

AISI 304 lézeres hegesztési varratainak vizsgálata

Examination of AISI 304 laser welds

OLÁH Klaudia¹, KORSÓS Krisztián², BREZNAY Csaba³, Dr. VARBAI Balázs⁴

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék,
Magyarország, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., www.att.bme.hu

¹olah.klaudia@edu.bme.hu
²krisztian.korsos@edu.bme.hu
³breznay.csaba@edu.bme.hu
⁴varbai.balazs@gpk.bme.hu

Abstract

Laser welding is becoming increasingly popular for welding stainless steels in industrial applications. The main advantage of this technology is its concentrated heat input, which allows deep fusion welds to be produced with low weld penetration at high welding speeds. This is particularly beneficial in industries where speed and precision are key, such as medical, aerospace and automotive. In our research, the welds of laser-welded T-joints made of 1.4301/AISI304 austenitic corrosion-resistant steel were investigated at different welding parameters. The welded joints were fabricated with double-sided corner welds with different combinations of travel speed and power and focal position. The main aspect of the evaluation of the welds was the examination of the weld geometry: weld shapes (crown width, fusion depth), weld area. To complement the geometric studies, the microstructure of the sutures was also investigated: tissue structure analysis and microhardness measurements were performed.

Keywords: laser welding; 1.4301; AISI 304;

Kivonat

Rozsdamentes acélok hegesztésekor az ipari alkalmazásokban egyre széleskörűbb felhasználásnak örvend a lézeres hegesztés. A technológia legnagyobb előnye a koncentrált hőbevitel, melynek köszönhetően mélybeolvadású varratok készíthetők kis vetemedéssel, nagy hegesztési sebességek mellett. Ez különösen előnyös olyan iparágakban, ahol a gyorsaság és precizitás kulcsfontosságú, például az orvostechikában, repülőgépiparban és autóiparban. Kutatásunkban 1.4301/AISI304 ausztenites korrózióálló acélból készült lézeresen hegesztett T-kötések varratait vizsgáltuk különböző hegesztési paraméterek mellett. A hegesztett kötések két oldali sarokvarratokkal készültek, eltérő haladási sebesség és teljesítmény, valamint fókuszpozíció kombinációkkal. Az elkészült varratok kiértékelésének legfőbb szempontja a varratgeometria vizsgálata volt: varratalak (koronaszélesség, beolvadási mélység), varrat terület. A geometriai vizsgálatokat kiegészítendő a varratok mikroszerkezetét is vizsgáltuk: szövetszerkezet vizsgálatot és mikrokeménységmérést végeztünk el.

Kulcsszavak: lézeres hegesztés; 1.4301; AISI 304

1. BEVEZETÉS

Az 1.4301 (AISI 304) anyagminőségű ausztenites rozsdamentes acél kiemelkedő korrózióállósága mellett jól hegeszthető és hidegalakítható. Következésképp széleskörűen alkalmazzák hegesztett szerkezetek alapanyagaként az iparágak különböző területein, különösen gép- és alkatrészgyártásban, építőiparban, autó- és vegyiparban. A szénacélhoz viszonyítva azonban az AISI 304 rozsdamentes acél nagy ötvözettsége miatt számottevően kisebb hővezető képességgel és lineáris hőtágulási együtthatóval rendelkezik, ezáltal érzékeny a hegesztés során hő hatására bekövetkező vetemedésre. [1]

A lézeres hegesztés az elmúlt években széleskörű figyelmet kapott az ipari alkalmazásokban, hiszen számos előnnyel rendelkezik a hagyományos ívhegesztési módszerekkel szemben. Nagy energiakoncentrációja miatt kis hőhatásövezet és kis mértékű deformáció jellemzi, amellyel a rozsdamentes

acélok hővezetéséből adódó vetemedési problémái csökkenthetők a hegesztés során. További előnye a nagy hegesztési sebesség, az automatikus-, valamint precíziós hegesztés könnyű és pontos megvalósítása. [2]

