

A hegesztőhuzal és az áramátadó kapcsolatának és kopásának elemzése II.

Az áramátadó tönkremeneteli módjai

Készítette:

Németh Levente, BME-GPK IV. évf.

Kristóf Dániel, BME-GPK IV. évf.

Konzulens:

Dr. Dobránszky János

tudományos főmunkatárs

Ipari konzulens:

Biczó Csaba

hegesztő szakmérnök (IWE)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,

Anyagtudomány- és Technológia Tanszék

TDK szekció: Anyagtudomány- és Technológia

2012.

A dolgozat bemutatását a TÁMOP - 4.2.2.B-10/1--2010-0009 "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" című program támogatta.



Tartalom

1. Bevezetés és célkitűzés -----	4
1.1 A fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés általános bemutatása -----	4
1.2 Az áramátadó és a villamos érintkezés bemutatása -----	4
1.3 Célkitűzéseink -----	4
2. Fedett ívű hegesztő-berendezésben használt áramátadók élettartamának összehasonlítása -----	5
2.1 Bevezetés-----	5
2.2 A Nehézfutómű Üzletág termékei -----	5
2.3 Tapasztalatok, észrevételek-----	7
2.4 Az áramátadók vizsgálata-----	9
2.4.1 Élettartam vizsgálat üzemi tartóteszt segítségével -----	9
2.4.2 Mikroszkópi vizsgálatok -----	11
2.4.3 Energiadiszperziós spektrometriai vizsgálatok-----	13
2.4.4 Információk a bevonatok anyagairól -----	16
2.4.5 Az összehasonlító kísérletsorozat összefoglalása -----	17
3. Hagyományostól eltérő geometriájú áramátadók vizsgálata -----	18
3.1 Bevezetés-----	18
3.2 Hagyományostól eltérő geometriájú áramátadók vizsgálata -----	21
3.2.1 Tapasztalatok a háromszög furat-keresztmetszetű áramátadók alkalmazása során -----	22
3.2.2 A furatgeometria változásának vizsgálata -----	24
3.3 Hagyományostól eltérő geometriájú áramátadók vizsgálatának összefoglalása -----	27
4. Az áramátadó-forgatás lehetőségének vizsgálata II. -----	28
4.1 A korábbi eredmények rövid összefoglalása -----	28
4.2 A forgatás kísérleti megvalósítása -----	30
4.3 A kísérlet célkitűzése -----	31
4.4 A mérés kivitelezése -----	31
4.5 A mérés eredményei-----	32
4.6 A forgatás összegzése -----	34
5. Összegzés-----	34
6. Köszönetnyilvánítás -----	34

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 üzemi körülmények között, megvizsgálunk néhány új geometriájú áramátadót, valamint kipróbálunk egy saját elképzelést, mellyel elméletileg az alkatrész élettartama növelhető. A dolgozatban felhasznált eredmények az általunk elvégzett kísérletekből származnak.

1.1 A fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés általános bemutatása

A hegesztési folyamat során a fogyóelektróda végtelenített huzal formájában egy tekercsen található a berendezésben, arról egy, néhány esetben két görgőpár, az előtoló berendezés továbbítja a hegesztő-pisztolyhoz, 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. A két, illetve a gyakorlatban három olvadék találkozásakor létrejön a hegesztett kötés. [1]

1.2 Az áramátadó és a villamos érintkezés bemutatása

A fent említett kopó alkatrészek közül részletesebben az áramátadóval foglalkozunk. Ez egy rézből készült, 10-35 mm hosszúságú, átlagosan 10 mm külső átmérőjű alkatrész, aminek forgásten-gelyén egy furat helyezkedik el, ebben közlekedik a hegesztőhuzal. Az áramátadó hüvely d_a furatát-mérője: $d_a = d_e + 0,2 \pm 0,05$ 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. [1],[2],[3]

Igénybevétele jelentős, a belsejében 1,5-20 méter/perc sebességgel mozgó huzal, az áram-átadás miatt kenés nélkül, érintkezik az áramátadó furatfelületével. Tavalyi munkánkban a hegesztőhuzal oldaláról közelítettük meg a témát, idén az áramátadókon a sor.

1.3 Célkitűzéseink

A jelen dolgozat három fő témából épül fel, célunk ezek minél pontosabb megismerése, bemutatása. A dolgozat témakörei:

- Fedett ív hegesztő-berendezésben használt áramátadók élettartamának összehasonlítása.
- Hagyományostól eltérő geometriájú áramátadók vizsgálata.
- Az áramátadó forgatásának hatása az élettartamra.

2. Fedett ívű hegesztő-berendezésben használt áramátadók élettartamának összehasonlítása

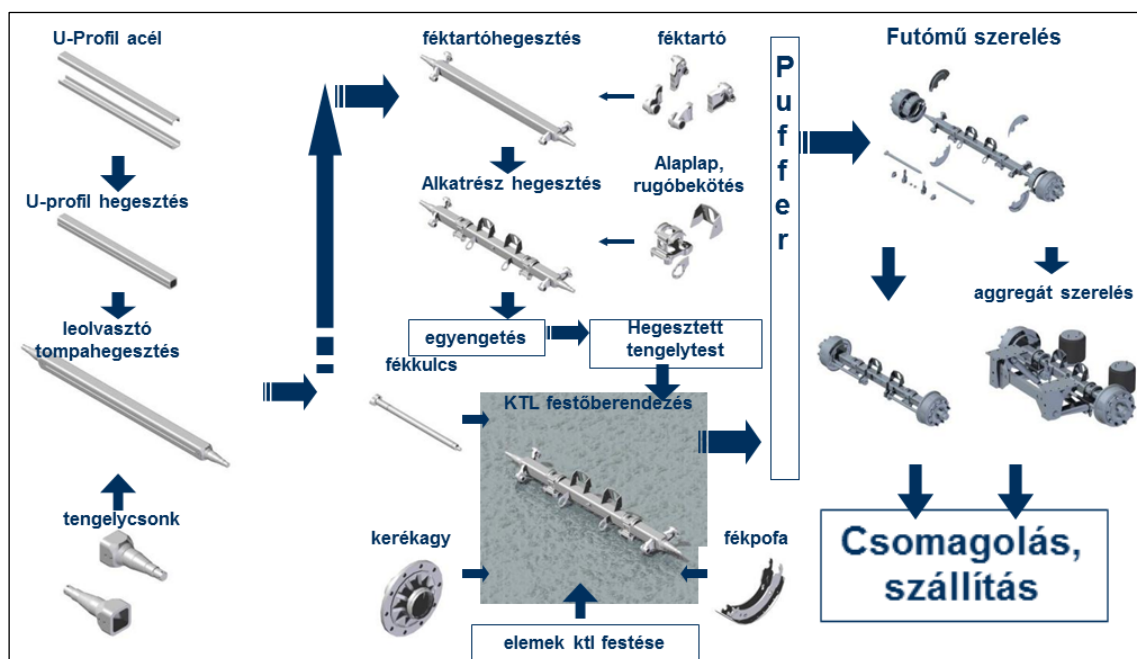
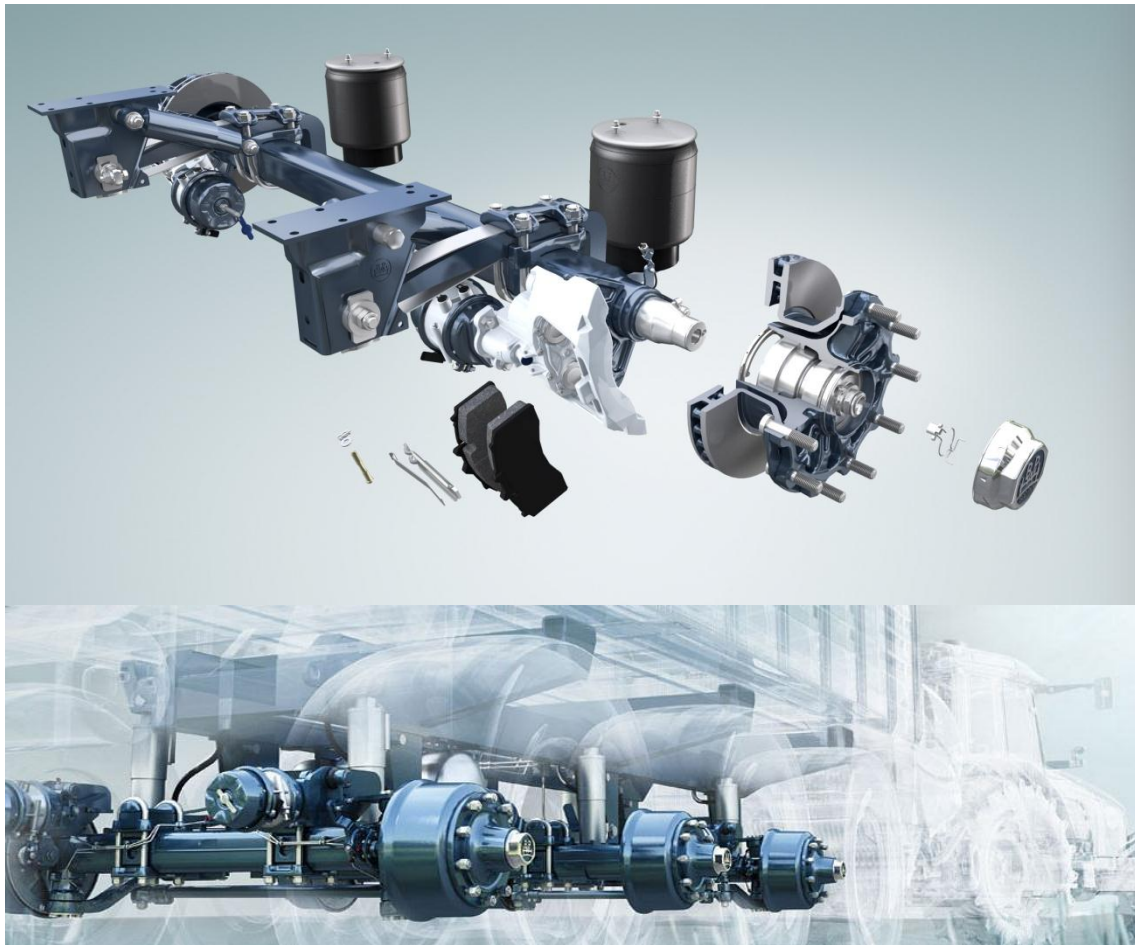
2.1 Bevezetés

A következőkben a BPW-Hungária Kft. számára végzett kutatási munka kerül bemutatásra. A cég a nyugat-dunántúli régió járműiparának meghatározó szereplője, a 110 éves múltta visszatekintő német BPW-Bergische Achsen KG. szombathelyi leányvállalata, mely mintegy 1240 főt foglalkoztat. A vállalat központja a németországi Wiehl-ben található, ott a foglalkoztatottak száma 4500 fő. A BPW-Hungária Kft. világszerte elismert, kiváló minőségű vontatott jármű-futóműveket és felfüggesztési rendszereket, valamint agrártermékeket gyárt. Emellett az agrár termékek tervezése és fejlesztése is a szombathelyi vállalat feladatkörébe tartozik. A vállalat kiemelt hangsúlyt fektet a szakemberképzés támogatására, ezért gyakorlatra is -, és támogatást ad diplomamunka készítéséhez. A szakmunkás-utánpótlás biztosítása érdekében 2008. szeptemberétől saját tanműhelyt működtet, ahol gépi forgácsoló, hegesztő, gépgyártás-technológiai technikus és mechatronikai műszerész tanulók töltik gyakorlati idejüket. [4]

A cég hegesztési kapacitása, az évente több, mint 600 tonna hegesztőhuzal felhasználás, a 7 hatalmas leolvasztó tompahegesztő gép, a 11 fedett ívű hegesztő berendezés, a többtucatnyi alkalmazott hegesztőrobot, a közel 200 minősített hegesztő és a hegesztési eljárások sokszínűsége Magyarországon egyedülállónak mondható.

2.2 A Nehézfutómű Üzletág termékei

A Nehézfutómű Üzletág a BPW szabadalmú, négyzet-profil tengelytestű futóműveket gyárt dob-, tárcsafékes, valamint kormányzott kivitelben. A futóműveket, aggregátokat világszerte neves cégek használják fel vontatmányaik gyártásához. A termeléslogisztika a következőképp alakul: a beszállított U-profil acélok a szemcseszórón haladnak keresztül, így nyerve a fémtiszta felületet, mely nélkülözhetetlen a hegesztéshez és a festéshez. Ezt követi a fedett ívű hosszvarratozás, mely során kialakul a jellegzetes négyszögletes tengelytest cső, amire ezután a tengelycsonkot hegesztik lengetésses leolvasztó tompahegesztéssel. Az így elkészült csőre aztán a féktartókat hegesztik robotokkal, 135-ös eljárással, majd az egyéb alkatrészeket kézzel szintén tömörhuzalos fogyóelektródás kevert védőgázos ívhegesztéssel rögzítik. A hegesztési folyamatokat az egyengetés művelete követi, mely során ellenőrzik a tengelyek végeinek összetartását, görbületét, egytengelyűségét, és amennyiben túrésmezőn kívüli értéket mérnek, egy hidraulikus prés segítségével képesek a csövek deformálására. Az egyengetés után a kataforetikus mártó festés (KTL festés) következik, majd a futómű szerelés. Komplet aggregát rendelése esetén az aggregátszerelődében további alkatrészekkel (rugó, rugópárna, fékkulcs, fékmunkahenger stb.) látják el a futóművet a csomagolás és a kiszállítás előtt. A terméket az 1. ábra, míg a termeléslogisztikát az 2. ábra mutatja be.



