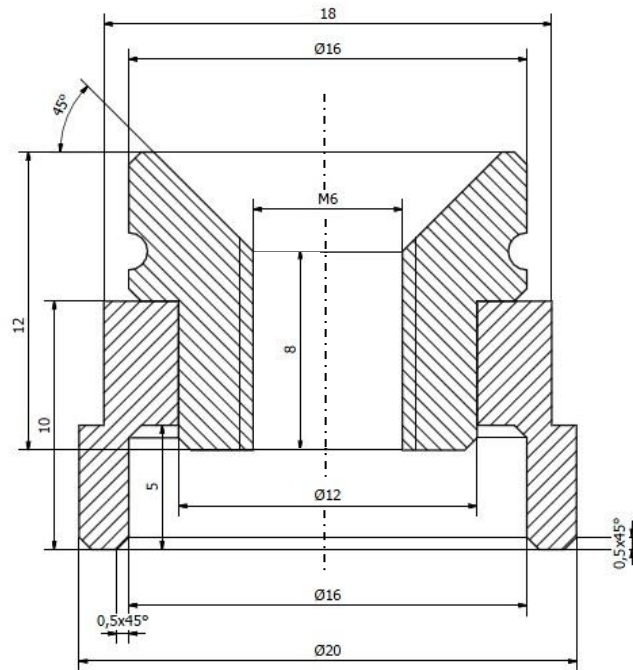
Tapasztalati tény, hogy a pezsűsüveg dugóját könnyebb kihúzni, ha közben forgatjuk. E jelenség adta az alapötletet, hogy a súrlódó felületeket a dugó analógiájára forgassuk egymáshoz képest. Ezáltal a súrlódási erő axiális és tangenciális irányú komponensekre bomlik. A két komponens egymásra merőleges, és nagyságaik aránya határozza meg az eredő súrlódási erő nagyságát és irányát. Sajnos a tangenciális irányú erőt nem tudjuk mérni. Azonban elképzelhetőnek tartjuk, hogy a tangenciális irányú csúszási súrlódási erőt a mozgás bizonyos fázisaiban gördülési súrlódás helyettesíti, valamint a súrlódás egyéb, általunk nem mért (nem mérhető) paraméterei is változhatnak. Ezért elméletileg azonos nagyságú relatív elmozdulás (csak húzás, csak forgatás) esetén sem törvényszerű a két erő nagyságának egyenlősége. Az eljárás másik előnye lehet, hogy míg eddig három ponton történt a súrlódás, ez a felület most három körívvé bővül, egyenletesebbé téve az anyagleválást. Így az áramátadó hüvely élettartama növekedhet, továbbá a huzal iránya kevésbé, illetve lassabban módosul az áramátadó használata során, mellyel a hegesztés közben fellépő fröcskölés mértéke csökkenthető.

3.1.1 A forgatás hatásosságának kérdése

A 2.4 bekezdésben leírt mérés alapján az 1000 mm/min felső korlátú sebességtartományban a sebesség hatása a súrlódási erőre elhanyagolható. Kérdéses tehát, hogy tetszőleges forgatási sebességgel zérusra csökkenthető-e az axiális irányú súrlódási erő, vagy létezik kapcsolat a húzási sebesség, a forgatás sebessége és az axiális súrlódás nagysága között, és ha igen, milyen jellegű?

3.1.2 A forgató berendezés ismertetése

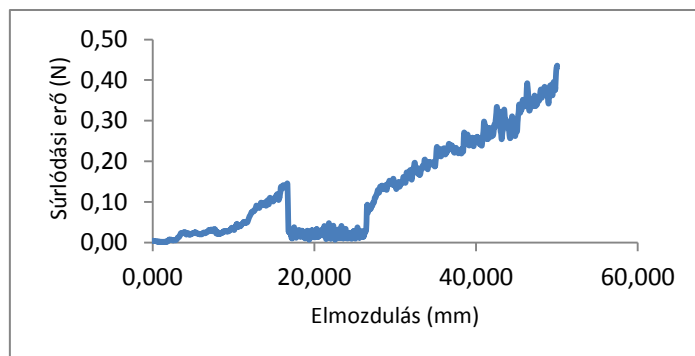
Az áramátadó forgatásához tervezni kellett egy eszközt, melybe egyrészt be tudjuk fogni és forgatni az áramátadót, másrészt elhelyezhető a szakítógépen. Ezt, a két esztergált alkatrészből álló eszközt forgatóberendezésnek neveztük el (19-20. ábra). Működése nagyon egyszerű, a nagyobb átmérőjű, alsó rész pereme felül a szakítógép befogó pofájára, ezáltal a benne lévő furat biztosan függőleges helyzetben van a mérés során. A furatba illeszkedik a kisebb átmérőjű felső rész, melybe M6-os menettel rögzítjük az áramátadót. A felső rész külsején beszúrás található, melybe vékony fonalat tekerünk. A fonál húzására a felső rész és az áramátadó forogni kezd.



