

Szövetszerkezeti változások ausztenites korrózióálló acéllemezek lézersugaras hegesztésekor

Microstructural changes during laser beam welding of austenitic stainless-steel sheets

Kovács Ferenc,¹ Fábíán Enikő Réka²

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország

¹ kovacsferi1996@gmail.com

² fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

The purpose of our study was to investigate the properties of welded joints formed by 1.5 mm thick plates with a diode laser beam equipment. The technological parameters influence the shape of the weld metal. In the heat affected zone no grain coarsening appeared. Increasing the welding speed, in case of similar laser power, the ferrite content of weld metal decreases. The hardness' of the streams are higher than that of base metal, but the highest values were measured in heat affected zones.

Keywords: diode laser, austenitic stainless steel, welding, ferrite content.

Összefoglalás

Kutatásunk célja 1,5 mm vastagságú ausztenites korrózióálló lemezek diódalézeres hegesztőberendezéssel létrehozott hegesztett kötések tulajdonságainak vizsgálata volt. A vizsgálatok azt mutatták, hogy alkalmazott technológiai paraméterek befolyásolják a varrat alakját. A hőhatásövezetben nem történt szemcsedurulás. Azonos lézerteljesítmény mellett a varratok ferrittartalma csökkent a hegesztési sebesség növelésével. A varratok keménysége az alapanyaghoz képest nőtt, de a hőhatásövezetekben mértük a legnagyobb keménységet, ami a delta-ferrit mennyiségével hozható kapcsolatba.

Kulcsszavak: diódalézer, ausztenites korrózióálló acél, hegesztés, ferrittartalom.

1. Bevezetés

A 21. század egyik új, kiaknázandó technológiája az egyre könnyebben elérhető lézersugaras megmunkálás. A lézersugaras hegesztések a koncentrált fénysugár sebességével és ismétlési pontosságával kitűnnek más technológiák közül [1–3]. Ezen hegesztések egyre nagyobb szerepet játszanak napjainkban a hegesztett szerkezeteknél, a nagy hegesztési sebességnek köszönhetően. A lézersugaras hegesztések koncentrált hőbevitellel dolgoznak, így alkalmassá tehetők az erősen ötvözött ausztenites acélok hegesztésére is. Kicsi a hőhatásövezet, így nem jön létre széles szemcsedurulási sáv, tehát a szövetszerkezet is kiváló

tulajdonságú lesz, és a korróziós tulajdonságok is előnyösek a keskeny oxidációs sávnak köszönhetően, viszont pontos előkészítést igényel [1–5].

A lézersugaras hegesztőgépek tulajdonságai rendkívül változatosak a sugárforrástípusokhoz képest. A sugárforrás meghatározza a lézersugárzás hullámhosszát, mely befolyásolja az abszorpciót. Például a CO₂-lézernél 10,6 μm nagyságú hullámhosszal, rövid kölcsönhatási idővel és mély, répa alakú beolvadási alakokkal számolhatunk: ezt nevezzük mélyvarratos hegesztésnek. A másik hatásmechanizmus a hővezetési hegesztés, melynél a munkadarab felületére jutó lézersugárzás energiája hővezetéssel jut mélyebb

rétegekbe. Ezt a viselkedést produkálja például a vizsgálatunkban részt vevő diódalézer a maga 0,94 μm hullámhosszával, melynek beolvadási, keresztmetszeti képét a szakirodalom [4] fél-lencse alakúnak nevezi.