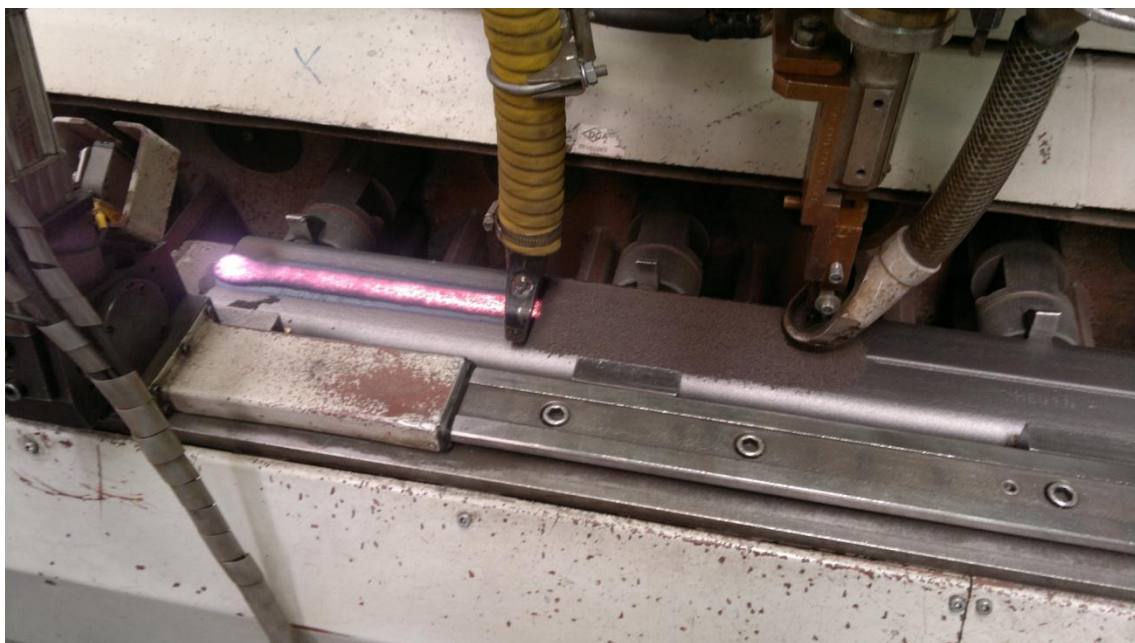
A kutatómunka során a gyártás második fázisát, az U-profil hegesztés műveletét (hosszvarratozás, 3.ábra) vizsgáltuk részletesen. A termék pontos hegesztési paraméterei érthető módon titkosak, azonban tájékoztató jelleggel felsorolunk néhány jellemző tulajdonságot.

Termékek főbb jellemzői:

- anyaga: alacsonyan ötvözött szénacél
- szelvényméretei (laptávolság, mm x falvastagság, mm): 120x10; 120x15; 150x10; 150x16; 150x20
- hosszúság tartomány: 1000-2700 mm.

Főbb hegesztési paraméterek:

- eljárás: 123, tandem fedett ívű hegesztés automatával megvalósítva
- áramerősség: ~1000 A
- huzal előtolási sebesség: ~2 m/perc
- hegesztési sebesség: ~90 cm/perc
- huzalvastagság: 2,4 mm
- huzalkinyúlás: ~30 mm
- áramátadó: TBi 340P244069.



3. ábra. A hosszvarratozás folyamata.

2.3 Tapasztalatok, észrevételek

Az eljárás során az áramátadó fejbe rögzített áramátadó hüvelyek pozícionálják a huzalt a varrat-hoz (4.ábra). A felhasznált áramátadó hüvelyek bevonattal vannak ellátva, mely célja a CuCrZr készült mag rész védelme a kopással szemben. A beszállító egyféle tételszámú áramátadót szállít, így felételezhetnénk, hogy minden áramátadó azonos kivitelű, azonban szemrevételezéssel két különböző bevonatú típust lehet megfigyelni, melyeket „fényes” és „matt” jelzővel illetnek az üzemben belül. A hüvelyek egyéb geometriai paraméterei megegyeznek, furatátmérőjük 2,4 mm. Az eltérő színű áramátadókon ráadásul a számjelzés is különbözik, a „fényes” áramátadó „1.6”, míg a „matt” „2.4”

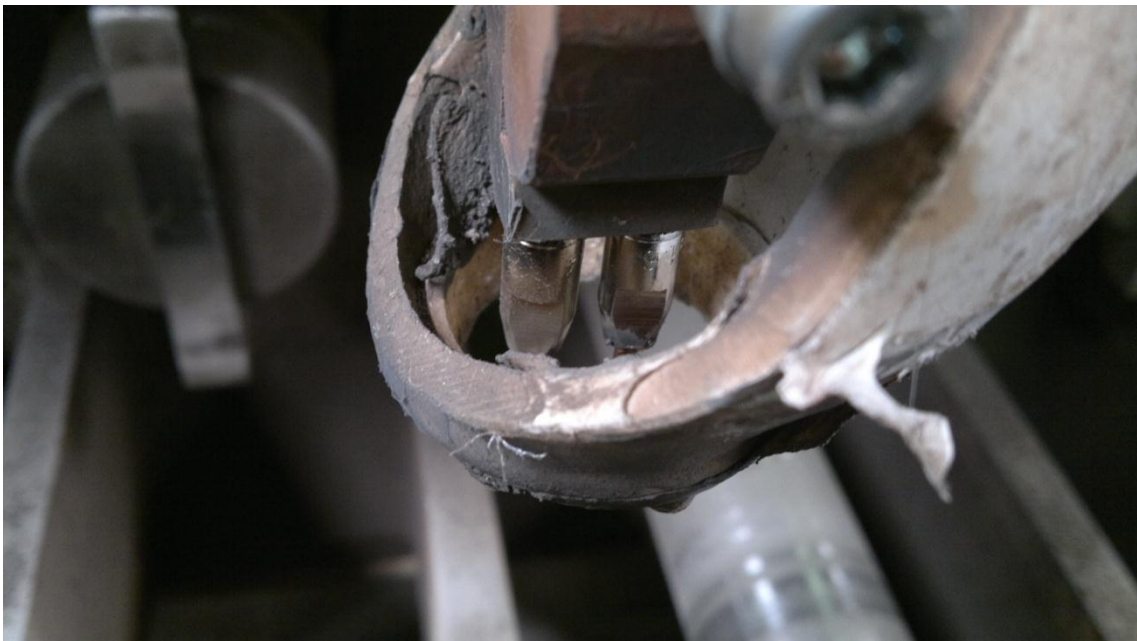
jelű. A dolgozók tapasztalata alapján egyértelműen az 1.6 jelű a jobb minőségű, ez alatt azt értették, hogy a matt áramátadóhoz képest műszakonként kevesebbszer, vagy egyáltalán nem kell cserélniük. Cserére abban az esetben kerül sor, amennyiben

- a) a tökéletlen huzalpozicionálás következtében a varraton oldalirányú eltérések jelentkezték, illetve
- b) fröcsklerakódás („cunder”) fordult elő a hüvely végén, mely következtében a huzal megszorult, és az előtolómű nem volt képes mozgatni azt.

Az áramátadók jellemző tönkremeneteli módja:

- a hüvely végének deformálódása a nagy hő terhelés és a huzal által okozott kopás következtében, ekkor az a) esetben leírtak, illetve
- nagymértékű fröcsklerakódás az esetek megközelítőleg 10%-ában, ekkor a b) esetben leírtak tapasztalhatók.

Huzalvisszaégés, mely a fogyóelektródás védőgázos ívhegesztő eljárások esetén gyakori jelenség, itt nem következett be a nagy huzalkinyúlás és a fedőpor jelenléte miatt. A fő kérdés tehát az, hogy pontosan miben különbözik egymástól a két áramátadó?



4.ábra. Az áramátadó a fedett ív hegesztő-automatában.



5.ábra. „Jó” minősítésű varrat.

2.4 Az áramátadók vizsgálata

2.4.1 Élettartam vizsgálat üzemi tartóteszt segítségével

A dolgozók tapasztalatait számszerűsítendő, először a különböző áramátadók maximális élettartamát vizsgáltuk üzemi tartóteszt segítségével. A mérés több, mint öt hetes időtartamot igényelt. Több gépen mértünk párhuzamosan, azok automatizáltak, tehát a hegesztés során a paraméterek jól behatárolt tartományokban változtak, illetve a produkált értékek nem terheltek az emberi tényezőtől származó bizonytalansággal. Természetesen a dolgozók így is hatással voltak a mérésre, hiszen ők minősítették a varrat alapján az áramátadó hüvely megfelelőségét az 1.3 részben leírtaknak megfelelően. A tartóteszt során feljegyeztük a hegesztési paramétereket, a tengelytest csövek szelvényméreteit (laptávolság, falvastagság), hosszúságát, valamint a legyártott darabok számát. Mivel a tengelytest csövek eltérő hosszúságúak, ráadásul gyakran változnak - az aktuális rendeléshez igazodva-, ezért az összehasonlítás alapját a hegesztett varratok együttes hossza jelentette, a legyártott darabszám tájékoztató jellegű. A mérés eredményeit a 3. táblázat összegzi, míg a részleteket az 1-2. táblázat mutatja be.



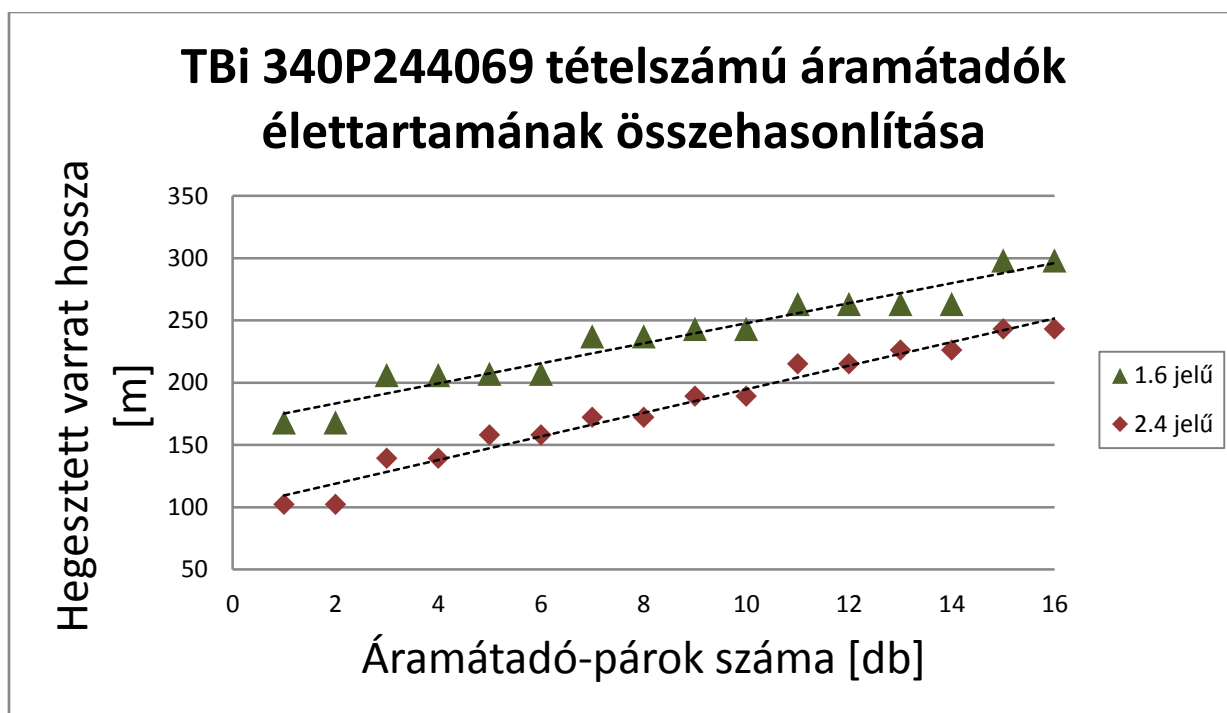
6. ábra. Az áramátadók új és használt állapotban.

Sorszám	Áramátadó típus	Szelvénytérmet [mm]	Csőhossz [mm]	Gép száma	Varrathossz [m]	Legyártott darabszám
1	TBi 1.6	120x10	1758	1	168	96
2	TBi 1.6	120x10	1758	1	168	96
3	TBi 1.6	120x15	vegyes	1	206	120
4	TBi 1.6	120x15	vegyes	1	206	120
5	TBi 1.6	120x10	1758	1	207	118
6	TBi 1.6	120x10	1758	1	207	118
7	TBi 1.6	120x10	1758	1	237	135
8	TBi 1.6	120x10	1758	1	237	135
9	TBi 1.6	150x10	vegyes	4	243	140
10	TBi 1.6	150x10	vegyes	4	243	140
11	TBi 1.6	150x10, 150x20	vegyes	5	263	112
12	TBi 1.6	150x10, 150x20	vegyes	5	263	112
13	TBi 1.6	150x10, 150x20	vegyes	5	263	112
14	TBi 1.6	150x10, 150x20	vegyes	5	263	112
15	TBi 1.6	150x16	vegyes	5	298	192
16	TBi 1.6	150x16	vegyes	5	298	192
átlag		átlagos falvastagság: 12,6 mm			236	128
Sorszám	Áramátadó típus	Szelvénytérmet [mm]	Csőhossz [mm]	Gép száma	Varrathossz [m]	Legyártott darabszám
17	TBi 2.4	120x15	1758	1	102	60
18	TBi 2.4	120x15	1758	1	102	60
19	TBi 2.4	120x10	1758	1	139	79
20	TBi 2.4	120x10	1758	1	139	79
21	TBi 2.4	150x10	vegyes	1	158	90
22	TBi 2.4	150x10	vegyes	1	158	90
23	TBi 2.4	120x15	vegyes	1	172	100
24	TBi 2.4	120x15	vegyes	1	172	100
25	TBi 2.4	150x16, 150x20	vegyes	5	189	121
26	TBi 2.4	150x16, 150x20	vegyes	5	189	121
27	TBi 2.4	120x10	vegyes	1	215	124
28	TBi 2.4	120x10	vegyes	1	215	124
29	TBi 2.4	150x16	vegyes	5	226	128
30	TBi 2.4	150x16	vegyes	5	226	128
31	TBi 2.4	150x10	vegyes	4	243	140
32	TBi 2.4	150x10	vegyes	4	243	140
átlag		átlagos falvastagság: 13 mm			181	105

1-2. táblázat. Az 1.6 és a 2.4 jelű áramátadók tesztjének adatai.

Összegzés	TBi 1.6 jelű	TBi 2.4 jelű	Különbség [m,db,mm]	Különbség [%]
Varrathossz [m]	236	181	55	23
Darabszám	128	105	23	18
Átlag falvas- tagság [mm]	12,6	13	0,4	3

3.táblázat. TBi 340P244069 tételszámú áramátadók élettartamának összehasonlítása.



7. ábra. TBi 340P244069 tételszámú áramátadók élettartamának összehasonlítása.

A mérés eredményeit a 7.ábra mutatja be grafikus formában. Az összehasonlítás alapját képező hegesztett varrat hossza látható az egyes áramátadó-párok esetén. A trendvonalakat megrajzolva érzékeltethető a közel azonos (kb. 20%) élettartambeli különbség a leggyengébben a legjobban teljesítő áramátadó-párok között. A tartóteszt eredményeiből egyértelmű, hogy az 1.6 számjelű áramátadó hosszabb élettartamú 2.4 jelű társánál.

