

Volfrámelektrodák oxidtartalmának hatása az elektrodák élettartamára

- 1. rész

The effects of nitrogen containing shielding gases during the TIG welding of austenitic stainless steels

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék
*katula@att.bme.hu

1. Absztrakt

Cikkünkben az ipari gyakorlatban széleskörűen alkalmazott hozaganyag nélküli TIG-hegesztéshez használt volfrámelektrodák elhasználódási folyamatát vizsgáltuk. Mértük az elektrodák tömeg- és hosszváltozását, az elektrodacsúcs oxidtartalmának változását és vizsgáltuk az elektrodacsúcs alakját mind folyamatos hegesztés, mind ívgyújtásos terhelés mellett. Az elektrodákon végzett vizsgálatainkat kiegészítettük a varrat beolvadási mélységének és a varratszélesség változásának meghatározásával is. Méréseinkkel kvantifikáltuk a WCe20 és a WLa15 típusú elektrodák elhasználódási jellemzőit. Az összeállított vizsgálati környezetben a WLa15 jelzésű elektroda elhasználódása nagyobb mértékű, mint a WCe20 jelzésű elektrodeé.

Abstract

Our paper examined the wear process of tungsten electrodes used for GTA welding without filler material, which is widely used in industrial practice. We measured the change in the mass of the electrodes and length, the difference in the electrode rare earth oxide content in the tip. We also examined the shape of the electrode tip under both continuous welding and arc ignition loads. We supplemented our studies on the electrodes by determining the penetration depth and the weld bead widths difference of the welds. We also quantified the wear characteristics of WCe20 and WLa15 type electrodes with our measurements. In the assembled test environment, the wear of the WLa15 electrode is higher than that of the WCe20 electrode.

2. Bevezetés

A hozaganyag nélküli TIG-hegesztés (MSZ EN ISO 4063:2016 [1] szerinti megnevezése hozaganyag nélküli, volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés, számjele 142) számos fém és ötvözet, többek között alumínium, magnézium és ötvözetek, réz, ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok, korrózióálló acélok hegesztésére alkalmas. Különböző hegesztési feladatok elvégzésére változatos összetételű elektrodákat alkalmaznak, amelyek valamilyen ritkaföldfém-oxidokkal adalékoltak, ezzel csökkentve az elektronemissziós energiát, javítva az ívgyújtást és az ívstabilitást [2].

TIG-hegesztés során a volfrámelektroda az ívgyújtások, és a folyamatos ívhegesztés hatására elhasználódik. Az elhasználódás mellett, hogy hatással van a hegesztett kötés minőségére, gazdasági kárt is jelent ipari alkalmazásokban, ezért a termelő vállalatok elemi érdeke a hegesztési feladatokhoz legmegfelelőbb elektroda kiválasztása és az elektroda elhasználódási tulajdonságainak pontos ismerete.

A TIG-hegesztés során a volfrámelektroda feladata az ív létrehozása, valamint a kialakult ív formálása, irányítása a hegesztési terület felé. Az elektrodák alkalmazásuktól függetlenül készülhetnek tiszta volfrámból, valamint volfrám és valamilyen fém-

oxid (adalék) keverékéből, szintereléssel [3].

2.1. Az elektroda oxidtartalmának szerepe a TIG-hegesztésben

A fém-oxidot tartalmazó elektrodák áram- és hőterhelhetősége jobb, mint a tisztán volfrámból készült elektrodáké. Az oxidok csökkentik az elektronemisszióhoz szükséges kilépési munkát azáltal, hogy hegesztés során a fém-oxidok folyamatosan az elektroda felületére diffundálnak. Az adalékolt elektrodákkal ezáltal jelentősen jobb ívgyújtás és ívstabilitás biztosítható. A kedvezőbb ívgyújtás és ívstabilitás alapfeltétele a fém-oxi-

dok egyenletes, homogén eloszlása a volfrámelektroda térfogatán belül. Ott, ahol az elektrodában oxidációs lép fel, az oxidok egymást akadályozhatják a felületre történő kijutásban és romlik az ívgyújtás és az ívstabilitás. Nagy hőmérsékleten a volfrám szemcsék hajlamosak a szemcsedurulásra, ami szintén akadályozhatja az oxidok diffúzióját. Ezt a szemcsedurulást a homogén oxideloszlás gátolja, ezzel segítve a diffúziós folyamatokat [4].

