



Ausztenites korrózióálló acélok lézeres hegesztési varratainak korróziós vizsgálata

Corrosion Testing of Laser Welded Austenitic Stainless Steel Welds

Breznay Csaba,¹ Varbai Balázs²

- ¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék. Budapest, Magyarország, breznay.csaba@edu.bme.hu
- ² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék. Budapest, Magyarország, varbai.balazs@gpk.bme.hu

Abstract

Laser welding is becoming increasingly common in industrial applications for welding stainless steels. To reduce costs, hot-rolled stainless steel beams can be replaced by laser-welded structures. In our research, the corrosion resistance of laser-welded T-joints made of 1.4301/304 austenitic stainless steel were investigated. The joints were welded one or both sides, with different combinations of travel speed and laser power. Electrochemical corrosion measurements were performed in 3.5% NaCl solution in a standard three-electrode corrosion cell.

Keywords: laser welding, stainless steel, electrochemical corrosion.

Összefoglalás

Rozsdamentes acélok hegesztésekor az ipari alkalmazásokban egyre elterjedtebb a lézeres hegesztés. Költségcsökkentés érdekében a hengerelt rozsdamentes idomacélokat ki lehet váltani lézerhegesztett szerkezetekkel. Kutatásunkban 1.4301 ausztenites korrózióálló acélból lézeresen hegesztett T kötések korróziós tulajdonságait vizsgáltuk. A hegesztett kötések egy-, illetve kétoldali sarokvarratokkal készültek, eltérő haladási sebesség- és teljesítménykombinációkkal. Az elektrokémiai korróziós méréseket 3,5%-os NaCl-oldatban végeztük, sztenderd, háromelektródos korróziós cellában.

Kulcsszavak: lézeres hegesztés, korrózióálló acél, elektrokémiai korrózió.

1. Bevezetés

A lézeres hegesztés (MSZ EN ISO 4063:2023 szerinti 52-es eljárás) egyre elterjedtebb az ipari alkalmazásokban. A nagy energiasűrűségnek köszönhetően kisebb hőbevitellel, kis hőhatásövezettel, valamint nagyobb termelékenységgel (haladási sebességgel) végezhető a hegesztés [1, 2]. A rozsdamentes acélok kis hővezetési tényezője miatt jelentős vetemedéssel számolhatunk hegesztésük során, amely a lézeres hegesztés kis hőbevitelének köszönhetően csökkenthető. Lézeres hegesztésből megkülönböztetünk szilárdtestlézeres, gázlézeres és diódalézeres hegesztést. A technológia rohamos fejlődésének köszönhetően, akár 15 mm beolvadási mélység is elérhető rozsdamentes acélok hegesztésekor **[3, 4]**.

Rozsdamentes acéloknak nevezzük azokat az acélokat, amelyek legalább 10,5% krómot és legfeljebb 1,2% szenet tartalmaznak [5]. A krómötvözésnek köszönhetően felületükön kialakul egy passzív réteg, amely megvédi őket a környezeti hatásoktól. A szerkezetépítésben egyre inkább elterjednek a rozsdamentes anyagminőségű hengerelt, illetve hegesztett idomacélok. A korrózióállóságuknak köszönhetően csökkenthetők a karbantartási és állapot-ellenőrzési feladatok. A leggyakrabban alkalmazott anyagminőségek az 1.4301, valamint 1.4404 ausztenites rozsdamentes acélok [6, 7].

A korrózió a fém és a környezete közötti fizikai-kémiai kölcsönhatás, amelynek következtében a fém tulajdonságai megváltoznak, és gyakran bekövetkezik a fém, a környezet, illetve az ezekből álló műszaki rendszer funkcionális jellemzőinek a romlása [8]. A rozsdamentes acélokra jellemző károsodási mód valamilyen helyi korróziós károsodás. A helyi korrózió leggyakoribb formája a lyukkorrózió. A korrózió ezen formája kis területre összpontosító, helyi anódos feloldódás, amelynek sebessége rendkívül gyors lehet. A felületen kialakuló gödrök, lyukak formájában jelentkezik változatos morfológiával és mélységekkel.