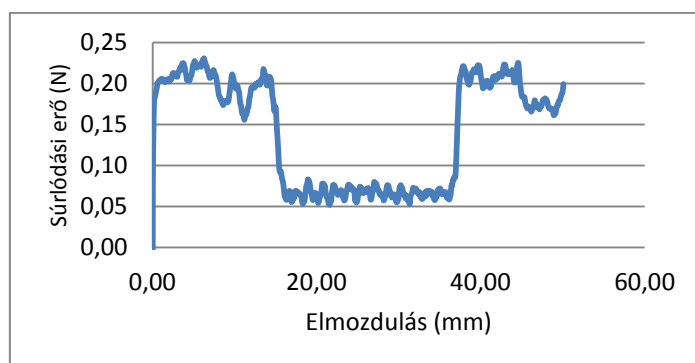
19-20. ábra. A forgatóberendezés összeállítási rajza és modellje

3.1.3 A forgatás hatásának mérése

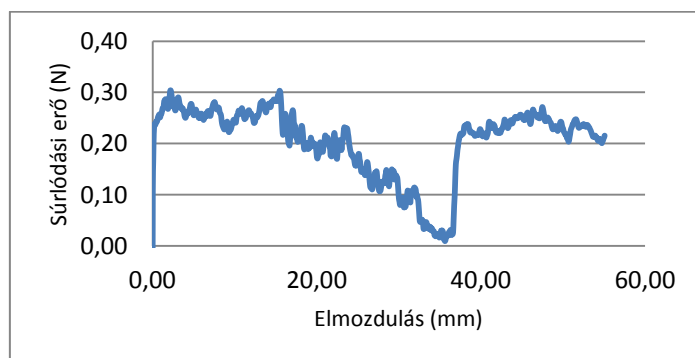
A mérést a 2.2 bekezdésben leírt módon végeztük, azzal a különbséggel, hogy az áramátadó a szakítógép befogópofája helyett a forgató berendezésben lett rögzítve. Első kísérletünkben kézzel húztuk a fonalat, hogy lássuk, a forgatás hatással van-e az axiális súrlódási erőre. Azt tapasztaltuk, hogy igen, ha megrántjuk a fonalat az erő lecsökken, ha elengedjük, visszaáll (21. ábra). A mérést azelőtt végeztük, hogy rájöttünk volna arra, hogy milyen hosszúságú huzaldarabokkal érdemes a kísérletet elvégezni, ezért látható a jellegzetes növekedés, azonban a forgatás csökkentő hatása egyértelmű. Később természetesen újra megmértük (22. ábra). Ezt követően különböző, növekedő sebességekkel húztuk a fonalat, szintén kézzel. Ezen mérésből jól látszik, hogy nagyobb forgatási sebesség esetén kisebb az axiális irányú súrlódási erő (23. ábra).



21. ábra



22. ábra



23. ábra

3.1.4 Axiális irányú erő minimalizálásához szükséges forgatási sebesség mérése

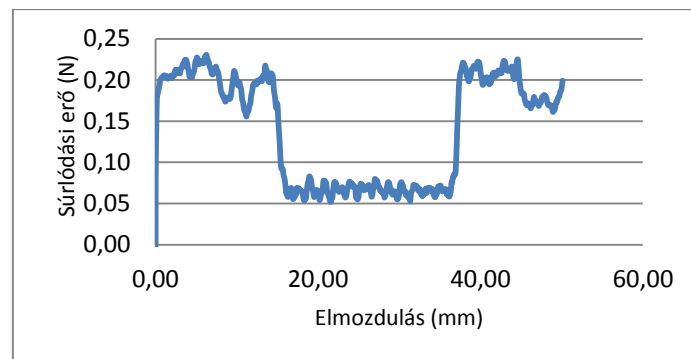
Méréseket végeztünk annak érdekében, hogy megtudjuk mekkora forgatási sebesség szükséges ahhoz, hogy a csúszási súrlódási erő két komponense közül csak a tangenciális irányú erő érvényesüljön. Ezt úgy érjük el, hogy az áramátadó forgatásával megváltoztatjuk a két erő nagyságának arányát, a tangenciális irányút maximalizáljuk, miközben az axiális irá-

nyút minimalizáljuk. A feltételezés helytállóságára abból a következtettünk, hogy a szakító-gében, a 3.1.3 pontban leírt módon, forgatókészülékkel kiegészített kísérletben mért axiális erő nagyságacsökkent. Különböző húzási sebességekhez kerestünk akkora forgatási sebességeket, melyek mellett az axiális irányú súrlódási erő a lehető legkisebbre csökken. A húzási sebességek: 100, 200, 250, 500, 1000 mm/min értékűek voltak. Az állandó nagyságú forgatási sebességről egy fűrógép gondoskodott, mely 300-as és 1000-res fordulatszámon forgott. Az áramátadó fordulatszámairól ezen kívül különböző átmérőjű hengeres testek fűrótokmányba rögzítésével gondoskodtunk (10, 16, 24, 30 mm átmérők). Ezen paraméterek párosításával különböző fordulatszámokon forgattuk az áramátadót.

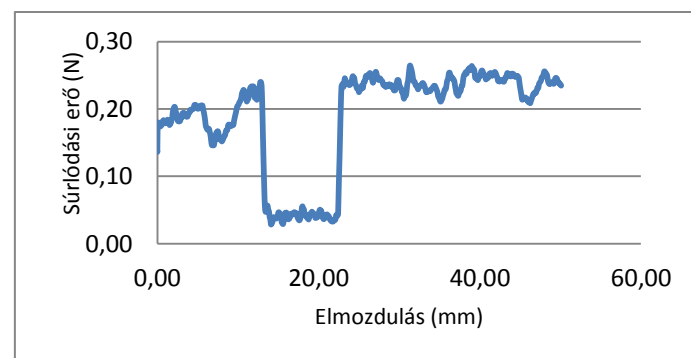
A mérés paramétereit:

- a huzalok átmérője: 1,2 mm
- a huzalok típusa: bronzbevonatos szénacél huzal BÖHLER UTP A 34 N
- a vizsgált darabok hossza: 200 mm
- a huzal befogási pontja és az áramátadó közötti kezdeti távolság: 125 mm
- az áramátadó axiális elmozdulás: 50 mm
- a húzási sebességek: 100 mm/min; 200 mm/min; 250 mm/min; 750 mm/min; 1000 mm/min
- az áramátadó fordulatszámai: 200 1/min; 480 1/min; 667 1/min; 1067 1/min; 1600 1/min; 2000 1/min;