A szemcsék eloszlása mellett fontos szerepe van a szemcsék méretének is. A kisebb méretű szemcsék elősegítik a diffúziót. Az oxidszemcsék méretének csökkentése és a lehető legegyszerűbb eloszlásuk megtartása bonyolult technológiai folyamat, ezért figyelhető meg eltérő gyártók azonos oxidadalékolású elektrodái között különbség az ívgyújtásban, ívstabilitásban, az elektroda élettartamában és a hegesztett kötés minőségében is [4].

2.2. Különböző oxidtartalmú elektrodák jellemzői, alkalmazásai

Az adalékolás nélküli elektrodákat főleg alumínium hegesztésére használják, váltakozó áramnemmel. Ezek az elektrodák legalább 99,7 %-ban volfrámból állnak [3]. Az adalékolás nélküli elektrodával való hegesztéskor nehezebb az ívgyújtás, kevésbé stabil az ív és rövidebb az elektroda élettartama [4]. Szabványos jelölésük

MSZ EN ISO 6848:2016 [5] szerint: WPO0, színjelölése (az elektroda végén) zöld (#008000).

A tórium-oxiddal adalékolt volfrámelektrodák elektronemissziója jelentősen nagyobb az adalékolás nélküli elektrodákhoz képest (az elektronok kilépéséhez szükséges munka 2-3 eV, míg az adalékolatlan elektrodáknál 4,5 eV). A tórium-oxid adalékolás könnyebb ívgyújtást és stabilabb ívet tesz lehetővé, valamint hosszabb élettartamot biztosít [7]. Tórium-oxiddal adalékolt elektrodák áramterhelhetősége ~ 20 %-kal nagyobb a tiszta volfrámelektrodáénál [4]. Elsősorban a gyengén- és erősen ötvözött acélok, réz és titán egyenárammal történő hegesztésére használják [3]. Radioaktív sugárzása miatt az iparban egyre inkább visszaszorul. Szabványos jelölésük [5] szerint: WThX, ahol X a tórium-oxid tartalom tömegszázalék értékére utal. Színjelölésük: WTh10 sárga (#FFFF00), WTh20 piros (#FF0000) és WTh30 ibolya (#EE82EE).

A cirkónium-oxiddal adalékolt elektrodák alkalmasak egyenárammal történő hegesztéshez, de főként váltóáramú hegesztéshez alkalmazzák. Könnyűfémek hegesztésénél nagyobb élettartamú, mint az ötvözetlen WPO0 elektroda. Nukleáris területen is használhatók [3]. Szabványos jelölésük [5] szerint: WZrX. Színjelölésük: WZr3 barna (#A52A2A) és WZr8 fehér (#FFFFFF).

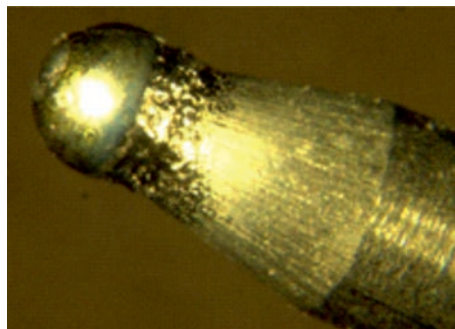
A cérium-oxiddal adalékolt elektro-

dák a tórium-oxidos elektrodák kiváltására alkalmasak. Szintén egyenárammal történő hegesztéshez használják ötvözött- és ötvözetlen acélokhöz, gyakran kis áramerősség mellett. A cérium-oxidos elektrodák jó ívgyújtási képességgel rendelkeznek, így akár 10 %-kal kisebb áramerősséggel lehetséges az ívgyújtás a tórium-oxiddal adalékolt elektrodákhoz képest. Ez annak köszönhető, hogy a cérium-oxid rendelkezik a fém-oxidok közül a legjobb diffúziós képességgel (a volfrámban), így a cérium-oxid könnyen az elektroda felületére jut. A diffúzió azonban az ív égési idejének növekedésével lelassul, ezért használata rövid hegesztési ciklusok esetén javasolt. Kiseb áramerősség mellett hosszabb élettartam érhető el, mint a tórium-oxidos elektrodák esetében. Szabványos jelölése [5] szerint: WCe20, színjelölése szürke (#808080).

