

Lőrinc Zsuzsanna*, Buza Gábor**, Csizmazia János***, Bitay Enikő****, Dobránszky János*****

Duplex acél vékony lemezek vegyes kötéseinek hegesztése

A duplex acélok hegesztett kötéseiben a hegesztés során bevitt hő és a nagy hűlési sebesség hatására a ferrit-ausztenit arány jelentősen eltérhet az alapanyag fázisarányától. Az eltérő fázisarány miatt a hegesztett kötések korrózióval szembeni ellenállása és mechanikai tulajdonságai elmaradnak az alapanyag jellemzőitől, ezért kívánatos a megfelelő fázisarány kialakítása a hegesztett kötésekben. Jelen dolgozatban az LDX2101 és a 2205 típusú duplex acélok lézersugaras, illetve volfrám-elektrodás, semleges védőgázos ívhegesztési kísérleteit és a varratok metallográfiai vizsgálatát ismertetjük, különös tekintettel az ausztenit mennyiségének meghatározására. Az eredmények alapján következtetéseket vonunk le az ausztenit mennyiségét leginkább befolyásoló hegesztéstechnológiai tényezőkre vonatkozóan.

Bevezetés

Az ipar egyes területein széles körben elterjedt a korrózióálló acélok használata. Az olaj- és a vegyiparban használt nyersanyagok erősen redukáló, illetve korrozív közegnek minősülnek a hagyományos szerkezeti acélokra nézve. A növekvő ipari igények kielégítésére, először az 1920-as évek végén gyártottak és hoztak forgalomba duplex acélt. Az acél sajátossága, hogy szövetszerkezete nagy arányban, közel 50-50%-ban tartalmaz delta-ferritet és ausztenitet. A duplex korrózióálló acélok rozsdamentes acélok egyik fontos csoportját alkotják. Fő ötvözőik a króm (Cr), nikkel (Ni), a molibdén (Mo) és a nitrogén (N), amelyek hatására a duplex acélok korrózióval szembeni ellenállása az ausztenites acéloknál is jobb. [1, 2]

A korai duplex acélok megmunkálása és hegesztése számos nehézségbe ütközött. A hegesztési varratok kis szívóssága miatt, csak néhány területen tudták használni ezeket az acélokat. Az acélgyártási technológia fejlődése és a folyamatos fejlesztések hatására az 1970-es években megjelentek olyan duplex acélok, amelyekhez a gyártás

szórási nitrogént adtak, ami javította a hegeszthetőséget. Az 1980-as évek végén megjelentek az ún. harmadik generációs duplex acélok, amelyek kémiai összetételét nagyon pontosan szabályozták a gyártás során. [1] A kis C-tartalomnak és a megnövelt nitrogéntartalomnak köszönhetően javult a duplex acélok hegeszthetősége, ami nagyban elősegítette a szélesebb körben való elterjedésüket.

Manapság egyre több területen használnak duplex acélokat, ezért a fejlődés megköveteli a tulajdonságainak egyre pontosabb ismeretét. A hagyományos anyagmegmunkálási eljárások mellett egyre nagyobb hangsúlyt kap a lézersugaras anyagmegmunkálás, melynek a duplex acélokra való alkalmazhatósága számos vonatkozásban új kérdéseket vet fel. A lézersugaras hegesztés nagyon koncentrált hőbevitellel járó folyamat, amely az érintett zónában jelentősen megváltoztathatja a duplex acélok fázisarányát az alapanyaghoz képest. A megváltozott ferrit-ausztenit arány hátrányosan befolyásolja az acél mechanikai tulajdonságait és korrózióval szembeni ellenállását is, ezért fontos,

a megfelelő hegesztéstechnológia, védőgáz és hozaganyag kiválasztása.

A hegesztési kísérletek

A lézersugaras hegesztéshez vízsugaras vágással 1,5×40×100 mm méretű lemezeket vágunk ki LDX 2101 és 2205 típusú acélokból (1. táblázat). Noha a vízsugaras vágás során kevés sorja keletkezik, azonban annak érdekében, hogy a lemezdarabok hézagmentesen illeszkedjenek egymáshoz, a lemez illesztési oldalait marással párhuzamosítottuk. A tompakötés létrehozásához az így előkészített lemezeket a forgácsoltással előkészített élük mentén összeillesztettük, és a két végén volfrámelektrodás semleges védőgázos (a továbbiakban TIG) hegesztéssel összefűztük. A később TIG-hegesztéssel készre hegesztett lemezek egy részét annak figyelembevételével illesztettük össze, hogy a szakirodalmi ajánlások szerint a hegesztéshez hegesztőpálcát kell használni, és 2,0 mm-es hézagot kell hagyni az összehegesztendő élek között [3].

Az TIG-hegesztés kézi kivitelezése során az argon védőgázhoz nitrogén gázt kevertünk; kísérleti tényezőként változtattuk a gázkeverék nitrogéntartalmát, összesen háromféle próbadarabot készítettünk. A lézersugaras hegesztést a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.-ben működő, diódapumpált, Rofin DY 027 típusú Nd:YAG berendezéssel végeztük.