2.4.2 Mikroszkópi vizsgálatok

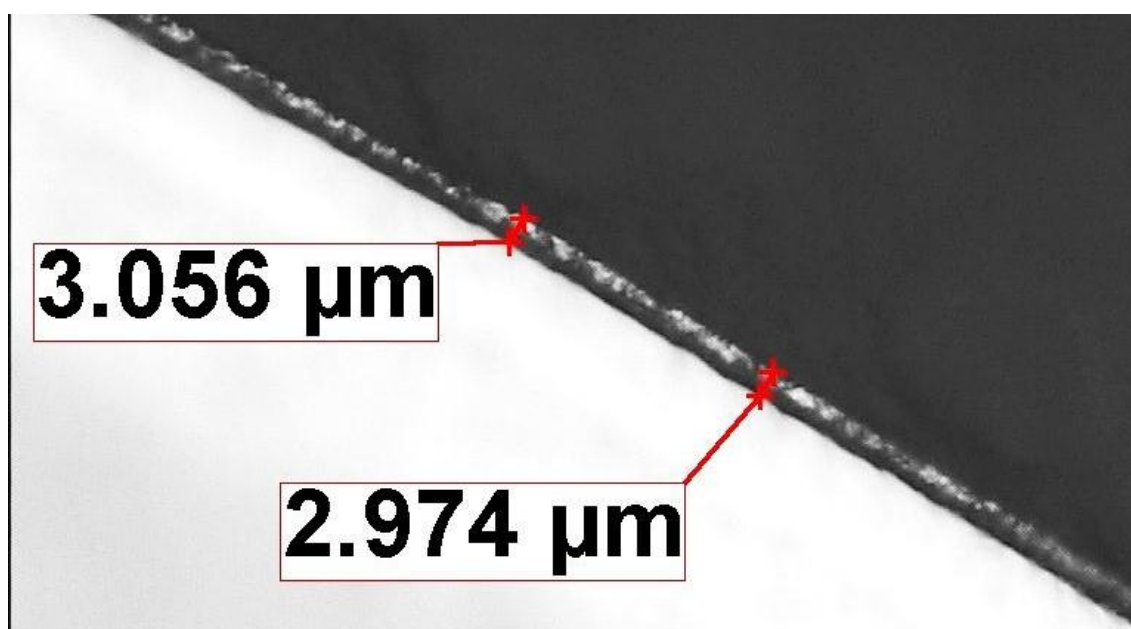
Előzetes várakozásaink szerint a bevonat vastagságában lehet a különbség, azonban a laborban végzett mikroszkópi vizsgálatok nem ezt támasztották alá, a mérés szerint mindkét bevonat vastagsága átlagosan 3 mikrométer körüli értéket vesz fel minimális szórással, azonban a bevonatok felszínének egyenletessége eltérő. Az 8-9. ábrákon a különböző bevonatú áramátadók fénymikroszkóppal készített képei láthatóak (500x nagyítás), feltüntetve a lokális bevonatvastagság értékével.

A mikroszkópi képeken látottak ellenőrzésére felületi érdesség méréseket végeztünk, melyek eredményei az alábbi táblázatban láthatóak.

Átlagos felületi érdesség, Ra (μm)											
Mérés ssz.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ÁTLAG
Fényes	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,44
Matt	0,8	0,7	0,8	0,5	0,5	1,6	0,8	0,6	1	0,7	0,8

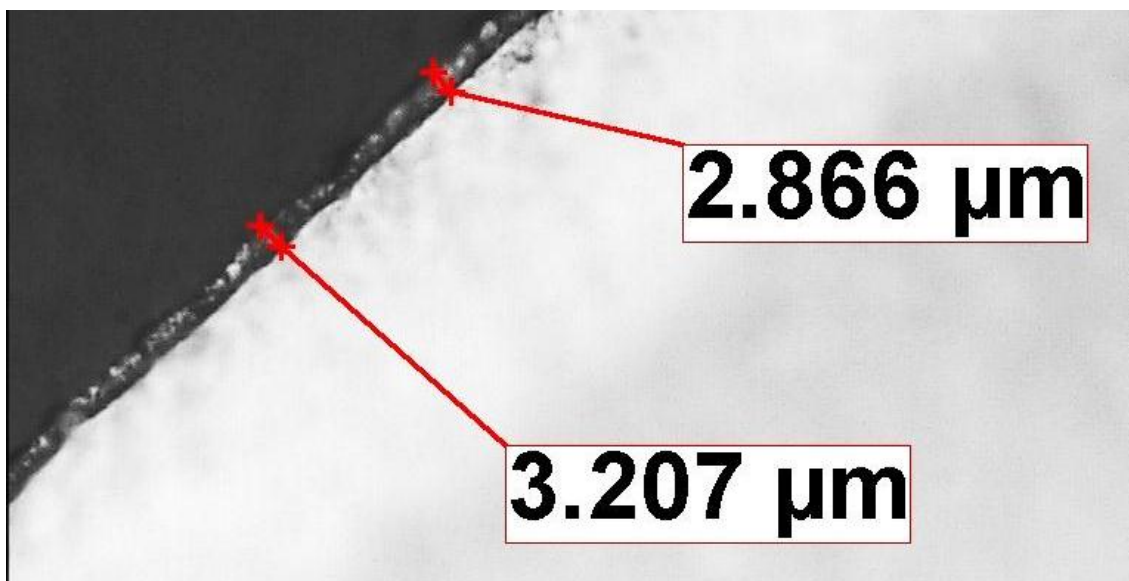
4.táblázat.Az áramátadók átlagos felületi érdesség értékei.

A felületi érdesség mérés eredményei egybevágóak, a mikroszkópi képeken látottakkal, így kijelenthetjük, hogy az 1.6 jelű fényes bevonat vastagsága egyenletesebb (mikroszkópi képen az eltérések 0,1 μm terjedelmen belül), míg a 2.4 jelű matt bevonat vastagságában nagyobb mértékű (mikroszkópi képen $\sim 0,3 \mu\text{m}$) különbségek észlelhetők.



8. ábra. Az 1.6 jelű áramátadó keresztmetszeti képe.

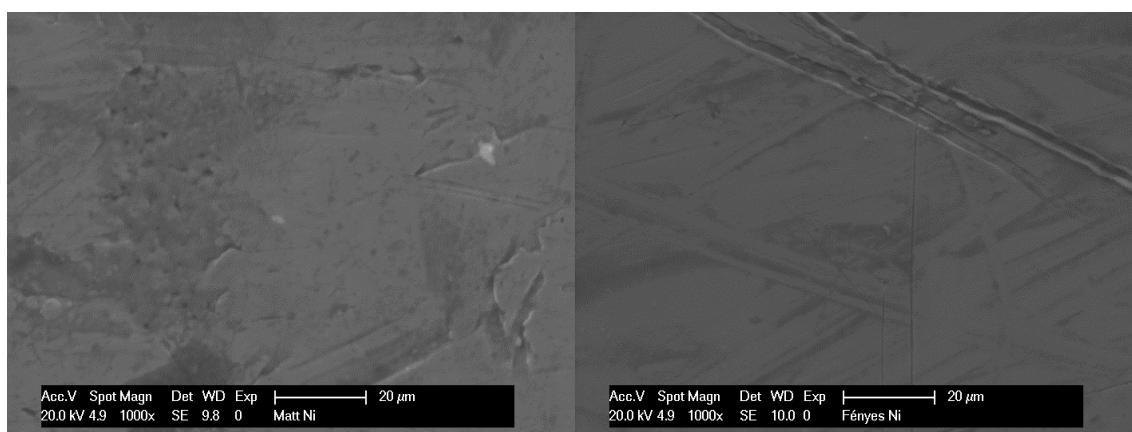
A kevésbé egyenletes felületű bevonat esetén a hegesztőhuzallal létesített csúszó kontaktus következtében fellépő abrazív kopás mértéke elméletileg nagyobb, mint az egyenletesebb felület esetén, emellett az áramátadás tulajdonságai is eltérőek lehetnek, például nagyobb az áramsűrűség kisebb érintkező felületek miatt. Amennyiben a nagyobb áramsűrűség mellett íváthúzás lép fel az áramátadó és a huzal között, az nagyobb mértékű mikroszkopikus kopást eredményez.



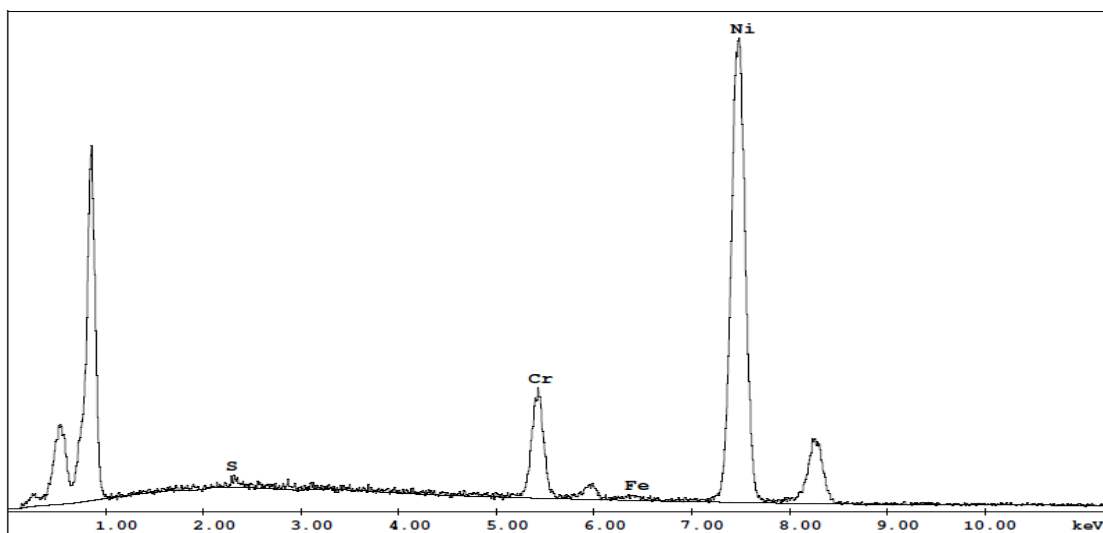
9. ábra. A 2.4 jelű áramátadó keresztmetszeti képe.

2.4.3 Energiadisziperziós spektrometriai vizsgálatok

A felvételeken jól látható bevonatok mért vastagságában tehát nem mutatkozott jelentős különbség, ezért a vegyi összetétel került meghatározásra, melyhez a BME-ATT energiadisziperziós spektrométerét (EDS) használtuk. A méréseket különböző gyorsító-feszültség értékekkel végeztük, tehát a mért tartomány mélysége (a gerjesztett térfogat nagysága) különböző. Az alábbi képek a felületek elektronmikroszkóppal készített felvételei.

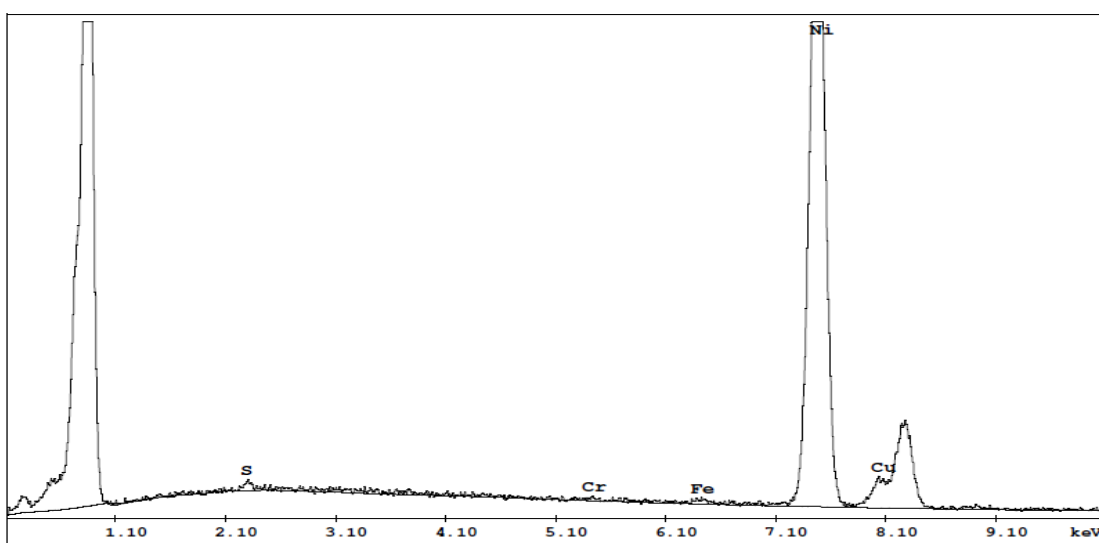


10. ábra. Matt áramátadó felülete (balra), fényes áramátadó felülete (jobbra).



11. ábra. Az 1.6 jelű áramátadó bevonatának vegyi összetétele

A 10., 11. ábra és a 5. táblázat a két áramátadó vegyi összetételét mutatja. Jól látható, hogy a különbség a bevonatok króm-, illetve réztartalmában keresendő. A fényes áramátadók bevonata átlagosan 11,8% krómot tartalmaz, ellenben a matt jelzésűekkel, melyekben gyakorlatilag nincs króm. Az 1% alatti értékek akár 100%-os mérési hibát is tartalmazhatnak, értékük csupán tájékoztató jellegű. A nikkel és a réz szomszédos elemek a periódusos rendszerben. Az abszorpciós tényezőik közötti kis különbség miatt, ha az egyiket észleljük egy adott adott gyorsító-feszültség értéken, akkor a másikat is észlelnünk kell, amennyiben az jelen van a vizsgált mintában. Mivel a fényes áramátadóknál detektáltunk nikkelt, de rézet nem, ezért tudhatjuk, hogy a bevonatban mértünk és nem az alapfémbe. A 2.4 jelű áramátadó esetén a nagyobb mennyiségű detektált réz nagy valószínűséggel nem az alapfém, hanem a bevonat tartalmazza, hiszen az 1.6 jelű áramátadók esetén ugyanakkora gyorsító feszültség értéknél nem észleltük réz jelenlétét.