A mélyvarratos változat sugárforrása a széndioxid-lézer és a Nd:YAG-lézerek. A hegesztési sebesség kisebb, mint 12 m/min, a hegeszthető lemezvastagság nem éri el a 25 mm-t. Acélok hegesztésekor ezeknél a lézerforrásoknál a lézersugárzás intenzitása nagyobb, mint 10^6 W/cm². Ezzel az eljárással hegeszthetők az ötvözetlen és erősen ötvözött acélok, az alumínium és ötvözetei, a réz és ötvözetei stb. [6]. A hegeszthető lemezvastagság diódalézer esetén, hozaganyag nélkül, a lézerforrás-teljesítménnyel növelhető [6]. A hővezetéses eljárás jellegzetes sugárforrásai a Nd:YAG-lézerek, a szállézer és a diódalézer. A lézersugaras megmunkálásokat a fókuszolt mérete és helyzete is befolyásolja [7–9]. A lézersugaras eljárások közös tulajdonsága, hogy a hőbevitelt és a hőelvitelt az abszorpciós és geometriai viszonyok is befolyásolják. Ahogy azt az irodalmi adatok mutatják [10], acéloknál a CO₂-lézeres kezeléskor a lézersugárzás abszorpciója 10% körüli, míg diódalézer alkalmazásával ez 30%-ra nő. A felület minősége szintén jelentősen befolyásolja az anyag abszorpciós tényezőjét, de míg a CO₂ lézeres kezeléseknél 4–80% között változik, addig a szilárdtestlézeres kezeléseknél még polírozott felületnél is eléri a 30%-ot [11]. A diódalézer alapelve megegyezik valamennyi lézer alapjával, avval a tulajdonsággal kiegészülve, hogy a populációinverzió kialakulása különösen nagy áram-sűrűséget igényel, így érdemes a gerjesztendő anyagot minimális térfogattal alkalmazni. A szükséges teljesítmény érdekében több egységet modulokba rendezve érdemes használni. Ez képezi a diódalézer egyik jó tulajdonságát: a kisméretű sugárforrás akár a robotkar végére is szerelhető. Magától értetődően nincsen fogyó lézergáz, és e két hatás jelentős költség- és helyigénycsökkenést eredményezhet. Ennek ellenére ritka a diódalézer a hegesztési alkalmazásban.

2. Vizsgálati anyagok és technológiák

A kísérletre kiválasztott 1.4404 számjelű, ausztenites, korrózióálló acél hidegen jól alakítható és hegeszthető rozsdamentes acél, amelyet gyakran használnak vegyipari és textilipari szerkezetek építéséhez, mert jól ellenáll az agresszív közegeknek is, 400 °C-ig ellenáll a kristályközi korrózióknak, ugyanakkor más ausztenites mi-

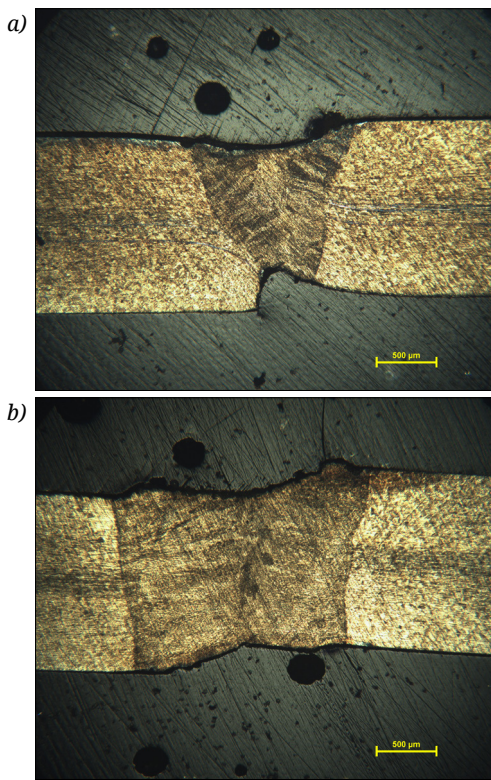
nőségekhez képest olcsó [12]. Vizsgálatunk célja 1,5 mm vastagságú lemezek diódalézeres hegesztőberendezéssel létrehozott hegesztett kötések tulajdonságainak vizsgálata volt. Az alkalmazott LDL 130-3000 típusú lézersugaras berendezésnél a sugárforrás energiaeloszlása erősen gaussi, a fókusz ovális alakú, hosszirányban 3 mm, keresztirányban 1 mm. A varrat védelmét argongázzal biztosítottuk, melynek hozama 15 L/min volt a koronaoldalon és 10 L/min a gyökoldalon. A lézeres hegesztés során a varratok készítésekor monitoron követhető a hegfürdő hőmérséklete, mely végig 1400 és 1500 °C között volt. A lézersugárzás leállásakor a varrat hőmérséklete nagy sebességgel csökkent, gyorsan megérinthetővé vált a munkadarab.