Az előzőleg összefűzött lemezeket az e célra készített és vízszintezett készülékbe helyeztük. A kísérleti terv szerint, adott védőgáz-összetétel esetén azonos technológiai tényezőkkel, poradagolással és a nélkül is készítettünk varratokat. Majd megváltoztattuk a védőgáz összetételét, és újra ugyanazokkal a technológiai tényezőkkel készítettünk varratot, ismét csak porszórással és porszórással nélkül. A porszóráshoz a Sulzer Metco által gyártott Metco 41C típusú hegesztőport használtuk, amelyet ausztenites acél rétegek fémszórására használnak. A hegesztőpor összetételét a 2. táblázat tartalmazza. A szakirodalom szerint, a duplex acélok porszórási hegesztés

Acél jele	Kémiai összetétel, tömeg%									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Cu
LDX 2101	0,023	0,66	4,97	0,022	0,001	21,49	1,51	0,29	0,228	0,25
2205	0,019	0,37	1,42	0,022	0,001	22,4	5,8	3,16	0,177	-

1. táblázat: A kísérletekben felhasznált duplex acélok kémiai összetétele

A felhasznált hozaganyagok	Kémiai összetétel (tömeg%)							
	Fe	Cr	Ni	Mo	Si	C	N	Mn
Metco 41C hegesztőpor	Fő alkotó	17	12	2,5	2,3	0,03	-	-
LDX 2101 pálcá	Fő alkotó	23	7	<0,5	0,4	0,02	0,14	0,5

2. táblázat: A hegesztéshez használt hegesztőpor és pálcá kémiai összetétele

tése esetén olyan port célszerű használni, amelynek nikkeltartalma 2–4%-kal nagyobb az alapanyag nikkeltartalmánál [1].

A lézersugaras hegesztési kísérletek során változtattuk a védőgáz összetételét és az előtolási sebességet. A kísérleti programban 14 db jól értékelhető és vizsgálható hegesztett kötést készítettünk.

A kísérletek eredményének értékelése

A ferrittartalom meghatározása ferritszkóppal

A hegesztést követően Fischer Ferriscope FMP 30 típusú ferritszkóppal megmértük a varratok ferrittartalmát úgy, hogy a koronaoldalon és a gyökoldalon is 3-3 pontban mértünk. Mind-egyik mérési pontban három mérést végeztünk, és a három mérés átlagát tekintettük az adott pont ferrittartalmának. A számított átlagértékek alapján elmondható, hogy a lézersugaras hegesztésnél a porszórással készült varratok ferrittartalma minden minta esetén kisebb, mint az ugyanolyan hegesztéstechnológiai tényezőkkel, de porszórás nélkül készített varratoké. A TIG-hegesztéssel készült varratok ferrittartalma kisebb a lézersugaras hegesztéssel készült varratok ferrittartalmánál.

A mért értékek szórása több esetben is 5% feletti, amiből az következik, hogy a ferritszkópos mérés ebben az esetben nem elég pontos; ennek az a magyarázata, hogy a varrat geometriája – alapvetően a szélessége, amely kisebb is lehet a ferritszkóp szondája által gerjesztett sáv szélességétől – jelentősen befolyásolja a mért értéket, mérési hibát okoz.

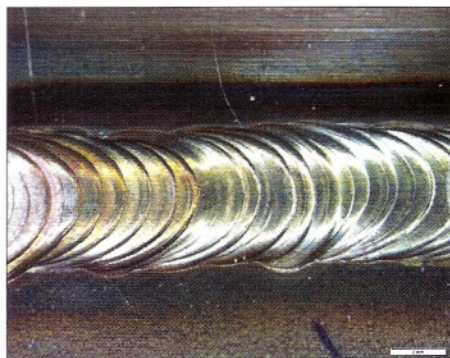
Metallográfiai vizsgálat

A hegesztési varratok beolvadási jellegének tanulmányozásához keresztcsiszolatokat készítettünk. A ferrit és az ausztenit fázis megkülönböztethetősége céljából színes maratást alkalmaztunk (Beraha-marószor: 100 ml H₂O, 18 ml HCl, 0,2 g K₂S₂O₅, 2,0 g NH₄FHF). Az 1. és 2. ábrán látható a réz-kloridos marószorral (marószor: 5 g CuCl₂, 100 ml HCl, 100 ml H₂O) mart varratok keresztmetszeti képe.

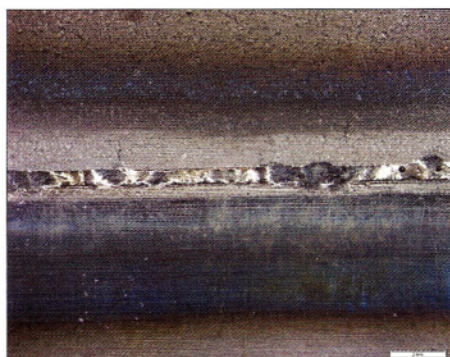
A 3. ábrán jól látható, hogy a TIG-hegesztéssel készült varratoknál a különböző anyagminőségű acélok hőhatásövezetének szövetszerkezete eltérő. Az LDX 2101 típusú acél hőhatási

zónájában, a ferritszemcsék határain és a szemcséken belül is képződött ausztenit. A 2205-ös duplex acél hőhatási zónájában kevesebb ausztenit képződött a ferritszemcsék határain és a szemcséken belül a ferritszemcsék durvulása is megfigyelhető, ugyanis a delta-ferritből szilárd fázisban kialakuló ausztenit, nagy hőmérsékleten, a szemcsehatárokon képződik, kisebb hőmérsékleteken pedig a ferritszemcséken belül is megindul az ausztenitképződés [4] [5].