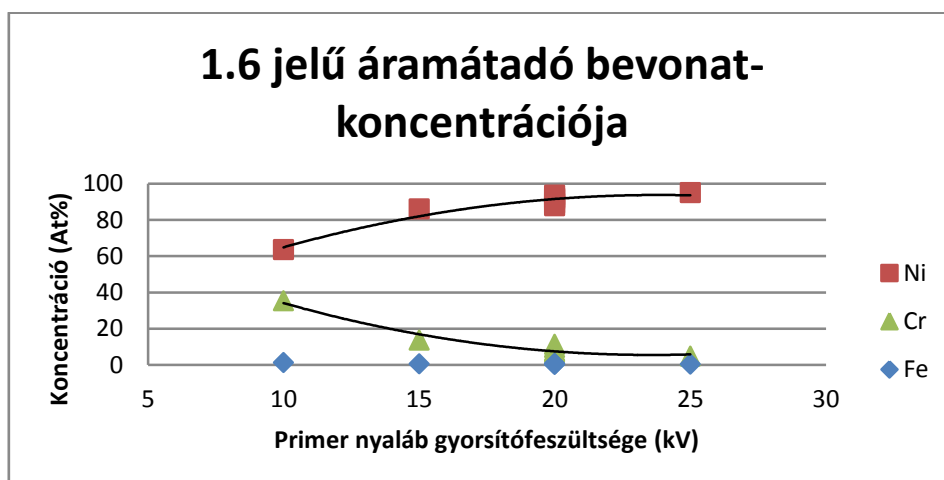
12. ábra. A 2.4 jelű áramátadó bevonatának vegyi összetétele

Fényes 1.6					Matt 2.4				
Ugy	Ni	Cr	Fe	Cu	Ugy	Ni	Cr	Fe	Cu
(kV)	(atom%)				(kV)	(atom%)			
10	63,59	35,25	1,16	0	10	76,53	0	3,07	20,4
15	85,98	13,58	0,44	0	12	93,28	0	0,47	6,26
20	91,38	7,12	0,57	0	15	93,94	0	0,61	5,45
20	89,19	9,59	0,54	0	20	89,67	0,32	0,39	9,06
20	87,63	11,28	0,4	0	20	93,71	0,18	0,38	5,09
20	93,43	5,51	0,44	0					
20	92,11	7,51	0,38	0					
25	94,87	4,74	0,38	0					
ÁTLAG	87,2725	11,8225	0,53875	0	ÁTLAG	89,426	0,1	0,984	9,252

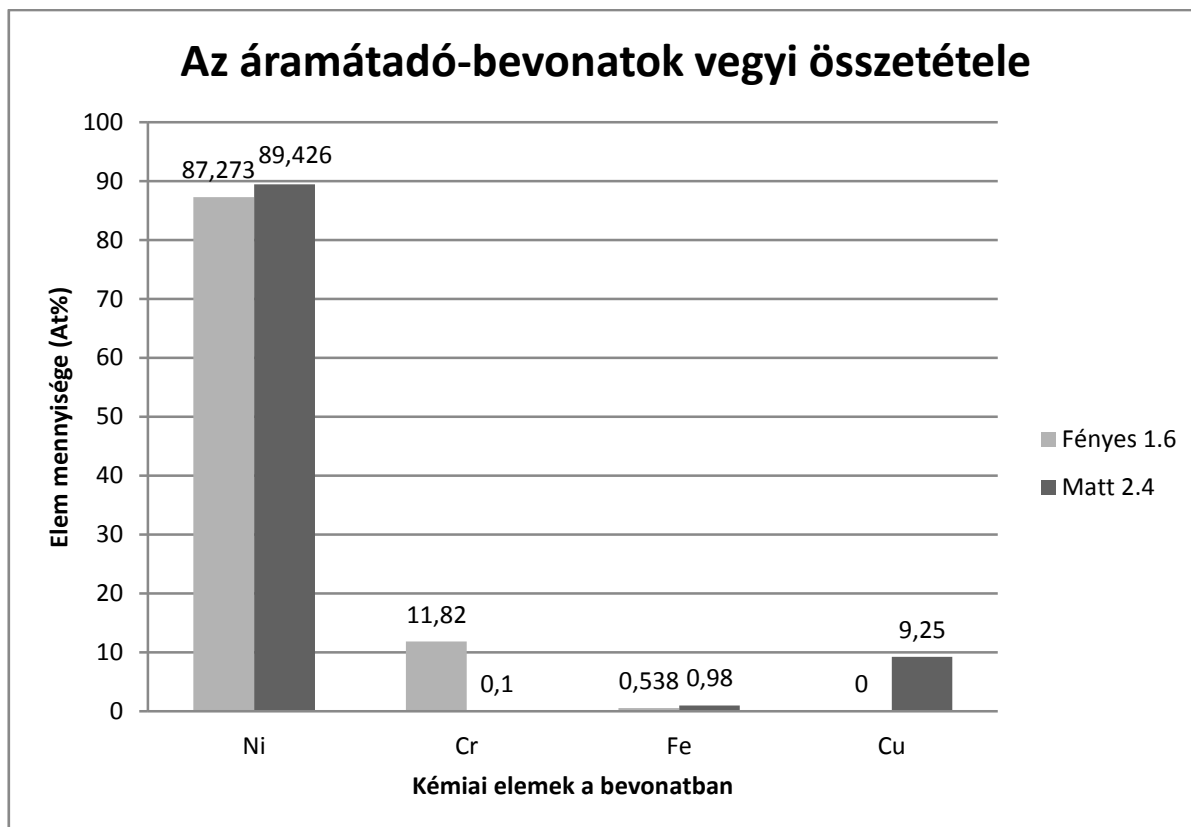
5. táblázat. Az áramátadó-bevonatok vegyi összetételének mérési eredményei

Az 5.táblázatból láthatjuk, hogy a króm koncentráció nem egyenletes a bevonat vastagsága mentén, ez valószínűleg a gyártási eljárásból adódik, ugyanis a nikkel-króm bevonatokat általában úgy készítik, hogy a galvanikus módon felvitt közbenső nikkel rétegre (coating) krómot választanak le (overlay). Ezzel egybevág a tény, hogy a króm bevonat a felszíni 35%-os értékről csökken egészen körülbelül 5%-ig, mely értékhez tartozó bevonatmélység mérésünk felső határa, azonban a csökkenő tendencia valószínűleg folytatódik. Az exponenciális jellegből arra következtetünk, hogy a króm diffúzió révén hatolt be a mélyebb rétegekbe.

A 2.4 jelű áramátadó bevonatában mért réztartalom már nem mutat hasonlóságot az előbbiekkal. A behatolási mélységtől gyakorlatilag nem, inkább a mérés helyétől függ az értéke. Ebből arra következtetünk, hogy az egyenetlen bevonatvastagság miatt, a nagyobb réz koncentrációjú helyeken a lokálisan vékonyabb bevonat miatt az alapfém réztartalma is megjelenhet a bevonat réztartalma mellett.



13.ábra. 1.6 jelű áramátadó bevonatának koncentrációja a behatolási mélység függvényében



14.ábra. Az áramátadó-bevonatok vegyi összetétele

2.4.4 Információk a bevonatok anyagairól

A bevonatban lévő kémiai elemek meghatározása után az objektívebb véleményalkotás érdekében tájékozódunk azok -a kísérlet szempontjából- lényeges paramétereiről. Természetesen a bevonatban ezek nem kémiai elemként vannak jelen, azonban molekuláris összetétel meghatározására nincs módunk, és közelítő következtetéseket ezek alapján is levonhatunk. Az alábbi táblázat ezen értékeket mutatja be. [5],[6],[7],[8],[9]

Anyag	Átlag világpiaci ár, 2012 (\$/t)	fajlagos ellenállás (20 °C, nΩ·m)	HRC keménység
Nikkel	18115	69,3	57
Króm	11250	125	70
Réz	8842	1,678 E-8	36,6
Vas	N/A	96,1	55,5

6.táblázat. Információk a bevonatok anyagairól.

A nikkel alkalmazása előnyös a felület keménységnövelése, így a hosszabb élettartam szempontjából, azonban nagy fajlagos ellenállása gátat szab a bevonat maximális vastagságának, hiszen az alkatrész fő célja az áramátadás. Emellett magas ára miatt gazdasági okokból is a lehető legvékonyabb bevonatra kell törekedni. A piacon fellelhető nikkel bevonatokat (~90% nikkel- ~10% foszfor) gyártó cégek kínálatában a keménység értéke 48-52 HRC.

A króm ára 2012 első félévben a nikkel árának kétharmada körül mozgott, emellett a króm nagy keménysége lehetővé teszi a nagykeménységű felület létrehozását. Áramátadók esetében azonban a nagyon nagy fajlagos ellenállása miatt nem készülhet a bevonat tisztán krómból. A piacon fellelhető nikkel-króm bevonatok keménysége 65-70 HRC körüli. [11]

A fentiek alapján műszaki szempontból logikus az 1.6 kivitelű áramátadók nikkel-króm bevonata, azonban a 2.4 jelű áramátadók réztartalma kevésbé. Elképzelhetőnek tartjuk a gazdasági megfontolásból történő változtatást.

2.4.5 Az összehasonlító kísérletsorozat összefoglalása

A mérések alapján a következő megállapításokat tehetjük:

- A jellemző tönkremeneteli mód a hüvely végének deformálódása a nagy hő terhelés és a huzal által okozott kopás következtében.
- Az áramátadók élettartamában körülbelül 20%-os különbség tapasztalható az 1.6 jelű javára.
- Az áramátadók anyaga és ára azonos, csupán bevonatukban különböznek.
- Az áramátadók bevonatvastagsága azonosnak tekinthető, bár az 1.6 jelű bevonat egyenletesebb.
- Mindkét bevonat körülbelül 87-89%-ban tartalmaz nikkelt.
- Az 1.6 jelű áramátadó bevonata körülbelül 11% krómot, míg a 2.4 jelű bevonat króm helyett körülbelül azzal megegyező mennyiségű rézet tartalmaz.

A kísérletsorozat tanulságaként elmondható, hogy azonos gyártó, szállító és beszerzési ár mellett is előfordulhat, hogy különböző minőségű alkatrészekkel, anyagokkal kell dolgoznunk, mely kihat a termék minőségére, a gyártás gazdaságosságára.

3. Hagyományostól eltérő geometriájú áramátadók vizsgálata

3.1 Bevezetés

Az utóbbi időben egyre több innováció figyelhető meg a kereskedelemben kapható áramátadók kínálatát figyelve.

Az áramátadó rézből vagy rézötvözetből készült alkatrész, amelynek furatában csúszik a hegesztőhuzal. A furat átmérője $0,2 \pm 0,05$ mm-rel nagyobb, mint a hegesztőhuzal átmérője, ám ettől egyes felhasználók eltérnek akár úgy is, hogy saját maguk állítják elő az áramátadót. A huzal és az áramátadó furata közötti tényleges érintkezési felület jelentősen kisebb, mint a geometriai körülményekből adódó látszólagos érintkezési felület. Az érintkezésre az átmérőkülönbség mellett hatással bír az, hogy a hegesztőhuzal és az áramátadó-furat keresztmetszete sem ideális kör alakú, továbbá, hogy huzalnak van egy saját görbülete, amelynek sugara a tekercselési átmérőtől és a huzal rugalmassági tulajdonságaitól függ. A huzal és az áramátadó tehát egy sajátos kopási rendszert alkot.

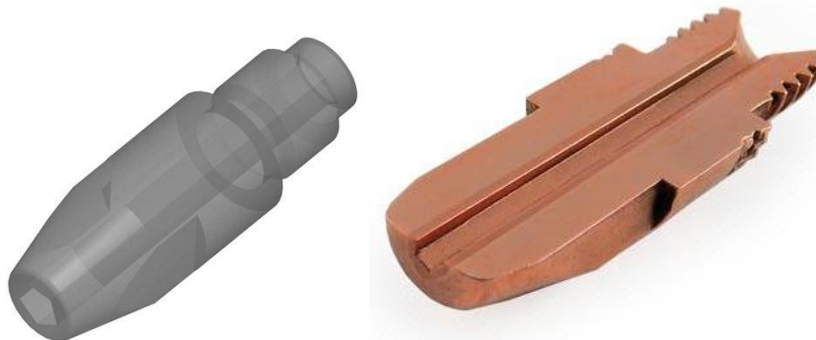
Az áramátadó mechanikai koptató igénybevétele mellett hőterhelése is jelentős, hiszen csak néhány mm-re helyezkedik el a közel 1500°C hőmérsékletű olvadéktól, valamint az általa vezetett huzal is jelentős hőt közöl. Az áramátadó tönkremenetelét tovább fokozzák azok a fémcseppek, amelyek a fröcskölésből tapadnak rá. A belsejében lerakódó szennyeződések növelik a huzal és az áramátadó közti villamos ellenállást, és a huzal elakadását okozhatják. A kopási anyagleválás megváltoztatja a furat geometriáját, ami zavarja az ívstabilitást. A gyakorlati tapasztalat az, hogy kézi hegesztés során, átlagosan egy-másfél áramátadó bír ki egy teljes műszakot. [1], [2], [3]

Az elmúlt pár évben megjelent innovatívabb áramátadók a következők valamelyikében térnek el hagyományos társaiktól:

- Furatgeometria: furatuk nem kör-, hanem sokszög alakú (háromszög, ötszög), Pl.: Trafimet Group MD 1005-82, TBi Industries Ltd. Startip, Praxair Prostar Triangle Tip.
- Anyagminőség: anyaguk speciális ötvözet, mely magas hőmérsékleten nagyobb szilárdsággal rendelkezik a hagyományos CuCrZr ötvözetekhez képest, Pl.: TBi Industries Ltd. Startip.
- Konstrukció: némelyik teljesen eltér a hagyományos áramátadóktól, Pl.: Fronius Contec, Fronius Contec MD.



15. ábra. Háromszög furatkeresztmetszetű áramátadó. (Praxair Prostar Triangle Tip)



16.ábra. Ötszög furatkeresztmetszetű áramátadó. TBi Industries Ltd. Startip látványterv (balra), metszeti kép (jobbra). [12]

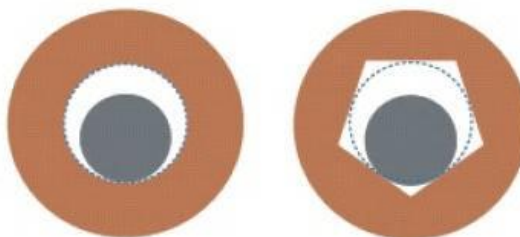
Az alábbiakban ezen áramátadók különlegességeit mutatjuk be részletesebben, a rendelkezésre álló marketinganyagokat mintegy összefoglalva.

a) Furatgeometria

Megjegyezzük, hogy az áramátadó közepén elhelyezkedő üres térrész nem „furat” a szó hagyományos értelmében, hiszen nem fúrással készül, azonban egyéb terminológia híján és az egyszerűség kedvéért furatnak nevezzük.

