



Korrózióállóság a hegesztési eljárások és a hegesztési sebesség függvényében

Welding technologies and welding parameters effects on corrosion resistance

¹Kovács Ferenc, ²Dr. Fábián Enikő Réka

¹Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, kovacsferi1996@gmail.com

²Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest Magyarország, fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A korrózióálló acélok hegesztésénél bevált eljárás a volfrámelektrodás ívhegesztés. A lézersugaras hegesztések napjainkban egyre nagyobb szerepet játszanak a hegesztett szerkezeteknél, köszönhetően a nagy hegesztési sebességnek. A lézersugaras hegesztések koncentrált hőbevitellel dolgoznak, így alkalmassá tehetők az erősen ötvözött ausztenites acélok hegesztésére is. A diódalézersugaras hegesztések robotizálhatók. Az alkalmazott technológiák, és a különböző technológiai paraméterek befolyásolják a varrat alakját, a hőhatásövezetet, és ezáltal a korrózióval szembeni ellenállóképességet. A hegesztés utáni pácolás csökkenti a lyukkorrózió megjelenési esélyét.

Kulcs szavak: 1.4404, korrózióállóság, lézersugaras hegesztés, TIG

Abstract

Tungsten electrode arc welding is a proven technique for welding stainless steels. Laser beam welding is playing an increasingly important role in welded structures today due to the concentrated heat input and the high welding speed. Laser beam welding works with concentrated heat input, making it suitable for welding of high alloyed austenitic steels. Diode laser beam welding can be robotized. The used technologies and the technological parameters influence the shape of the seam and the heat affected zone and thus the corrosion resistance. Pickling of heat affected zone surface reduces the risk of pitting corrosion.

Keywords: 1.4404, corrosion resistance, laser beam welding, TIG

1 Bevezetés

Az ausztenites korrózióálló acélok a jól hegeszthető acélok közé szokás sorolni. Ennek ellenére különösen fontos szem előtt tartani, hogy az ötvöztelen acélokkal szemben lényegesen nagyobb a hőtágulásuk, sokkal rosszabb a hővezető képességük; sokkal nagyobb a villamos ellenállásuk viszont nincs beedződés a hegesztés hőfolyamatban. Ezekből az következik, hogy viszonylag kis hegesztési hőbevitellel kell hegesztetni, koncentrált hőforrásra van szükség, arra kell törekedni, hogy minél keskenyebb hősávot melegítsünk fel a hegesztés során. [1] Ezért a lézersugaras hegesztés és

a TIG hegesztés is igen kedvező korrózióálló acélok hegesztésénél. A nagyobb hőtágulás és kisebb hővezető képesség nagyobb mértékű alakváltozást idézhet elő, és amennyiben az alakváltozás gátolt, ez nagyobb saját feszültségek kialakulását eredményezheti, ellenkező esetben termikus feszültségek miatt a nagy alakváltozó képességű lapközepes köbös szövetszerkezet esetében nem kell tartani [2]. Az X 2 CrNiMo17 13 2 anyagminőségű (1.4404 jelű) lemezek jól alakíthatók hidegen, jól hegeszthetők, engedélyezett a használata nyomástartó edényekhez is. Az alacsony karbontartalom miatt 400 °C-ig ellenáll a kristályközi korróciónak. A molibdénnek köszönhetően jól ellenáll a klorid tartalmú anyagoknak és a nem oxidáló savaknak. Ezt az anyagminőséget gyakran alkalmazzák építőanyagként a vegyipari és textilipari berendezések építéséhez, valamint agresszív közegeket tároló illetve szállító eszközöknél, sőt, az elmúlt évtizedben megjelent hidak anyagaként bizonyos építőelemekhez. A hegesztés során általában megjelenhet a kristályközi korróziós hajlam, a melegrepedési hajlam és a σ – fázis kiválás.

