



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ANYAGTUDOMÁNY ÉS TECHNOLÓGIA TANSZÉK

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

WENINGER MARTIN BENEDEK

(GÉPÉSZMÉRNÖKI SZAK BSC, 7. FÉLÉV)

W-elektrodák ötvözőinek hatása elektrodakopásra, terhelhetősége alumínium alapanyagon

Konzulensek:

Dr. Katula Levente Tamás

egyetemi docens

Dr. Varbai Balázs

adjunktus

Budapest, 2023

NYILATKOZATOK

Elfogadási nyilatkozat

Ezen dolgozat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kara által a Tudományos Diákköri Konferenciára előírt valamennyi tartalmi és formai követelménynek, továbbá a célkitűzésekben megfogalmazottaknak maradéktalanul eleget tesz. Ezen dolgozatot a nyilvános bírálatra és nyilvános előadásra alkalmasnak tartom.

A beadás időpontja: 2023. 10. 30.

.....

konzulens

Nyilatkozat az önálló munkáról

Alulírott, *Weninger Martin* (XQ0HR7), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2023. 10. 30.

.....

hallgató

1. Célkitűzés.....	4
2. Bevezetés, a téma áttekintése.....	4
Korábbi munkák a témában.....	5
3. Hozaganyag nélküli, volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés.....	5
3.1. Az eljárás besorolása.....	5
3.2. Az eljárás elve és tartozékai.....	5
3.3. A volfrám elektróda.....	7
3.3.1. Az elektróda anyaga.....	7
3.3.2. Ötvözetlen elektróda.....	8
3.3.3. Cérium-oxiddal ötvözött elektróda.....	8
3.3.4. Lantán-oxiddal ötvözött elektróda.....	8
3.3.5. Ritkaföldfém tartalmú elektróda.....	8
3.4. Az elektróda alakja és előkészítése.....	8
3.5. Az elektróda kopását befolyásoló hegesztési paraméterek.....	10
4. A kísérleti terv.....	10
4.2. Elvégzendő kísérletek.....	10
4.2.1. Ponthegesztés.....	11
4.2.2. Folyamatos hegesztés.....	11
4.3. Kísérleti elrendezés, eszközök.....	11
4.4. Várt eredmények.....	14
4.5. Hegesztési beállítások.....	14
4.6. Mért változók, mérésekhez felhasznált eszközök.....	17
5. Eredmények.....	17
5.1. Ponthegesztés.....	17
5.1.1. Sztereomikroszkópos felvételek.....	17
5.1.2. Energiadiszperziós spektrométeres analízis.....	19
5.2. Folyamatos hegesztés.....	21
5.2.1. Sztereomikroszkópos felvételek.....	22
5.2.2. Energiadiszperziós spektrométeres analízis.....	22
6. Kiértékelés.....	24
6.1. Ponthegesztés.....	24
6.2. Folyamatos hegesztés.....	25
7. Összegzés.....	25
8. Hivatkozások.....	25

1. Célkitűzés

Ennek a dolgozatnak a célja, hogy a volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztésnél (MSZ EN ISO 4063:2023 Hegesztés, forrasztás és termikus vágás [1] szabvány szerint,

továbbiakban TIG hegesztés) használt elektródák oxid tartalmának hatását vizsgálja az eljárás során.

Ehhez áttekintettem a kapcsolódó szakirodalmat magyar, német és angol nyelven. Mind a tudományos publikációk (egyetemi oktatóktól és más intézmények kutatóitól), mind a korábbi TDK konferenciák segítették ezt a munkát, ezeknek a figyelembevételével végeztem összehasonlító, kiegészítő kutatást a témában.

A munkám során az elektróda kopást, azaz az ötvözők kiégését és az emiatt bekövetkező felületminőségi változást az elektróda csúcsánál, illetve a csúcs geometria változását vizsgáltam. Ezeket különböző terhelési formáknál követtem nyomon, hogy kiderüljön, milyen hatást gyakorolnak az elektróda elhasználódására. Igyekeztem bizonyos tényezőket azonosan felvenni (így az ívgyújtási időt és az áramerősséget), hogy össze lehessen hasonlítani a különböző hegesztési módszerek (pont- és vonalhegesztés) koptató hatását és az elektródákat is.

A kísérletek elvégzése közben folyamatosan dokumentáltam, sztereomikroszkóppal nyomon követve az elektróda-csúcs geometriájának változását. Már ez alapján is egyértelmű volt az oxid kiégés és az alakváltozás ténye. A csúcs megváltozása miatti varratkorona szélesség változás is szemmel látható volt a kísérletek során.

Az elhasználódási folyamat különböző terhelési módok mellett vizsgált nyomon követésével és az eredmények kiértékelésével jobban megérthetjük az elektróda elhasználódását. Így következtetést vonhatunk le annak élettartamáról. Az általam vizsgált alapanyag-elektroda párosítással azonos szakirodalmi kutatást nem találtam, ezért a dolgozat kiegészítő kutatás lett, melyben több, mások által megállapított tapasztalatot is alátámasztottak a vizsgálataim.

2. Bevezetés, a téma áttekintése

A TIG hegesztés napjaink gyakran használt eljárása, amely széles körben alkalmazott fémes anyagok, így acélok, titán, magnézium, alumínium, réz és egyéb könnyűfémek, illetve ezek ötvözeteinek hegesztésére. A különböző fémekhez különböző áramnemet és különböző fém-oxidokkal ötvözött elektródákat alkalmaznak, amelyek használat közben kopnak. Ez a kopás befolyásolja az ívstabilitást, az ívgyújtást és a varratalakra is hatással van.

Korábbi munkák a témában

Az [1]-es forrás korrózióálló acélon vizsgálta különböző W-elektrodák kopását, figyelte a csúcs geometriáját és tömeg- illetve összetétel mérést végzett a kísérletek előtt és után.

Egyértelműen megállapította, hogy az ötvözők kiégnek és a kiégést követően romlanak a hegesztés tulajdonságai, továbbá az elektróda csúcsa kráteres, érdes lesz és megváltozik a geometriája. A [2]-es forrás plazma ívvel foglalkozik, de megállapítja, hogy 20 ívgyújtás után már jól megfigyelhető a kopás és a lantán-oxid szegregáció az elektróda csúcsánál. Az [3]-as és [2]-es források továbbá vizsgálják az elektróda élettartamokat ausztenites acél TIG hegesztésénél, az ötvözőktől függően. Ezek a tanulmányok a lantán-oxid ötvözésű elektródánál állapították meg a leghosszabb élettartamot. A [4]-es forrás pedig energiadiszperziós spektrométeres (Energy Dispersive X-ray Spectrometry, továbbiakban EDS) analízissel kimutatja az oxidok kiégését és a hegesztett alapanyag részecskéinek a lerakódását az elektródán. A [5]-ös és [6]-os forrás egyértelműen rámutat az ötvözők pozitív tulajdonságaira, azaz a hosszabb élettartamra és az ívstabilitásra, illetve jó ívgyújtási képességekre.

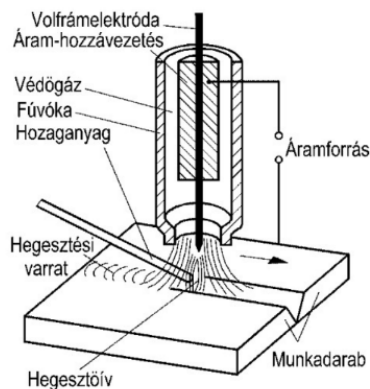
3. Hozaganyag nélküli, volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés

3.1. Az eljárás besorolása

Az argon védőgázos volfrámelektrodás ívhegesztés (németül WIG: Wolfram-Inertgasschweissen, angolul TIG: Tungsten Inert Gas) az ívhegesztési eljárásokon belül a volfrámelektrodás, védőgázos ívhegesztésekhez tartozik, azaz a 14-es eljárás csoportba [7]. Munkám során a 142-es, tehát a hozaganyag nélküli, volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztést alkalmaztam.