A vizsgálatok céljából a varrat végétől 25 mm-re vágtuk ki a 10×30 mm méretű mintalemezeket metallográfiai vizsgálatra, majd a varrat középső tartományából 2-2 db, 15×30 mm méretű mintadarabot korróziós tesztre készítettünk elő. A ferrittartalom mérésére a mágneses indukció elvén működő, Fischer FMP30 típusú ferritszkópot használtuk. Mértük a kész varraton a korona- és a gyökérszt, valamint a csiszolatokon a varratok ferrittartalmát. Metallográfiai vizsgálataink során több marószert is kipróbáltunk. Kalling-2 marószerezrel a γ - és δ -fázisokat is meg lehet különböztetni, de az alapanyag ausztenites szerkezete királyvizes maratással vált jobban láthatóvá. A mikrokeménység-mérést 0,2 kg terheléssel végeztük. A korróziós tesztek az ASTM G48 szabvány B módszere szerint végeztük, 6%-os FeCl₃ vizes oldatban.

3. Vizsgálati eredmények

Megfelelően átolvado varratokat 1000–1200 W közötti teljesítménnyel, 4 és 8 mm/s közötti sebességgel tudtunk létrehozni. 6 mm/s hegesztési sebesség mellett a lézerteljesítményt 1000 W-ról 1200 W-ra emelve, a varrat magasság/szélesség aránya H/D = 5/3-ról 1/2-re változott, ahogy azt az 1. ábrán is láthatjuk.

A varratok hőtámaszóvazete rendkívül keskeny, királyvizes maratással szinte nem is különböztethető meg, viszont a Kalling-reagenssel maratva elkülönül egy keskeny, ferritesebb sáv a varratfém szélén, ami a lemezek közepén kialakult középvonali ferrites dúsulásnál is keskenyebb, ahogy azt a 2. ábra felvételei is szemléltetik. A varratok környezetében nem következett be szemcsedurulás.

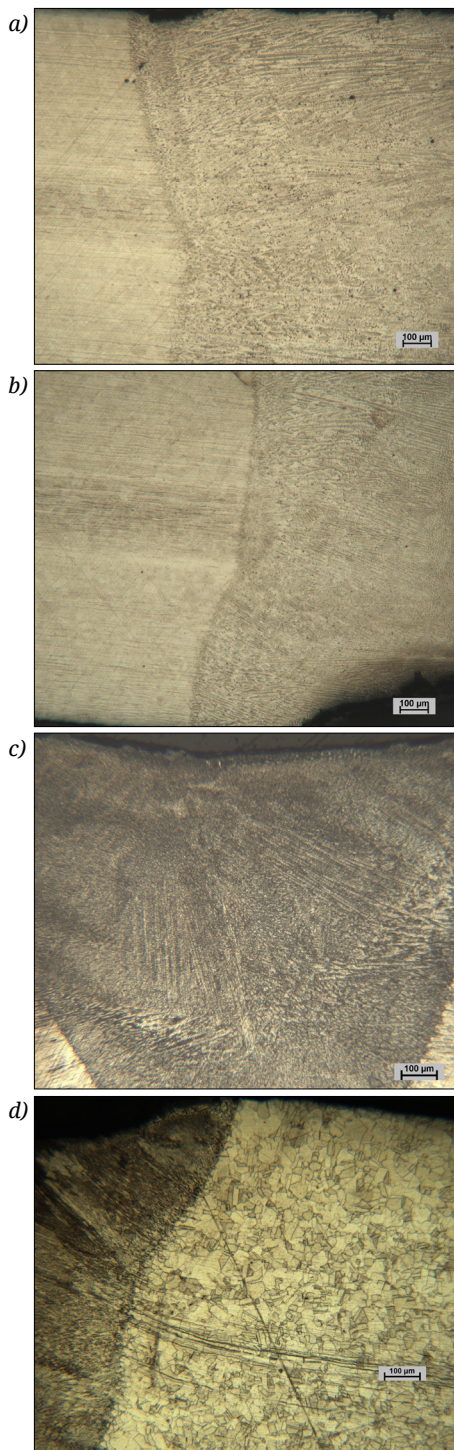


1. ábra. A lézerteljesítmény hatása a varratalakra $v = 6 \text{ mm/s}$. Maratás Kalling 2-reagenssel. a) $P = 1000 \text{ W}$, b) $P = 1200 \text{ W}$