A lézersugaras megmunkálásoknál második leggyakoribb ipari alkalmazása a hegesztés a vágás után. Nagy a hegesztési sebesség és nagy ismétlési pontosság jellemzi és igen tiszta üzemnek nevezhető. Az MSZ EN ISO 4063:2000 szerint a lézersugaras hegesztéseknél az 52 –es csoporton belül, megkülönböztetjük az 521 számkódú szilárdtest lézersugaras hegesztést és az 522 számkódú gázlézeres hegesztést. A lézer fizikai tartalmát talán legjobban a következő megfogalmazás fejezi ki legjobban: fénygerjesztett, sugárzást kibocsájtó rezonátor. A lézereket szokásos az aktív anyag halmazállapota alapján csoportosítani: gáz, folyadék, szilárdtest lézerek. Működésük alapján lehetnek folyamatos vagy impulzus üzeműek. A gázlézereknél az energiabevitel egyik lehetősége az elektromos térerő hatására gázkisülésben bekövetkező elektronütközéssel jön létre. A szilárdtest folyadéklézerek esetében a pumpáló energiát intenzív fényforrások, villanólámpák, szolgáltatják, amit az utóbbi időben egyre elterjedtebb dióda lézerekkel váltanak ki [3-4]. Ipari alkalmazásuk szempontjából legfontosabb lézertípusok hullámhosszai: CO₂ lézernél 10,6 μ m, Nd: YAG lézernél 1,06 μ m, dióda lézereknél 0,810 – 0,940 μ m [5]. A CO₂ lézernél az energia sűrűség nagyságrendekkel nagyobb, mint a szilárdtest lézereknél és a kölcsönhatási idő is jelentősen kisebb a CO₂ lézernél, mint a diódalézereknél [6]. A hatásmechanizmus elveit tekintve a lézersugaras hegesztéseknél két eljárás ismert: a hővezetési hegesztés és a mélyvarratos hegesztés. A hővezetési hegesztéskor a darab felszínére jutó lézersugár energiája csak hővezetéssel tud a mélyebb rétegekbe jutni. A hővezetési hegesztés esetén egy fél lencse alakú, a mélyvarratos esetben egy répa alakú varratot láthatunk metallográfiai vizsgálatokkor. A mélyvarratos hegesztéskor a lézernyaláb és az anyag kölcsönhatásának helyén kialakul, az ún. plazmacsatorna más néven „kulcslyuk” (keyhole), melyet olvadt anyag vesz körül. A kulcslyuk kialakulása feltétele a mélyvarratos hegesztésnek, ez biztosítja ugyanis, hogy a lézerfény energiája a munkadarab alsóbb részeihez is eljusson. [3-4]. Mélyvarratos hegesztéskor a bevitt energiasűrűség még dióda lézer használatakor is majdnem nagyságrenddel nagyobb, mint a hővezetési hegesztéskor [6]. Lézersugaras hegesztéskor nem szükséges kétoldali hozzáférés, valamint a hegesztendő alkatrészek nem szenvednek hőkárosodást, ugyanis a hőhatásőveztet igen keskeny [5-7]. A lézerhegesztett varrat rendkívül esztétikus, utólagos megmunkálást nem igényel, nem igényli a lemez élek előkészítését, leélezését sem, ötvözetlen acélokál fröcskölés mentes, erősen ötvözött acélokál szükség van a gyök és korona védelemre. A lézerhegesztés hátrányai, hogy igen szűk tűrésmezők betartását követeli meg, az üzemeltetési költségei is jelentékenyek, emberi oldalról fokozott felkészültséget, szakmaiságot igényel. [3-5].

Az argon védőgáz, volfrámlektrodás ívhegesztő (TIG) eljárásnál a semleges védőgázban fenntartott ív a hegfürdő és a volfrám) elektróda között ég. Az ív szolgáltatja a hőenergiát a hegfürdő felolvasztásához. Ha szükséges, a hozaganyagot kézzel, vagy gépesítve, huzalelőtolóval lehet adagolni. A védőgáznak semlegesnek kell lennie.

Ebben a kutatásban összehasonlítottuk a diódalézeres hővezetési lézerhegesztést és a TIG hegesztési eljárást abból a szempontból, hogy az 1.4404 minőségű acél vékonylemezek közül

hegesztés után milyen varratok képződnek, és melyik áll jobban ellen a korrózióknak.

