

AUTÓIPARI DC ÉS DP ACÉLOK LÉZERSUGARAS HE- GESZTHETŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

THE INVESTIGATION OF DC AND DP STEELS WELDA- BILITY BY LASER BEAM

Kovács Zsolt Ferenc^{1*}, Béres Gábor², Weltsch Zoltán²

¹ Járműtechnológia Tanszék, Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetemen, Magyarország

² Anyagtechnológia Tanszék, Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetemen, Magyarország

Kulcsszavak:

lézer
hegesztés
DP-acél

Keywords:

laser
welding
DP-steel

Cikk történet:

Beérkezett: 2017. szeptember 11

Átdolgozva: 2017. szeptember 25

Elfogadva: 2017. október 20.

Összefoglalás

A kutatás során célul lett tűzve nagyszilárdságú acéllemezek (DP600, DP800, DP1000) és hidegen hengerelt ötvöztelen lágyacél lemezek (DC04) vegyeskötésének a létrehozása lézersugaras hegesztéssel, majd a kötések vizsgálata. A kötések metallográfiával és keménységméréssel lettek kiértékelve. A kísérlet során a szerzők korábbi tapasztalatok és irodalmi kutatások segítségével végezték el a kísérleteket, melyekhez modern berendezéseket és informatikai eszközöket használtak.

Abstract

In this publication the authors present the results about of their research. During this research cold formable steel (DC04) and high strength steels (DP600, DP800 and DP1000) were welded with Nd:YAG laser beam. The reason why chose laser beam welding is about the sheet thickness and the dissimilar welding, because the laser beam is suitable to weld thin sheet and combination of different type of materials. The evaluation was done by modern instruments and IT equipment.

1. Bevezetés

Napjainkban az autóiparban alkalmazott acéltípusok száma egyre több, ezzel biztosítva a gépjárművek növelt merevségét és szilárdságát, valamint súlyuk csökkentését. Ezen előnyök elérése érdekében fontos szerepet kapott a karosszériaelemek hegesztéseinek a fejlesztése, hiszen itt már több anyagcsoportot kell összehegeszteni, ami vegyeskötések létrehozását eredményezi.

A kutatás során nagyszilárdságú ferrit-martenzites acéllemezek (DP600, DP800, DP1000) és hidegen hengerelt ötvöztelen lágyacél lemezek (DC04) vegyeskötésének a létrehozása és a kötések vizsgálata által használható technológiai paraméterek meghatározása volt a cél. Hasonló kísérleteket végeztek G. B. Broggiato és társai is, de ők DP-22MnB5 acélt hegesztettek lézersugárral [1].

1.1. Hidegen hengerelt ötvöztelen lágyacél (DC steel)

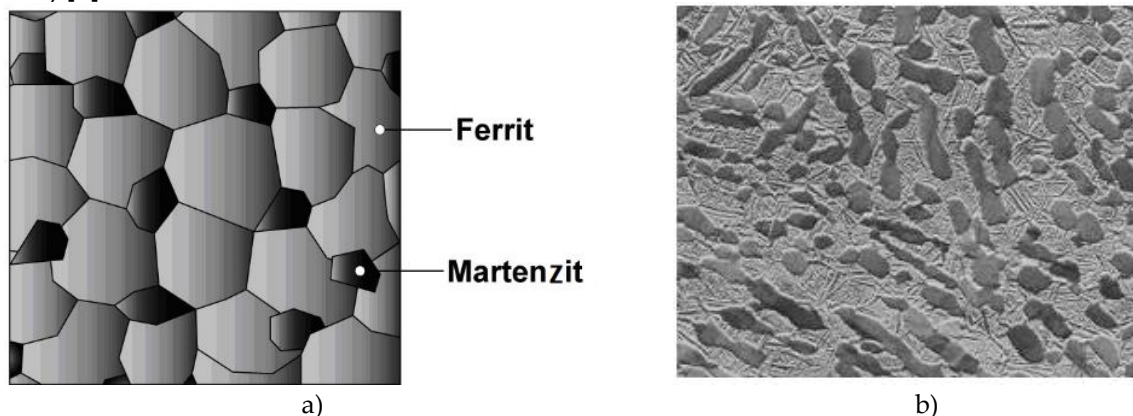
A DC acélok kifejezetten hidegalakítható lemezanyagnak lettek kifejlesztve. Két csoportra bontható, ahol a DC01 – DC03 acélokat kis- és közepes mértékű mélyhúzásra, míg a DC04 – DC05 acélokat kifejezetten különlegesen mélyhúzott és bonyolult alkatrészek gyártására fejlesztették ki. Minőségtől függően a szakítószilárdsága 270-410 MPa között változik [2].

* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 20 532 2092
E-mail cím: kovacs.zsolt@gamf.uni-neumann.hu

1.2. Kettős-fázisú acélok (Dual-Phase steel)

A DP acélok a nevükből is következően kettős fázisú acélok: szövetszerkezetük lágy, jól alakítható ferritbe ágyazott, diszperz eloszlású martenzit szigetekből áll [3]. A kettős-fázisú acélok mikroszerkezetét a martenzit és ferrit aránya határozza meg. Ezt az arányt precízen változtatva és megfelelő ötvözőket alkalmazva az igényeknek megfelelő mechanikai tulajdonságokkal rendelkező acél készíthető. Jellemző ötvözői a Mn (1,5-2,5 %), Si, Cr, Mo (0,4 %), V (0,06 %), Nb (0,04 %), a Mn csökkenti a fázisátalakulási hőmérsékletet, növeli a szilárdságot és csökkenti az átmenet hőmérsékletet, azaz a ridegtörési hajlamot [4].

A DP acélok szövetszerkezete lágy, jól alakítható ferritbe ágyazott, diszperz eloszlású martenzit-szigetekből áll, amelyek mennyisége 10-60% között változik az acél típusától függően (1. ábra) [4].



1. ábra Duálfázisú acél szövetszerkezetének a) sematikus ábrája és b) mikroszkópi felvétele [3]

Az 1. ábrán a ferrit szövetelem (szürke szemcsék) összefüggő mátrixot alkot, ez a mátrix a jó alakíthatóságért felel. A mátrixba ékelődött kisebb martenzit szemcsék (fekete szemcsék) a szerkezet szilárdságát növelik. E tulajdonsága teszi alkalmassá olyan elemek gyártására, ahol a nagy szilárdság az elsődleges kritérium, mint az ajtó-, tető-elemek, A és B oszlopok, melyeknek ütközés esetén igen nagy terhelésnek kell ellenállniuk. [5]

2. DC és DP acélok hegesztéstechnikai tervezése

2.1. Felhasznált anyagok és eszközök

A nagyszilárdságú DP acéllemezek közül a DP600, DP800 és DP1000 minőségű acélokat, míg a hidegen hengerelt ötvöztelen DC lágyacélok közül a DC04-es acélminőséget használtuk. A felhasznált lemezek mechanikai tulajdonságait a 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat A felhasznált anyagok mechanikai tulajdonságai

Minőség	α (°)	s (mm)	b_0 (mm)	l_0 (mm)	R_m (MPa)	$R_{p0.2}$ (MPa)	R_e (MPa)	A_{80} (%)	Martenzit (%)
DP600	0	1	20	80	645	781		21,6	26,6
	45	1	20	80	655	732	445	20,5	
	90	1	20	80	669	789		19,8	
DP800	0	1	20	80	881	562		16,4	42,1
	45	1	20	80	873	568	571	16,6	
	90	1	20	80	884	582		14,3	
DP1000	0	1	20	80	1099	434		11,7	65
	45	1	20	80	1087	441	767	10,5	
	90	1	20	80	1111	461		9,7	
DC04	0	1	20	80	328,1	230		41,0	
	45	1	20	80	345,7	240	238	35,4	
	90	1	20	80	325,3	240		39,6	

A rendelkezésre álló acélminőségek kémiai összetétele számunkra pontosan nem volt ismert, ezért FOUNDRY MASTER PRO típusú spektrométerrel meghatároztuk (2. táblázat).