3.2. Az eljárás elve és tartozékai

Az eljárás lényege, hogy a villamos ív a le nem olvadó volfrámelektroda és a munkadarab között ég, így biztosítva az alapanyag és (ha van) a hozaganyag megömlését (1. Ábra alapján). A hegesztés végezhető kézzel vagy automatizálva, hozaganyaggal vagy anélkül.



1. Ábra-Az eljárás sematikus ábrázolása [1]

Az áramfajta lehet impulzusos vagy állandó, a frekvencia tartománya szerint. A hegesztés során az áramforrás leadhat egyen- vagy váltóáramot, alapanyagtól függően. Alumíniumot váltóárammal szokás hegeszteni, mivel a felületi oxid bontás így tud megvalósulni. Ekkor a hőeloszlás 50-50%-os az alapanyag és az elektróda között. Egyenáram esetén a polaritást az alapanyag típusa és a geometriája szerint célszerű megválasztani, ahogyan azt a 2. Ábra mutatja.

	Egyenáram, egyenes polaritás	Egyenáram, fordított polaritás	Váltakozó áram
Elektronok és Lassú, nehéz ionok			
Beolvadás	Mély	Sekély	Közepes
Oxidbontás	Nem érvényesül	Kiváló	Jó
Alumíniumhegesztés?	Nem	Igen, de inkább ne	Igen
Hőmegoszlás az ívben	2 / 1	2 / 1	1 / 1
Elektróda-élettartam	Hosszú	Nagyon rövid	Közepes
Ívstabilitás	Kiváló	Jó	Közepes

2. Ábra-Áramnemek és polaritások [8]

A TIG hegesztéshez az áramot egy hegesztő berendezés szolgáltatja, a munkadarabbal a táp- és testkábellel kerül egy áramkörbe. A tápkábellel együtt egy gázbevezető cső csatlakozik a berendezésből a pisztolyra, ahol a gázterelő a munkadarab felé irányítja a gázt, az elektróda segítségével pedig kigyulladhat az ív. A védőgáznak fontos szerepe van, mivel védi a

munkadarabot és az elektródát a levegő káros hatásaitól, hűti a pisztoly elemeit, biztosítja az ív anyagát és az alacsony ionizációs potenciáljával segíti az ívgyújtást. A 142-es eljárásnál a védőgáz semleges, tehát inert (argon, hélium) gáz. A semleges védőgázok előnye, hogy a varrat közel teljes védelmet élvez az oxidációval és egyéb káros gázokkal szemben, ráadásul a nemesgázok nem reagálnak semmivel a zárt elektronhéjuk miatt és nem oldódnak fémekben.

3.3. A volfrám elektróda

3.3.1. Az elektróda anyaga

A volfrám elektródák legnagyobb részben volfrámból tevődnek össze, ám az áramterhelhetőség, az ívstabilitás és az élettartam növelése, illetve az elektronemisszióhoz szükséges kilépési munka csökkentése miatt fém-oxidokkal szokták ötvözni őket, ezt az 1. Táblázat mutatja be. Az ötvözők kis mértékben vannak jelen, amit az elektróda szinterézéssel való előállításánál juttatnak az anyagba [3].

Jelölés	Tömeg-%	Oxidtípus	Színjel	Áramnem
WP00	–	–	zöld	AC
WTh4	0,35–0,55	ThO ₂	sötétkék	DC
WTh10	0,90–1,20		sárga	
WTh20	1,80–2,20		piros	
WTh30	2,80–3,20		lila	
WTh40	3,80–4,20		narancs	
WZr3	0,15–0,50	ZrO ₂	barna	AC
WZr8	0,70–0,90		fehér	
WCe20	1,80–2,20	CeO ₂	szürke	DC
WLa10	0,90–1,20	LaO ₂	fekete	AC / DC
WLa15	1,30–1,70		arany	
WLa20	1,80–2,20	La ₂ O ₃	világoskék	
WS2		Oxidkeverék	türkiz	
WY20	1,80–2,20	YO ₂	kék	AC / DC
WX	1,00–4,00	Oxidkeverék	sárgászöld	

1. Táblázat-Az elektródák ötvözői

3.3.2. Ötvözetlen elektróda

A tiszta volfrámból készült elektróda minimum 99,7%-os tisztaságú, olvadáspontja elmarad az ötvözött elektródákétól. Váltóáramhoz ajánlják, alumínium és magnézium hegesztéséhez használatos. Jellemzője a jó ívstabilitás és a nehezebb ívgyújtás. Szabványos jelölése az MSZ EN ISO 6848:2016 Ívhegesztés és -vágás. Nem leolvadó volfrámelektródák. Osztályba sorolás alapján WP [9], [1].

3.3.3. Cérium-oxiddal ötvözött elektróda

Nagyon jó ívgyújtási képességgel rendelkezik alacsonyabb áramerősségnél is. Ez annak köszönhető, hogy a földfémek közül ez rendelkezik a legjobb diffúziós képességgel, így könnyedén az elektróda felületére kerül az oxid elhasználódás közben. Kiválóan alkalmas a tórium-oxidos elektróda kiváltására. Alapvetően egyenáramú hegesztéshez ajánlott. Az oxid tartalom növelésével az előnyös tulajdonságai erősíthetők. Szabványos jelölése WCe x, ahol az x a cérium-oxid tömegszázalékának a tízszeresét adja meg [1].

3.3.4. Lantán-oxiddal ötvözött elektróda

Egyen- és váltóárammal egyaránt lehet használni. Nem radioaktív és magas az izzási hőmérséklete, rövid időtartamú hegesztéseknél is ennek a típusnak a leghosszabb az élettartama. Ezek miatt az előnyök miatt nagyon jól alkalmazható a tórium-oxidos elektróda helyett. Szabványos jelölése WLa x, ahol az x a lantán-oxid tömegszázalékos arányának a tízszeresét adja meg [3].

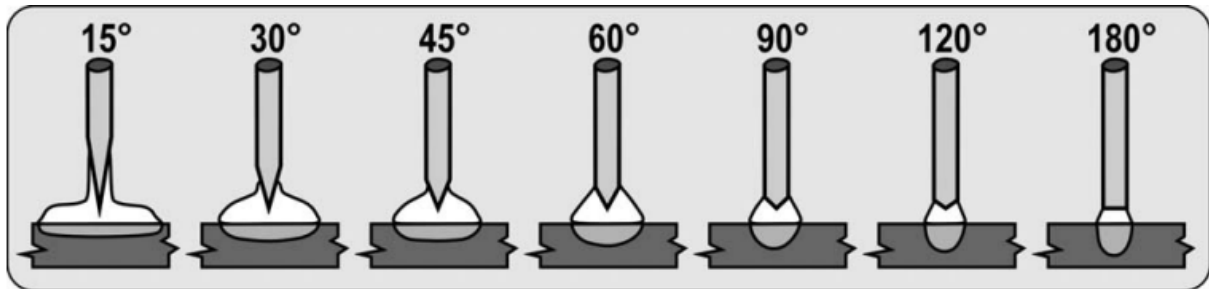
3.3.5. Ritkaföldfém tartalmú elektróda

Ritkaföldfémeket tartalmazó elektróda, cériummal, ittriummal, lantánnal és egyéb oxidokkal. Kiváló ívgyújtást és ívstabilitást biztosít kis áramerősség esetén is, jó élettartammal rendelkezik és alkalmas mindkét áramnemmel való hegesztésre. Kiterjedten alkalmazható rozsdamentes, illetve saválló acélok, titán, réz, alumínium és szénacél hegesztésére. Szabványos jelölése WS2 [7].