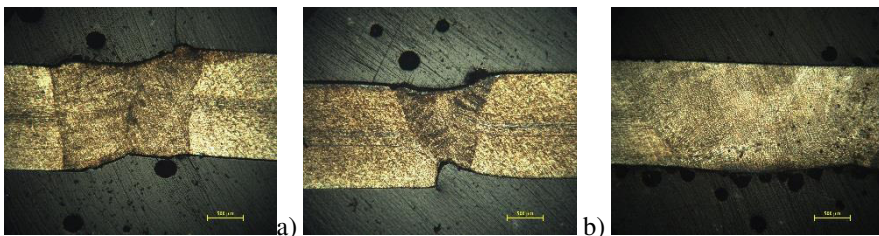
2 Használt anyagok és technológiák

A lézersugarashegesztést 3KW teljesítményű humanoid kialakítású Reis diódalézeres hegesztőrobottal végeztük. A lézer típusa LDL 130-3000. A hullámhossz 940 nm. A lézer fókusza ellipszis alakú, egyik irányba 1, másik irányba 3 mm hosszú volt. Az energiasűrűség eloszlása Gauss-görbe jellegű, ezért nem megvalósítható a mély varrat. Az alkalmazott teljesítmény 800-1200W között volt, a sebesség 4 és 8mm/s között. A gyökvédelmet prizmás készülékkel oldottuk meg, az argon gáz mennyiségét a korona oldalon 10 l/min, míg a gyök oldalon 8 l/min volt beállítva. A fúvóka próbatesttel bezárt szöge 30° volt. Hozaganyagot nem alkalmaztunk. Monitoron a beépített hőmérő segítségével tudtuk követni a varrat és környezete hőmérsékletet, mely végig 1400 és 1500 °C között volt, mely az összes további lézeres varratról is elmondható. A TIG hegesztés kézzel történt. A védőgáz mindegyik hegesztésnél 10 l/min a korona oldalon és 2 l/min a gyök oldalon. A feladathoz 7-s kerámia gázterelőt és gázlencsét vettünk igénybe az összes varrathoz. Hozaganyag nem volt, gyökhézagot nem alkalmaztunk. Az 1,5 mm-s és 2 mm-s lemezeknél 45A áramerősséget és 2,83 mm/s sebességet alkalmaztunk, míg a 2,5 mm-s lemezeknél 75 A volt az áramerősség, a sebesség 2,43 mm/s -nak adódott.

A vizsgálatok céljából a varratvégétől 20 mm-re vágtuk ki a 10x30mm-es mintalemezeket metallográfiai vizsgálatra, majd 2-2 mintadarabot 15x30-as mintát a korróziós tesztelésre, egyik pácolt másik pácolatlan formában került korróziós vizsgálatra annak érdekében, hogy megfigyeljük az elszíneződések által jelzett passzív kéreg sérülések hatását. A próbatesteket tömegmérés után 24 és 72 órás korrózió tesztnek tettük ki. A korróziós tesztet az ASTM G48 szabvány B módszere szerint végeztük 6%-os FeCl_3 vizes oldatban. A tömegszázalék megmutatja, hogy mely varratok bírták jobban a korrodáló közeget, melyek kevésbé. Mivel hagyományos hegesztő pácpasztát nem állt rendelkezésre, ezért 65%-s koncentrált salétromsavat használtunk, utána pedig ultrával és csiszoló Ciffelmostuk az oxidréteg eltávolítása érdekében.

3 Kísérletek eredményei:

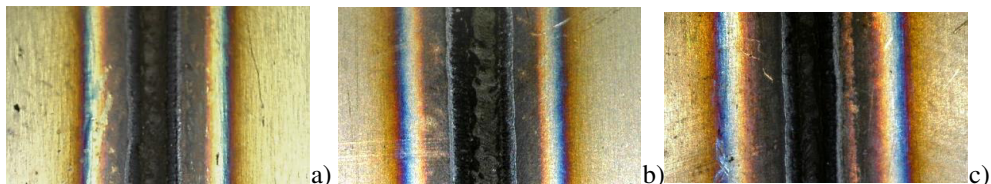
A kísérleteink során azt tapasztaltuk, hogy a hővezetési lézersugarashegeztéskor a avarrat mélység és szélesség aránya nem olyan nagy, mint mélyvarratos hegesztéskor [7], az még mindig jelentősen kisebb tud lenni mint TIG hegesztéskor (1. ábra)



1. ábra - A varrat alakja különböző $s=1,5\text{mm}$,
a) Lézersugaras hegesztés 1200 W és $v=6\text{mm/s}$, b) Lézersugaras hegesztés 1000W és
 $v=6\text{mm/s}$ c) TIG hegesztés