A varratfémekben az ausztenitzemcsék Widmanstätten-mintázatúak. Ebben az esetben is a szemcsehatáron indult meg az ausztenitképződés, és a szemcsehatárról a kialakult összefüggő ausztenitzemcsé növekedése közben behatolt a ferritszemcsé belsejébe. A 4. ábrán nagyobb nagyításban láthatók a varratfém és a hőhatásövezet világos színű, Widmanstätten-típusú, tűs ausztenitzemcséi.



a)



b)

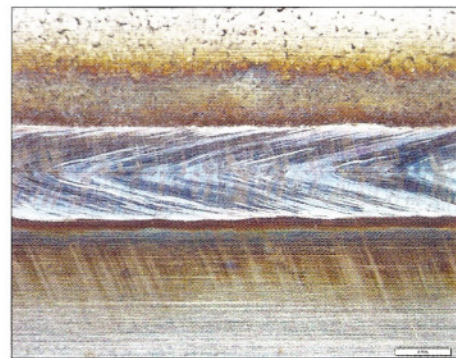


c)

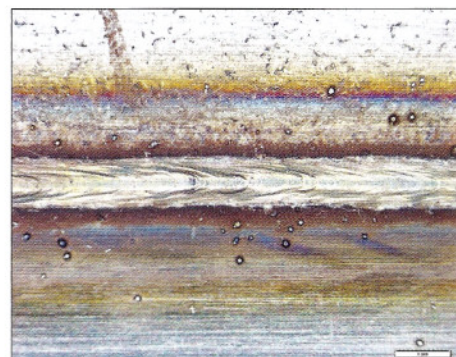
1. ábra. Hézag nélküli illesztéssel, TIG-hegesztéssel készült varrat koronaoldala (a), gyökoldala (b) és keresztcsiszolati képe (c); a lemezvastagság 1,5 mm

A lézersugaras hegesztés esetén a varratfém szövetszerkezete jelentősen eltér a TIG-hegesztéssel készült varratokétól. Előbbi esetén a hosszanti irányban megnyúlt ferritszemcsék orientációja a hegesztés közben kialakult hőmérséklet-gradiens irányát követi (5–6. ábra). A ferritszemcsék határain vékony ausztenitháló alakult ki, amely néhány helyen megszakad (6.b. ábra). A ferritszemcséken belül egymástól különálló, apró ausztenitzemcsék váltak ki. A hőhatásövezetben a szemcséken belül nagyon kevés ausztenit képződött. Ez a szövetszerkezet hasonló a szakirodalomban bemutatott, elektronsugaras hegesztéssel készült varratok szövetszerkezetéhez [4].

Az ausztenitképződés sebességét a nitrogéndiffúzió sebessége határozza meg. Nagy hőmérsékleten több nitrogén oldódik a ferritben, mint kisebb hőmérsékleten, ami azt jelenti, hogy hűlés közben csökken a ferrit fázis



a)

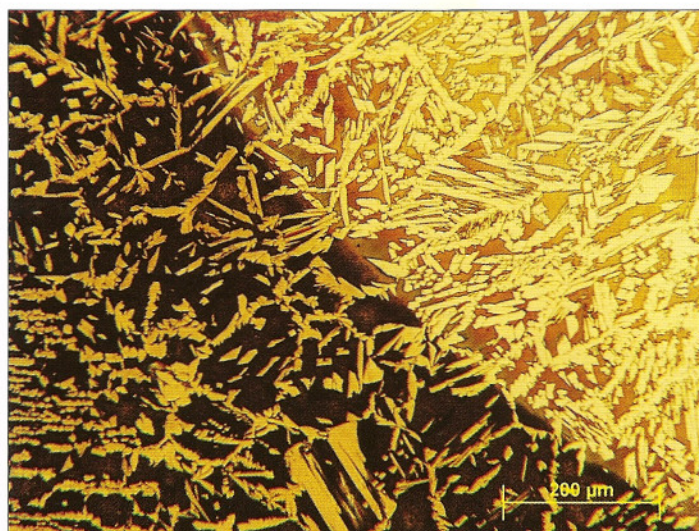


b)

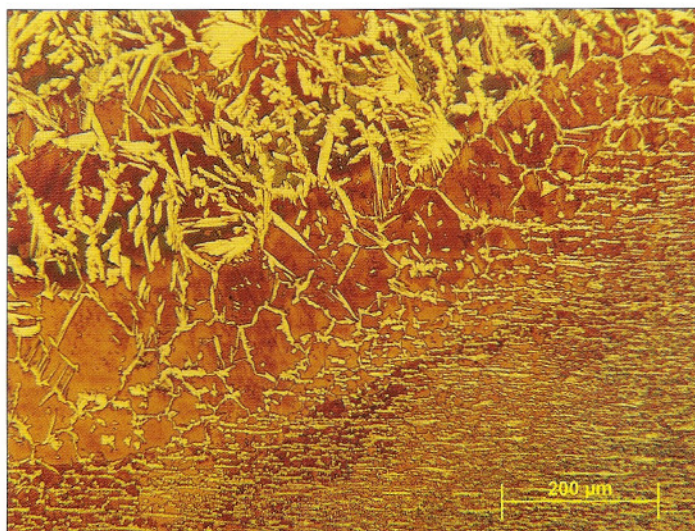


c)