2. táblázat Felhasznált anyagok spektrométerrel meghatározott vegyi összetétele

Minőség	DP600	DP800	DP1000	DC04
C (%)	0,118	0,120	0,142	0,022
Si (%)	0,217	0,198	0,472	0,025
Mn (%)	0,785	1,430	1,470	0,231
P (%)	0,022	0,020	0,015	0,010
S (%)	0,003	0,001	0,008	0,003
Cr (%)	0,023	0,027	0,017	0,213
Al (%)	0,052	0,037	0,052	0,033
Cu (%)	0,007	0,005	0,002	0,040
Nb (%)	0,121	0,017	0,015	0,002
Ti (%)	<0,001	0,001	0,002	0,001
B (%)	0,003	0,003	0,004	0,002
N (%)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

A vegyelemzés eredményeiből látható, hogy a vizsgált lemezek az alakíthatóság biztosítása végett kis karbontartalommal rendelkeznek, illetve a szilárdság növelése végett egyes lemezekben a mangántartalom volt nagyobb.

A lemezeket a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. lézerhegesztéssel foglalkozó osztályának kutató laboratóriumában hegesztettük össze. A hegesztéshez Rofin DY 027 Nd:YAG sugárforrású (max. 2,7 kW fénytjeljesítményű) diódagerjesztésű Nd:YAG lézert (hullámhossz 1064nm) alkalmaztunk. A lézert fényt optikai szál vezeti az optikai fejbe, melyet egy ABB (IRB2400 M2000) robot mozgat.

2.2. A hegesztés előkészítése és menete

A hegesztést autógépen (hozaganyag nélkül) végeztük és a varrat védelem érdekében 99,996%-os tisztaságú Ar védőgázt (18 liter/min-es áramlási sebességgel) használtunk, de csak a koronaoldalt volt gázvédelem. A gázhozzávezetést külső fúvóka biztosította.

Lézersugaras hegesztésnél a lézernyaláb alakját és teljesítményét számos paraméter befolyásolja. Ezeket a paramétereket részletesen az MSZ EN ISO 11145 szabvány tartalmaz. Mivel a DP-DC acélok lézerhegesztéséhez szükséges optimális paramétereket nem ismertük, egy kísérlettervet készítettünk, amit a 3. táblázat tartalmaz.