Annak ellenére, hogy a hegesztés közben alkalmaztunk védőgázt, a varratok környezetében jelentős elszíneződés mutatkozott (2. ábra). A hegesztési hőfolyamat során – ha a nincs, vagy nem elegendő a védőgáz, és a hegesztett szerkezet oxigénnel érintkezik – a felületen, a maximálisan elért

hőmérséklet függvényében – különböző vastagságú oxidréteg alakul ki. Ennek a megjelenési formája a felület elszíneződése, a futtatási szín megjelenése. Korróziós szempontból fontos a kialakult oxidréteg vastagsága [8], ugyanis 50 ppm körüli értéken kialakuló világosabb futatási színek nem, míg a barna, vörös és kék színek korróziós szempontból veszélyes elváltozásra utalnak [9]. TIG hegesztésnél halvány elszíneződés történt, sötétkéék csak a korona felületen lett



2 ábra - Hegesztéskor bekövetkező elszíneződések a 2mm lemezézersugaras hegesztésekor
a) 1200W és $v=6\text{mm/s}$, b) 1000W és $v=4\text{mm/s}$ c) 1000W és $v=6\text{mm/s}$

A korróziós vizsgálatra kitett mintáknál 24 órás tesztelés után lyukakat nem figyeltünk meg, bár a tömegben mérhető volt a tömegvesztés, ahogy azt az 1 táblázat. is mutatja. A vékonyabb elszíneződött oxidréteg a pácolatlan mintákról is eltűnt a korróziós tesztelés során.

1. táblázat - 24 órás korróziós teszt eredmények

varrat adatok		Korróziós tesztelt minták					
		Pácolt			Pácolatlan		
		Eredeti (g)	24h (g)	Fogyás %	Eredeti (g)	24h (g)	Fogyás %
$s=1.5\text{mm}$	1200W, 4mm/s*	3,9768	3,8463	3,28	4,0862	3,897	4,63
	1200W, 6 mm/s*	3,9642	3,8341	3,39	5,2074	5,0394	3,22
	1200W, 8 mm/s*	4,6552	4,5261	2,00	5,3024	5,1529	2,82
	1000W, 6 mm/s*	4,9443	4,8257	2,40	4,9528	4,8587	1,90
	TIG:45A	5,3206	5,1295	3,95	5,2346	5,0366	3,78
$s=2\text{mm}$	1200W, 6 mm/s*	6,1663	6,028	2,24	5,9475	5,8272	2,02
	1200W, 8 mm/s*	6,5538	6,4505	1,58	6,8722	6,8071	0,95
	1000W, 4 mm/s*	7,0174	6,8619	2,22	6,2372	6,083	2,47
	1000W, 6 mm/s*	6,3138	6,2301	1,33	6,6986	6,506	2,88
	TIG,45A	6,1061	5,9891	1,92	7,5634	7,3956	2,22
$s=2,5\text{mm}$	1000W, 4 mm/s *	-	-	-	7,4166	7,2362	2,39
	1000W, 4 mm/s **	8,4925	8,3655	1,50	8,9667	8,8606	1,18
	1000W, 6 mm/s **	7,9839	7,8644	1,50	9,7646	8,6851	0,91
	TIG,75A	8,8582	8,8198	0,43	9,0344	8,6919	3,79

72 órás korróziós tesztelés után jelentős mennyiségű lyuk keletkezett a varratok

hőhatásövezetében (3. ábra), volt olyan minta, amelyik átlukadt a pácolatlan mintáknál (b felvétel) A TIG varratoknál az elszíneződéseknek megfelelően jellemzően a varraton és a hőhatásövezetben alakultak ki lyukak.



3.ábra - 1,5mm vastagú lemez varrat környezetének megjelenése 72 óra korróziós tesztelés után,

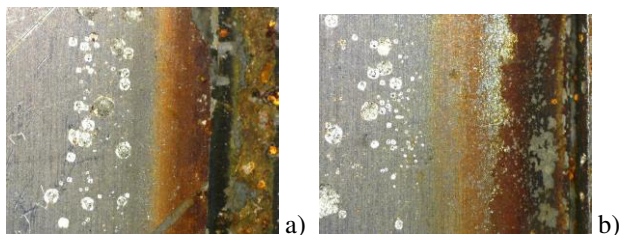
a) lézersugaras hegesztés 1000W és $v=6\text{mm/s}$ pácolt, b) pácolás mentes minta lézersugaraons hegesztett 1000W és $v=6\text{mm/s}$ c) pácolatlan TIG hegesztett minta

A tömegmérések a pácolatlan minták jelentősebb mértékű tömegvesztését mutatták 72 órás 6%-os FeCl_3 vizes oldatban való áztatás után. A pácolást nem kapott mintáknál megfigyelhető a korábban gyengébben elszíneződött helyeknél jelentős mennyiségű lyuk megjelenése (4.ábra).