A lantán-oxiddal adalékolt elektrodák egyaránt alkalmasak váltóárammal és egyenárammal történő hegesztésre. A volfrámelektrodák közül a legnagyobb likvidusz hőmérsékletű (4200 °C), ezért plazmaívhegesztésre – [1] szerinti számjele 15 – is javasolható [6]. Mivel a lantán-oxiddal adalékolt elektrodák jól bírják a hőingadozást, jól alkalmazhatók olyan hegesztési feladatokhoz, ahol rövid ciklusok jellemzők sok ívgyújtással [4]. Szabványos jelölésük [5] szerint: WLaX. Színjelölésük: WLa10 fekete (#000000), WLa15 arany (#FFD700) és WLa20 kék (#0000FF).



1. ábra: Oxidtartalom csökkenésének hatása az elektrodacsúcs felületi érdességére (Elektrodátípus WLa15, elektrodaátmérő 2,4 mm.)



2. ábra: Az elektródacsúcs teljes megolvadása [8]



3. ábra: Az elektródacsúcs részleges megolvadása

3. Az elektródaelhasználódás megjelenési formái ipari környezetben

3.1. Az elektróda oxidtartalmának csökkenése

A nagy hőmérsékletnek kitett elektródák adalékai kevésbé ellenállóak a volfrámhoz képest a hőterheléssel szemben, így a folyamatos igénybevétel hatására, az adalékanyagok kiéghetnek az elektródák felületéről. Ez az elhasználódási folyamat mikroszkópos felvételeken is észlelhető; az elektródák felülete a folyamat elő-

rehaladtával egyre „érdesebbé” válik, ahogyan azt az **1. ábra** mutatja.

A sztereomikroszkópos felvételeken oxidkiégésre jellemző felület látható az elektróda palástfelületének azon a részén, ahol az ív kialakul a munkadarab és az elektróda között (**1. ábrán** piros nyilakkal jelölve).

3.2. Az elektródacsúcs megolvadása

A volfrámelektrodák egyik legszembevetőbb elhasználódási formája, amikor az elektróda csúcsa megolvad. A megolvadás kiterjedése alapján két esetet különböztethetünk meg, a teljes és a részleges megolvadást (ld. **2. ábra** és **3. ábra**).

Teljes megolvadás esetén az elektróda csúcsa egy sima felületű gömbszerű „cseppé” húzódik össze, ahogyan azt a **2. ábra** mutatja. A kialakult gömbfelület kedvezőtlen hatással van az ívstabilitásra, valamint a varrat beolvadási alakját (belső formatényezőjét) is megváltoztatja. Ha az olvadék nem szilárdul meg, belecseppenhet a varratba, ezáltal a varratban volfrámzárvány keletkezik, amely rontja a hegesztett kötés minőségét. A teljes megolvadást leggyakrabban a túl nagy áramerősség hatására kialakult ívhőmérséklet okozza. A helytelen argon védőgáz védelem miatt oxidálódó elektróda végének szolidusz hőmérséklete lecsökken, ami szintén az elektróda csúcsának megolvadásához vezethet.

Részleges megolvadás esetén az

elektróda csúcsán több gömbszerű csepp alakul ki, ld. **3. ábra**. Ilyen elhasználódást a rossz felületi érdesség hatására kialakult egyenetlen elektromisszió okozhat.

3.3. Az elektróda felületének szennyeződése alapanyaggal

Ha az elektróda beleér az ömledékbe, akkor annak csúcsára felrakódik az ömledék anyaga és a felülete tompa fényűvé válik (**4. ábra**).