3.4. Az elektróda alakja és előkészítése

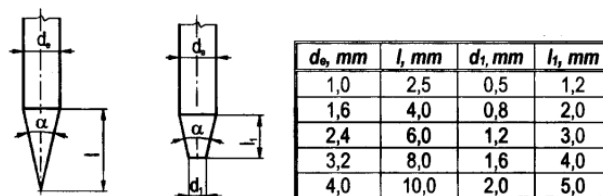
A TIG hegesztésnél alkalmazott elektródák jellemző geometriai kialakítása a különböző kúpszögek szerinti kúpos kialakítás és a legömbölyítés. Az előbbi alapvetően egyenáramnál

egyenes polaritás esetén alkalmazzák, míg az utóbbit egyenáramnál fordított polaritással és váltóárammal. Az elektróda-csúcs geometriája jelentős hatással van a varrat geometriájára, mind a beolvadási mélységre, mind pedig a varrat szélességére, ezt a 3. Ábra szemlélteti. A szakirodalom alapján nem teljesen egyértelmű, hogy mely esetben nagyobb a beolvadási mélység és keskenyebb a varrat, de nagy általánosságban a 4. Ábra szerinti összefüggést szokták figyelembe venni.



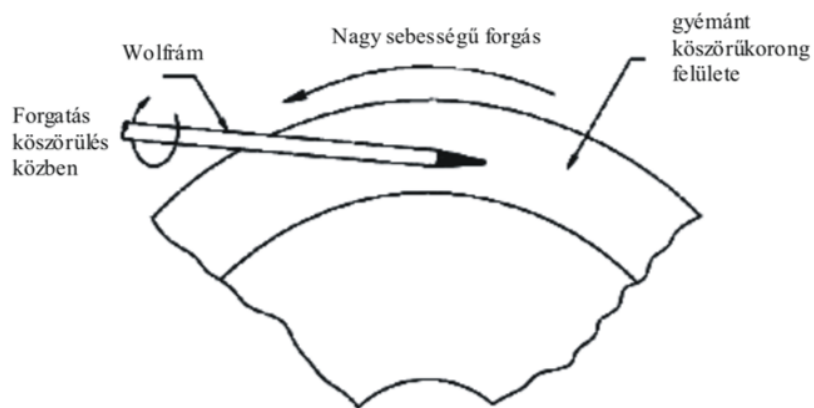
3. Ábra-A W-elektrodák csúcshögének hatása a varratgeometriára és az ív alakjára [4]

A kúp kialakítás kétféleképp lehetséges, alkalmaznak teljes kúpot és csonka kúpot is (4. Ábra). Ez utóbbi a csúcs túlterhelését és a leolvadásából keletkező volfrám zárvány kialakulását hivatott megakadályozni. [4]



4. Ábra-A W-elektrodák tompításához ajánlott geometriai értékek [4]

Az elektróda csúcs geometriáját köszörüléssel szokás kialakítani, a köszörülés irányának is fontos szerepe van az ív stabilitására és alakjára. Ezért a köszörülés irányát megfelelően kell megválasztani. Az elektródát mindig hosszanti irányba kell köszörülni, ahogy az 5. Ábra mutatja, mivel keresztirányú rovátkák esetén az ív elkezdhet vándorolni.



5. Ábra-A köszörülés megfelelő iránya [3]

A köszörülést kis érdességű gyémánt vagy bór-nitrid köszörűkoronggal kell végezni, amelyet nem szabad más anyaghoz használni, így elkerülve az elektróda felületének szennyeződését és teljesítmény csökkenését [3].

3.5. Az elektróda kopását befolyásoló hegesztési paraméterek

A legjelentősebb befolyással az áramerősség bír. Minél nagyobb az áramerősség, annál több hő keletkezik és lokálisan megolvadhat az elektróda. A polaritás is játszhat szerepet, mivel a katódon keletkezik a hő mintegy 70%-a, ám ez váltóáramnál a folyamatos polaritás váltás miatt kisebb jelentőségű. A balance adja meg az egyenes és a fordított polaritások arányát, így alakítva az oxid törés “mennyiségét” az alapanyagban. A fordított polaritású fél ciklusoknál terhelődik jobban az elektróda. Hatással van a kopásra továbbá a volfrám felületének a minősége. Érdesség esetén egyenetlen elektronemisszió, hőfejlődés és lokális megolvadás alakulhat ki, ami növeli a kopás mértékét. Az ívhossz szerepe sem elhanyagolható, minél nagyobb az ívhossz, annál nagyobb ívfeszültség szükséges az ívgyújtáshoz és annál nehezebben jön létre a plazma-csatorna, így az elektróda kopása is gyorsabb lesz. A kúpszög is hatással van a kopásra, minél kisebb, annál sérülékenyebb lesz a csúcs [3], [10].

4. A kísérleti terv

4.2. Elvégzendő kísérletek

A munkám során négy különböző volfrámelektroda vizsgálatát és összehasonlítását terveztem megvalósítani mind ponthegesztéssel, mind pedig folyamatos hegesztéssel. Ezek az arany (lantán-oxiddal ötvözött), a szürke (cérium-oxiddal ötvözött), a zöld (tisztá volfrám) és a

türkiz (cérium-oxiddal, ittrium-oxiddal és lantán-oxiddal ötvözött) színnel jelölt elektródák. Ezek közül a szürke kivételével mindegyik elektródát ajánlják váltóáramú hegesztéshez. A szürke nem ajánlott, de kíváncsi voltam, hogy milyen eredményt ad, mivel egyedül ez az elektróda tartalmaz cérium-oxidot, illetve vannak alkalmazási példák, ami alapján ez is alkalmas váltóáramú hegesztésre. A folyamatos hegesztésnél úgy választottam meg a varrathosszt és a hegesztési sebességet, hogy az egyezzen a ponthegesztésnél a hegesztés összes időtartamával. Mindkét hegesztés esetében alumínium lemezen dolgoztam, hozaganyag nélkül. Minden elektródát 20 és 60 fokos kúpszöggel vizsgáltam, mivel a [11]-es forrás szerint minél kisebb a kúpszög, annál nagyobb a terhelése a csúcson (ezt a saját tapasztalataim is alátámasztották a kísérlet során). Mindkét hegesztés esetében végeztem EDS-sel összetétel vizsgálatot a hegesztéssel terhelt felületen (a csúcson hegesztés után) és a hegesztés által nem befolyásolt részen.

4.2.1. Ponthegesztés

Ponthegesztésnél minden egyes ívgyújtás után lefotóztam az elektróda csúcsát sztereomikroszkóppal, így folyamatosan nyomon követhettem a kopást. Az ívgyújtási idő 3 másodperc volt és 20 ívgyújtásig mentem el. A [2]-es forrás 20 ívgyújtásnál már jelentős kopásról és oxid szegregációról számol be, ezért én az elején szerettem volna megvizsgálni a folyamatot. A folyamatos nyomonkövetéssel az is vizsgálható, hogy miként alakul a csúcs geometria változása a részleges megolvadás miatt.

4.2.2. Folyamatos hegesztés

Folyamatos hegesztésnél először 6 másodpercig az ív mozgatása nélkül hegesztettem, hogy biztosan megtörténjen az oxid bontás a felületen. Ezt követően kezdtem meg az ív mozgatását és 54 másodperc alatt egyenletes sebességgel húztam varratot. A hegesztési sebességet úgy állítottam be, hogy hegesztés közben is meglegyen az oxid bontás. A hegesztés után sztereomikroszkópos felvételeket készítettem minden egyes elektródáról. Ennél a hegesztésnél tömegmérést is végeztem a hegesztések előtt és után, mivel az [1]-os forrás ennél a hegesztési formánál számolt be értékelhető tömegváltozásról.

4.3. Kísérleti elrendezés, eszközök

A hegesztéshez a tanszéken rendelkezésre álló SYRIUS WIG 501 AC/DC PULSE TIG hegesztő berendezést használtam, amelyhez az MSZ EN ISO 14175:2008 Hegesztőanyagok.