A sokszög furatkeresztmetszet indokoltsága, [12]

- Biztosabb áramátadás, kedvezőbb ívgyújtási és hegesztési feltételek a hegesztőhuzal és az áramátadó két érintkezési felülete által, míg kör keresztmetszet esetén csak egy érintkezési pont adódik (17.ábra).
- A kör keresztmetszethez (100% referenciaérték) képest megnövelt keresztmetszet (ötszög esetén: 115%) és a szögletes forma lehetővé teszi a szennyeződések lerakódását a belső élekbe anélkül, hogy az akadályozná a huzaltovábbítást vagy rontaná az áramátadást.

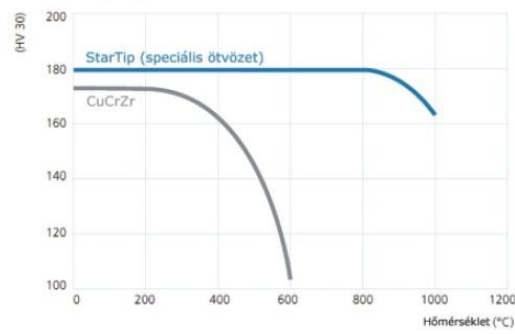


17.ábra. A huzal helyzete a kör- és az ötszög keresztmetszetű furatban. [12]

b) Anyagminőség

- A speciális anyagminőségű áramátadók egy rendkívül kopásálló mag és egy kiváló elektromos vezetőképességű külső burkolat kombinációjából készülnek. Ezen anyagkombináció egyesíti a két anyag előnyei, az egyenként jelentkező hátrányok kiküszöbölése mellett.
- Az új anyag -különösen magas hőmérséklet esetén- lényegesen nagyobb szilárdsággal rendelkezik a már eddig is gyakran alkalmazott CuCrZr ötvözeteknél (18.ábra).

Keménységcsökkenés 1 órás hőterhelés után



18.ábra. Keménységcsökkenés a hagyományos és a Startip áramátadó esetén. [12]

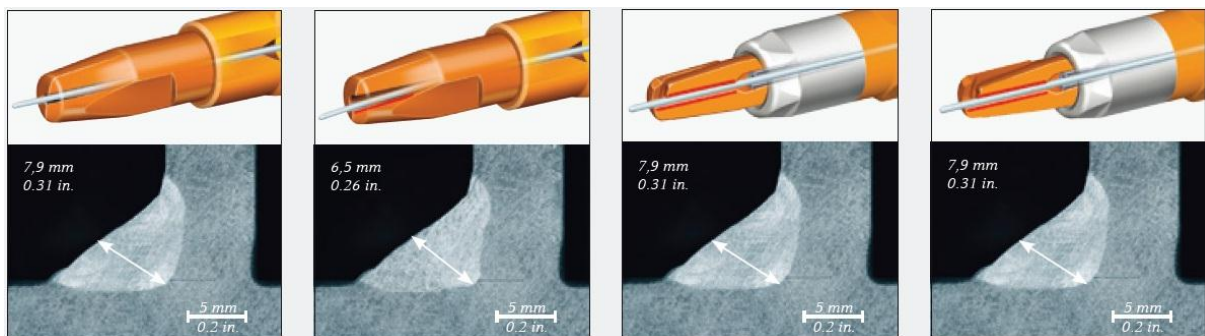
c) Konstrukció

A hagyományos áramátadó hüvelyek koncepcióját a Fronius cég elvetette, teljesen újragondolta, így született meg a Fronius Contec áramátadó (19.ábra).



19.ábra. Fronius Contec áramátadó.

Ezen áramátadó esetén a hüvelyt két alkatrészből képezik, melyek között csúszik a hegesztőhuzal. A két részt egy rugó segítségével szorítják össze, melyek képesek néhány foknyit elmozdulni egymáshoz képest, így a szorítóerő jól szabályozható, és folyamatos a kontaktus az elektróda és az áramátadó között. Ily módon az áramátadás végig egyenletes az áramátadó élettciklusa során, még akkor is, ha az elemek kopnak, hiszen az összeszorító erő ekkor is ugyanúgy fenn áll. Ennek előnye, hogy a huzalkinyúlás és ezáltal a szabad huzalhossz változatlan marad, így a beolvadási mélység sem csökken a kopás előre haladtával (20.ábra).



20.ábra. Hagyományos áramátadó új/kopott állapotban (1.,2. kép), Contec áramátadó új/kopott állapotban (3.,4. kép). [13]

Amit a Fronius ígér: [13]

- Az áramátadás 100%-ig egyenletes a hegesztés során,
- megnövekedett élettartam (5-15-szörös érték egy hagyományos áramátadóhoz képest!),
- fokozott folyamatstabilitás,
- jól meghatározott TCP (Tool Center Point- szerszámközéppont).

A továbbfejlesztett Contec MD (Multidiameter) további előnye, hogy ugyanazon az áramátadóval lehetséges különböző átmérőjű (0,8 mm-1,6 mm) huzalok alkalmazása.

Amit az új típusú áramátadók kínálnak [12]:

- A nagyobb terhelhetőség intenzívebb munkát tesz lehetővé, így nő a termelékenység, javul a hatékonyság, a fajlagos költségek pedig ezzel együtt csökkennek.
- A stabilabb hegesztési folyamat a gyártmány minőségének javulásához vezet, ezáltal csökkennek a javítási tisztítási költségek.
- A lényegesen hosszabb élettartam (hegesztési feladattól eltérő mértékben) csökkenti a fajlagos beszerzési költséget.
- A hosszabb élettartam ritkább alkatrészcserét tesz szükségessé, így a csere miatti leállásokból adódó időkiesés csökkenése a termelékenység növelését eredményezi.

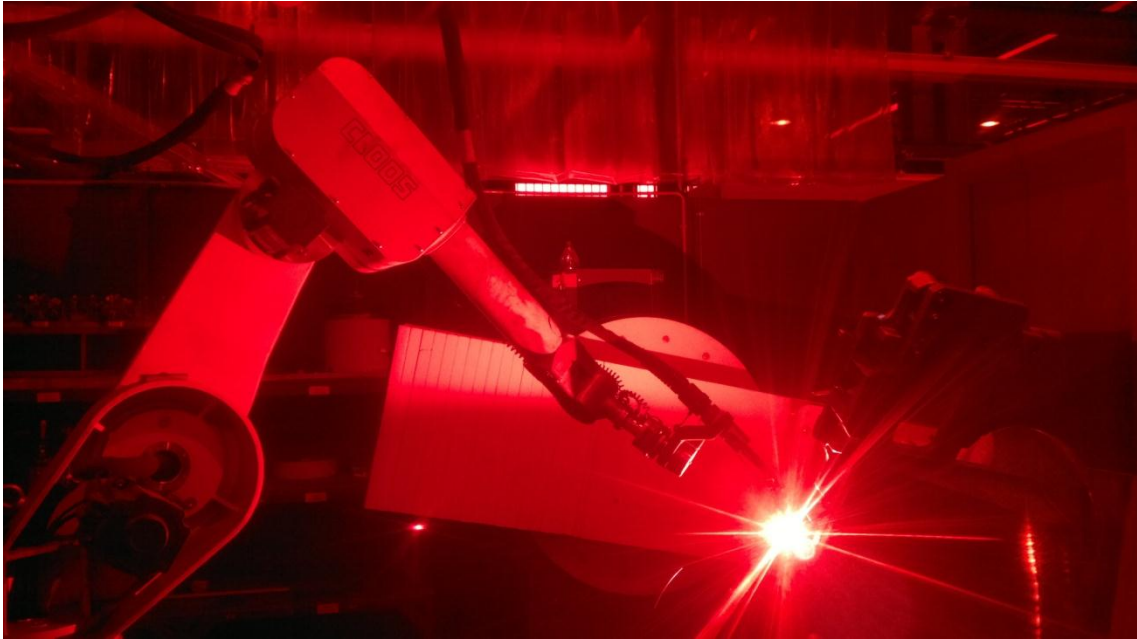
A gyártók által javasolt felhasználási területek:

- Gyakori ívgyújtások, illetve sok rövid varrat esetén.
- Automatizált, illetve robotizált hegesztési folyamatokhoz.
- Nagy teljesítményű hegesztésekhez.
- Magas minőségi követelményű munkák esetében.
- Al-, CuSi és CrNi ötvözetű hegesztőhuzalok használatakor.

3.2 Hagyományostól eltérő geometriájú áramátadók vizsgálata

A katalógusokban olvasott ígéreteket szeretnénk volna a gyakorlatban is kamatoztatni. A BPW-Hungária Kft-nél módunk nyílt ezen új áramátadók némelyikének kipróbálására valós üzemi körülmények között. Az előző pontban bemutatott áramátadók közül a Trafimet Group MD 1005-82 háromszögletű áramátadóját tanulmányoztuk.

A vizsgálatokat különböző feladatokat ellátó hegesztőrobotokkal végeztük az objektívebb képalkotás érdekében, így voltak alkalmazások ahol sok rövid varrattal, gyakori ívgyújtásokkal dolgoztunk és voltak olyanok, melyeknél a robot a másfél órás szünet nélküli hegesztő programot futtatott, mintegy 350 Amper áramerősség érték mellett, így kijelenthetjük, hogy a javasolt felhasználási területek nagy részét lefedtük. Az üzemi tartótesztnek jelen sorok írásakor négy hónapja zajlanak és még korántsem értek véget, azonban úgy érezzük, érdemes az eddigi tapasztalatokat rögzíteni.



21.ábra. Hegesztőrobot a kisszéíás gyártósoron, a BPW-Hungária Kft-nél.

3.2.1 Tapasztalatok a háromszög furat-keresztmetszetű áramátadók alkalmazása során

A robotok 135-ös, tömörhuzalos fogyóelektródás kevert védőgázos ívhegesztéssel dolgoztak impulzus anyagátviteli üzemmódban. A varratok többsége sarokvarrat, melyek hegesztése során törekednek a PA és PB hegesztési pozíciók programozására (21-22.ábra), azonban az összetett geometriák és a megállás nélkül hegesztendő varratok elkészítése során előfordult, hogy a robot kénytelen volt PC, PD, PE pozícióban is hegesztetni.



22.ábra. Megállás nélkül hegesztendő varratok hegesztése egy tömör tengelyen, tömege: ~350 kg.

Az alábbiakban a munkafolyamat tulajdonságait ismertetjük.

Termékek főbb jellemzői:

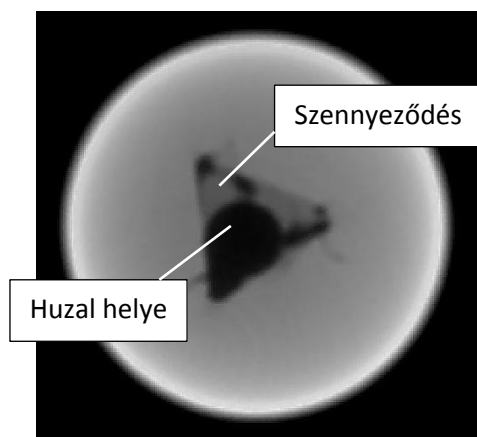
- anyaga: alacsonyán ötvöztött szénacél
- laptávolság (tömör anyag): 160 mm
- hosszúság tartomány: 1200-1700 mm.

Főbb hegesztési paraméterek:

- eljárás: 135, tömörhuzalos fogyóelektrodás kevert védőgázos ívhegesztés
- anyagátviteli mód: impulzus
- áramerősség: ~350 A
- huzalvastagság: 1,2 mm
- áramátadó: Trafimet Group MD 1005-82.

A hegesztés elkezdése után hamar szembesültünk az első változással, nagyobb lett varratdudor az eddigiekhez képest. Ezt annak tudtuk be, hogy a háromszögletű áramátadóban nagyobb játéka van a huzalnak, így a rendszer kisebb ellenállást jelent az előtolómű számára. A problémát az előtolás sebességének csökkentésével orvosoltuk, ezt követően a varratok újra „jó” minőségűek lettek. Meg kell jegyeznünk, hogy valós körülmények között a gép vezérlése által kijelzett előtolási sebesség nem teljesen felel meg a huzal valódi sebességének, ezt befolyásolja a huzalvezetékben és a pisztolyban fellépő súrlódás. Ez függhet a kábel irányától, pozíciójától, kopottsági szintjétől, a huzalvezeték anyagától (acél, polimer) és a tapasztalatok szerint az áramátadótól is. Ez azt jelenti, hogy a számunkra megfelelő előtolási sebességet kisebbre állíthatjuk, mégsem fog csökkenni a huzalsebesség, így energiát takaríthatunk meg. ($P=M \cdot \omega = U \cdot I \cdot \cos\phi$, ahol P = teljesítmény, (W); M = nyomaték, (Nm); ω = szögsebesség, (rad/s); U = feszültség, (V); I =áramerősség, (A); $\cos\phi$ = teljesítménytényező, (-). Ha M =konst., és $\cos\phi$ =konst., akkor, ha ω csökken, az $U \cdot I \cdot \cos\phi$ szorzat is csökken. Ha ezeken kívül M is csökken a kisebb ellenállás miatt, úgy az $U \cdot I \cdot \cos\phi$ szorzat nagyobb mértékben csökken.)

A háromszög keresztmetszet élei valóban beváltották az ígéretek, a hegesztőhuzal által szállított por és egyéb szennyeződések lerakódtak, némely esetben akkora mértékben, hogy a hegesztőhuzal kihúzása után a furat kör keresztmetszetűnek tűnt, ugyanis csak ott nem volt lerakódás, amely helyet a huzal töltötte ki (23.ábra).



23.ábra. Szennyeződés lerakódása a furat varrathoz közelebbi végén.

A következő tapasztalatunk a hagyományos áramátadókhoz képest megnövekedett élettartam. Az áramátadók mintegy 1,5-2-szer hosszabb élettartamot produkáltak.

Az áramátadók jellemző tönkremeneteli módja:

- A hüvely végének deformálódása a nagy hő terhelés és a huzal által okozott kopás következtében, lassú tönkremeneteli forma, üzemszerű esetben történik.
- Nagymértékű fröcsklerakódás, vagy szennyeződés-lerakódás melynek következtében a huzal megszorul, az előtolómű nem képes annak továbbítására, amely visszaég. Ezt a tönkremeneteli formát próbáljuk elkerülni (pl. fröcskmentesítő aeroszol - anti-spatter spray-alkalmazásával), hiszen bekövetkezése azonnali leállást jelent.