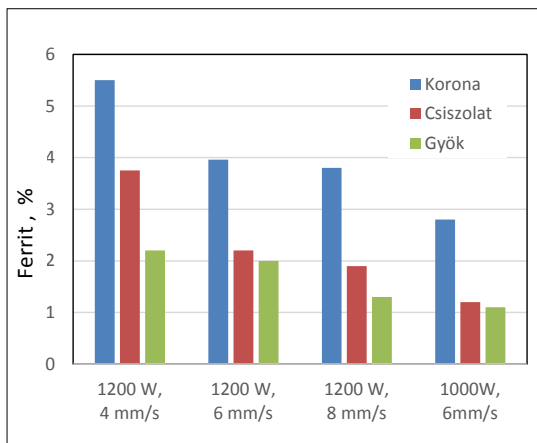
A mikroszkópos megfigyelésekkel összhangban, ferritszkóppal mérve a lemezek felületén, a ferritszázalék átlagosan 0,01%, a csiszolat középvonalaiban 0,3%-nak adódott. Hegesztés után a varratok ferrittartalma megnőtt. A legnagyobb hőbevitellel készült varrat ferrittartalma a koronáreszen mérve meghaladta az 5%-ot, de a csiszolaton mérve is majdnem elérte a 4%-ot (**3. ábra**).

A mikrokeménység-mérési adatok jó egyezést mutatnak a ferritszkópos mérésekkel, a nagyobb ferrittartalmú mintáknál nagyobb az átlagos keménység. A minták hőhatásóvezetében mértük a legnagyobb keménységet, de sehol sem haladta meg a 200 HV0,2-t. Azonos teljesítményen való hegesztéskor a legnagyobb keménységet a legkisebb hegesztési sebességnél mértük (**4. ábra**).

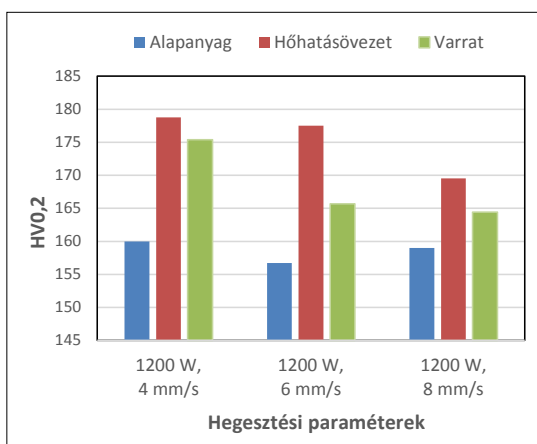
6%-os FeCl_3 vizes oldatban, áztatásos módszerrel tesztelve a varratok környezetének lyukkorrózióval szembeni ellenállását, 24 óra után alig volt észlelhető a lyukkorrózió, de 72 óra után már számos lyukat találtunk a varratok környezetében, főleg a szélesebb varratú mintáknál, ahogy azt az **5. ábra** is szemlélteti.



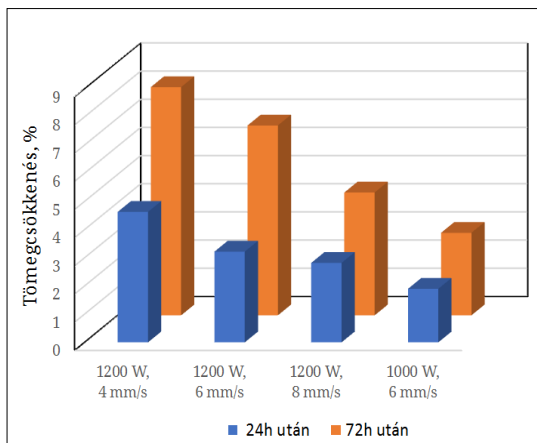
2. ábra. Fénymikroszkópos felvételek a varratok környezetében: a) 1200 W, 4 mm/s; marószer: Kalling, b) 1200 W, 6 mm/s ; marószer: Kalling, c) 1200 W, 8 mm/s; marószer: Kalling, d) 1000 W, 6 mm/s; marószer: királyvíz



3. ábra. A hegesztési paraméterek hatása a varratok ferrittartalmára



4. ábra. A hegesztési paraméterek hatása a varratok környezetének keménységére



5. ábra. A hegesztési paraméterek hatása a varratok környezetének korróziós viselkedésére