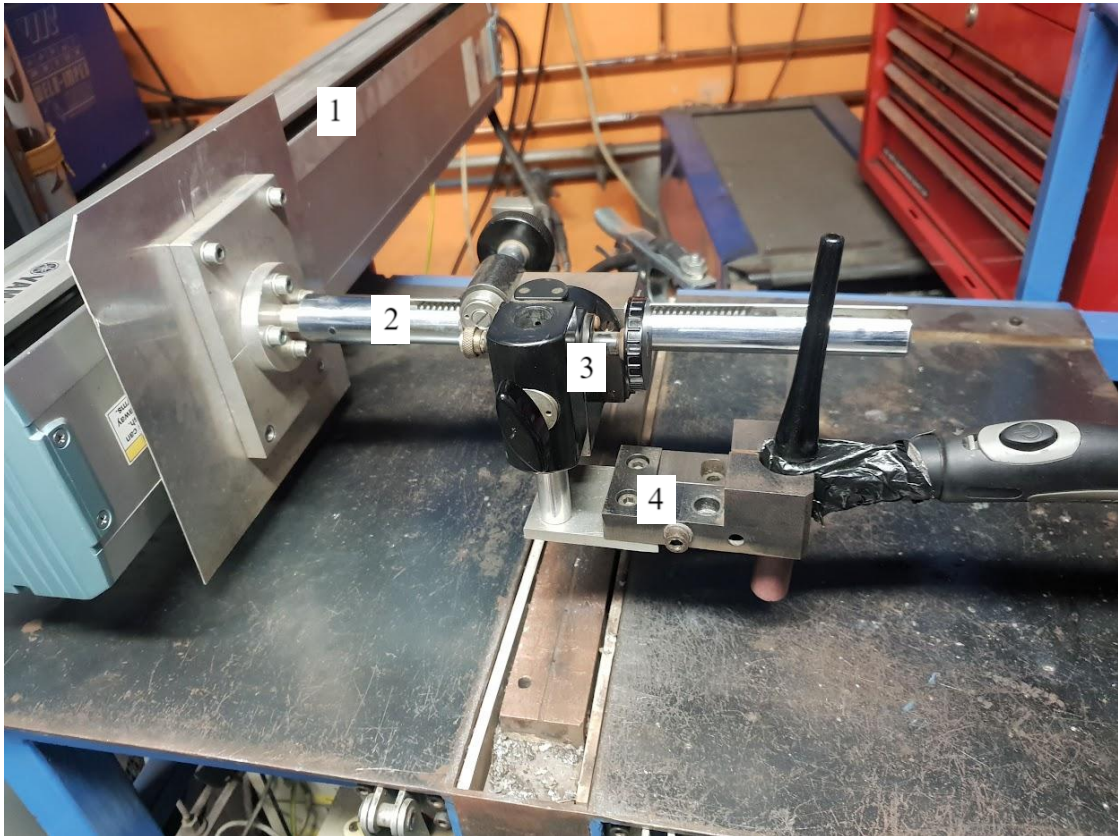
Gázok és gázkeverékek ömlesztőhegesztéshez és rokoneljárásokhoz [12] szabvány szerint I1-es csoportba tartozó argon gázt kötöttem hálózatról és mobil palackról, lásd 6. Ábra.



6. Ábra-A kísérlethez használt eszközök

- 1-Argon védőgáz palackja
- 2-Védőgáz hálózat kivezetése
- 3-SYRIUS hegesztőgép
- 4-Hegesztő automata

Az elrendezés másik fele egy programozható, Yamaha F1405-500 típusú hegesztő automatából állt, amely vízszintes síkban lineáris, egyenletes mozgásra képes, körülbelül 500 mm hosszan. Az automata felépítése a 7. Ábrán látható.



7. Ábra-Az automata fő egységei

1-Az egyenes vonalú egyenletes mozgást biztosító orsó és annak burkolata

2-Keresztirányú mozgást biztosító tengely

3-Függőleges finombeállító

4-Égő befogó

Az elektródák hegyének kialakítását egy JA WIG 10/175 típusú elektróda köszörűvel és az arra szerelt gyémánt köszörű koronggal végeztem el, 20°-os és 60°-os kúpszöggel. Az elektróda köszörűt a 8. Ábra mutatja.



8. Ábra-Elektroda köszörű

4.4. Várt eredmények

A szakirodalmi források alapján az ötvözött elektródáktól hosszabb élettartam várható (és jobb ívstabilitással, ívgyújtási tulajdonságokkal), mint az ötvözetlentől. Továbbá az arany és a türkiz elektróda kiemelkedően jó tulajdonságokat kell, hogy mutasson ívgyújtás és ívstabilitás terén. Ezek alapján tehát a cérium-oxid közepesen hosszú, a lantán-oxid nagyon hosszú, az ittrium-oxid, lantán-oxid és cérium-oxid keveréke pedig szintén nagyon hosszú élettartamot biztosít majd a tiszta volfrámból álló elektródához képest. Ezen túl a folyamatos hegesztésnél látványosabb kopás várható, mint a ponthegesztésnél, a folyamatos hőterhelés miatt. A ponthegesztéstől az is várható, hogy noha az elejétől kezdve megolvad részlegesen, jelentős változás csak több ívgyújtás után áll be. Az EDS-sel várhatóan az ötvöző oxidok kiégését lehet majd megállapítani és azt, hogy a csúcson megjelenik az alumínium (annak ellenére, hogy nincs közvetlen kontaktus az alapanyag és az elektróda között).

4.5. Hegesztési beállítások

A kísérleteimhez a hegesztési változókat a 2. Táblázatban megadott értékekre vettem fel:

Változó	Folyamatos hegesztés	Ponthegesztés
Áramerősség	105 A	105 A
Ívhossz	2 mm	2 mm
Elektróda kinyúlása	3 mm	3 mm
Balance	25 %	25 %
Frekvencia	100 Hz	100 Hz
Hegesztési sebesség	2,6 mm/s	-

2. Táblázat-A hegesztési változók

Az összehasonlíthatóság végett igyekeztem minél hasonlóbb körülményeket teremteni, így összehasonlíthatóvá téve a folyamatos hegesztést és a ponthegesztést. Az értékeket részben kísérletekkel állítottam be, részben pedig a szakirodalom alapján [1], [8].

Az áramerősség, a hegesztési sebesség és az ívhossz meghatározásánál a kísérleteimre támaszkodtam, mivel ezek voltak a legfontosabb változók. Az ívhosszt 3 mm-re szerettem volna beállítani, mivel az [1]-es forrás is ekkora értékkel dolgozott, ám ekkor instabil volt az ív és nehéz volt az ívgújtás. Ezért döntöttem a 2 mm mellett.

Az áramerősséget úgy próbáltam beállítani, hogy az összes elektródával jó minőségű varratot lehessen húzni. A próbálkozásokat a 9., 10., 11. és 12. Ábra szemlélteti.



9. Ábra-Zöld elektróda próbavarratai



10. Ábra-Szürke elektróda próbavarratai



11. Ábra-Arany elektróda próbavarratai



12. Ábra-Türkiz elektróda próbavarratai

105 ampernél találtam meg azt az áramerősséget, ahol az összes elektróda elfogadható minőségű varratot tud készíteni, így ezt állítottam be a kísérletek során.

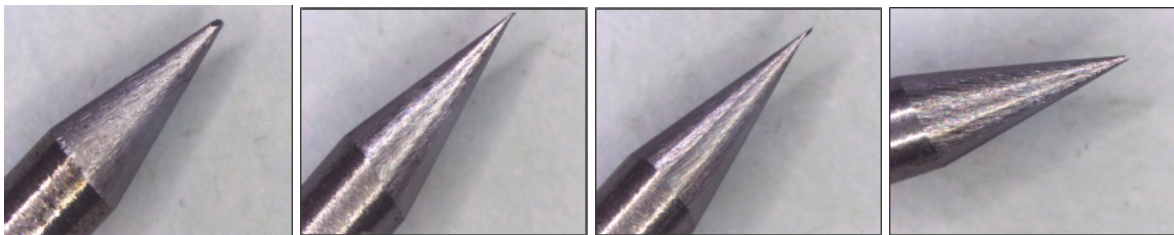
4.6. Mért változók, mérésekhez felhasznált eszközök

Minden elektródánál megvizsgáltam a tömegszázalékos összetételt a hegesztés előtt és után (ponthegesztésnél a 20 ciklus után), ehhez egy ZEISS pásztázó elektronmikroszkópot használtam, amely képes EDS analízisre is. Folyamatos hegesztésnél a tömeg megváltozását is mértem, erre a tanszék anyagvizsgáló laboratóriumának Denver Instrument APX-200 típusú digitális precíziós mérlege szolgált, amelynek a felbontása 0,1 mg. A sztereomikroszkópos felvételeket a metallográfiai laborban rendelkezésre álló OLYMPUS SZX16 sztereomikroszkóppal készítettem.