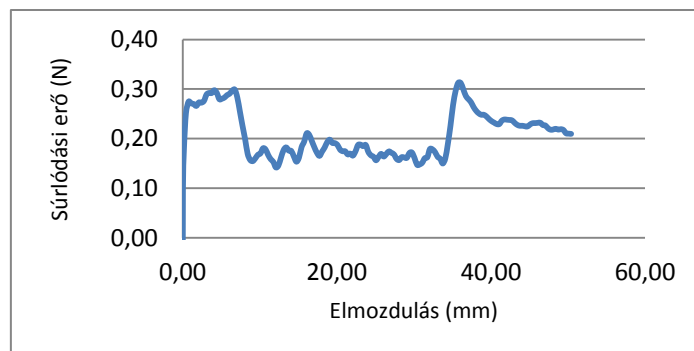
Az alábbi diagramok néhány mérés eredményeit mutatják grafikusan:



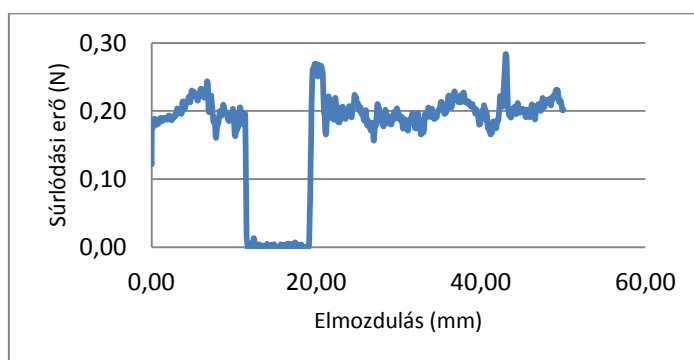
24. ábra. $v_n=250$ mm/min; $n=200$ 1/min



25. ábra. $v_n=250$ mm/min; $n=480$ 1/min



26. ábra. $v_h=1000$ mm/min; $n=480$ 1/min



27. ábra. $v_h=100$ mm/min; $n=480$ 1/min

A diagramokról jól leolvasható, hogy mikor indítottuk el a fúrót, hiszen ott lecsökken az erő. Látható az is, hogy nagyobb relatív elmozdulás nagyobb erőcsökkenést eredményez. Minden húzási és forgatási sebesség esetén több mérést végeztünk, látványos egyezés esetén kettőt, átlagosan hármat, nagyobb szórásoknál négyet. Kiszámoltuk az átlagerőket mérésenként (forgatott és nem forgatott szakaszokra) és ezeket átlagolva kaptuk azokat az erőket, melyekre további számításainkhoz volt szükség.

A mért és számított eredményeket az alábbi táblázat foglalja össze.

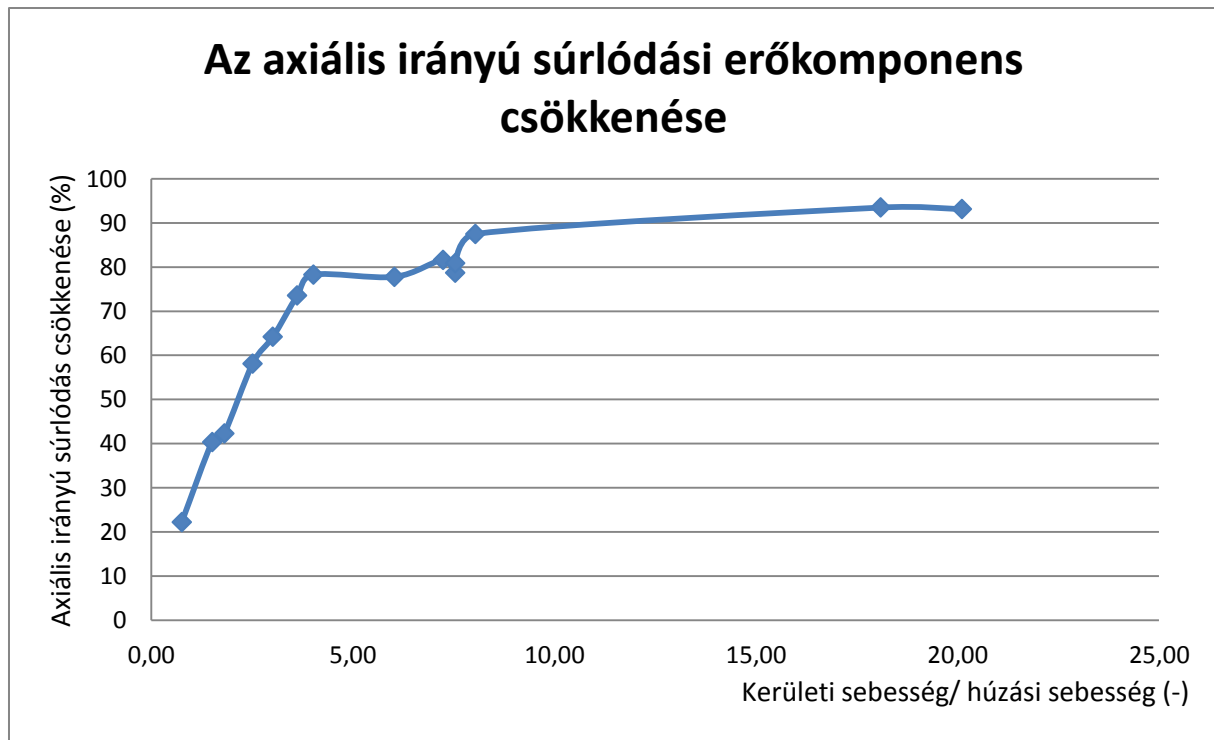
#	$V_{\text{előtolási}}$ [mm/perc]	$V_{\text{kerületi}}$ [mm/perc]	fordulatszám [1/min]	axiális súrlódási erő (N)	$V_{\text{kerületi}} /$ $V_{\text{előtolási}}$	erő százalékos csökkenése (%)
1.	100	0	0	0,23	0	0
2.	100	754	200	0,05	7,54	80,85
3.	100	0	0	0,23	0	0
4.	100	1810	480	0,02	18,10	93,48
7.	200	0	0	0,29	0	0
8.	200	4021	1067	0,02	20,11	93,10
9.	250	0	0	0,23	0	0
10.	250	754	200	0,85	3,016	64,18
11.	250	0	0	0,25	0	0
12.	250	1810	480	0,05	7,24	81,63
13.	500	0	0	0,26	0	0
14.	500	754	200	0,16	1,51	40,38
15.	500	0	0	0,23	0	0
16.	500	1810	480	0,06	3,62	73,53
17.	500	0	0	0,26	0	0
18.	500	4021	1067	0,02	8,04	87,50
19.	1000	0	0	0,27	0	0
20.	1000	754	200	0,21	0,75	22,22
21.	1000	0	0	0,26	0	0
22.	1000	1810	480	0,15	1,81	42,31
23.	1000	0	0	0,22	0	0
24.	1000	2513	667	0,09	2,51	58,14
25.	1000	0	0	0,23	0	0
26.	1000	6032	1600	0,05	6,03	77,78
27.	1000	0	0	0,24	0	0
28.	1000	7540	2000	0,05	7,54	78,72
29.	1000	0	0	0,23	0	0
30.	1000	4021	1067	0,05	4,02	78,26