Számos kutatást végeztek az 1.4301 anyagminőségű acél lézeres hegesztésével kapcsolatban. Yan és munkatársai [3] összehasonlító vizsgálatot végeztek a lézeres hegesztéssel, TIG-hegesztéssel és lézer-TIG-hegesztéssel előállított AISI 304 rozsdamentes acélból készült hegesztett kötések teljesítményéről. A kutatás eredményeképp megállapították, hogy a háromféle hegesztett kötés közül a lézerhegesztett kötések mutatják a legjobb szakítószilárdságot. Egy másik kutatás során [4] megállapították, hogy a lézeres hegesztés paraméterei nagyban befolyásolják a varrat megjelenését, a hegesztési varrat alakját, míg a mikroszerkezeti tulajdonságokra szinte semmilyen jelentős hatást nem gyakorol a haladási sebesség és a lézerteljesítmény. A hőhatásövezet a hegesztés során nagyon kicsi volt. Mivel a lézeres hegesztés kis hőbevitel miatt a hűlési sebesség gyors volt, és a hegesztési zónában a szemcsék finomodtak, a mikrokeménység a megömlesztett övezetben az alapanyagéhoz hasonló értékeket mutatott, nitrogén védőgáz használata esetében a delta-ferrit tartalom csökkenése miatt csökkent a keménység.

2. KÍSÉRLETI MÓDSZERTAN

A kutatás során vizsgált anyag az 1.4301 anyagminőségű ausztenites korrózióálló acél volt, melynek vegyi összetétele az alábbi táblázatban látható.

Az 1.4301 anyagminőség tömegszázalék szerinti vegyi összetétele (műbizonylat alapján)

1. táblázat

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
0,025%	0,40%	1,46%	18,06%	8,03%	0,0035%	0,035%

A minták 6 mm névleges vastagságú lemezekből készült lézeresen hegesztett T-kötések voltak (az 1. ábrán látható módon), a hegesztést $P_N = 6600 \text{ W}$ névleges teljesítményű Raycus RFL-6600S lézerforrásból üzemeltetett WSX ND60 hegesztőfejjel végeztük két oldalról egyidejűleg. A vizsgált nyolc minta különböző paraméter-kombinációval lett előállítva: A hegesztési varratokat $P_1 = 0,4P_N$ teljesítmény mellett $0,5 \text{ m/s}$, $P_2 = 0,8P_N$ teljesítménynél 1 m/s haladási sebességgel állítottuk elő, négy különböző fókuszpozícióban, a 2. táblázat alapján.

A P2-4-es minta keresztmetszeti csiszolata

1. ábra



A minták fókuszpozíciói és jelölései

2. táblázat

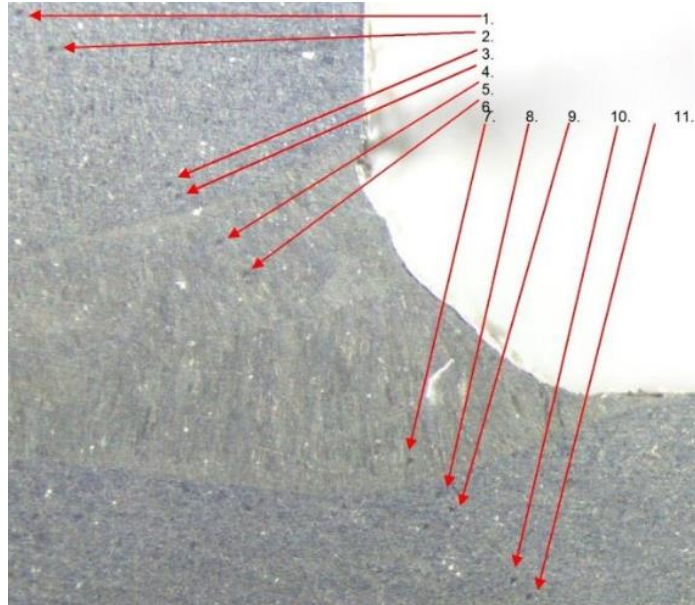
Minta jelölése	P2-1	P2-2	P2-3	P2-4	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4
Fókuszpozíció	„0”	„-2”	„+1”	„-1”	„0”	„-2”	„+1”	„-1”

Az így készült hegesztési varratokból a keresztmetszet mentén darabolva készítettünk mintákat, melyeket políroztunk, majd Adler marószerrrel maratva tettük láthatóvá a sarokvarratokat a keresztmetszeti csiszolaton.

A mintákon Vickers-féle mikrokeménység-mérést végeztünk, MSZ EN ISO 9015-2:2016 szerint 1000 g terheléssel, 10 s terhelési idővel. A mérés Buehler Indentamet 1100 típusú mikrokeménység-mérő berendezésen történt. A mérési pontok elrendezését a 2. ábra szemlélteti.

A mérési pontok elhelyezkedése a P2-3-as mintán szemléltetve

2. ábra



A mintákat ezt követően varratgeometriai szempontból is kiértékeljük varratalak, illetve varratrület alapján.