4. A kutatásunk célkitűzései

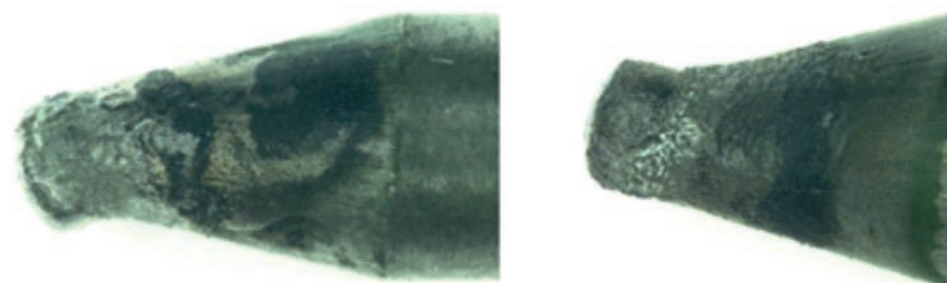
Kísérletsorozatunkkal a hozaganyag nélküli volfrámelektrodás semleges védőgázos ívhegesztéshez (TIG-hegesztés, 142 eljárás) használt elektródák elhasználódási folyamatát vizsgáltuk [9]. Az elhasználódási folyamat megismeréséhez megvizsgáltuk, hogy különböző ritkaföldfém-oxid adalékok hogyan hatnak az elektródakopásra és a kopási folyamat milyen eltéréseket okoz a varrat beolvadási mélységében és a korona-szélességben.

A kopási folyamat ismerete lehetővé teszi az adott hegesztési folyamat elvégzéséhez a legkedvezőbb elektróda kiválasztását hegeszthetőségi és gazdaságossági szempontból. Továbbá, tervezhetővé és ütemezhetővé válik az elektródák cseréje, ami csökkentheti a selejtes varratok számát.

A hegesztési kísérletekhez három elektródát használtunk:

- I. referenciaként adalékolás nélküli WPO0 elektródát,
- II. 2 % cérium-oxidot tartalmazó WCe20,
- III. valamint 1,5 % lantán-oxidot tartalmazó WLa15 elektródát.

Mind a cérium-oxidot, mind a lantán-oxidot tartalmazó elektróda az iparban gyakran használatos. Mindkettő alkalmas acélok DC hegesztésére, így jó alapot teremtenek az elektródák összehasonlítására.



4. ábra: Elektróda és hegfürdő érintkezésének hatása az elektródacsúcsra (Elektródatípus WCe20, elektródátmérő 2,4 mm.)

Hegesztési változó	Érték
Áramerősség	200 A
Hegesztési sebesség	4 mm/s
Elektróda kinyúlása	3 mm
Elektróda és munkadarab távolsága	3 mm

1. táblázat:

Hegesztési beállítások a folyamatos TIG-hegesztés vizsgálatához

5. A kísérletek bemutatása

5.1. Kísérleti összeállítás

A kísérletsorozatban az elektródákkal egyrészt folyamatos hegesztést (hozaganyag nélküli megömlést) végeztünk, másrészt az elektródákat pontszerű ívgyújtásos terhelési vizsgálatnak is alávetettük.

A kísérletek során a legtöbb hegesztési változót állandó értéken tartottuk. Ezért a hegesztések kialakításához he-

gesztőautomatát használtuk az 5. ábrán bemutatott összeállítás szerint.

Az elektródák elhasználódását három különböző módon vizsgáltuk: (I) tömegméréssel, (II) hossz-méréssel és (III) az elektródák összetételének változását pásztázó elektronmikroszkopos röntgensugaras mikroanalízissel (EDX) mutattuk ki.

A varratalak változásának vizsgálatához a hegesztett munkadarabokból metallográfiai mintákat készítettünk,

majd sztereomikroszkóp segítségével mértük a varrat szélességét és a beolvadási mélységet.