4. táblázat. A forgatás során mért eredmények

A táblázatban az egymást követő, zérus forgatási sebességű és zérustól eltérő forgatási sebesség értékű sorok egy mérés eredményei. A sorokban található axiális erők több mérés átlagai.

3.1.5 Kapcsolat a húzási, forgatási sebesség és az axiális súrlódási erő nagysága között

A 3.1.4 bekezdésben bemutatott, a mért és számított eredményeket tartalmazó táblázat utolsó két oszlopát ábrázoltuk, hogy bemutassuk a kapcsolatot a húzási sebesség, a forgatás sebessége és az axiális súrlódási erő nagysága között. Erre azért volt szükség, hogy tetszőleges húzási sebességek esetén közelítőleg meg tudjuk mondani, hogy mekkora forgatási sebesség szükséges az axiális irányú erő minimalizálása érdekében (hiszen a szakítógép sebességhatára csak 1 m/min). Ha ezt tudjuk, akkor elméletileg bármekkora húzás mellett tudunk szinte csak radiális erőkomponensű súrlódást előállítani, melyet közvetlenül nem tudunk mérni, koptató hatását azonban félüzemi tartótesztek segítségével, és technikai kopásgörbék felvételével ki tudjuk mutatni.



28. ábra. Az axiális irányú súrlódási erőkomponens csökkenése különböző húzási és kerületi sebességek esetén

A diagramon látható, hogy nagyon nagy forgatási sebességek szükségesek egy nagy előtolási sebességhez, ezért feltételezhető, hogy csak tangenciális irányú erő esetén nagyobb lesz a koptatóhatás, mint csak axiális irányú erő mellett. Azonban véleményünk szerint érdemes vizsgálni olyan forgatások mellett is a kopást, ahol $v_{ker}/v_{húz}$ arány kisebb, hiszen látható, hogy körülbelül $v_{ker}/v_{húz}=4$ aránynál is már több, mint 60%-os erőcsökkenést mérhetünk. Célunk egy olyan optimális forgatási sebesség megállapítása, mellyel csökkenteni tudjuk az áramátadóról leváló anyag mennyiségét.

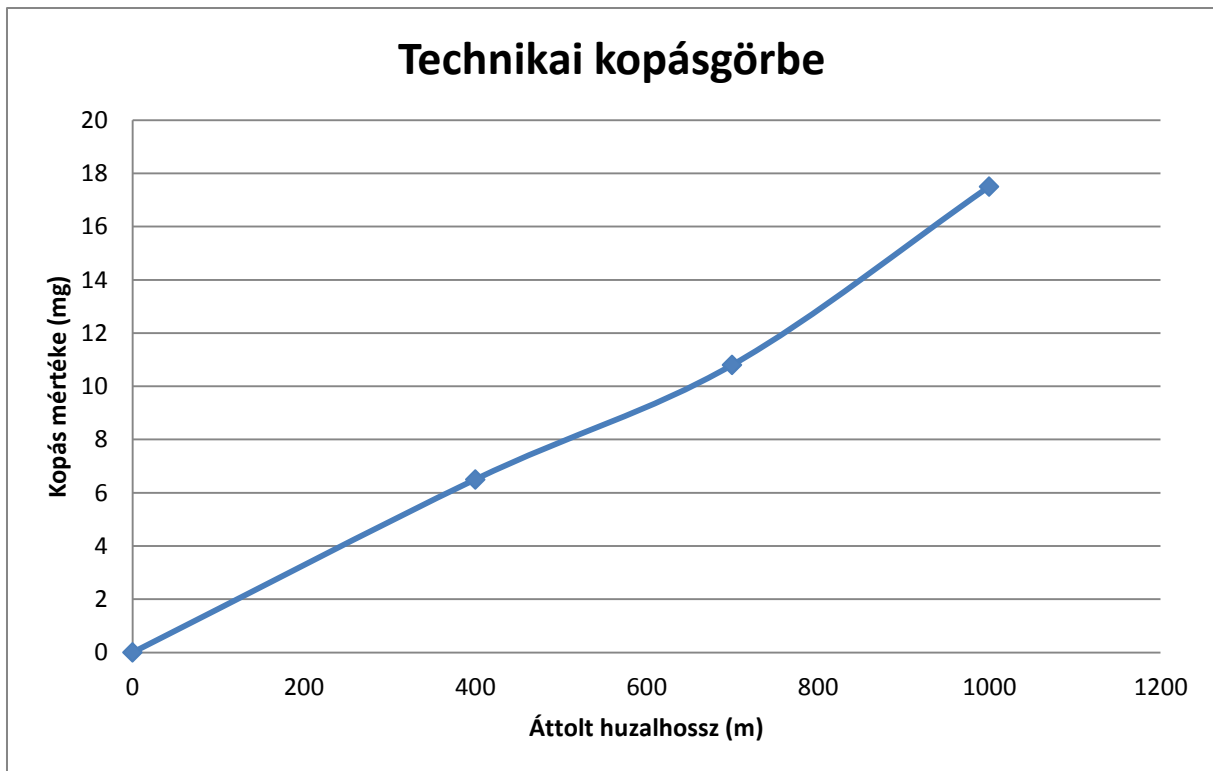
3.1.6 Technikai kopásgörbe felvétele félüzemi tartóteszt segítségével