2. ábra. Lézersugaras hegesztéssel készült varrat koronaoldala (a), gyökoldala (b) és keresztcsiszolati képe (c); a lemezvastagság 1,5 mm

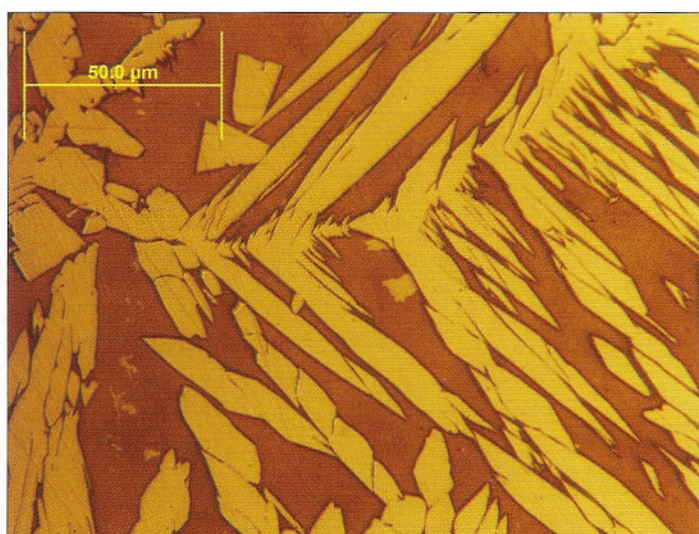


a)

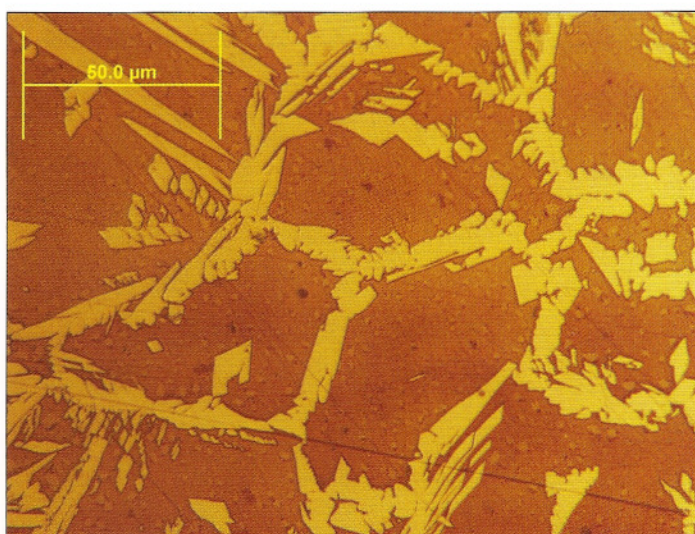


b)

3. ábra. A volfrámelektrodás hegesztéssel hegesztett varratfém és a hőhatásövezet határa az LDX2101 (a) és a 2205-ös acél (b) oldalán



a)



b)

4. ábra. A TIG-hegesztett kötés varratfém (a) és a 2205 acél oldali hőhatásövezet (b) szövetszerkezete

nitrogéntartalma. A felszabaduló nitrogén a szemcsehatárokon diffundál, ahol megindul az ausztenitképződés. Először a szemcsehatárokon indul meg az ausztenitképződés, amit a Widmanstätten-szerkezet kialakulása követ, végül pedig a ferritszemcséken belül képződik ausztenit. Mindez a ferritszemcse méretétől és a hűlési sebességtől függ. [1, 2, 6, 7] A delta-ferrit ausztenitté történő átalakulása során az ausztenit szemcsenagysága kisebb, mint a kiinduló ferrit és lényegesen kisebb, mint az ausztenitesen kristályosodó korrózióálló acéloké [8].

A kétféle hegesztési eljárással készült varratok eltérő szövetszerkezete eltérő hűlési sebességre utal [1, 6]. A lézersugaras hegesztés esetén nagyobb volt a hűlési sebesség, ami miatt kevesebb ausztenit képződött, mint a TIG-hegesztéssel készült varratok-

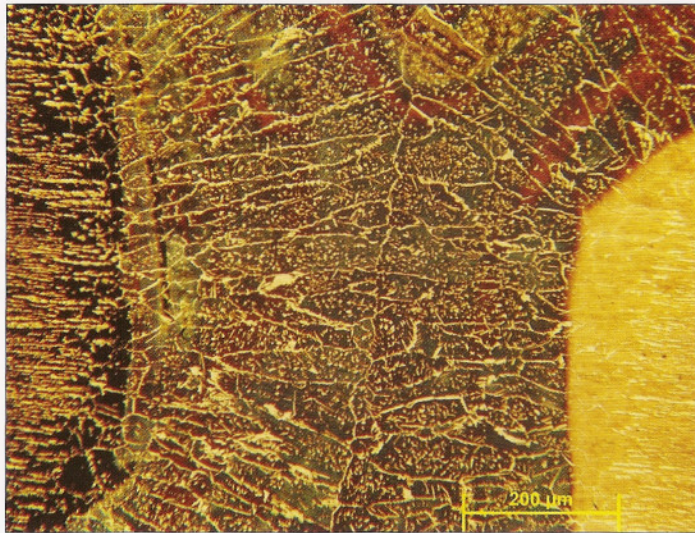
ban. Mindezt a ferrittartalom-mérési eredményeink is alátámasztják.