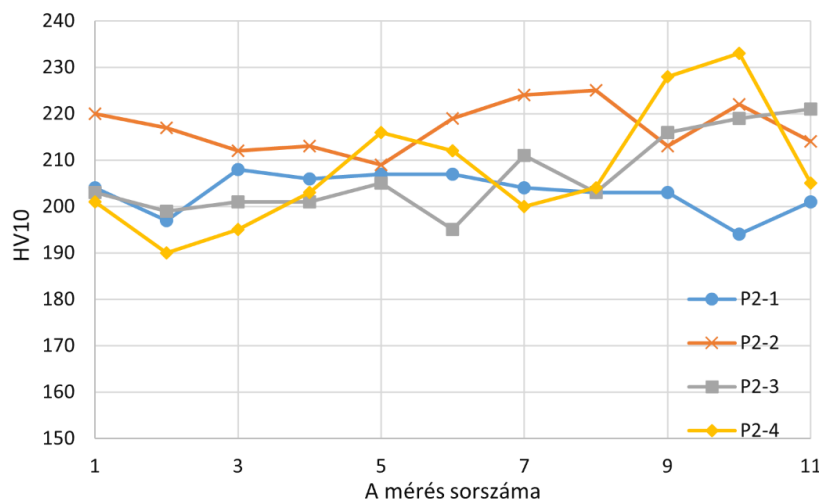
3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

3.1. A keménységmérés eredményei

A keménységmérés során a vártak megfelelően azt tapasztaltuk, hogy a hegesztett kötés egyes zónái között nem mérhető jelentős különbség, közel az alapanyag keménységi értékeit kapjuk. A P2-es mintasorozat esetében a keménységértékek 190 és 233 HV10, a P3-as jelölésű minták esetében 178 és 209 HV10 között mozognak. A vizsgált alapanyag (melegen hengerelt lemez) keménysége műbizonylata alapján 193 HV10.

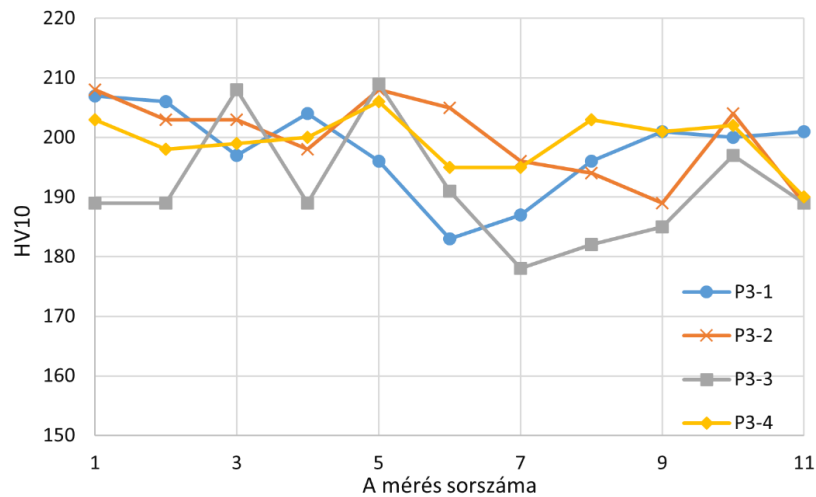
A P2-es jelölésű minták keménységmérésének eredményei

3. ábra



A P3-as jelölésű minták keménységmérésének eredményei

4. ábra



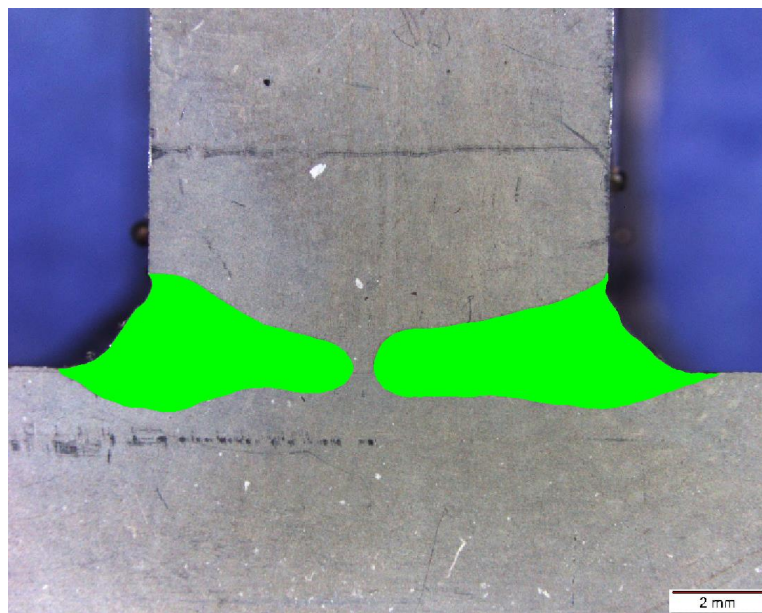
A vizsgálat eredményeként elmondható, hogy mindkét teljesítményszinten megfelelő keménységértékeket kaptunk a hegesztett kötésekből. A P3 teljesítményszinten készült varratok hővezetési jellemük miatt kis mértékű kilágyulást okoztak a hegesztett kötésben, ahogy az a 3. ábrán is megfigyelhető.