A tangenciális irányú súrlódási erő nagyságát közvetlenül nem tudjuk mérni, koptató hatását azonban félüzemi tartótesztsek segítségével, és technikai kopásgörbék felvételével ki tudjuk mutatni. A mérést a következőképpen végeztük: alkoholos szennyeződéscsökkentés után, négy tizedes pontosságú mérleggel (29. ábra) lemértünk egy teljesen új áramátadó hüvelyt.



29. ábra. Denver APX-200 típusú labormérleg

Ez után arra törekedtünk, hogy a kísérletben a lehető legjobban szimuláljuk a valós körülményeket. Az említett áramátadót belehelyeztük egy hegesztőpisztolyba, majd szimulálva a hegesztés folyamatát üzembe helyeztük a berendezés huzalelőtoló rendszerét. Tényleges hegesztésre nem volt szükségünk, ezért a testkábelt nem csatlakoztattuk semmihez, így az áramforrás nem volt aktív. Védőgáz használata is indokolatlan lett volna, ezért nem nyitottuk meg a palackokat. A méréshez M6-os méretű, 1,2 mm furatátmérőjű áramátadót használtunk. A huzal magától értetődően 1,2 mm átmérőjű, portöltetű huzal volt. Választásunk azért esett erre, mert a 2.5.2 bekezdésben ismertetett mérésből tudjuk, hogy ennél a huzalnál a legnagyobb a súrlódási erő. Ismertük a huzal sebességét, így az időt figyelve nyomon tudtuk követni, hogy pontosan mekkora hosszúságú huzal hagyta el az áramátadót. Az alkatrész tömegét 400, 700, és 1000 méter huzal után megmértük. A kapott eredményeket diagramon ábrázolva látható, hogy az anyagleválás egyenesen arányos az áttolt huzal hosszával, a három mért pont pedig egy egyenesre illeszkedik.

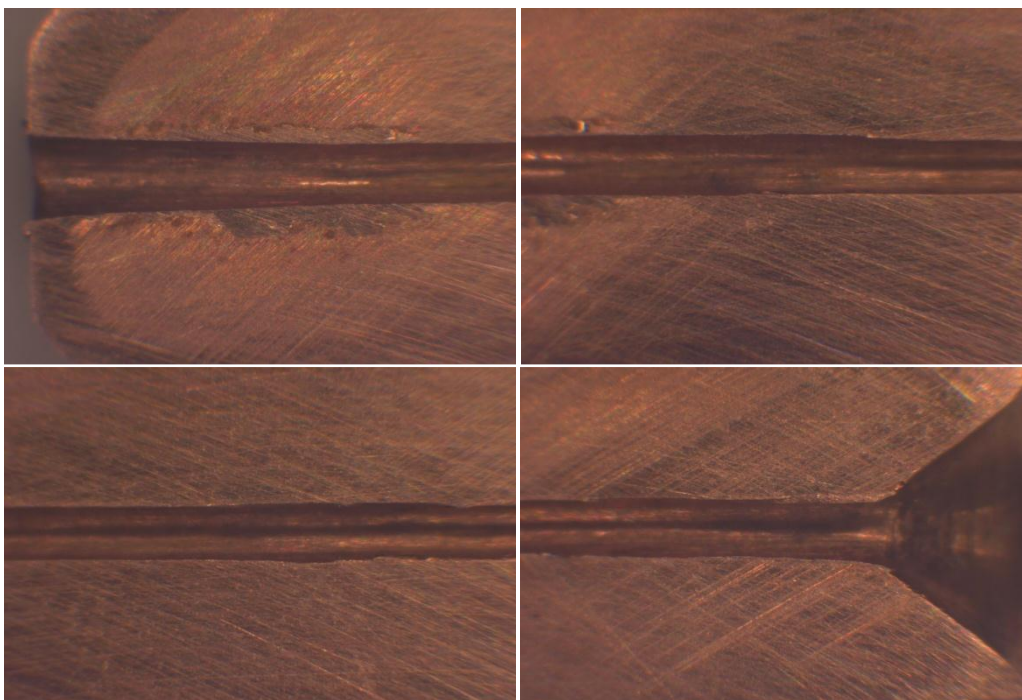


30. ábra. Technikai kopásgörbe

A mérést követően az alkatrészt 0,6 mm széles gyémántbevonatú vágókoronggal félbevágtuk (31. ábra), hogy megvizsgáljuk a kopás jellegét (32. ábra). A vizsgálathoz optikai mikroszkópot alkalmaztunk.