3. táblázat Lézersugaras hegesztés technológiai paramétere

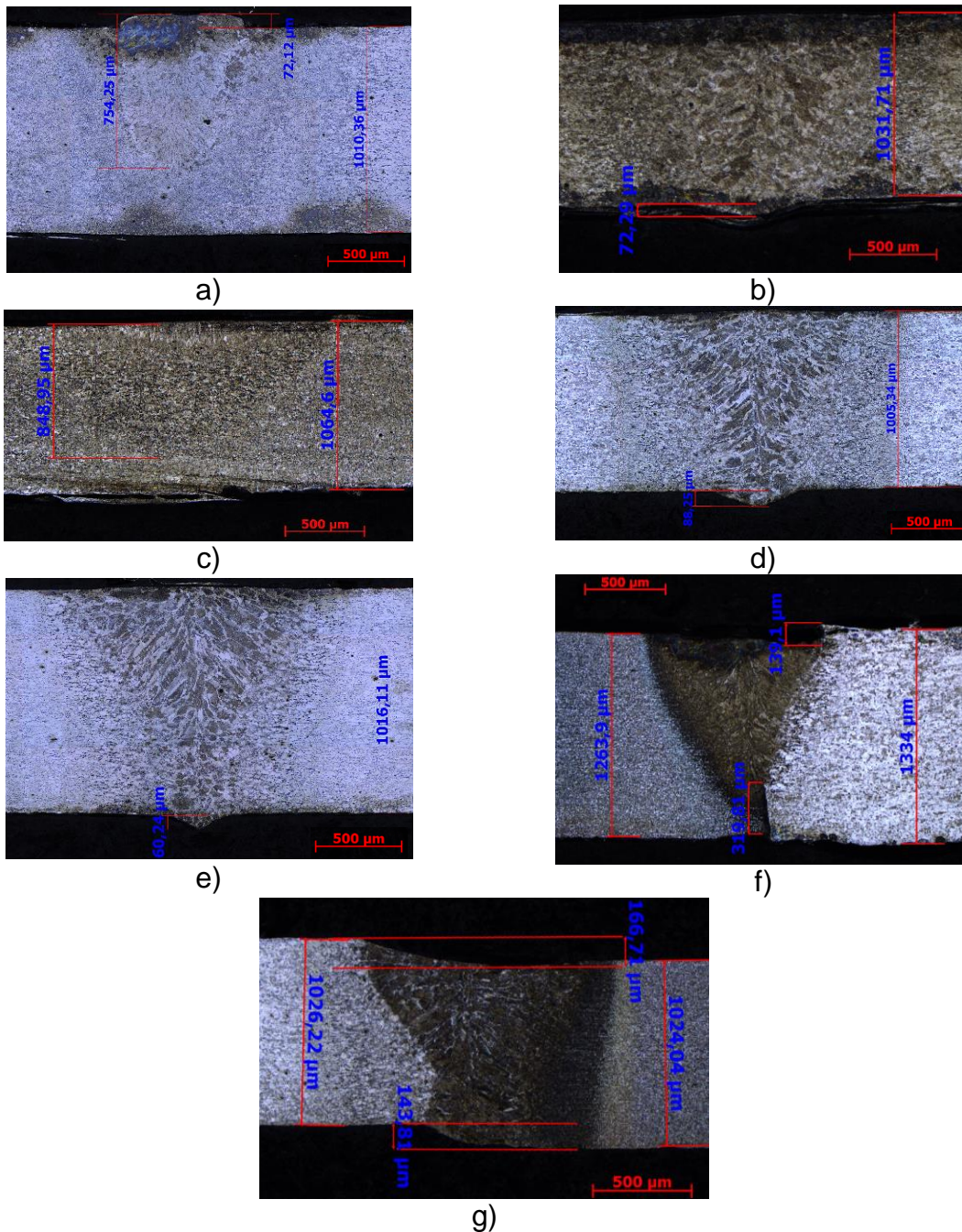
Minta jele	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Lemezanyag	DC04	DC04	DC04	DC04	DC04	DP600-DC04	DP600-DC04
Hegesztési sebesség, v_h (m/min)	2,0	2,0	2,0	2,5	3,0	3,0	2,5
Rayleigh-hossz, z_R (mm)				12,612			
Folytonos teljesítmény, P (kW)	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Beütési frekvencia (Hz)				1			
Kitöltési tényező (%)				100			
Fókuszpozíció (mm)	0	0	0,5	0	0	0	0
Nyalábátmérő, d_u (mm)				0,4			
Hullámhossz, λ (nm)				1064			
Fókuszálási szög, θ (°)				12,0			
Fókuszfolt sugár, ω_z (mm)				0,112			
Fókuszfolt terület, A (mm ²)	0,0394	0,0394	0,0396	0,0394	0,0394	0,0394	0,0394
Hőteljesítmény, Q (J)	1000	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Teljesítménysűrűség, Q/A (W/cm ²)	2,53x10 ⁶	3,05x10 ⁶	3,03x10 ⁶	3,05x10 ⁶	3,05x10 ⁶	3,05x10 ⁶	3,05x10 ⁶
Fajlagos hőbevitel, Q/v_{heg} (J/cm ²)	300	360	360	288	240	240	288

3. KAPOTT EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

A hegesztési varratok kiértékelését az MSZ EN ISO 15614-11:2002 szabványban megfogalmazott vizsgálatok alapján végeztük. A kiértékelés részletes leírását a következő pontok tartalmazzák.

3.1. A kötések kiértékelése metallográfiai vizsgálatok alapján

A kötéseket az MSZ EN ISO 13919-1:2000 szabvány szerint vizsgáltuk. A kiértékelés érdekében a mikroszkópi képeken a varrateltéréseket a szabványban megfogalmazottak alapján a mikroszkóp programjában végeztük. A hegesztett kötések eltéréseinek méretei a 2. ábrán láthatóak.