Ezek a tönkremeneteli módok megegyeznek a hagyományos áramátadókéival, azonban a kisebb huzallellenállás miatt kevesebbszer fordult elő huzalvisszaégés, így folyamat üzemszerűbb, jobban kézben tartható.

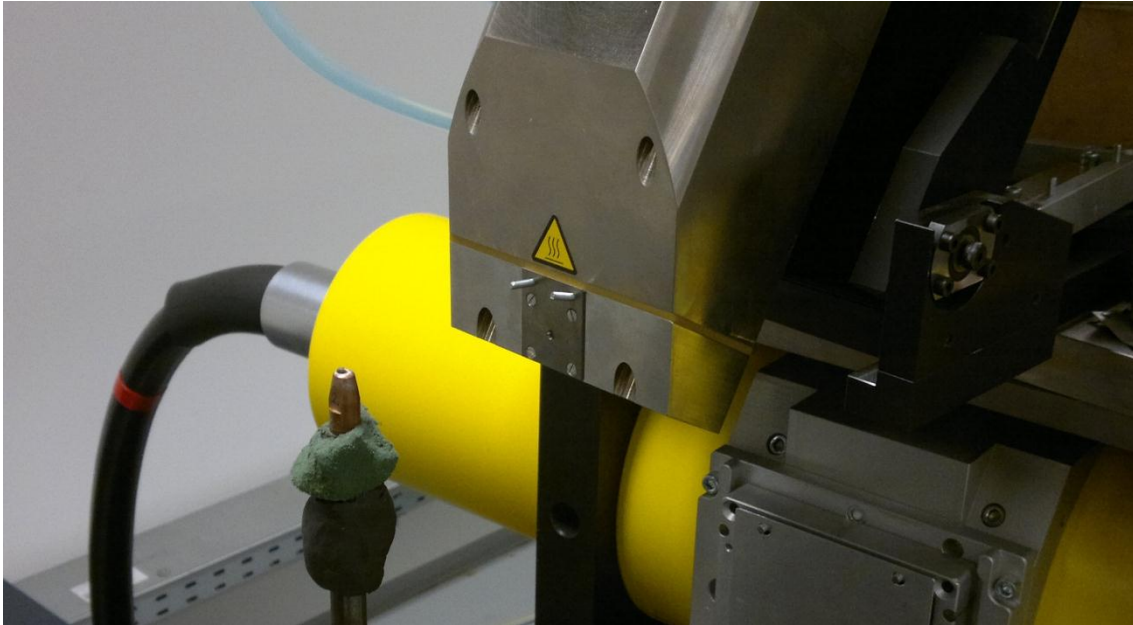
A pozitív tapasztalatok mellett azonban néhány előnytelen jelenséget is észrevettünk. A varratkövetővel ellátott robotok - melyek előre programozott pályáját a berendezés képes korrigálni- lengetéses hegesztési üzemmódban szabálytalan varratokat produkáltak. Ennek hátterében szintúgy a huzal és a hüvely közötti nagy játék áll, hiszen így a szerszámközéppont (definíció szerint a 12 mm hosszú szabad huzal végének helyzete) nem elegendően stabil. Sajnos egyelőre ezt a problémát nem sikerült orvosolni.

A másik előnytelen jellemzője az áramátadónak már gazdasági jellegű, ugyanis ára közel kétszerese egy hagyományos áramátadóénak.

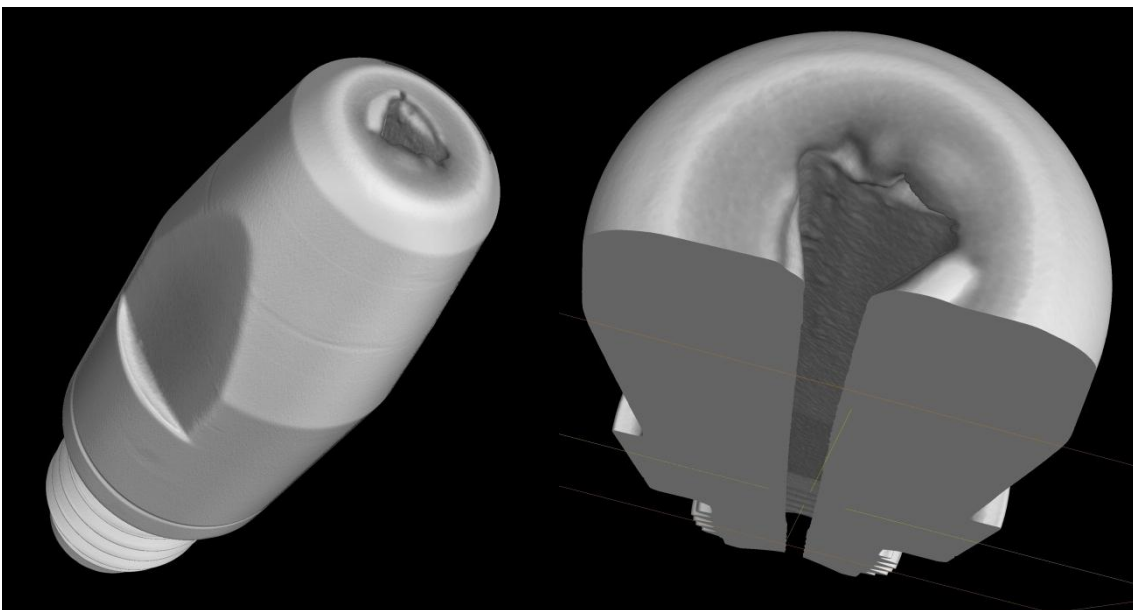
3.2.2 A furatgeometria változásának vizsgálata

Kíváncsiak voltunk a háromszög- és a kör-keresztmetszet furatú áramátadók közötti összes vizsgálható különbségre, hiszen eddig ilyen alkatrészsel nem dolgoztunk.

Mivel a leglényegesebb változások a furatot érintik, ezért kézenfekvő volt a háromszög furat geometriájának, a belső furatfelület kopásának vizsgálata. A kismértékű változások kimutatásához olyan berendezésre volt szükségünk, mellyel képesek vagyunk a furat belső felületének precíz mérésére. Ehhez szükségünk volt a furat háromdimenziós testmodelljére, melyet aztán összehasonlíthatunk egy kontrol minta furatának modelljével. Első közelítésben ezt úgy képzeltük el, hogy az áramátadóról több helyen keresztmetszeti képet készítünk mikroszkóp segítségével, a képek helyét a magasság mentén feljegyezzük, majd az így készült képekből és magasság-értékekből elkészítjük a háromdimenziós modellt végigkövetés (loft) parancs segítségével. Szerencsére erre nem került sor, mivel módunk nyílt használni a győri Széchenyi István Egyetem röntgentomográf berendezését, mellyel sokkal precízebb háromdimenziós modellek készültek, ráadásul az eltérések kimutatására is rendelkezésre állt egy szoftver. Az így készült mérések közül egyet szeretnénk részletesebben bemutatni, mely jól reprezentálja a tapasztalatokat és a mérések eredményeit. Az alábbiakban a vizsgált áramátadók háromdimenziós leképezéséhez szükséges berendezést, és a leképezett modelleket láthatjuk.



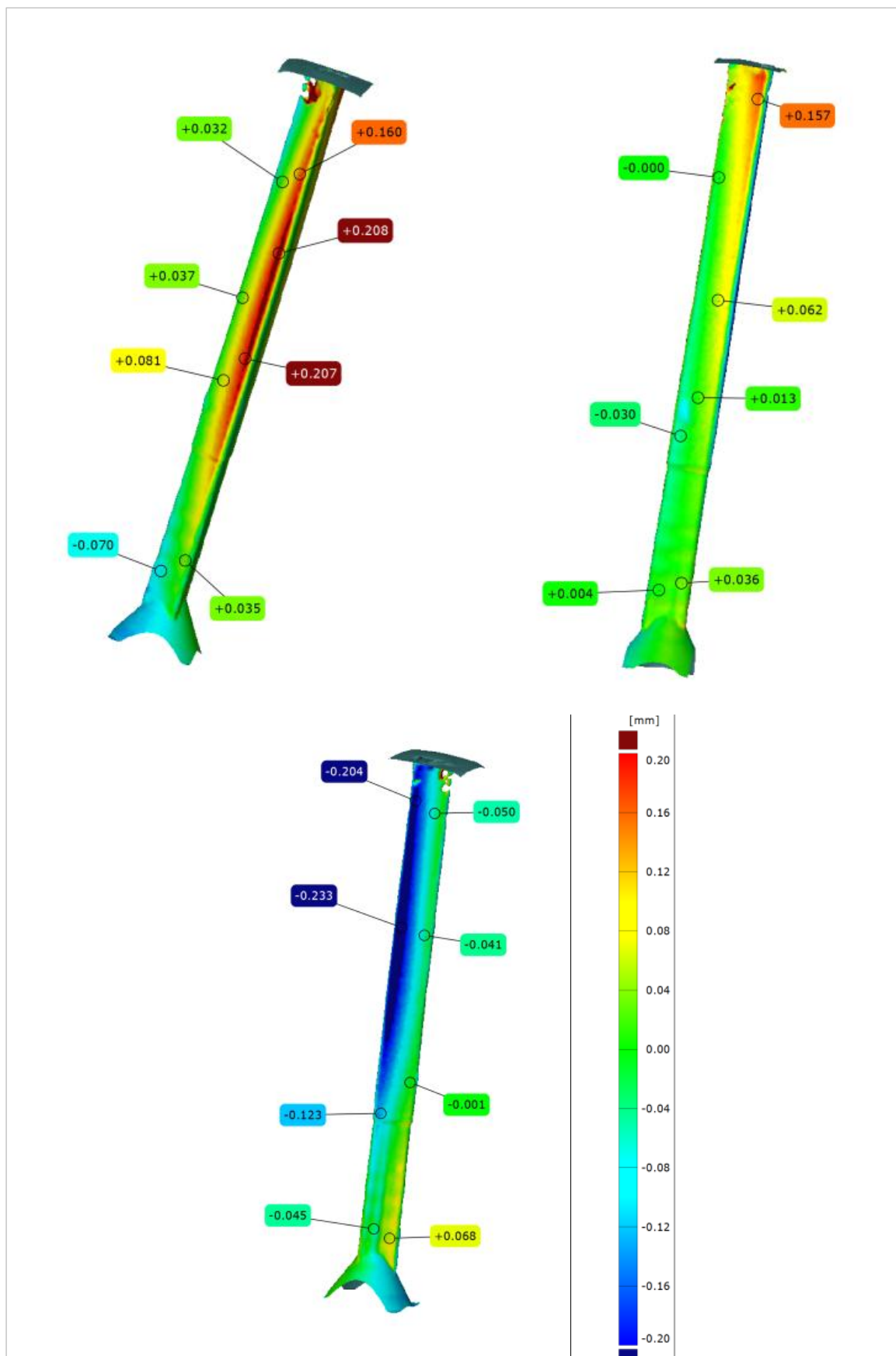
24.ábra. Az áramátadó geometriájának leképezése a röntgentomográf berendezésben.



25.ábra. Használt Trafimet Group MD 1005-82 áramátadó CT képei. Külső nézet (balra), metszeti kép (jobbra).

A bal oldali képen a teljes modellt láthatjuk általános nézetben, a furat végének deformációjával, míg a jobb oldalon a metszeti képen bepillantást nyerhetünk a furat belsejébe. Megfigyelhető belső felület kopásból és a szennyeződés lerakódásából származó egyenetlensége.

A 26. ábrán egy használt és egy új állapotú mintadarab összehasonlító mérésének grafikus eredményeit láthatjuk. A mérés során referenciaként az új áramátadó szolgált. Ahol nulla, vagy nulla közeli értéket látunk, ott a kopott áramátadó furatának belső felülete közel megegyezik az új furatának geometriájával. A pozitív értékek a kopott helyeket jelzik, ezek színe sárga és piros, a feltüntetett értékek milliméterben értelmezendők. A negatív értékű helyek (türkiz, kék) anyaghiányt mutatnak a kontrollmintához képest, mely a szennyeződés lerakódásából származik.



26.ábra. Használt és új állapotú Trafimet Group MD 1005-82 áramátadók furatainak összehasonlító mérése.

A három kép igazodva a geometriához, azt három különböző oldalról mutatja be. Érdekes megfigyelni, hogy nagymértékű kopás csak az egyik oldalon, nagymértékű szennyeződés-lerakódás pedig a kopott oldallal szemközi élben látható. Ez azt bizonyítja, hogy a huzal a robot mozgásának ellenére sem változtatja görbületének irányát hegesztés közben. (Mely tényt eddigi kísérleteink során nem igazoltuk, azonban a következő fejezetben bemutatásra kerülő áramátadó-forgatás indokoltságának elméletében fontos szerepet tölt be.) A kopás és a lerakódás értéke egyaránt 0,2 mm, és az áramátadó varrathoz közelebbi végétől számított háromnegyed részén állnak fenn. A kopás értéke a második és harmadik negyedben, az áramátadó magasságának közepén, illetve varrathoz közelebbi végén, míg a lerakódás az első és második negyedben a legnagyobb. Érdekes tény, hogy az áramátadó közepén nagyobb mértékű a kopás (0,2 mm), mint az áramátadó végén (0,15 mm), ugyanis ha szabad szemmel, sztereo mikroszkóppal nézünk az áramátadó furatába, akkor látszólag a furat vége a legkopottabb. Ráadásul a két maximum hely két szomszédos oldalon található, mely azt bizonyítja, hogy a huzal nem egyenesedik ki teljes mértékben az áramátadóban, mint azt többen gondolják. A furat végében látható „anyaghiányos” térész, a kopott furat végében lerakódott nagy mennyiségű szennyeződés miatt látható.

3.3 Hagyományostól eltérő geometriájú áramátadók vizsgálatának összefoglalása

Az új, hagyományostól eltérő geometriájú áramátadóknak várhatóan egyre nagyobb szerep jut a iparban, hiszen - ahogy az a mi vizsgálatainkból is kiderült -, a fejlesztéseknek van létjogosultsága, és ha az áramátadókat előállító cégeknek a jó műszaki megoldásokat kedvező árral sikerülne párosítania, biztosan nagy sikert aratnának, hiszen a kevesebb csere kevesebb leállást, és járulékos költséget jelent.

A vizsgált áramátadókat 1,5-2-szer hosszabb élettartam jellemzi, mint az eddig alkalmazott hagyományos darabokat, emellett kisebb huzal-előtolási sebesség is elegendő a kisebb súrlódás miatt, így energiát takaríthatunk meg.

A Trafimet Group MD 1005-82 áramátadók alkalmazása a BPW-Hungária Kft-nél összességében jó benyomást keltett, ha kedvezőbb volna az ára, több roboton is üzemszerűen állnának át használatára.