31. ábra. Áramátadó vágása gyémántbevonatú vágókoronggal



32. ábra. A furat felülete 1000 m huzal áttolása után

A képen jól látszik, hogy az anyagleválás nem egyenletesen ment véghez a furat felületén. Az áramátadó középső részén kevesebb, míg a két szélén több anyag vált le. E mérésnél tehát a 7. ábra második esete játszódott le.

3.2 Az elektrokémiai polírozás hatása a felületre

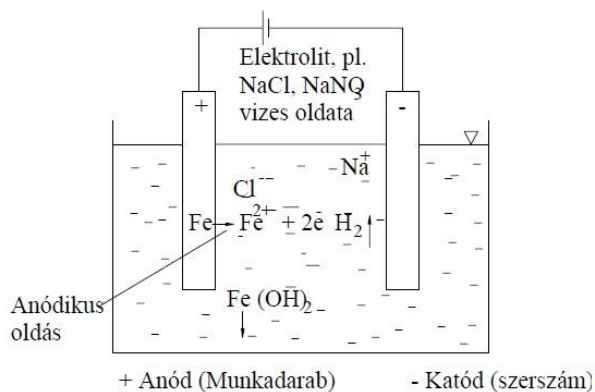
3.2.1 Az elektrokémiai polírozás lehetősége

Az áramátadó forgatása mellett egy másik lehetőséget is megvizsgáltunk. A kopást befolyásoló tényezők közül az érintkező felületek érdessége fontos szempont a leváló anyag mennyiségének szempontjából. Az áramátadó hossz tengelyén elhelyezkedő 0,6-2,4 mm átmérőjű furat felületi minőségének javítása a szokásos mechanikai módszerekkel nehézkes, illetve egyáltalán nem megvalósítható. Ezért egy alternatív megoldást, az elektrokémiai polírozást próbáltuk ki.

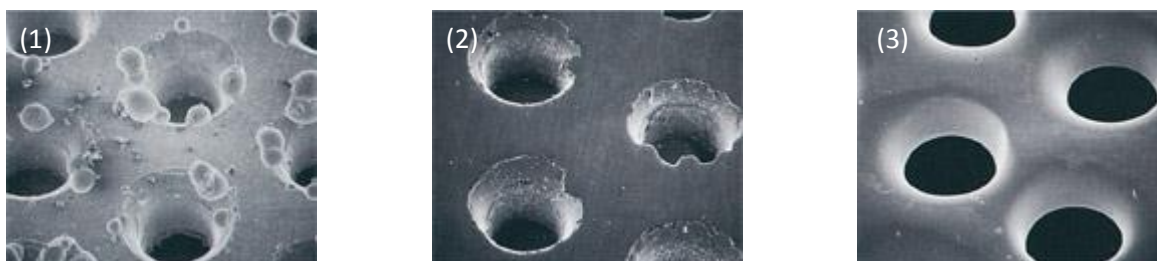
3.2.2 Az elektropolírozás működése

Az elektrokémiai polírozás elveiben a galvanizálás megfordítása, mely úgy javítja a fémes felületek tulajdonságait, mint semelyik másik eljárás[10]. Az elektropolírozás során a leválasztás terhelésmentesen megy végbe és különösképpen a mikroérdességre terjed ki. A felület a mikrotartományban sima és fényes lesz. Ezért beszélhetünk "elektropolírozásról". A makrotartomány szerkezete megmarad, de a felülete függetlenül a formájától fényesítve lesz. Az élek és sarkok erősebben lesznek leépítve, amely megbízható finom- és legfinomabb sorjázásként hat az egész felülettartományban (elektrokémiai sorjátlanítás). Az ered-

mények nagy pontossággal reprodukálhatóak, úgy, hogy a szűken tolerálható munkadarabok is biztosan megmunkálhatóak.



33. ábra. Az elektrokémiai polírozás elve [11]

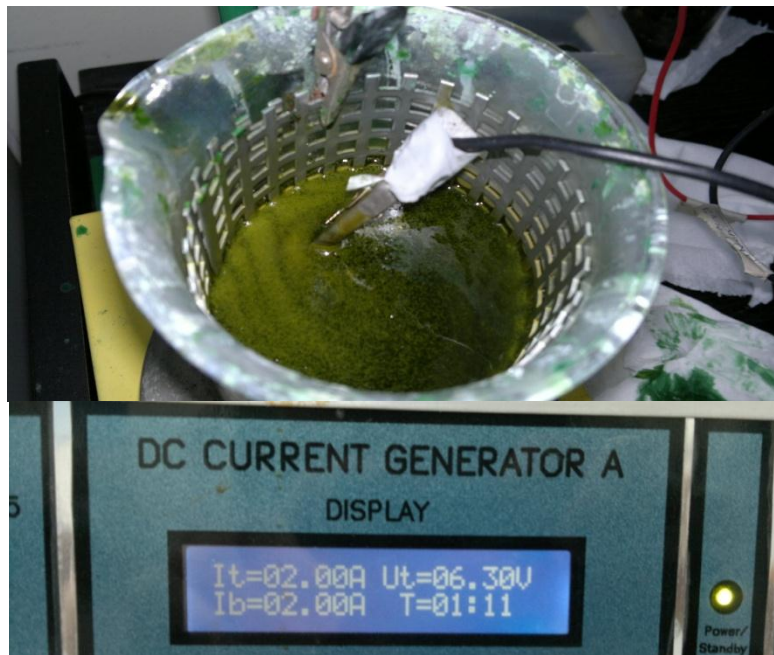


34. ábra A csiszolás és elektropolírozás hatása: (1)kiindulási állapot; (2) durva sorjátlanítás csiszolással; (3) 10 perc elektropolírozás [10]