A ferrittartalom meghatározása metallográfiai úton

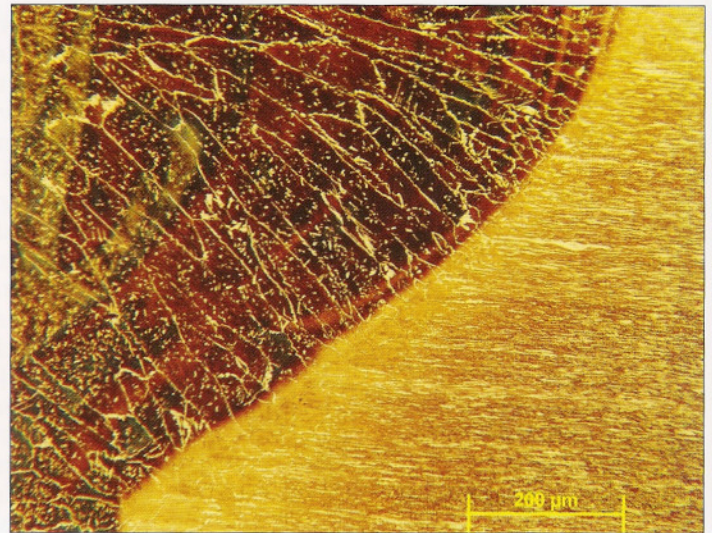
A varratfémekben és a hőhatásövezetben a ferrit-ausztenit arányt metallográfiai csiszolatokról készített szövetképeken, képelemző szoftver segítségével határoztuk meg, amihez jó minőségű, színes, kontrasztos fénymikroszkópos képekre volt szükségünk. A hőhatási zónákról és a varratfémről is 500 × nagyítású képeket készítettünk, és a fázisarányt a JMicroVision programban a háttér elkülönítésével határoztuk meg (7. ábra). Az eredmények alapján elmondható, hogy a TIG-hegesztéssel készített varratok ferrittartalma minden esetben kisebb a lézersugaras hegesztéssel készült varratok ferrittartalmánál.

Az adatokat grafikonon ábráztuk a védőgáz nitrogéntartalmának függvényében (8. ábra), valamint összehasonlítottuk a ferritszkóppal mért értékekkel is. A védőgáz nitrogéntartalmának nagymértékű növelése, mérhető hatással van a varratok ausztenittartalmára. Míg a szakirodalomban ajánlott 0,5–2,0% nitrogéntartalom hatásának kimutatásához több minta és/vagy pontosabb mérési módszer lenne szükséges [1]. A ferritszkópos mérések eredményéhez hasonlóan a porszórással készített varratok ferrittartalma itt is kisebb, mint a por nélkül készítettéké.

A kétféle módszerrel mért ferrittartalom összehasonlításához minden egyes varrat koronaoldalán 3 pontban mért ferrittartalom értékek átlagát vettük, és ezt hasonlítottuk össze a varratfém képelemző szoftverrel meghatározott ferrittartalmával (9. ábra).

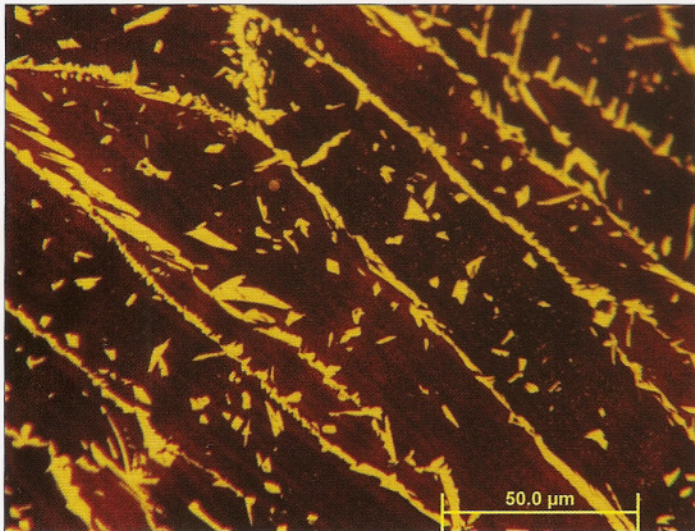


a)

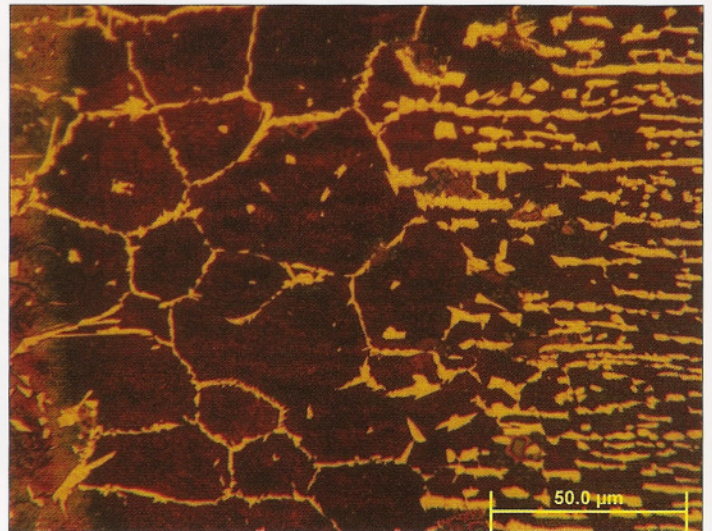


b)