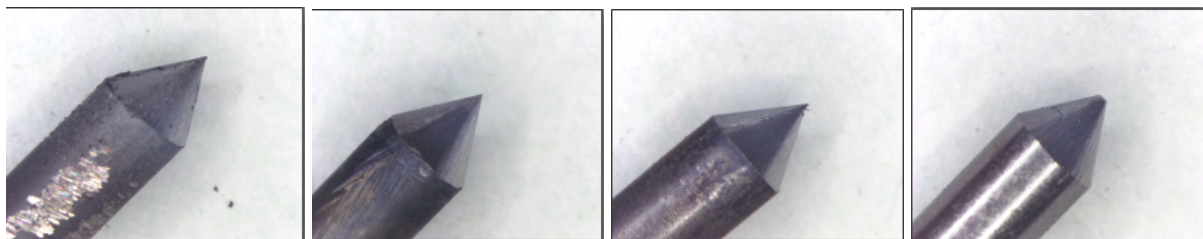
5. Eredmények

5.1. Ponthegesztés

A ponthegesztés során a legnehezebb az ív újragyújtása volt, ami a kopás előrehaladtával csak nehezedett. Az elektródákról hegesztés előtt készített felvételeket a 13. és 14. Ábra mutatja:



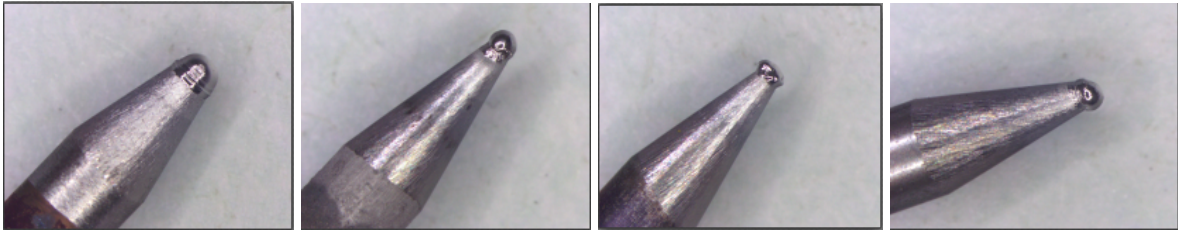
13. Ábra-Használatlan 20°-os kúpszögű elektródák sorban: zöld, szürke, arany, türkiz



14. Ábra-Használatlan 60°-os kúpszögű elektródák sorban: zöld, szürke, arany, türkiz

5.1.1. Sztereomikroszkópos felvételek

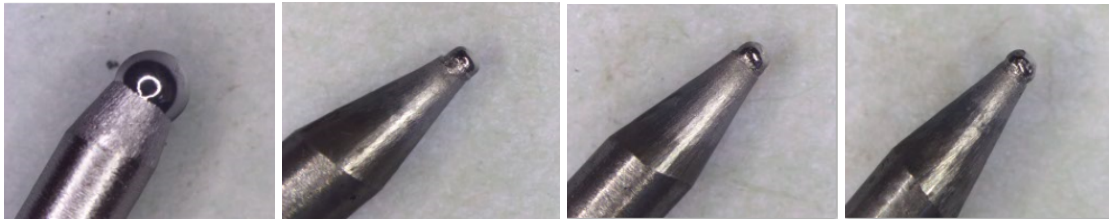
A hegesztések közben és után készített sztereomikroszkóppal készített felvételeket a 15., 16., 17., 18., 19. és 20. Ábra mutatja. A zöld (tisztá volfrám) elektródával ívgyújtási nehézségek miatt a 60°-os kúpszöggel csak 2, 20°-os kúpszöggel pedig 7 ívgyújtásig jutottam:



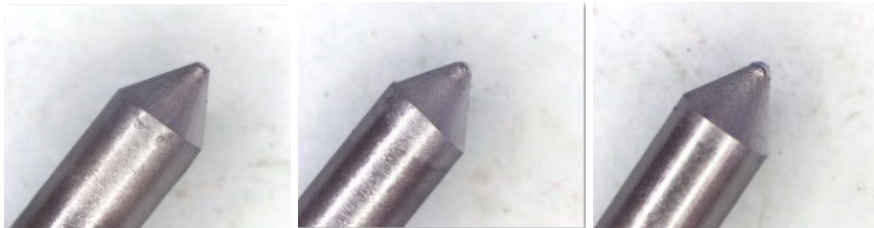
15. Ábra-A 20°-os kúpszögű elektródák 1 ívgyújtás után sorban: zöld, szürke, arany, türkiz



16. Ábra-A 60°-os kúpszögű elektródák 1 ívgyújtás után sorban: zöld, szürke, arany, türkiz



17. Ábra-A 20°-os kúpszögű elektródák zöld elektródánál 7, a többi elektródánál 8 ívgyújtás után sorban: zöld, szürke, arany, türkiz



18. Ábra-A 60°-os kúpszögű elektródák 8 ívgyújtás után sorban: szürke, arany, türkiz



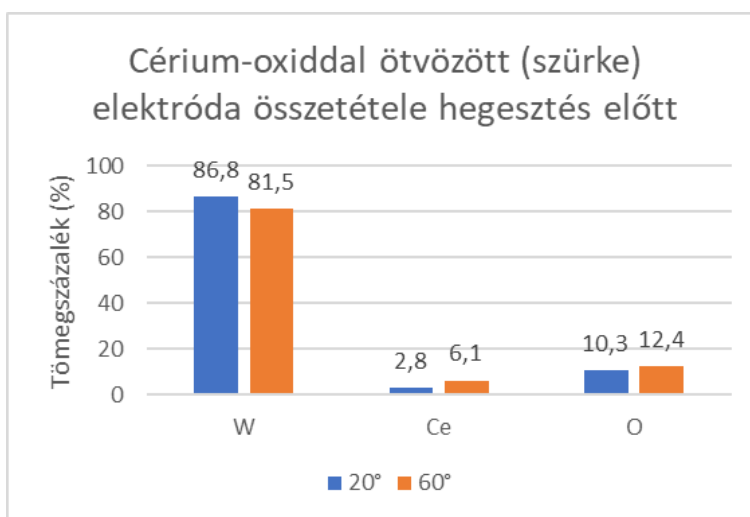
19. Ábra-A 20°-os kúpszögű elektródák 20 ívgyújtás után sorban: szürke, arany, türkiz



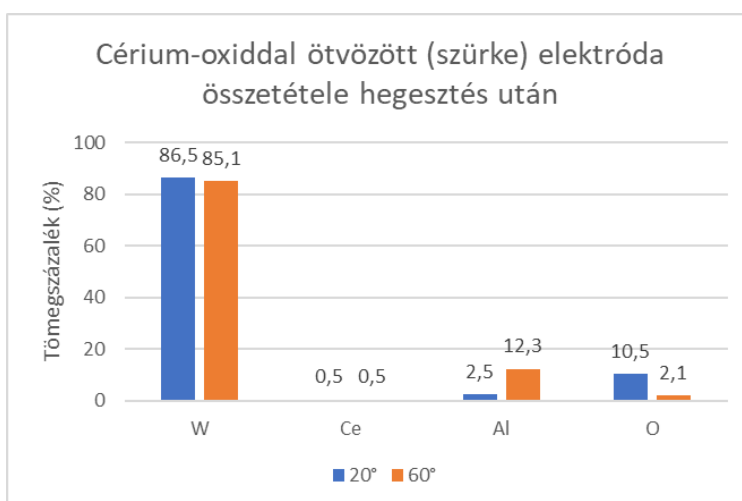
20. Ábra-A 60°-os kúpszögű elektródák 20 ívgyújtás után sorban: szürke, arany, türkiz