A felület érdességének csökkentése elektropolírozással egyenletesen és szabályozhatóan vihető véghez. Az eljárás másik előnye, hogy ellentétben a hagyományos polírozási eljárásokkal, itt nem szükséges, hogy a kezelni kívánt felület könnyen hozzáférhető legyen. A polírozás ennek köszönhetően esetünkben is véghezvihető. Az eljáráshoz salétromsavat használtunk, és különböző áramerősségekkel, és időtartamokkal vizsgáldtunk (35-36. ábra)



35. ábra. Az elektropolírozó berendezés



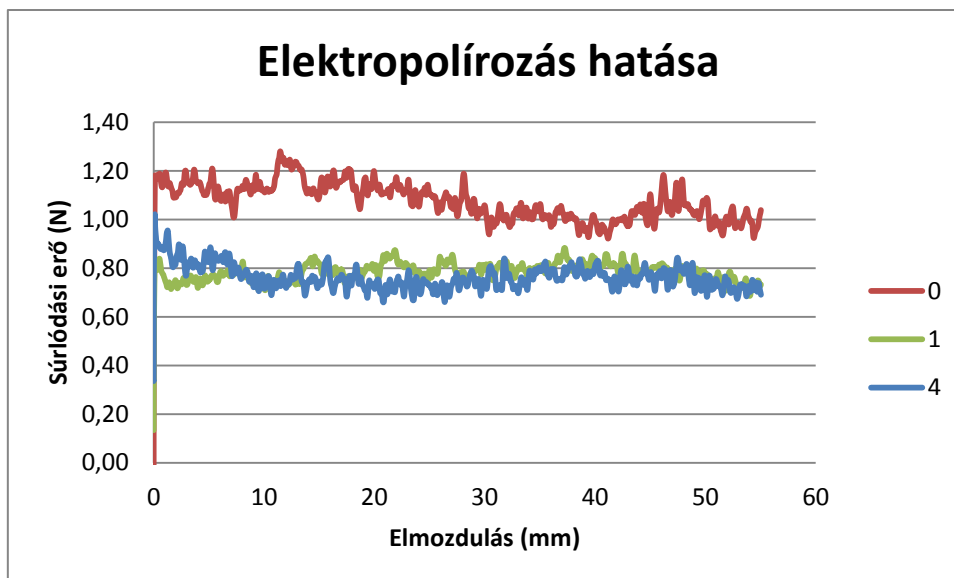
36. ábra. Az elektropolírozás folyamata (fent),
egyenáram paraméterei (lent)

A polírozás adatait az alább táblázat tartalmazza.

#	m_0 (g)	m_1 (g)	I (A)	U (V)	t (min)	m csökk. (%)
1.	8,4053	7,9778	5	7-9	15	5,086077
2.	8,3867	8,1225	5	7-9	10	3,150226
3.	8,5044	8,3731	5	8-10	5	1,543907
4.	8,4380	8,3668	2,5	6-6,3	5	0,843802

5. táblázat. A polírozás paraméterei

Természetesen az áramátadók tömegének csökkenését ez esetben is a korábban említett módszerrel ellenőriztük. A kezelt áramátadókat ezután alávetettük a 2.2 pontban említett szakítógépes vizsgálatnak, hogy megtudjuk, mennyivel csökken az axiális irányú súrlódás a felületkezelés hatására. Az eredményeket a következő diagram szemlélteti.



37. ábra. Az elektropolírozás hatása a súrlódási erőre.
(0) nem polírozott áramátadó; (1) legnagyobb mértékű polírozás;
(4) legkisebb mértékű polírozás

Látható, hogy a legnagyobb és a legkisebb mértékű polírozás esetén is közel megegyezik a mért erő érték, ezért a (2), (3) számjelű huzalokat nem vizsgáltuk. Mivel a polírozást a súrlódási erő mérése előtt végeztük, nem tudtuk, hogy mekkora mértékű polírozás lesz kimutatható (ha kimutatható egyáltalán). A méréssel az eljárás hatásosságát igazoltuk, a mért erő értéke 29%-kal csökkent a kontrol áramátadó esetében mért értékhez képest. A mért erőket az alábbi táblázat foglalja össze.

#	súrlódási erő (N)
0.	1,07
1.	0,78
4.	0,76

6. táblázat. Mért súrlódási erők

Az elektropolírozott áramátadó használata véleményünk szerint csak abban az esetben bizonyulhat hasznosnak, ha forgatással egybekötve alkalmazzuk, hiszen ellenkező esetben, a polírozás hamar elveszti hatását a bekopás miatt.