5. ábra. A varratfém (a) és a hőhatásövezetek (a és b) a lézersugaras hegesztéssel készült kötésben

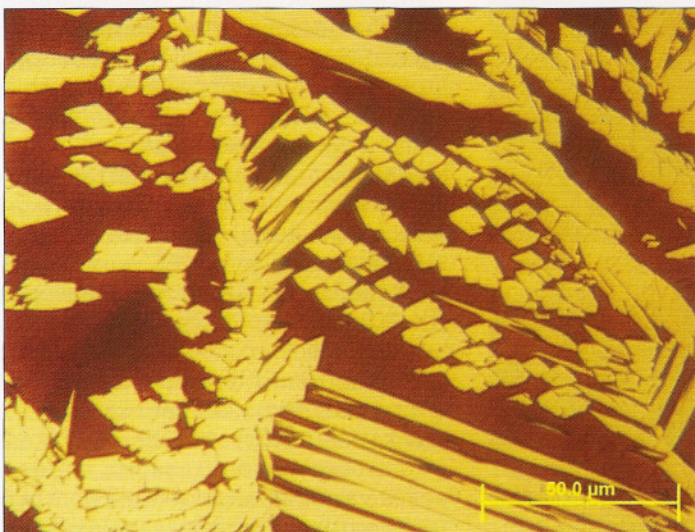


a)

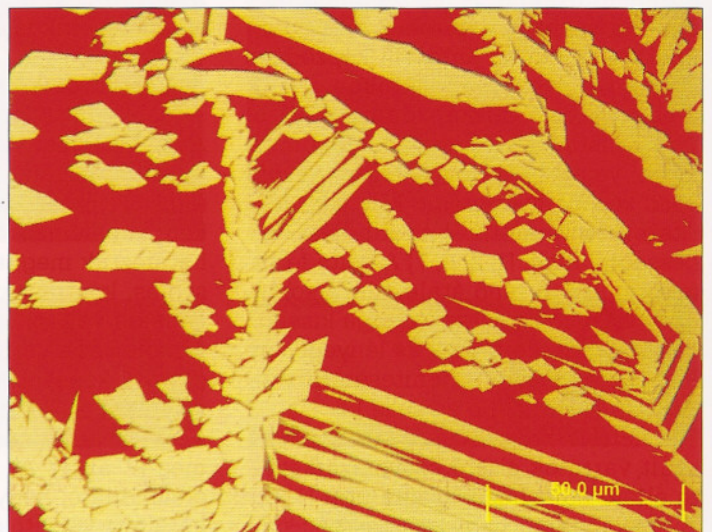


b)

6. ábra. A varratfém hosszirányú ferritszemcséi (a) és a hőhatásövezet szövetszerkezete a 2205-ös acél oldalán (b) a lézersugaras hegesztéssel készült kötésben

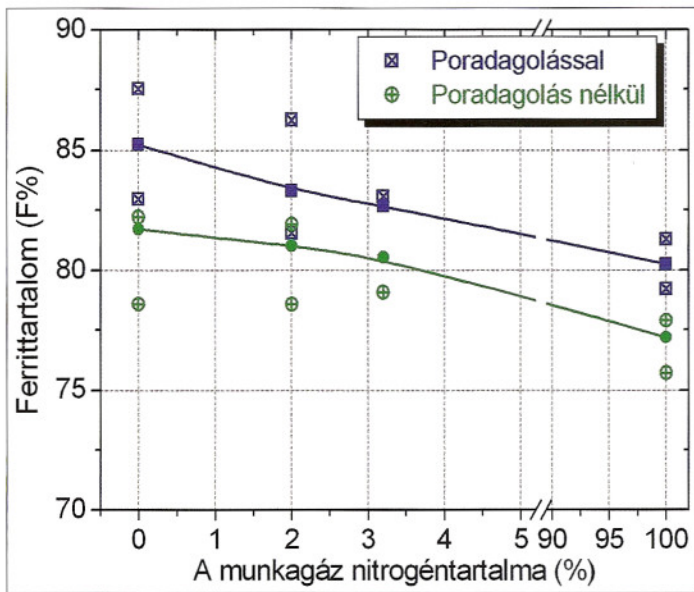


a)

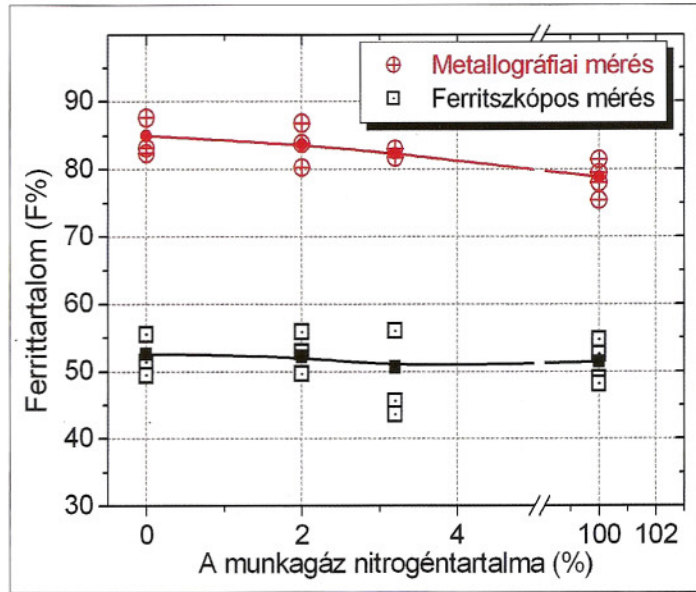


b)