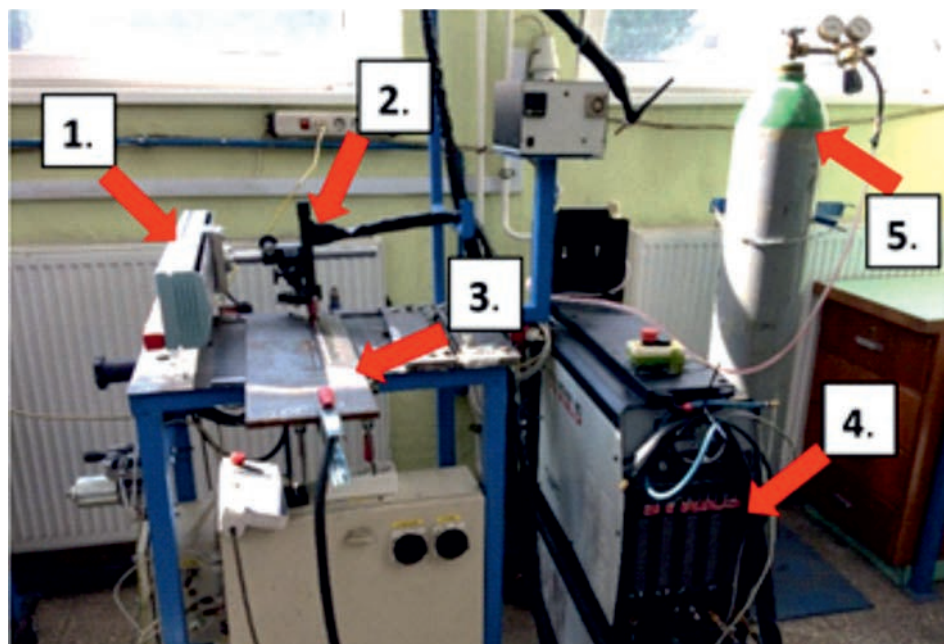
5.2. Az elektródák terhelése folyamatos hegesztéssel

A hegesztési kísérleteket ~500 × 250 mm méretű, 20 mm vastagságú, S235 acéllemezeken végeztük. A hőterhelés és a vetemedés csökkentése érdekében egy lemezen 4 db varrat készült. Az elektródacsúcstávolságát szakirodalmi adatokra [2, 6] támaszkodva minden esetben 3 mm-re állítottuk be. Az elektróda csúcshozzájárását, az elhasználódás jobb kimutathatósága érdekében, 20°-ra választottuk. Elsőként mindhárom elektródával 1800 mm hosszú (4 × 450 mm) varratot készítettünk hozaganyag hozzáadása nélkül. Mivel a referenciának tekintett WP00 elektróda elhasználódása jelentős volt, ezért további varratokat ezzel az elektródával nem készítettünk. A WCe20 és a WLa15 elektródákkal további 1800 mm varratot hegesztettünk. A varratok hossza minden esetben 450 mm volt.

A hegesztési beállításokat az 1. táblázat foglalja össze.

5.3. Az elektródák terhelése ívgyújtásokkal

Második kísérletként a hegesztőberendezést ponthegeztő üzemmódba állítottuk, egy másodperces hegesztési idővel. A WP00 elektródán már 5 db ívgyújtás után jelentős elhasználódás mutatkozott, az ív instabillá, a további ívgyújtás nagyon nehezzé vált, ezért a kísérletet ezzel az elektródával nem folytattuk. A másik két elektródával összesen 200-200 TIG-ívponthegeztést végeztünk. Az ívponthegeztés a 2. táblázat foglalja össze.



5. ábra: Kísérleti összeállítás:

- 1.) Yamaha F1405-500 típusú lineáris hajtás, 2.) hegesztőpisztoly, 3.) próbatest, 4.) Sirius WIG 351 típusú hegesztőgép, 5.) argon gázpalack

Hegesztési változó	Elektródák		
	WP00	WCe20	WLa15
Áramerősség	200 A	200 A	200 A
Hegesztési idő	1 s	1 s	1 s
Elektróda kinyúlása	3 mm	3 mm	3 mm
Elektróda és munkadarab távolsága	3 mm	3 mm	3 mm
Ívgyújtások száma	5	200	200

2. táblázat: Hegesztési beállítások az TIG-ívponthegeztés vizsgálatához

Cikkünk folytatása a következő számunkban olvasható.