2. táblázat - 72 órás korróziósteszt eredmények

Korróziós tesztelést megelőző állapot							
		Pácolt			Pácolatlan		
		Eredeti (g)	72h (g)	fogyás %	Eredeti (g)	72h	fogyás %
s=1.5mm	1200W 4mm/s*	3,9768	3,7334	6,12	4,0862	3,7553	8,10
	1200W, 6 mm/s*	5,2074	4,8564	6,74	5,2074	4,8564	6,74
	1200W, 8 mm/s*	5,3024	5,0587	4,60	4,6552	4,4524	4,36
	1000W, 6 mm/s*	6,6986	6,42	4,16	6,3138	6,1286	2,93
	TIG,;45A	5,3406	4,9281	7,73	5,2346	4,8837	6,70
s=2mm	1200W, 6 mm/s*	4,9529	4,7135	4,83	4,9443	4,7611	3,71
	1200W, 8 mm/s*	6,5538	6,3644	2,89	6,8722	6,4142	6,66
	1000W, 4 mm/s*	6,2372	5,9863	4,02	7,0174	5,9885	14,66
	1000W, 6 mm/s*	6,1663	5,9273	3,88	5,9476	5,6972	4,21
	TIG,45A	6,1061	5,868	3,90	7,5634	7,2209	4,53
s=2,5mm	1000W, 4 mm/s *	8,4925	8,2486	2,87	7,4133	6,9843	5,79
	1000W, 4 mm/s **	7,9839	7,7708	2,67	8,9667	8,7843	2,03
	1000W, 6 mm/s **	-	-	-	8,7641	8,5819	2,08
	TIG,75A	8,8582	8,582	3,05	9,0344	8,7043	3,65

* fókuszfolt varrat hosszirányában** fókuszfolt varrat kereszt irányában



4. ábra - Lyukkorrózió pácolatlan hegesztett mintáknál 72 órás korróziós tesztelés után

a) $s = 1,5\text{mm}$, 1000W 8mm/s b) $s = 2\text{mm}$, 1200W, 6mm/s

4 Konklúzió

A diódalézeres hegesztésnél elengedhetetlenek a megfelelő előkészületek, nagyon érzékeny a technológiára. A megfelelő gázvédelem elengedhetetlen a jó korrózióállóság érdekében az 1.4404 acéloknál, bár a pácolás csökkenti a lyukkorrózió mértékét.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondunk a Budai Benefit Kft. halászteleki Bubenlaser Lézertechnológiai Üzem vezetőségének és munkatársainak, amiért rendkívüli segítőkészséggel rendelkezésünkre álltak a varratok elkészítésében. A szerzők ezúton kívánnak köszönetet mondani munkánkhoz nyújtott anyagi támogatásért az EFOP-3.6.1-16-2016-00010 számú projekt keretében a Magyar Államnak és az Európai uniónak.

5 Hivatkozások

- [1] Gáti József (2011) :, Hegesztési Zsebkönyv Cokom Mérnökiroda Kft, 59-75
- [2] BődökKároly (1994): Korrózióálló és hőálló acélok, Corweld, 124-145
- [3] Szunyog László (1998) Hegesztési és rokon technológiák, Budapesti Műszaki könyvkiadó,
- [4] Buza Gábor (2012) Lézersugaras technológiák I., Edutus Főiskola, Budapest, Digit. Tankönyvtár, TÁMOP,
- [5] Lyubomir Lazov, N Angelov (2010)Physical model about laser impact on metals and alloys, Contemporary Materials I, 2 124-128;.
- [6] Kaustav Barat, K. Venkateswarlu(2019): Laser material interaction parameter: New tool for developing property diagrams for welds Journal of Laser Applications 31, 032012; <https://doi.org/10.2351/1.5095543>
- [7] Fábíán Enikő Réka (2014): Duplex acélok lézersugaras hegesztésekor bekövetkező szövetszerkezet-változások elemzése. Hegesztőszakmérnöki szakdolgozat, BME ATT,
- [8] Ken Kimbrel (2011): Determining Acceptable Levels of Weld Discoloration on Mechanically Polished and Electropolished Stainless Steel Surfaces, PHARMACEUTICAL ENGINEERINGThe Official Magazine of ISPE November/December, Vol. 31 No. 6
- [9] A S Khanna (2002): Introduction to High Temperature Oxidation and Corrosion ASM International, DOI: 10.1142/9789814675239_0001