4. Következtetések

Munkánk során az áramátadó és a hegesztőhuzal kapcsolatát és kopását vizsgáltuk. A súrlódó felületeken létrejövő súrlódási erő nagyságát sok tényező befolyásolja, ennek leírása nem egzakt, emiatt empirikus módon, több megközelítésből vizsgáltuk a jelenséget. Az anyagleválási folyamat összetettségének a hegesztőanyag gyártók is tudatában vannak, nagy energiákat fektetnek a kopásból származó költségek csökkentésére. Néhány erre irányuló törekvésük eredményeként született technológiát mi is megvizsgáltunk. Kipróbáltuk továbbá saját elképzeléseinket a hatékonyság növelésére. Méréseink bebizonyították, hogy az áramátadó forgatásával az axiális irányú erőkomponens szinte teljesen megszüntethető, illetve átalakítható tangenciális irányúvá. Sejtésünk szerint a tangenciális irányú súrlódó erő kisebb lehet az axiálisnál, mivel a tangenciális irányú csúszási súrlódási erőt a mozgás bizonyos fázisaiban gördülési súrlódás helyettesítheti, valamint a súrlódás egyéb, általunk nem mért (nem mérhető) paraméterei is változhatnak. Igazoltuk továbbá, hogy jelentős mennyiségű anyag válik le a huzal koptató hatása miatt az áramátadó furatfelületéről, így a pisztoly végét elhagyó huzal irányultsága romlik, rontva ezzel a létrehozni kívánt kötés minőségét. Megmértük, hogy a húzási sebességek változtatása elhanyagolható mértékben változtatja az axiális irányú súrlódási erő nagyságát a mért sebességtartományon. Az áramadó forgatása során rájöttünk azonban, hogy a sebesség hatása nem elhanyagolható. Ezért megmértük, hogy mekkora forgatási sebességre van szükség a súrlódási erő irányának megváltoztatásához. Mérési módszerünk korlátoltsága miatt a huzal mozgását nem tudtuk minden reális sebességértéknél vizsgálni, ezért a vizsgált sebességtartományban mért eredmények diagramon való ábrázolása során egy általános kapcsolatot állítottunk fel a húzási sebesség, a forgatás sebessége és az axiális súrlódás nagysága között. Másik ötletünk a kopás csökkentésére az áramátadó felületi érdességének csökkentése volt, melyet elektrokémiai polírozással valósítottunk meg. Az ötlet meglepően hatásosnak bizonyult, forgatással való kombinálását ígéretesnek tartjuk.

A probléma összetettsége miatt, azt minden szempontból nem tudtuk vizsgálni. Kutatásunk során több kérdés is felmerült bennünk a jelenséget illetően. Dolgozatunk ezért jövőbeli méréseink kiindulópontjául szolgálhat. Távlati terveinkben vizsgálnánk még:

- Kis- és nagysebességű forgatással elvégzendő félüzemi tartóteszt, technikai kopásgörbe felvétele különböző huzalokkal és áramátadókkal (új, elektropolírozott)
- Félüzemi tartóteszt, technikai kopásgörbe felvétele különböző huzalokkal
- Kis- és nagysebességű forgatással elvégzendő tartóteszt üzemszerű használat esetén, technikai kopásgörbe felvétele
- Nagyobb sebességű elmozdulás hatása a mért súrlódó erőre
- Hegesztőpisztoly végét elhagyó huzalvég „imbolygásának” vizsgálata különböző sugarú huzaltekercsek esetén
- Áramátadó kopásának vizsgálata különböző sugarú huzaltekercsek esetén
- A csúszó kontaktus elektromos ellenállásának mérése új és kopott áramátadó esetén
- Elektrokémiai polírozás optimalizálása.

Köszönetnyilvánítás

Elsősorban köszönjük Dr. Dobránszky János Tanár Úr segítségét, és tanácsait. Továbbá köszönettel tartozunk Kovács Norbert Krisztiánnak, nélküle nem tudtunk volna szakítógépes vizsgálatokat végezni. A vizsgált áramátadókat, huzalokat és a hegesztőlaboratóriumot Mohos László és Schimmer István bocsátotta rendelkezésünkre. Az áramátadók mikroszkópos vizsgálatában Dr. Bognár Eszter és Törzsök Péter volt segítségünkre. Az elektropolírozásban Lengyel Ákos segített minket. Továbbá köszönettel tartozunk még Ercsei Máriának.

5. Irodalom

- [1] Dr. Béres Lajos, Dr. Gáti József, Dr. Gremesberger Géza, Dr. Komócsin Mihály, Dr. Kovács Mihály: Hegesztési zsebkönyv. COKOM Mérnökiroda Kft., Miskolc, 2003.
- [2] Bagyinszki Gyula, Bitay Enikő: Hegesztéstechnika I. Eljárások és gépesítés. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2010.
- [3] Dr. Bauer Ferenc: Hegesztési eljárások. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1994.
- [4] Heinz Zwickert: Untersuchungen zur Klarung einiger Vorgänge bei der Stromübertragung im Gleitkontakt Kontaktdüse, Schweissdraht ZIS-Mitteilungen, Halle 29, 1987.
- [5] Dr. Farkas Attila: A hegesztés fejlődése a járműgyártásban.
http://www.web-set.hu/WEBSET_DOWNLOADS/499/REHM_SZK_Hegesztes_fejlodes_jarmugyartas.pdf
- [6] G. Trommer: Welding of aluminium materials in rail-vehicle construction, WELDING AND CUTTING, 2/2002, 76-79.
- [7] Dr. Kerényi György, Dr. Marosfalvi János: Tribológia alapjai, Gép- és szerkezeti elemek II. előadás dia, BME Gépszerkezettani Intézet, 2008. 05. 14., 20-25. dia.
- [8] ESAB Online Hegesztőanyag Katalógus.
<http://esab.gedeon.hu/index.php?page=12#qr3>
- [9] BÖHLER Online Hegesztőanyag Katalógus.
http://www.bohler-uddeholm.hu/hungarian/files/BOHLER-Welding_Wissenwertes.pdf
- [10] Az elektrokémiai polírozás ismertetése
<http://www.wodring.hu/elektropolirozas>
- [11] Dr. Markos Sándor: Különleges megmunkálások
<http://www.sasovits.hu/cnc/irodalom/KulonlegesMegmunk.pdf>