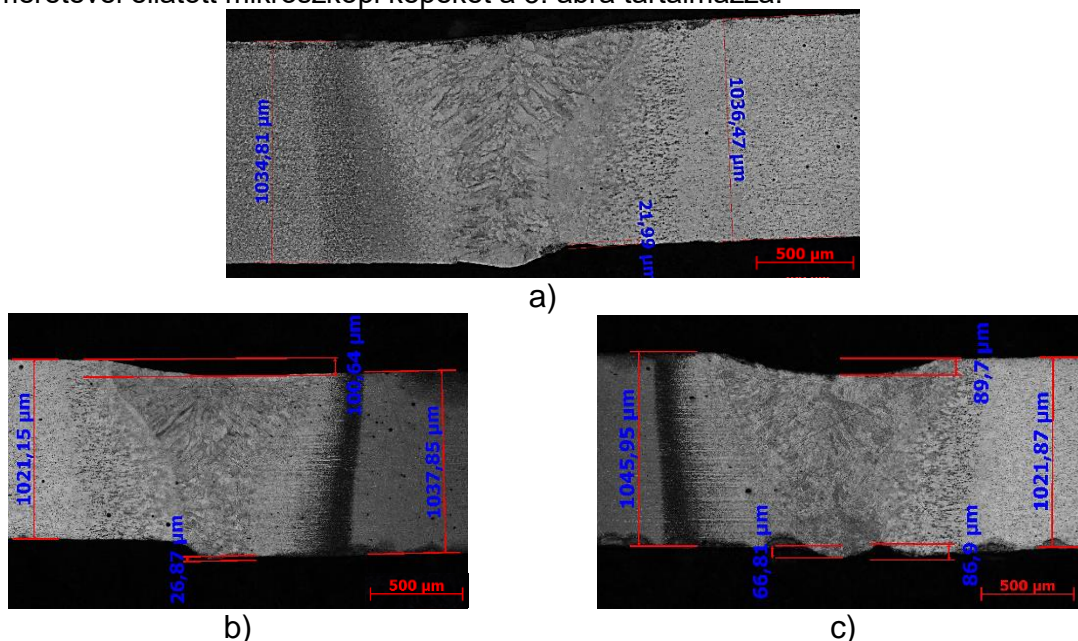
2. ábra Hegesztett kötések a) P1; b) P2; c) P3; d) P4; e) P5; f) P6 és g) P7 kiértékelésének mikroszkópi képei és az eltérések mérete

A mérési eredmények ISO 6520 szerinti besorolásának kiértékelését a 4. táblázatban foglaltuk össze.

4. táblázat Hegesztett kötések kiértékelő táblázata az MSZ EN ISO 13919-1:2000 szabvány szerint

Minta jele	Eltérés megnevezése	ISO 6520 szerinti kód-száma	Eltérések határértékei a minőségi szintekhez (D-mérsékelt; C-közepes; B-fokozott)	Megfelelőségi állapot (igen/nem)
P1	Átolvadási hiba	402	B	nem
	Túlzott varratdudor	502	B	
P2	Gyökátfolyás	504	B	nem
P3	Átolvadási hiba	402	B	nem
P4	Gyökátfolyás	504	B	igen
P5	Gyökátfolyás	504	B	igen
P6	Átolvadási hiba	402	B	nem
	Élletolódás	507	D	
P7	Élletolódás	507	D	igen