5.1.2. Energiadiszerziós spektrométeres analízis

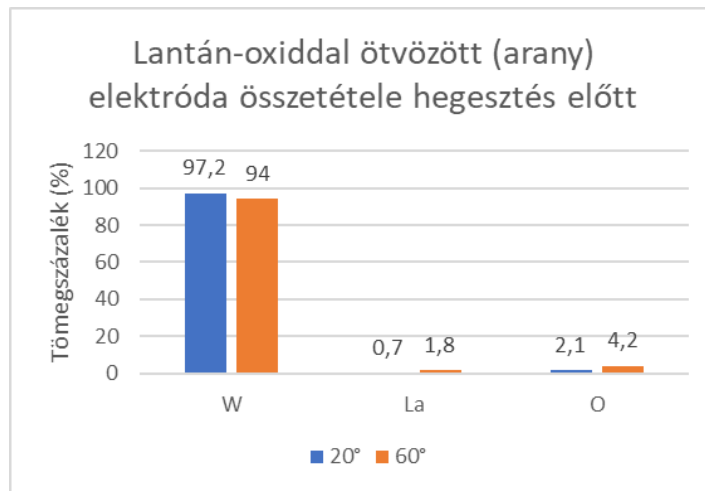
Az EDS vizsgálatok során a fém-oxidokkal ötvözött elektródák kiindulási és hegesztés utáni fém-oxid tartalmát is mértem, ezeket az 1., 2., 3., 4., 5. és 6. Diagramban foglaltam össze:



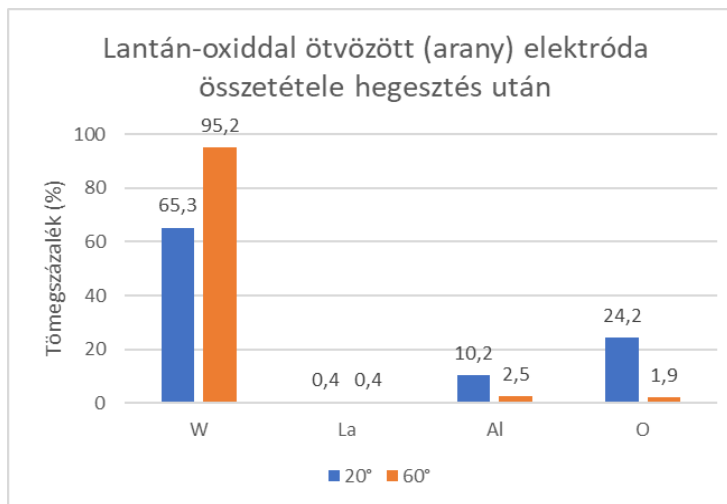
1. Diagram-Szürke elektródák ponthegeztés előtt



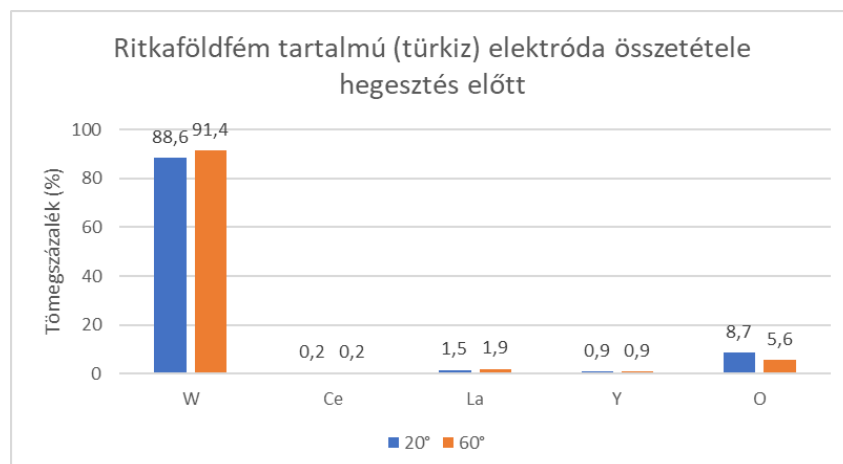
2. Diagram-Szürke elektróda ponthegeztés után



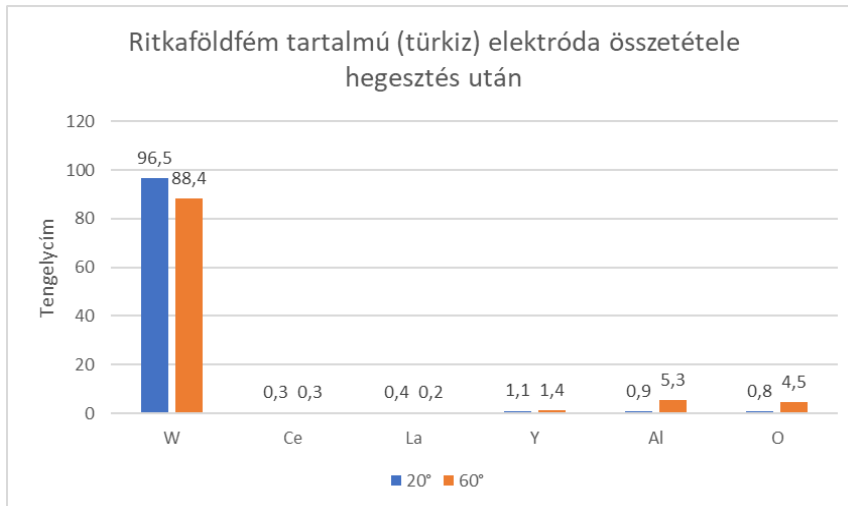
3. Diagram-Arany elektróda ponthegesztés előtt



4. Diagram-Arany elektróda ponthegesztés után



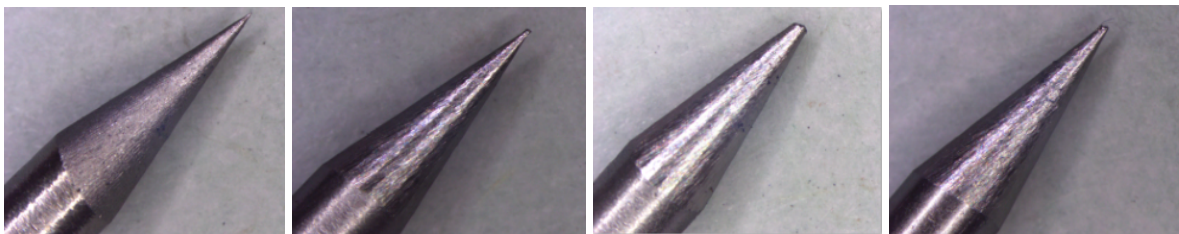
5. Diagram-Türkiz elektróda ponthegesztés előtt



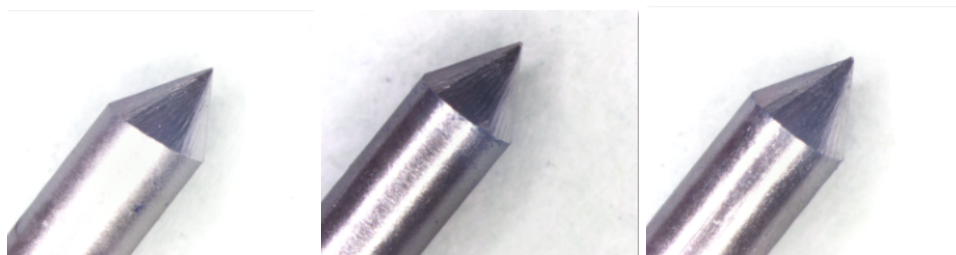
6. Diagram-Türkiz elektróda hegesztés után

5.2. Folyamatos hegesztés

Folyamatos hegesztésnél hét elektrórával tudtam varratot készíteni, a 60°-os kúpszögű tiszta volfrám (zöld) elektrórával nem sikerült ívet gyűjtanom, így az kimarad az eredmények közléséből. Azonban mivel itt nincsenek jelen ötvözők, amik kiéghetnének, nem is jelent nagy problémát, csupán a csúcs geometriai változásának megfigyelése marad ki. A folyamatos hegesztések előtt készített felvételeket a 21. és 22. Ábra mutatja:



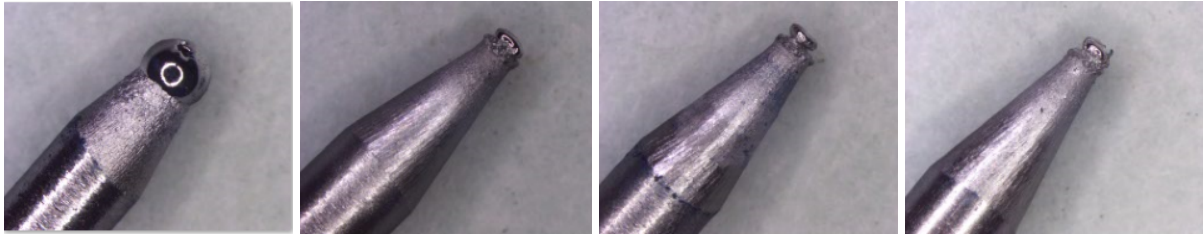
21. Ábra-Használatlan 20°-os kúpszögű elektródák sorban: zöld, szürke, arany, türkiz



22. Ábra-Használatlan 60°-os kúpszögű elektródák sorban: zöld, szürke, arany, türkiz

5.2.1. Sztereomikroszkópos felvételek

A különböző elektródák a folyamatos hegesztés elvégzése (lásd 4.2.2.fejezet) után pedig a 23. és 24. Ábrán láthatók:



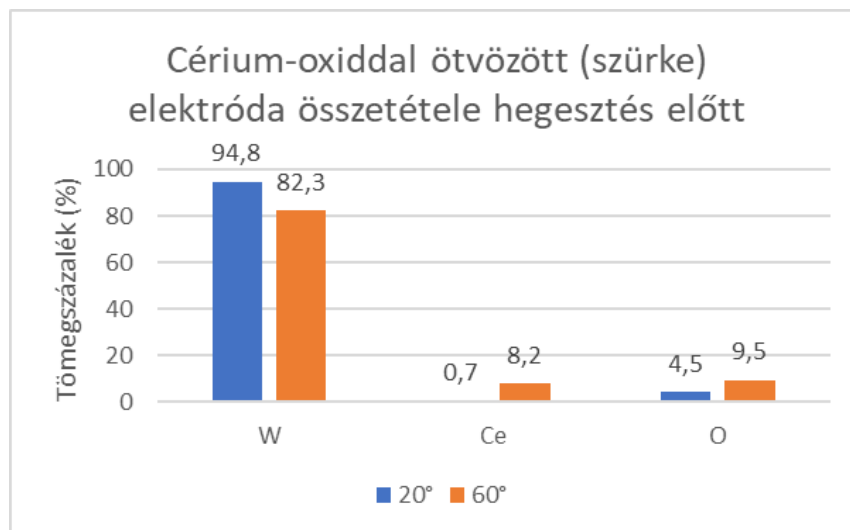
23. Ábra-20°-os kúpszögű elektródák folyamatos hegesztés után sorban: zöld, szürke, arany, türkiz



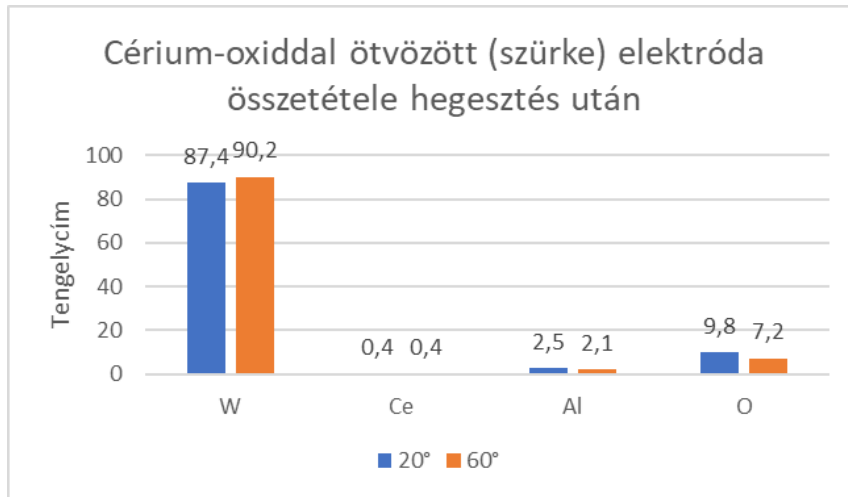
24. Ábra-60°-os kúpszögű elektródák folyamatos hegesztés után sorban: szürke, arany, türkiz

5.2.2. Energiadiszerziós spektrométeres analízis

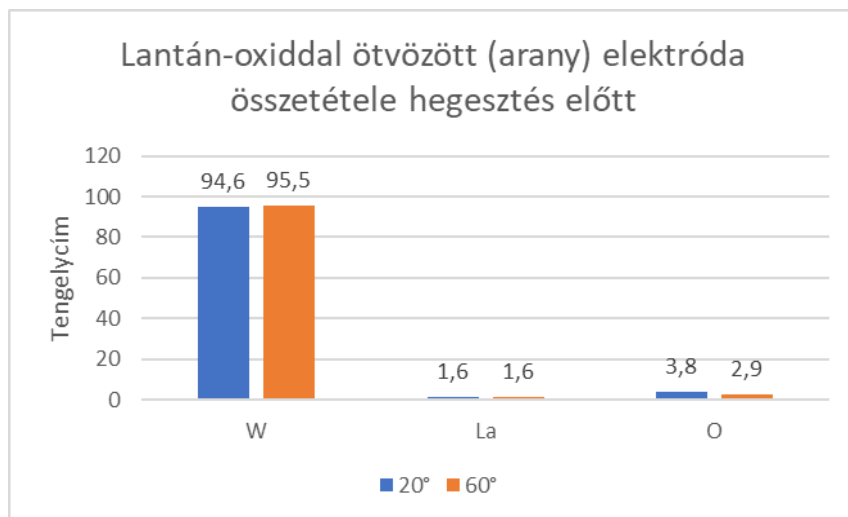
A ponthegesztéshez hasonlóan itt is a hegesztés előtti és utáni összetételt vizsgáltam, ennek eredményeit a 7., 8., 9., 10., 11. és 12. Diagram prezentálja:



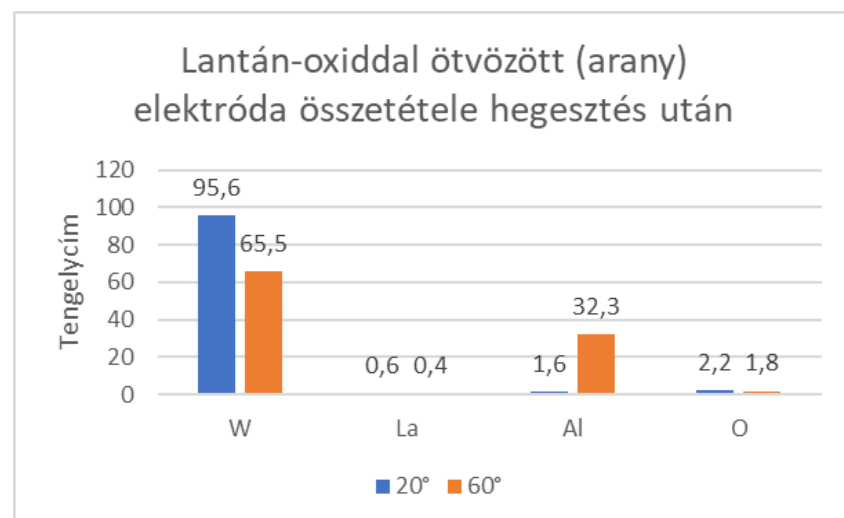
7. Diagram-Szürke elektróda vonalhegesztés előtt