3.2. A varratgeometriai vizsgálatok eredményei

A varratok területét a JMicroVision program segítségével határoztuk meg. A varrat terület meghatározásának módját a 4. ábra szemlélteti. A vizsgált varratok területének értékét a 3. táblázat foglalja össze.

A P2-es jelölésű minta varratereje

5. ábra



A varratok területei mm²-ben megadva

3. táblázat

	P2-1	P2-2	P2-3	P2-4	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4
„A” oldal	10,3	10,6	11,1	11,3	3,8	3,8	4,3	4,3
„B” oldal	10,7	9,7	10,0	9,8	3,5	3,8	3,4	3,5

Megállapítható, hogy a fókuszpozíció kis mértékű változása esetén a varratok területe nem változik jelentősen. A P3-as mintasorozat esetében a kisebb hőbevitel következtében jelentősen kisebb varratok jöttek létre.

A P2-es varratok esetén az alaktényezőt a varrat koronaszélessége és a beolvadási mélység hányadosaként számítottuk. a P3-as minták esetében a varratközépen határoztuk meg az alaktényezőt. Az alaktényező értékeit a 4. táblázat tartalmazza.

A varratok alaktényezői

4. táblázat

	P2-1	P2-2	P2-3	P2-4	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4
„A” oldal	0,412	0,353	0,298	0,506	0,858	0,898	0,870	1,16
„B” oldal	0,303	0,539	0,348	0,408	0,920	0,849	0,857	0,95

A varratok alaktényezőit kiszámítva megállapítható, hogy a P3-as mintasorozat esetében hővezetési varratok jöttek létre a kis haladási sebesség miatt, míg a P2 teljesítményszinten készült varratok esetében ki tudott alakulni a kulcslyuk a hegesztés során.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalásként megállapítható, hogy a hegesztés fókuszpozíciójának kis mértékű módosítása nem befolyásolta érdemileg a varratokat a vizsgálatok során. A hőbevitel azonos értéken való tartása mellett, a haladási sebességet a felére csökkentve az alábbi megállapítások tehetőek:

- A haladási sebességet 0,5 m/s értékre csökkentve nincs kulcslyuk képződés, hővezetési varratok készíthetők.
- A varratok alaktényezője 0,15...0,25 értékről 0,85...1,16 értékre növekedett a haladási sebesség csökkentésével.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció a Nemzetközi Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal – NKFIH (EKÖP-24-3-BME-2) támogatásával valósult meg.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Xie, W.; Tu, H.; Nian, K.; Zhang, D.; Zhang, X., Microstructure and mechanical properties of Flexible Ring Mode laser welded 304 stainless steel, *Optics & Laser Technology*, Volume 174, 2024, 110563, ISSN 0030-3992, <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2024.110563>.
- [2] Landowski M, Świerczyńska A, Rogalski G, Fydrych D. Autogenous Fiber Laser Welding of 316L Austenitic and 2304 Lean Duplex Stain-less Steels. *Materials*. 2020; 13(13):2930. <https://doi.org/10.3390/ma13132930>
- [3] Yan, J.; Gao, M.; Zeng, X., Study on microstructure and mechanical properties of 304 stainless steel joints by TIG, laser and laser-TIG hybrid welding, *Optics and Lasers in Engineering*, Volume 48, Issue 4, 2010, Pages 512-517, ISSN 0143-8166, <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2009.08.009>.
- [4] Hafez KM, Katayama S. Fiber laser welding of AISI 304 stainless steel plates. *QU Arterly Journal of the Japan Welding Society*, 2009, ISSN 2434-8252, <https://doi.org/10.2207/qjjws.27.69s>