7. ábra. TIG-hegesztéssel készített kötés varratfémének maratott képe és a háttér elkülönítése a képelemzővel (a pirosra színezett fázis a delta-ferrit)



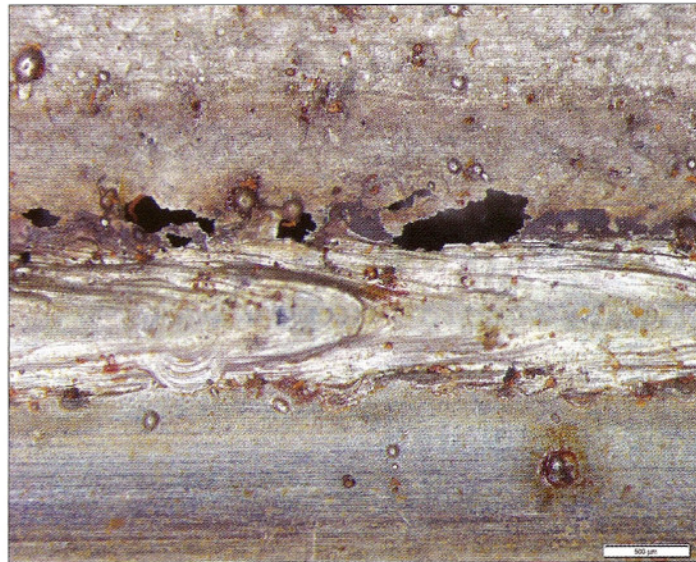
8. ábra. A varratfém ferrittartalma a védőgáz nitrogéntartalmának függvényében a lézersugaras hegesztéssel készített varratok esetén



9. ábra. A ferritszkóppal mért és a képelemző szoftverrel meghatározott ferrittartalom értékek



a)



b)

10. ábra. Lyukkorróziós bema­ródások a lézersugaras hegesztési varrat LDX 2101-es acél oldalán, a koronaoldalon (a) és a gyökoldalon (b)

A grafikonon az látszik, hogy nagy eltérés van a két mérési módszer között, ezért nem lehet összehasonlí­ tani az értékeket. Ebből következik ferritszkóp tapintófeje nem alkalmas ilyen keskeny varratok mérésére, mert nemcsak a varratban gerjeszt térfoga­ tot, hanem annak szűk környezetében is, ami mérési hibát okoz.

Korróziós vizsgálat

A korróziós vizsgálatot az ASTM G 48- as szabvány szerint végeztük el, ami szigorú feltételeket szab az acélok és hegesztési varratainak lyukkorróziójá­ nak vizsgálatára. A minták előkészíté-

se során először eltávolítottuk a sorját a vágási éléről, majd ultrahangos tisztítóban, acetonban letisztítottuk vizsgálati mintákat. A minták tömegét, a későbbi tömegfogyás kimutatása érde­ kében analitikai mérlegen megmértük, majd ezután behelyeztük őket a szab­ ványban megadott 6%-os vas(III)-klorid oldatba, és 48 óráig hagytuk benne. A kivétel után újra acetonnal tisztítottuk meg őket, és ismét megmértük az egyes minták tömegét. Minden eset­ ben jól mérhető volt a tömegfogyás. A poradagolásos, lézersugaras hegesztés­ sel készült minták esetén kisebb volt a relatív tömegfogyás, mint a poradago­ lás nélkül készítetteteknél.

A lézersugaras hegesztési varra­ tok korróziója (10. ábra) eltérő jelle­ gű, mint a TIG-hegesztési varratok korróziója. Előbbi esetén apró bema­ ródások láthatók a korona- és gyök­ oldalon az LDX 2101 hőhatásöveze­ tében. Míg a lézersugaras varratok esetén LDX 2101 típusú acél hőha­ tásövezetében a korona- és gyökolda­ lon egyaránt nagy bema­ródások lát­ hatók, és több helyen átlyukadt a le­ mez. A sztereomikroszkópos vizsgálat alapján, a gyökoldalon nagyobb az ún. lyuksűrűség, mint a koronaoldalon, ami a nem megfelelő gyökvédelemmel magyarázható. A varraton és a 2205-ös acél hőhatásövezetében ezzel szem-

ben a varrat mindkét oldalán nagyon kevés bemarkolás található. A teszt eredményéből azt a következtetést lehet levonni, hogy a kétféle hegesztési technológia eltérő hatással van a duplex acélok korrózióval szembeni ellenállására. Az LDX 2101 típusú duplex acél hőhatásövezete rendkívül érzékeny a lyukkorrózióra.

Összefoglalás

A lézersugaras és a TIG-hegesztéssel készült tompakötések szövetszerkezetének metallográfiai és képelemző szoftverrel végzett vizsgálatával, valamint ferritszkópos méréssel meghatároztuk a varratok ferrittartalmát. A kétféle mérési módszer eredményei egymástól jelentősen eltérnek, ezért nem lehet azokat összehasonlítani egymással.