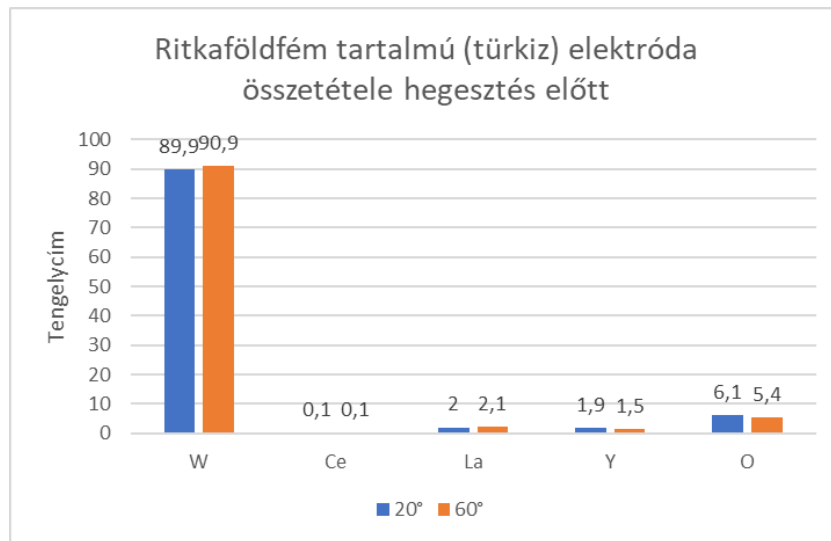
8. Diagram-Szürke elektróda vonalhegesztés után



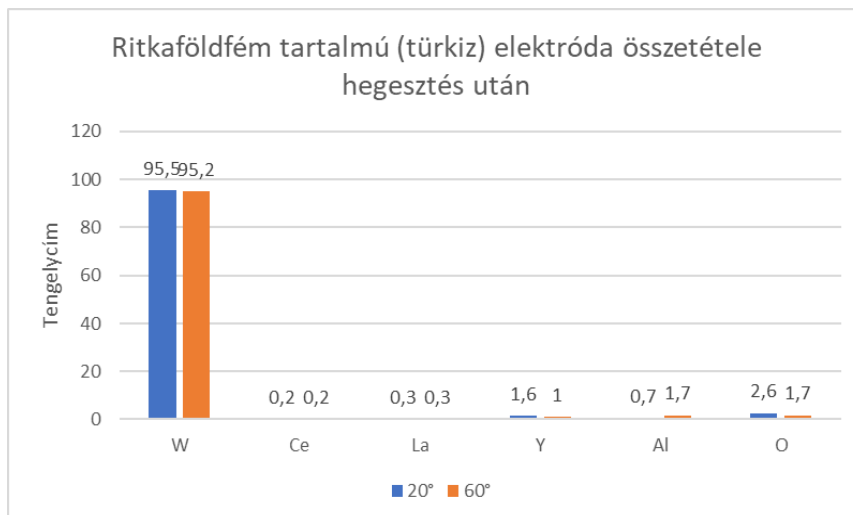
9. Diagram-Arany elektróda vonalhegesztés előtt



10. Diagram-Arany elektróda hegesztés előtt



11. Diagram-Türkiz elektróda hegesztés előtt



12. Diagram-Türkiz elektróda hegesztés után

6. Kiértékelés

6.1. Ponthegeztés

Ponthegeztésnél a zöld elektródánál volt a legszembetűnőbb a kezdeti változás, , mind a 20°-os, mind a 60°-os kúpszögű elektróda rögtön lekerekedett félgömb alakúra. Az ötvözött elektródák között itt nem észlelhető különbség, a csúcsnak fokozatosan egyre nagyobb része gömbölyödik le, ám ez nem ölt akkora méreteket, mint a tiszta volfrámnál. Ez valószínűleg a magasabb olvadáspont miatt van. Viszont a felületi minőség változása a csúcsnál igen feltűnő, mindegyik ötvözött elektródánál érdes, kráteres a megolvadt zóna alatti terület. A nagyobb

kúpszögű elektródáknál ez az érdesség és a részleges megolvadás is sokkal kisebb méreteket öltött a nagyobb szög miatti kisebb terhelés miatt. Az EDS mutatta eredményeknél a gép bizonytalansága miatt néhány adat nem helytálló (1-1 esetben azt mérte, hogy nagyobb lett az oxid tartalom a kiinduláshoz képest), de egyértelmű az oxid kiégés. A legkevésbé az itrium égett ki, a lantán és a cérium hasonló mértékben, de jobban. Emiatt (és a hegesztés során tapasztalt kiváló ívgyújtás miatt) a türkiz, azaz a ritkaföldfém tartalmú elektróda tűnik a leghosszabb élettartamúnak. Az oxid kiégés pedig már 20 ívgyújtás esetén közel teljes az elektróda csúcsánál.

6.2. Folyamatos hegesztés

Folyamatos hegesztésnél is a zöld elektróda leolvadása volt a leginkább figyelemre méltó. A felületi minőség itt nem romlott szembetűnően, ellentétben a többi elektródával. A kisebb kúpszögű elektródáknál a geometria változása is jelentősebb és a felületi minőség romlása is erősebb a ponthegesztéshez képest. a 60°-os kúpszög esetén kisebbek ezek a változások a 20°-oshoz képest, ám a ponthegesztés azonos kúpszögű elektródáihoz viszonyítva itt is nagyobb a változás mértéke. Az EDS alapján a lantán kiégése volt a legjelentősebb, a legkevésbé pedig az itrium aránya csökkent.

7. Összegzés

Az elektródák élettartamáról tett feltevést részben alátámasztották az eredmények, mivel a türkiz elektróda némileg kiemelkedett a többi ötvözött elektróda közül. Az egyértelmű alátámasztást nyert, hogy az ötvözés pozitív hatással van az ívstabilitásra és az élettartamra. A folyamatos hegesztés kritikusabb az elektróda kopásra nézve. A ponthegesztésnél a geometriai változás gyakorlatilag rögtön végbemegy, így az ezzel kapcsolatos feltevés nem volt helytálló. Viszont az elektróda csúcsán megjelent az alumínium, ezzel helytállt ez a feltevés, ami így nehezíti az ívgyújtást a folyamat előrehaladtával.

8. Hivatkozások

[1] Szabó Bence: W-elektróda oxidtartalmának hatása az elektróda elhasználódására, terhelhetőségére, 2020, szakdolgozat

[2] Dobránszky János, Bernáth Andrea, Marton Hilda: Characterisation of the plasma shape of the TIG welding arc, 2008

- [3] Bernáth Andrea, Marton Hilda: A volfrámelektrodás ívhegesztés plazmájának vizsgálata, 2004, OTDK dolgozat
- [4] Szabolcs Bella, Kientzl Imre, Dobránszky János: A volfrámelektroda ötvözőinek hatása az elektródakopási folyamatra a TIG-hegesztésnél
- [5] <https://www.welding2000.hu/blog/volframelektrodak>
- [6] <https://www.rotek.at/produkte/pdf-aktuell/Schweisstechnik/KnowHow/WIG-Wolframelektroden-Knowhow/WIG-Wolframelektroden-Knowhow.pdf>
- [7] MSZ EN ISO 4063:2023 Hegesztés, forrasztás és termikus vágás
- [8] <https://att.bme.hu/neptuncode/BMEGEMTBGH1/eloadasok/2023-04.pdf>
- [9] MSZ EN ISO 6848:2016 Ívhegesztés és -vágás. Nem leolvadó volfrámelektrodák. Osztályba sorolás
- [10] Kientzl Imre: A volfrámelektroda kopási folyamatának vizsgálata az AWI hegesztésnél, 2002, TDK dolgozat
- [11] Dobránszky János, Eichhardt Antal Géza, Nagy Hinst Adrián, Székely Richárd: A volfrámelektroda jelentősége a plazmaívhegesztésben, 2008
- [12] MSZ EN ISO 14175:2008 Hegesztőanyagok. Gázok és gázkeverékek ömlesztőhegesztéshez és rokoneljárásokhoz