A varratok mikroszkópi képét látva a P1-es varrat (2. ábra a) képe) $h=256 \mu\text{m}$ -es átolvadási hiánnyal rendelkezik, ami a lemezvastagság $\sim 1/4$ -e. A P2-es varrat (2. ábra b) képe) túlzott gyökátfolyással rendelkezik, ami a 0,2 kW-os lézerteljesítmény növelés következménye. A P3-as varrat (2. ábra c) képe) szintén átolvadási hibával rendelkezik, aminek értéke: $h=216 \mu\text{m}$. Az átolvadási hiba a 0,5 mm-el növelt fókusztáv miatt alakult ki. A P4-es (2. ábra d) képe) $h=88,25 \mu\text{m}$ nagyságú, míg a P5 (2. ábra e) képe) $h=60,24 \mu\text{m}$ nagyságú gyökátfolyással rendelkezik, amik még a szabványban leírt tűrésen belül ($h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,2t$) van. Mindez azt jelenti, hogy a hegesztést a P4 és P5-nél alkalmazott technológiai paraméterekkel kell folytatni, de már DC04-DP600 anyagpárosítással. A hegesztés során kapott P6 varrat mikroszkópi képén (2. ábra f) képe) jól látható, hogy átolvadási hiba lépett fel ($h=319,81 \mu\text{m}$). A P7-es minta mikroszkópi képeken látható (2. ábra g) képe), hogy az átolvadás teljes, illetve a gyök is kialakult. Sajnálatos módon a lemezek egymáshoz képest elmozdultak, ami a nem megfelelő rögzítésnek tudható be. A kísérlet folytatásaképpen a P4-es technológiai paraméterei használtuk a DP600-, DP800-, DP1000-DC04 lemezpárosítások összehegesztésére. Az elkészített varratok az előző varratokhoz hasonlóan minősítve lettek. A varratok eltéréseinek méretével ellátott mikroszkópi képeket a 3. ábra tartalmazza.

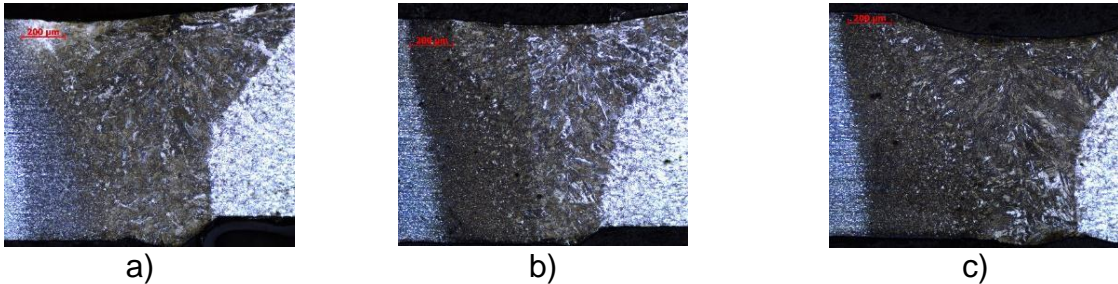


3. ábra Az „optimális” technológiai paraméterekkel hegesztett DP600-DC04 a), DC04-DP800 b), DP1000-DC04 vegyeskötések mikroszkópi képei

A kapott vegyeskötések megtekintése során szembetűnő, hogy a lemezek itt is eltolódtak, ezért már nem lehet azt a megállapítást tenni, hogy nem megfelelően voltak rögzítve, mert a rögzítésre külön figyelmet fordítottunk. A jelenség lehetséges magyarázat, hogy túl nagy volt a hőelvonása a réz leszorítóvasaknak, ami miatt a lemezek elmozdultak.

A DP600-DC04-es vegyeskötés (3. ábra a) képe) mikroszkópi képeken a varrat alakja megfelel az MSZ EN ISO 13919-1:2000 szabványban megfogalmazottaknak. A DC04-DP800-as vegyeskötés (3. ábra b) képe) szintén nem tartalmaz kirívóan nagy hibákat, a varrat teljesen átolvadt, a korona és gyök oldal is egyenletes. A DP1000-DC04 vegyeskötésnél már ezeket a kijelentéseket nem lehet megtenni, mert itt a koronaoldalon egy enyhe homorúság, a gyökoldalnál pedig szélkioldás jelentkezett. A hegesztett kötések eltérése egyértelműen a DP1000-es acél magas 65%-os martenzit tartalmának tudható be. Mindezek mértéke 70-90 μm között mozog, ami még a közepes (C) minőségi szinten belül van, de ennek ellenére mégis kijelenthető, hogy a DP1000-DC04 vegyeskötéseket más technológiai paraméterekkel kell hegeszteni.