A nikkelötvözetek és rozsdamentes acélok korrózióállóságát összetételük alapján a lyukkorróziós ellenállási tényezővel (PRE) lehet meghatározni. A leggyakrabban alkalmazott összefüggés ausztenites és duplex acélok esetében a következő:

 $PREN = Cr + 3.3 \cdot Mo + 16 \cdot N$

Elektrokémiai korróziós mérésekkel meghatározható passzív réteggel rendelkező anyagok lyukkorróziós potenciál értéke, amely feszültség esetében a felületi passzív réteg lokálisan megsérül, a fém pedig oldatba megy.

2. Kísérleti anyagok és berendezések

A kutatásunkban 1.4301 anyagminőségű ausztenites korrózióálló acél alapanyagot használtunk 4 mm-es vastagságban, amelynek összetétele az 1. táblázatban látható.

A T kötések leélezés és illesztési hézag nélkül voltak illesztve, fűzővarratokkal.

1. táblázat. A felhasznált 1.4301 anyagminőség kémiai összetétele

Jel	С	Mn	Si	Cr	Ni
1.4301	0,08	2	0,75	18	8

A hegesztést két darab, 6600 W névleges teljesítményű Raycus RFL-6600S lézerforrásról üzemeltetett WSX ND60 hegesztőfejjel végeztük. A két oldalról készített T kötések két sarokvarrata egyidejűleg, a két egymással szembefordított hegesztőfejjel készült.

A varratok három különböző paraméterkombinációval készültek: a két oldalról hegesztett minták (lásd **1., 2. ábra**) 1,5 m/min sebességgel, 3630 W teljesítménnyel, valamint 2 m/min sebességgel és 4620 W teljesítménnyel.



1. ábra. Két oldalról hegesztett minta keresztmetszeti csiszolata, a marószer: Adler



2. ábra. Két oldalról hegesztett minta keresztmetszeti csiszolata, a marószer: Adler



3. ábra. Egy oldalról hegesztett minta keresztmetszeti csiszolata, a marószer: Adler

Az egy oldalról hegesztett minta (lásd **3. ábra**) 1 m/min sebességgel és 3960 W teljesítménnyel készült. A nyaláb lengetése minden minta esetében egyenes vonal mentén, 0,2 mm szélességben történt. A hegesztés során alkalmazott védőgáz 4.6 tisztaságú nitrogén volt.

Az elektrokémiai korróziós méréseket sztenderd, háromelektródos korróziós cella, valamint Biologic SP-150 típusú potenciosztát segítségével hajtottuk végre. A vizsgálati elrendezés a 4. ábrán látható: ellenelektródaként platinahálót, referenciaelektródként túltelített AgCl-elektródot, munkaektródként pedig a hegesztett mintát használtuk. Az elektrolit 3,5%-os NaCl-oldat volt, nagy tisztaságú NaCl-ból és desztillált vízből elkészítve.

A korróziós cella összeállítását követően a rendszert 45 percig, a nyitott áramköri potenciál (OCP) stabilizálódása érdekében pihentettük. A pihentetést követően a feszültséget az OCP= -0,2 V-tól OCP = +1,5 V-ig pásztáztuk 1 mV/s sebességgel.

3. Eredmények és kiértékelésük

Az egyes kötések korróziós tulajdonságainak összehasonlításához a potenciosztát által rögzített áramsűrűség–feszültség görbéket vettük alapul. Az 5. ábrán látható a három próbatest mérési eredménye.

A minták nyitott áramköri potenciálja a 2. táblázatban látható. A hengerelt lemez nyitott áramköri potenciálja -0.07 ± 0.02 V. A három hegesztett minta nyitott áramköri potenciálja közel azonos, számottevő különbség nem mérhető a minták között.

Az 5. ábrán látható görbék három, jól elkülöníthető részre oszthatók: a kezdeti redukciós szakaszra, majd a nyitott áramköri potenciál értékétől pozitívabb feszültségek pásztázása során végbemenő oxidációs szakaszra és az azt követő passzív szakaszra. A passzív szakasz során a feszültség növelésének hatására az áramsűrűség nem vagy csak nagyon kis mértékben növekszik. A feszültség egy bizonyos ponton túl való növelésének hatására az áramsűrűség rohamosan megnő, ezt a feszültséget nevezzük lyukkorróziós potenciálnak.