4. Következtetések

1,5 mm-es ausztenites korrózióálló acéllemez diódalézeres hegesztésekor, 1000–1200 W teljesítmény mellett teljesen átolvadó varratot lehetett létrehozni. Annak ellenére, hogy hozaganyagot nem használtunk, a varrat ferrittartalma a koronarészen meghaladta a 3%-ot, a csiszolatoknál ez valamivel kevesebbnek adódott. Azonos lemezvastagságnál, azonos hegesztési teljesítmény alkalmazásakor kimutatható, hogy a varratok ferritszikkóppal mért ferrittartalma csökken a hegesztési sebesség növelésével. Mindegyik hegesztési sebességnél kimutatható, hogy a varratok keménysége az alapanyaghoz képest nő, de a hőhatásövezetekben mértük a legnagyobb keménységet, ami a delta-ferrit mennyiségével hozható kapcsolatba.

Köszönetnyilvánítás

A munka nem jöhetett volna létre a Budai Benefit Lézer technológiai és Alkatrészfejlesztő Kft. segítségével. Szeretnénk köszönetet mondani a munkánkhoz az EFOP-3.6.1-16-2016-00010 számú projekt keretében nyújtott anyagi támogatásért a magyar államnak és az Európai Uniónak.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Hegesztéstechnika I. Eljárások és gépesítés*. Műszaki Tudományos Füzetek 9., EME, Kolozsvár, 2010. <https://doi.org/10.36242/mtf-09>
- [2] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Hegesztéstechnika II. Berendezések és mérések*. Műszaki Tudományos Füzetek 10., EME, Kolozsvár, 2010. <https://doi.org/10.36242/mtf-10>
- [3] Kreisz I.: *Lézersugárforrások*. Edutus Főiskola, 2012. 45–57.
- [4] Buza G.: *Lézersugaras technológiák 1*. Edutus Főiskola, 2012. 75.
- [5] Bitay E., Bagyinszki Gy.: *Nagy energiasűrűségű hegesztési eljárások több szempontú rendszerezése / Multi respect classification of high energy density welding process*. XV. FMTÜ, EME, Kolozsvár, Románia, 2010. 55–65. <https://doi.org/10.36243/fmtu-2010.13>
- [6] Alcock A., Baufeld B.: *Diode laser welding of stainless steel 304L*. Journal of Materials Processing Technology, 240. (2017) 138–144.
- [7] Meszlényi Gy., Bitay E.: *A fókuszált lézernyaláb keresztmetszeti jellemzőinek szerepe az impulzusos üzemi lézeres vágásnál / Role of the Features of Focused Laser Beam at Pulsed Laser Cutting*. Acta Materialia Transylvanica, 2/2. (2019) 115–120. <https://doi.org/10.33924/amt-2019-02-09>
- [8] Meszlényi Gy., Bitay E.: *A fókuszhelyzet szerepe erősen reflektáló anyag egyimpulzusos, lézergus-*

ras fúrásakor / *The Role of Focus Position in Single Pulse Laser Drilling of Highly Reflecting Materials*. *Acta Materialia Transylvanica*, 2/1. (2019) 61–68.
<https://doi.org/10.33924/amt-2019-01-10>

[9] Meszlényi Gy., Bitay E.: *Az egyimpulzusos lézersugaras fúrás folyamatának elemzése*. *Bányászati és Kohászati Lapok – Kohászat*, 151/5–6. (2018) 40–44.

https://www.ombkenet.hu/images/2018/koh/Kohaszat_2018_5_6szam.pdf

[10] Laser Focus World Lasers&Surces (letöltve: 2020. február 24.)

<https://www.laserfocusworld.com/articles/2011/04/laser-marking-how-to-choose-the-best-laser-for-your-marking-application.html>

[11] Lyubomir L., Angelov N.: *Physical model about laser impact on metals and alloys*. *Contemporary Materials*, I/2. (2010) 124–128;

[12] Direct Line: *Rozsdamentes acélok jellemzői katalógus* (letöltve: 2020. február 15.)

http://www.dldh.hu/wp-content/uploads/2012/02/Direct_Line_rozsdamentes_acelok_jellemzoi_katalogus.pdf