A 4. ábrán látható vegyeskötések mikroszkópi képein szembevetve, hogy a két anyag hőhatásövezete és a varrat eltérő formájú.

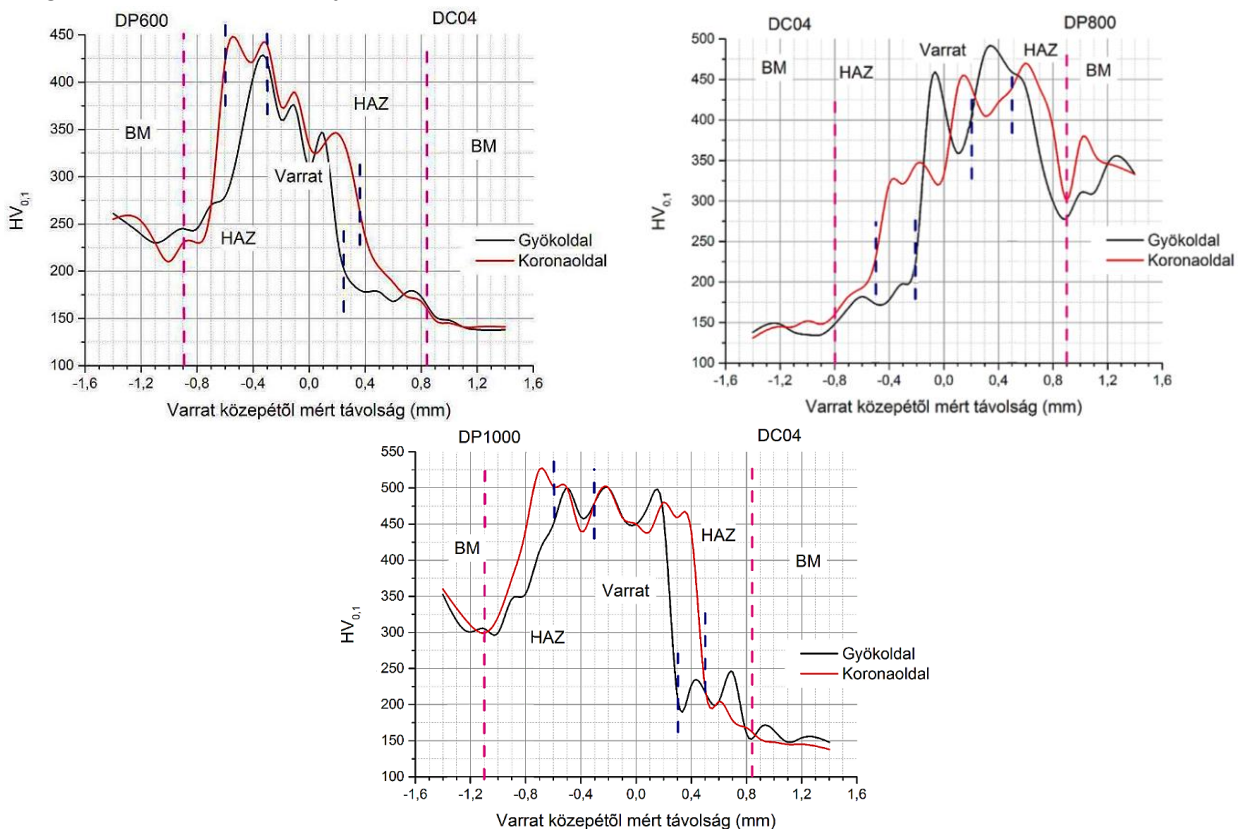


4. ábra DP600-DC04 a), DP800-DC04 b), DP1000-DC04 c) vegyeskötések keresztcsiszolatának makrofelvételei

A varrat és hőhatásövezet szemcsefinomodásában is eltérés látható (4. ábra). A 4. ábrán látható barna részek a martenzitet jelölik és egyértelműen megmutatja, hogy a DP acél varrat és hőhatásövezete több martenzitet tartalmaz, illetve kevés maradék ausztenit is felfedezhető. A DC04 hőhatásövezete ferrites és csak a szemcsedurulás figyelhető meg benne.