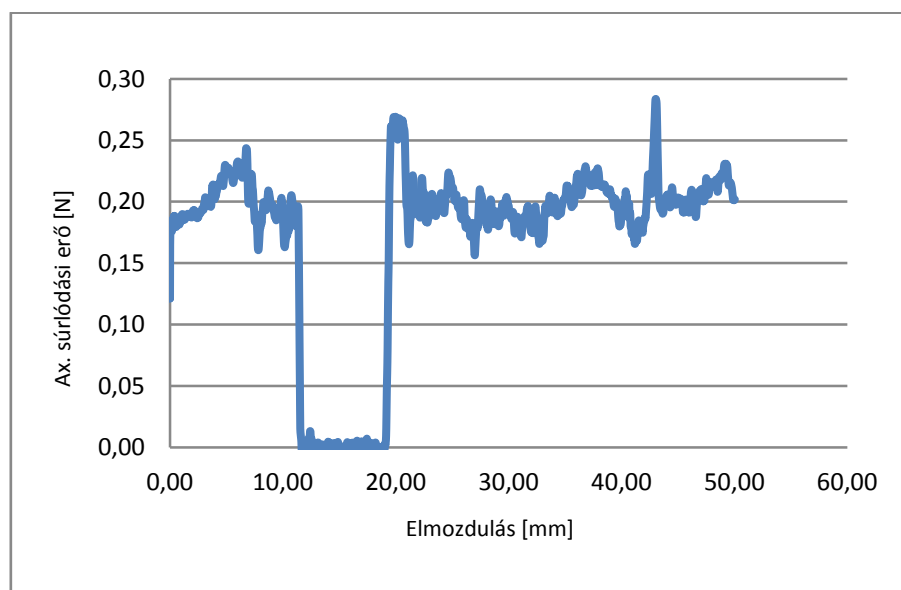
Távlati céljaink között szerepel a jelenlegi mérések folytatásán kívül, a többi bemutatott áramátadó tesztüzembe helyezése és vizsgálata is.

4. Az áramátadó-forgatás lehetőségének vizsgálata II.

Dolgozatunkban folytattuk tavaly megkezdett vizsgálódásunkat, mely arra irányult, hogy csökkenthető-e az áramátadón áthaladó huzal hatására a furatról leváló anyag mennyisége, a hossz-tengelye körüli forgatásával. Reményeink szerint, ha csökkentjük az anyagleválást mértékét, az áramátadó élettartama növelhető.

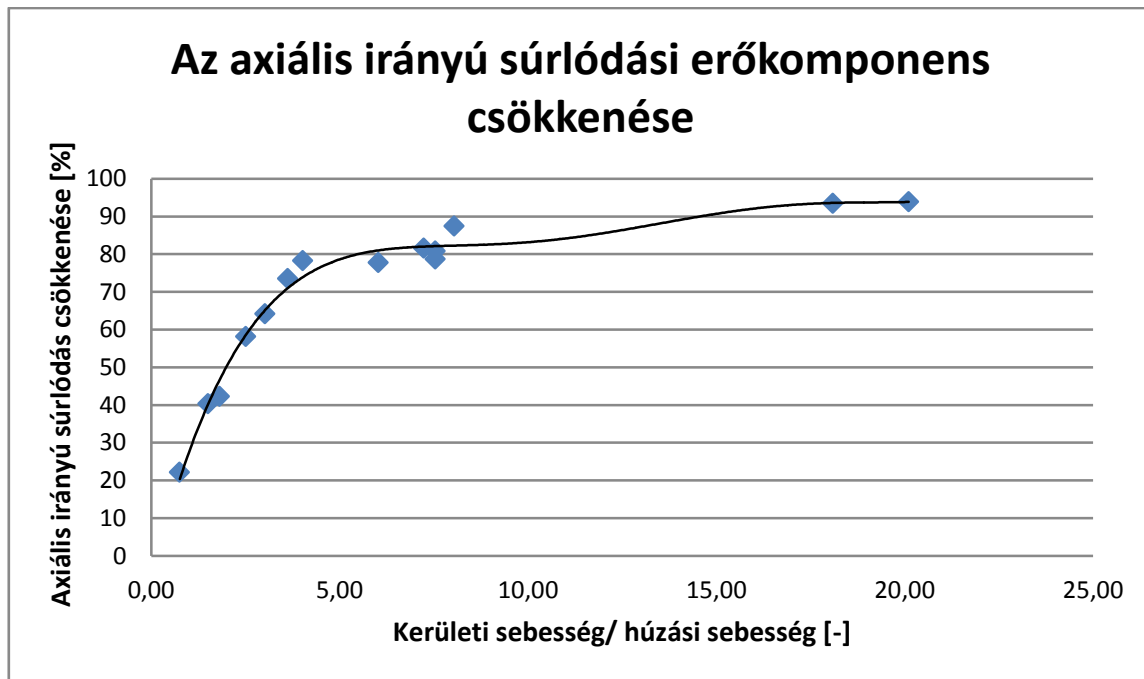
4.1 A korábbi eredmények rövid összefoglalása

Tavalyi munkákban megvizsgáltuk, hogy a hegesztőhuzal áramátadón való áthaladása során mekkora axiális irányú súrlódási erő jön létre. Kiderült továbbá az is, hogy az erő könnyen csökkenthető, azaz sejtésünk szerint tangenciálissá alakítható, az áramátadó forgatásával. A kopás soktényezős képletének felhasználásával arra következtettünk, hogy a leváló anyag mennyisége arányos a súrlódó erő nagyságával. Kísérleteink során egy áramátadón áthaladó huzal ellenállását mértük egy nagy pontosságú szakítógép mérőcellájával. A mérés egy szakaszán az áramátadót a húzási sebességhez képest nagyobb sebességgel forgatni kezdtük, ennek eredménye látható a következő ábrán, forgatáskor az axiális (mért) erő szinte nulla értékre csökkent. Így a furatfelület kerületi sebessége többszöröse volt a huzal áramátadóhoz képesti axiális irányú sebességének.



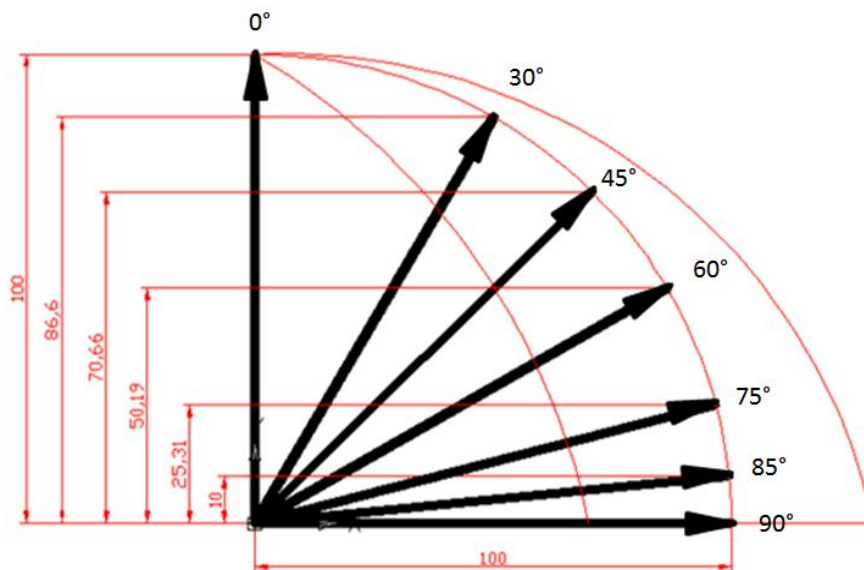
27. ábra. A súrlódó erő nagysága és a forgatás hatása
 $v_h=100$ [mm/min]; $n=480$ [1/min]

Arra az eredményre jutottunk, hogy ha az áramátadót a huzal előtolási sebességéhez képest elég nagy sebességgel forgatjuk, a mért axiális irányú súrlódó erő közel nullára csökkenthető (27. ábra). Helyét azonban valószínűleg a tangenciális irányú erő veszi át, melyet mérni nem tudtunk. A különböző paraméterekkel elvégzett mérési eredményeinket összefoglalva az alábbi (28. ábra) összefüggést állítottuk fel:



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

Az ábrán látható, hogy mekkora kerületi/forgatási sebesség arány szükséges, hogy az súrlódó erő axiális komponensét adott értékkel csökkentsük. Ezt az összefüggést felhasználva végeztük méréseinket a továbbiakban.



29. ábra. A súrlódási erő axiális és tangenciális irányú összetevőinek kapcsolata, 0°- csak axiális komponens, 90°- csak tangenciális komponens.

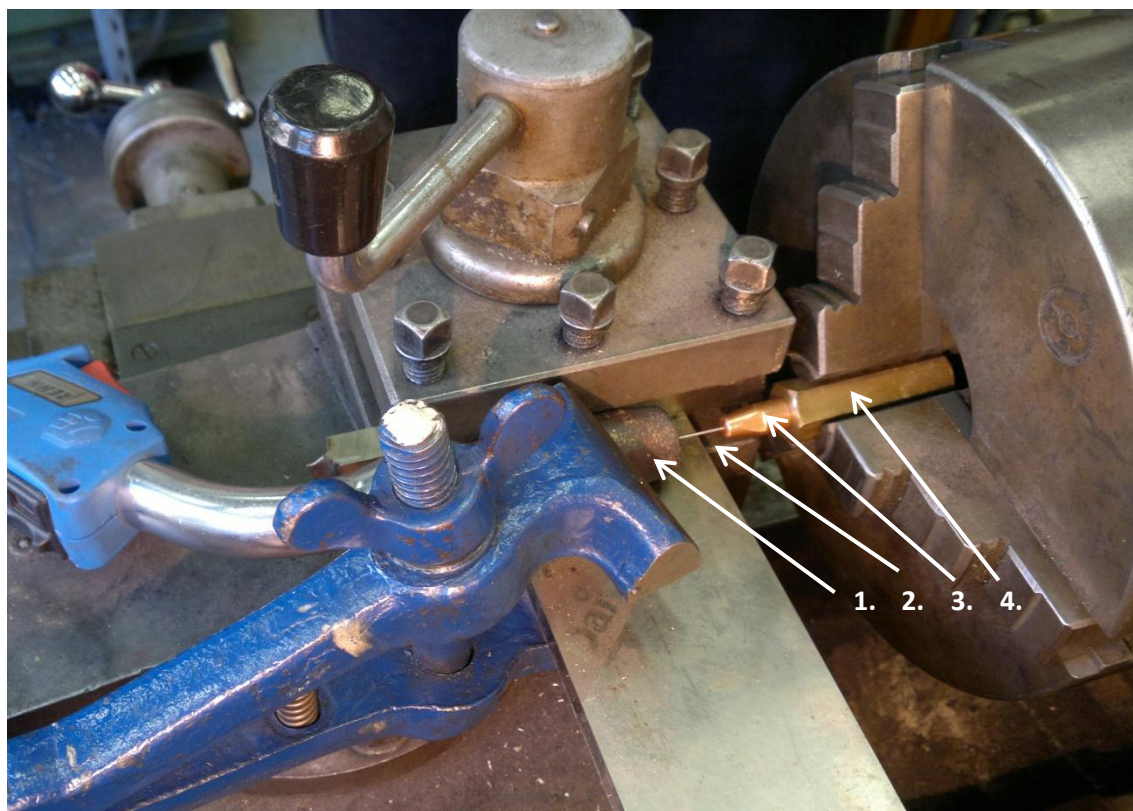
Feltételezve, hogy a súrlódó erő nagysága nem, csak iránya változik, készítettük el a 29. ábrát. Ha például azt akarjuk, hogy a súrlódási erő iránya 60°-kal térjen el a 0°-kal jelzett axiális iránytól, akkor az axiális vektort 60°-kal elforgatjuk és leolvassuk az így képzett vektor axiális komponensének nagyságát, mely ez esetben 50,19%, azaz 60°-os döntés mellett $100 - 50,19 = 49,81$ %-kal csökkentettük az axiális súrlódási erőt. Ezt az értéket tudva, a 28. ábrán megkeressük az axiális irányú súrlódás csök-

kenése felíratú tengelyen a 49,81% értéket, rávetítjük az adatsorból képzett trendvonalra, majd a kerületi sebesség/húzási sebesség tengelyen leolvassuk az ehhez a ponthoz tartozó 2,2 értéket. Így tudjuk tehát, hogy ha a súrlódási erőt 60°-kal szeretnénk „elforgatni”, ahhoz 2,2-szer nagyobb kerületi sebességre van szükségünk, mint amekkora a huzalelőtolás sebessége. A kerületi sebesség értékéből aztán kiszámolható a kívánt fordulatszám.

Elméletileg ekkor a másik, tangenciális irányú tengelyre vetített vektorkomponens megadja a fellépő tangenciális súrlódási erő nagyságát, amennyiben súrlódási erő nagysága valóban változatlan. Korábbi vizsgálataink során a 85°-nak megfelelő szögértékig tudtunk elmenni, magasabb fordulatszámot sajnos nem voltunk képesek vizsgálni. Azonban már ezen a ponton is közel nullára csökkent a mért axiális irányú erő. Mostani vizsgálatunk során ebben az arányban az eszterga korlátai miatt csak hozzávetőlegesen 10°-ig sikerült eljutnunk.

4.2 A forgatás kísérleti megvalósítása

Korábbi sejtésünk szerint a tangenciális irányú súrlódó erő kisebb lehet az axiálisnál, mivel a tangenciális irányú csúszási súrlódási erőt a mozgás bizonyos fázisaiban gördülési ellenállás helyettesítheti, valamint a súrlódás egyéb, általunk nem mért (nem mérhető) paraméterei is változhatnak. Folytatva korábbi munkánkat létrehoztunk egy mérési összeállítást, melyben meg tudtuk vizsgálni, hogy az áramátadó hossz tengelye körüli forgatásával képesek vagyunk-e csökkenteni a róla leváló anyag mennyiségét, ezáltal az áramátadó élettartamát növelni.



30. ábra. A kísérleti összeállítás. 1. hegesztőpisztoly, 2. huzal, $d=1\text{ mm}$, 3. forgó áramátadó, 4. konzol, a főorsó tokmányában

Ahogy az ábrán látható, egy MIG-hegesztőgépet, és egy egyetemes esztergát használtuk. Előbbi a valós körülményeknek leginkább megfelelő előtolási, huzalsúrlódási paraméterek, utóbbi pedig a szabályozható fordulatszám, és üreges tokmány miatt. A kísérlet csak úgy valósítható meg, hogy a hegesztőhuzal hossz tengelye egybeesik a forgás tengelyével.