Az eredmények azonban azt mutatják, hogy a lézersugaras hegesztési varratok ferrittartalma nemcsak a hőhatásövezetben, hanem a varratfémekben is nagyobb, mint a TIG-hegesztési varratok ferrittartalma. A hozaganyag (pálca, por) és a védőgázhoz adott nitrogén, azonban növeli az ausztenit mennyiségét a varratfémekben. A TIG-hegesztési varratok ferrit-ausztenit aránya közel esik az alapanyag fázisarányához. A korróziós teszt eredménye alapján a 2205-ös acél hőha-

tásövezete csak kis mértékben korrodálódott, amiből az a következtetés vonható le, hogy nem egyedül a ferrittartalom befolyásolja a korróziós tulajdonságokat, hanem a fázisokban lévő ötvözők eloszlása is. Ezek alapján valószínűsíthető, hogy két 2205-ös duplex acél hegesztési varratának és hőhatásövezetének megfelelő lehet a lyukkorrózióval szembeni ellenállása.

Köszönetnyilvánítás

Bitay Enikő személyéhez kötődően a kutatás az EU és Magyarország támogatásával a TÁMOP 4.2.4.A/1-11-1-2012-0001 azonosítószámú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Robert N. Gunn: Duplex stainless steels. Abington Publishing, Cambridge, 1999.
- [2] Bődök Károly: Az ötvözetlen, a gyengén és erősen ötvözött szerkezeti acélok korrózióállósága, különös tekintettel azok hegeszthetőségére. Corweld Kft. Budapest, 1997.
- [3] Szunyogh László (szerk.): Hegesztés és rokon technológiák. Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007.

- [4] V. Muthupandi, P. Bala Srinivasan, S. K. Seshadri, S. Sundaresan: Effect of weld metal chemistry and heat input on the structure and properties of duplex stainless steels. Material Science and Engineering, A358 (2003) 51–57.
- [5] Staffan Hertzman, Jacques Charles: On the effect of nitrogen on duplex stainless steels. Revue de Métallurgie, 108 (2011:7-8) 413–425.
- [6] Thoria Sharef: Laser welding of duplex stainless steels. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, 2013.
- [7] Göran Wahlberg: The role of nitrogen in duplex stainless steels. PhD-értekezés, Chalmers University of Technology, Göteborg, 1989.
- [8] Komócsin Mihály: Duplex szerkezetű korrózióálló acélok hegesztése. Gép, 59 (2008:1) 24–27.

*Lőrinc Zsuzsanna,
egyetemi hallgató, BME TTK

**Buza Gábor,

osztályvezető, BAY-ATI

***Csizmazia János

tudományos munkatárs, BAY-ATI

****Bitay Enikő,

egyetemi docens, Sapientia Erdélyi

Magyar Tudományegyetem

*****Dobránszky János,

tudományos főmunkatárs,

MTA–BME Kompozittechnológiai

Kutatócsoport

Magyar tulajdonú, fémszerkezetek és nyomástartó edények gyártásában nemzetközi tapasztalattal rendelkező Társaság magyarországi telephelyére (Dél-Budapesti régió) keres:

Hegesztőmérnök / Hegesztőfelelős kollégát.

Elvárások:

- Műszaki főiskolai / egyetemi IWE/ EWE (Nemzetközi/ európai) hegesztőmérnöki végzettség
- Legalább 3-5 éves hegesztési területen szerzett mérnöki tapasztalat
- Jó problémamegoldó- és kommunikációs készség- Középszintű, **aktív német** nyelvtudás
- Érvényes előírások, szabványok ismerete – EN13445, PED/AD2000, ISO 3834-2 és EN-15085

Feladatok:

- Hegesztési folyamatok megtervezése, kivitelezése, a hegesztők napi szintű támogatása
- Új termékek bevezetése, prototípusgyártás, Rajzról hegesztési technológia és a normaidők kidolgozása
- Az alapanyagok szerkezeteinek és tulajdonságainak ismerete, a varratok megfelelő szintű elemzése
- Hegesztési, hőkezelési technológiai és személyi dokumentációk elkészítése és karbantartása.
- Hegesztőkészülékek állapotának felmérése; új beszerzések felmérése, a termelésbe való bevezetése
- Hegesztő munkaterület működésének racionalizálása. Megfelelő munkakörnyezet kialakítása (5S)

- Minőségjavító intézkedések bevezetése, KVP (CPI), FMEA, 5S elvek ismerete, támogatása
- Társosztályokkal, beszállítókkal, vevőkkel való kapcsolattartás, hegesztők oktatása, képzése
- Közreműködés a minőségirányítási feladatokban, minőségirányítási dokumentumok karbantartásában,
- Auditokra felkészülés, hegesztőüzem ezeknek való megfelelésének biztosítása
- Az alap- és segédanyag rendelések intézése, a beérkezett anyagok bizonylatos átvétele

Előnyök: Nyomástartó edények hegesztésének és a **111, 131, 135, 141** heg.technológiák ismerete

Amit kínálunk:

- Versenyképes jövedelem – a folyamatos szakmai fejlődéshez szükséges képzések finanszírozása
- Generáció hosszúságú munkahely – magyar tulajdon, magyar telephely – jó munkahelyi légkör

Jelentkezés:

Pályázati anyagát (fényképes szakmai önéletrajz és motivációs levél) küldje az: istvan@habenczyus.hu címre