3.2. A kötések kiértékelése keménységvizsgálatok alapján

A HV01 mikro Vickers (Wilson Walpert 401MVD) keménységméréseket a korona és gyökoldalán is elvégeztük, ezek eredményeit az 5. ábrán látható koordináta-rendszerben ábrázoltuk.



5. ábra A DP600-DC04 a), DP800-DC04 b), DP1000-DC04 c) kötések keménységeloszlása

A mérési helyek megválasztásánál az ISO 9015-2:2003(E) szabvány szerint jártunk el. A szabvány HV0,1-es eljárás esetén 0,2 mm-es távolságot ajánl két mérési hely között, de ez esetben a varrat szélsége olyan kicsi, hogy 0,1 mm-es távolságonként végeztük a keménységmérést, ami még nem kisebb a megengedett 2,5 d távolságnál.

A koordinátarendszerekben szaggatott lila vonal jelzi az alapanyag (BM – Base metal) kezdetét és kék szaggatott vonal a varrat kezdetét, a két szaggatott vonal közötti rész a hőhatásövezet (HAZ - Heat-affected zone) zónája. A HAZ és BM átmenete a gyökoldal és koronaoldalra közel merőleges a lemezre, így ott egy lila szaggatott vonal lett húzva, de a varrat és HAZ határa már eltér a gyökoldalon és koronaoldalon, ezért külön jelölés jelöli mindkét oldal esetén az átmenetet rövid kék szaggatott vonallal. A diagramokba bevitt pontok "spline" - vonallal lettek összekötve.

A keménységmérés eredményeiben látható, hogy a DP acélok hőhatásövezete martenzites, míg a DC04 acél megőrizte ferrites szerkezetét, még a HAZ-ban is.

4. Összefoglalás

A kapott eredmények alapján megállapítottuk, hogy mindhárom lemezpár hegeszthető lézerrel, de kiváló minőségű varrat csak különböző hegesztési paraméterekkel készíthető. A keménységvizsgálatok alapján egyféle beállítással is jó minőségű varrat hozható létre, de a mikroszkópi képek alapján a DP1000-DC04 vegyeskötésű varrat gyökoldala nem megfelelő. Ezért, mint egy tovább lépésként említhető meg további hegesztési paraméterek finombeállításával történő hegesztési kísérletek elvégzése.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely az EFOP-3.6.1-16-2016-00006 „A kutatási potenciál fejlesztése és bővítése a Neumann János Egyetemen” pályázat keretében valósult meg. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, a Széchenyi 2020 program keretében valósul meg.

Továbbá köszönjük a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft-nek, hogy biztosították a hegesztési kísérletekhez szükséges lézersugaras hegesztő berendezést, illetve a kapott szakmai segítséget.

Irodalomjegyzék

- [1] "Full Field Strain Measurement of Dissimilar Laser Welded Joints". Giovanni Battista Broggiato, Luca Cortese, Filippo Nalli, Pasquale Russo Spena. 2015 Procedia Engineering 109, pp.: 356-363. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.06.243
- [2] "ISD Dunafer". [Online]. Available: http://www.dunaferr.hu/documents/hun/aceltermekek-ertesitesese/aceltermekek/hidegen_heng.pdf. [Megtekintés: 22-Sep-2017].
- [3] "Dual Phase (DP) Steels". [Online]. Available: <http://www.worldautosteel.org/steel-basics/steel-types/dual-phase-dp-steels/>. [Megtekintés: 22-Sep-2017].
- [4] "Numerical Cooling Strategy Design for Hot Rolled Dual Phase Steel". Piyada Suwanpinij, Nataliya Togobytska, Ulrich Prael, Wolfgang Bleck. 2010., Metal Forming, pp.: 1001-1009. DOI: 10.1002/srin.201000091.
- [5] "Járműipari acélfejlesztések". Tisza M. 2012., GÉP LXIII. évfolyam, pp.: 3-10.