Az áramátadó és a huzal a vizsgálat során szobahőmérsékletűek voltak. Annak érdekében, hogy az áramátadó hossz tengelye egybeessen a tokmány forgástengelyével, készítettünk egy konzolt, melynek furatát ebben a befogásban munkáltuk ki.

4.3 A kísérlet célkitűzése

Először is szeretnénk volna tudni, hogy mérési összeállításunk alkalmas-e az anyagleválási folyamat modellezésére. Ez után természetesen kíváncsiak voltunk, hogy a forgatással csökkenthető-e a kopás. További célunk az volt a kísérlet során, hogy megtudjuk, a különböző paraméterek milyen hatással vannak a folyamatra.

4.4 A mérés kivitelezése

Olyan forgató berendezésre volt szükségünk, melynek forgástengelyébe helyezhettük az áramátadót. Kézenfekvő választás volt egy eszterga tokmánya, melybe rögzítve az áramátadót, a tokmány túloldalán távozó huzalt felcsévélhettük. A hegesztőpisztoly könnyedén rögzíthető volt a kések helyére. A berendezést négy ütemre kapcsolva, tényleges hegesztés nélkül végeztük a mérést. A huzal mozgatására, a hegesztőgép saját előtoló rendszerét használtuk. Szerettük volna tudni, hogy álló áramátadó esetén mekkora a leváló anyag mennyisége, ezért a hegesztőpisztolyba helyeztünk egy kontrol áramátadót. Ennek a tömegcsökkenésével hasonlítottuk össze a forgó áramátadók tömegének csökkenését. Minden mérés előtt meggyőződünk róla, hogy a két áramátadó, (kontrol és forgó) furata egy közös tengelyre essen. A mérést minden esetben 6 m/perc előtolási sebességgel végeztük, 1 mm átmérőjű rézbevonatos huzallal. Hasonló mérést korábban is végeztünk, 1,2 mm átmérőjű huzallal, eltérő mérési összeállítással, ott nagyobb mértékű anyagleválást tapasztaltunk, ezért nem ábrázoltuk akkori eredményeinket együtt a mostaniakkal. Az áramátadók tömegének mérése során nagy gondot fordítottunk a mérés pontosságára, minden mérés előtt sűrített levegővel, majd alkoholban tisztítottuk őket, valamint három mért érték átlagából származik minden adatunk. A tömegmérésekhez Denver APX-200 típusú labormérleget használtunk.

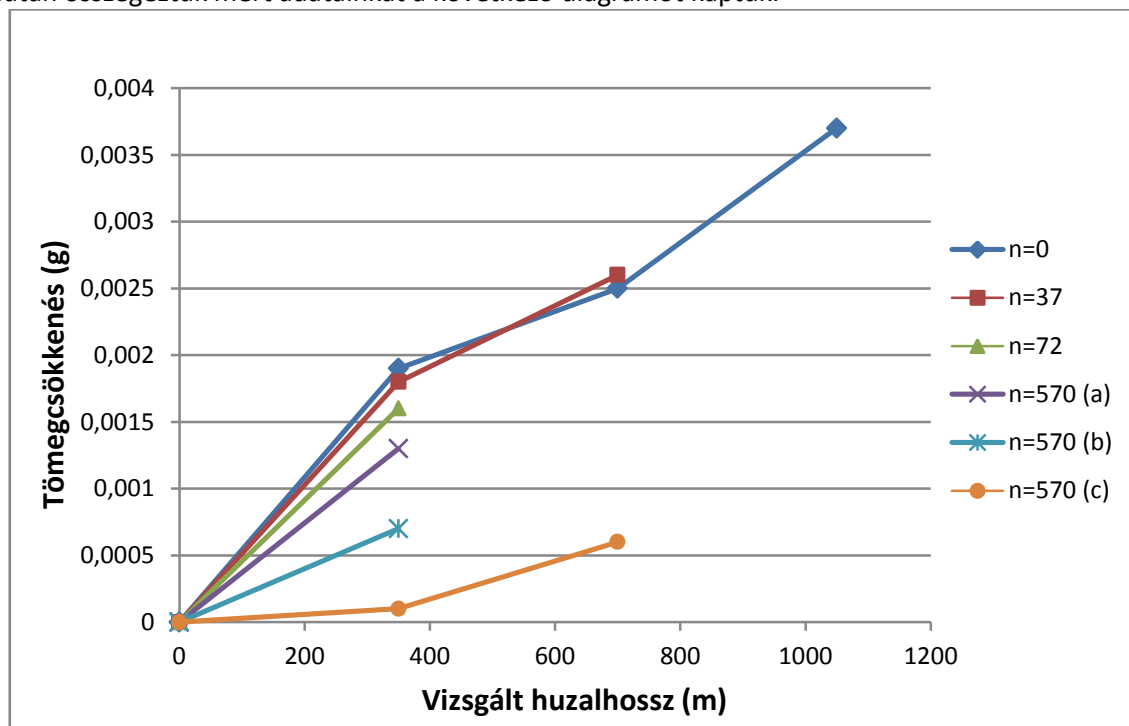
	n=0 (1/min)	n=37 (1/min)	n=72 (1/min)	n=570 (1/min)	n=570 (1/min)	n=570 (1/min)
távolság (m)	levált anyag tömege (mg)					
0	0	0	0	0	0	0
350	1,9	1,8	1,6	1,3	0,7	0,1
700	2,5	2,6				0,6
1050	3,7					

7. táblázat. A különböző huzalhosszok után mért tömegcsökkenés, különböző fordulatszámoknál.

Sajnos nem volt módunk a mérés hosszadalmassága miatt minden sebességnél nagy huzalhosszokat vizsgálni. Az álló áramátadó által kiadott görbe még folytatódik, hasonló tendenciát követve, mert minden mérésnél jelen volt, de a jobb összehasonlíthatóság érdekében csak 1050-méterig ábrázoltuk.

4.5 A mérés eredményei

Miután összegeztük mért adatainkat a következő diagramot kaptuk.



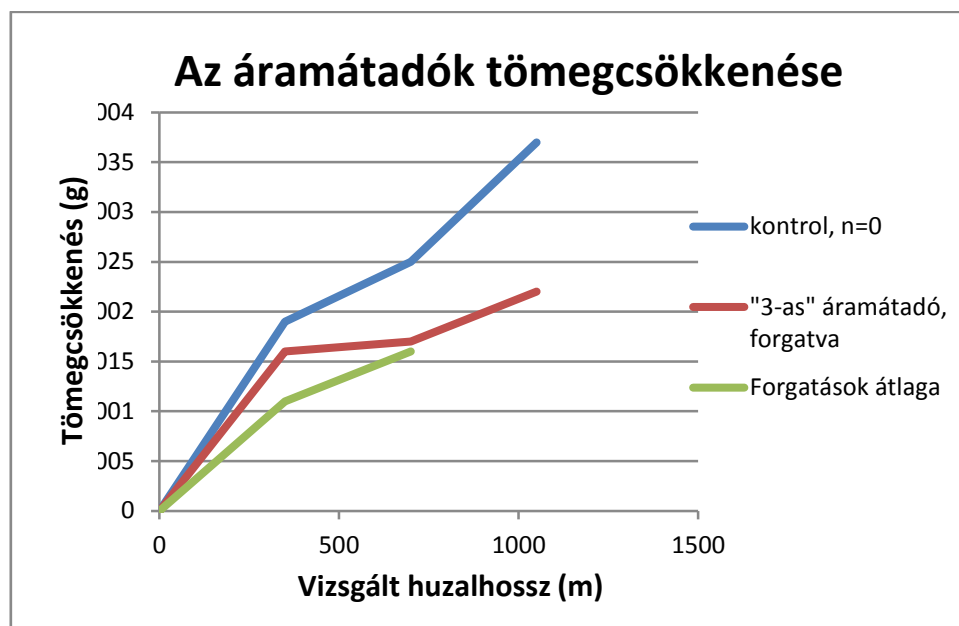
31. ábra. Az áramátadók tömegének csökkenése.

Látható, hogy a kis sebességű ($n=37$ 1/min), forgatás nem hozott változást a leváló anyag mennyiségében. Érdekes megfigyelni a kontroll áramátadó kopásgörbe meredekségének változását, a kezdeti, nagyobb mértékű anyagleválás tulajdonítható a bekopás jelenségének. Az utolsó három, a, b, c-jelű méréseket egyaránt 570 1/min fordulatszámon végeztük. Nagyon kismértékű tömegcsökkenésről beszélünk, de az egyértelműen látszik, hogy forgatva az áramátadót ugyanakkora, sőt legtöbbször kisebb mértékű volt az anyagleválás. Érdekes megjegyezni, hogy a hegesztés során nagy gondot okozhat, hogy az áramátadó egyenetlen kopása miatt a huzal végének pozíciója megváltozik. Ez a jelenség főleg robotizált hegesztés során okoz gondot, mert ilyenkor a hegesztő nem tudja korrigálni a hegesztés során a pisztoly helyzetét. Fogatáskor a kopás közel a teljes furatfelületet érintette, így a furat kör keresztmetszetű maradt.

A méréseket az alábbi eszközökkel végeztük:

- áramátadó típusa: Tbi-Industries Ltd. 340P123069, M8x1
- hegesztő berendezés: Rehm MegaPuls 300
- eszterga: SK360 egyetemes eszterga

- labormérleg: Denver APX-200
- hegesztőhuzal: ESAB, OK Autrod 13.23, d=1,0 mm, (rézbevonatos acélhuzal).



32. ábra A forgatott áramátadók átlagos tömegcsökkenése, a kontrolhoz, és a „3-as” számú áramátadóhoz képest

Az eredmények nagy szórása miatt egy diagramban ábrázoltuk a kontrollt, az összes forgatott áramátadó anyagleválás átlagát, valamint egy adott áramátadót, melyet először 350 méter huzalon 72 1/min fordulatszámmal, majd 700 méter hosszon 570 1/min fordulatszámon forgattunk. A diagramról leolvasható, hogy az áramátadó tömege kisebb mértékben csökkent forgatás során. A „3-as” áramátadó esetében látható kezdeti nagyobb mértékű anyagleválást okozhatta a bekopás jelensége, vagy a kisebb fordulatszám is. Ennek eldöntésére további mérésekre van szükség.

Álló, „kontroll” áramátadó		
Távolság (m)	Tömeg (g)	
0	14,0926	
350	14,0907	
700	14,0901	
1050	14,0889	
1400	14,0885	
"3-as", forgó áramátadó		
Távolság (m)	Tömeg (g)	Fordulatszám (1/min)
0	14,0382	-
350	14,0366	72
700	14,0365	570
1050	14,0360	570

8. táblázat. Az álló és a forgatott „3-as” áramátadó tömegének változása

4.6 A forgatás összegzése

A forgatás ismét érdekes eredményre vezetett. Úgy tűnik az axiális és tangenciális erők arányának megváltoztatásával csökkenthető a kopás mértéke. A kérdés további, nagyobb távolságokon végzett vizsgálata terveink közt szerepel, a feltevést egyértelműen igazolni csak hosszabb vizsgálatok során lehet. A probléma vizsgálata összetett, és túlmutat a hegesztés témakörén. Az ötlet gyakorlati alkalmazásának esetleges lehetőségén kívül mechanikai oldalról is érdemes foglalkozni vele. A kopási folyamatok pontos leírása a mai napig nem egyértelműen tisztázott, gyakran empirikus módon valósul meg. Távolati terveinkben szerepel még a nagyobb távolságokon túl, a különböző fordulatszámokon történő mérések elvégzése. Melyekben az súrlódási erő irányát nagyobb mértékben tudjuk „bedönteni” az axiális irányhoz képest.

5. Összegzés

Kísérleteink során sok új technológiával, érdekes eljárással ismerkedhettünk meg, ennek az ismeretanyagnak a jövőben is nagy hasznát vehetjük. Kijelenthetjük, hogy üzemi körülmények között is megtapasztalhattuk, hogy a hegesztés folyamata során mekkora jelentősége van a kopásból származó veszteségeknek. Ezzel a felhasználók mellett a gyártók is tisztában vannak, folyamatosan jelennek meg újabb és újabb technológiai újítások, melyek célja a kopás csökkentése, ezzel pedig a minőség és az élettartam növelése. A bemutatott vizsgálatok megvalósítása során nem csak anyagtudomány- és technológiai ismereteinket bővíthettük, hanem elmélyültünk a mechanika, gépgyártás-technológia, felületdigitalizálás és bizonyos mértékig a közgazdaságtan tudományterületeiben is.

6. Köszönetnyilvánítás

Elsősorban köszönjük Dr. Dobránszky János Tanár Úr és Biczó Csaba hegesztő szakmérnök segítségét és tanácsait. Továbbá köszönettel tartozunk Kozma Istvánnak, nélküle nem tudtunk volna a röntgendiffrakciós vizsgálatokat végezni. Az áramátadók elektronmikroszkópos vizsgálatában Dr. Szabó Péter János volt segítségünkre. A vizsgált áramátadókat, huzalokat és a hegesztőlaboratóriumot, hegesztőgépet Mohos László és Schimmer István bocsátotta rendelkezésünkre, az eszterga használatánál Kranauer Tamás segített bennünket. Ezúton is köszönjük a támogatást.

Irodalomjegyzék

- [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] BPW-Hungária Kft. cégismertő
http://karrier.szeportal.hu/index.php?option=com_content&task=view&id=1216&Itemid=2005
- [5] Dr. Komócsin Mihály: Gépiapari anyagismeret. Cokom Mérnökiroda Kft., Miskolc, 2010.
- [6] Króm kémiai elem adatai, <http://hu.wikipedia.org/wiki/Króm>
- [7] Réz kémiai elem adatai, <http://hu.wikipedia.org/wiki/Réz>
- [8] Nikkel kémiai elem adatai, <http://hu.wikipedia.org/wiki/Nikkel>
- [9] Vas kémiai elem adatai, <http://hu.wikipedia.org/wiki/Vas>
- [10] Fémek világpiaci árai, http://www.recycleinme.com/scrapresources/metal_prices.aspx
- [11] Nikkel, nikkel-króm bevonat információk, <http://www.technickel.com/services.htm>
- [12] TBI Industries Ltd. Startip áramátadó prospektus,
<http://ebookbrowse.com/tbi-startip-eng-pdf-d207754940>
- [13] Fronius Contec ismertető médiakiadvány,
http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID61927CA28493425/fronius_international/M_06_0013_EN_flyer_ContecMD_01_2011_160155_snapshot.pdf