A legnagyobb lyukkorróziós potenciál értéket a 1,5 m/min sebességgel, két oldalról hegesztett T kötés mutatja. Az egyes minták lyukkorróziós potenciálja a **6. ábrá**n látható.

Minél negatívabb egy adott minta lyukkorróziós potenciálja az adott közegben, annál hamarabb következik be a lyukkorrózió jelensége. A pozitívabb lyukkorróziós potenciál nemesebb viselkedést, jobb korróziós tulajdonságokat mutat az adott közegben.

2. táblázat. Az egyes minták nyitott áramköri potenciál értékei 3,5%-os NaCl-oldatban

Minta jele	Nyíltkörű potenciál		
3630 W + 1,5 m/min	-0,11 \pm 0,02 V		
4620 W + 2 m/min	-0,11 \pm 0,03 V		
3960 W + 1 m/min	$-0,10 \pm 0,03$ V		



 ábra. Háromelektródos korróziós cella mérési elrendezése; WE = munkaelektród, RE = referenciaelektród, CE = ellenelektród



 ábra. Az elektrokémiai korróziós mérések eredményei 3,5%-os NaCl-oldatban



6. ábra. Az egyes minták lyukkorróziós potenciál értékei 3,5%-os NaCl-oldatban

4. Következtetések

Kutatásunkban eltérő teljesítménnyel és eltérő haladási sebességgel, lézeres hegesztéssel készített egy- és kétoldali T kötések korróziós tulajdonságait vizsgáltuk 3,5%-os NaCl-oldatban. A kapott áramsűrűség–feszültség görbék alapján a legnagyobb lyukkorróziós potenciált a 1,5 m/ min sebességgel és 3630 W teljesítménnyel hegesztett minta mutatta. A 2 m/min sebességgel, 4620 W teljesítménnyel készült, szintén kétoldalról hegesztett minta lyukkorróziós potenciálja ettől jelentős mértékben elmaradt, feltehetően a szélkiégés túlzott mértéke következtében. A hipotézis ellenőrzéséhez szükséges megvizsgálni a lyukkorrózió kialakulásának helyét.

Az egy oldalról, 3960 W teljesítménnyel és 1 m/min haladási sebességgel készült T kötés gyöke nincs áthegesztve, emiatt az ott jelen lévő hézagban réskorrózió alakulhatott ki, aminek következtében megnőtt az áramsűrűség, rontva a mérési eredményeket.

Köszönetnyilvánítás

A projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal – NKFIH támogatásával valósult meg (OTKA PD 138729).

Szakirodalmi hivatkozások

 Landowski M., Świerczyńska A., Rogalski G., Fydrych D.: Autogenous Fiber Laser Welding of 316L Austenitic and 2304 Lean Duplex Stainless Steels. Materials, 13/13. (2020) 2930.

https://doi.org/10.3390/ma13132930

 [2] Landowski M.: Influence of Parameters of Laser Beam Welding on Structure of 2205 Duplex Stainless Steel. Advances in Materials Science, 19/1. (2019) 21–31. https://doi.org/10.2478/adms-2019-0002

[3] Alcock, J. A., Baufeld, B.: Diode laser welding of stainless steel 304L. Journal of Materials Process-

- ing Technology, 240. (2017) 138–144. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.09.019
- [4] Hafez K. M., Katayama S.: Fiber laser welding of AISI 304 stainless steel plates. Quarterly journal of the japan welding society, 27/2. (2009) 69s–73s.
- [5] MSZ EN ISO 10088-1: Korrózióálló acélok. 1. rész: A korrózióálló acélok jegyzéke. 2015.
- [6] Outokumpu: Handbook of Stainless Steel. 2014.
- [7] Ran H., Chen Z., Ma Y., OBrien E., Sun Y.: Experimental and numerical study of laser-welded stainless steel slender I-section beam-columns. Engineering Structures, 286. (2023) 116–128. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116128
- [8] MSZ EN ISO 8044:2003 Fémek és ötvözetek korróziója. Alapvető szakkifejezések és fogalommeghatározások (ISO 8044:1999).