

Cr-Mn ötvözésű ausztenites acéllemezek ív-hegesztőforrasztása

MIG BRAZING OF Cr-Mn AUSTENITIC STAINLESS STEEL SHEETS

KALÁCSKA Eszter^{1,2}, VARBAI Balázs^{1,3}, MÁJLINGER Kornél^{1,4}

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Anyagtudomány és Technológia Tanszék
1111, Budapest, Bertalan Lajos utca 7.

Tel.+36 1 463 1115, Fax: +36 1 463 1366 E-mail: matsci@att.bme.hu, www.att.bme.hu
E-mail: eszter.kalacska@gmail.com², varbai.balazs@gmail.com⁴, welding@att.bme.hu³

ABSTRACT

Sheets of Cr-Mn and Cr-Ni alloyed austenitic stainless steels were joined with MIG-brazing technique. The different steel grades showed quite different behavior after the joining. The hardness of the braze material increased significantly in the joints with Cr-Mn alloying and also the grain coarsening in the heat affected zones was most severe in the high strength steel grades.

ÖSSZEFOGLALÓ

Cr-Mn és Cr-Ni ötvözésű ausztenites korrózióálló acéllemezeket kötöttünk védőgázos ív-hegesztőforrasztással. A különböző acéltípusok eltérő tulajdonságokat mutattak hegesztés után. A forrasztóanyag keménysége megnőtt a Cr-Mn ötvözésű alapanyagok esetében, valamint a szemcsedurulás mértéke a hőhatásövezetekben a növelt szilárdságú acéltípusoknál volt a legnagyobb.

Kulcsszavak: Cr-Mn ötvözésű ausztenites acél, növelt folyáshatárú ausztenites acél, ív-hegesztőforrasztás

1. BEVEZETÉS

Az energetikában, kőolaj- és földgáziparban és a járműiparban egyre nagyobb teret nyernek a növelt szilárdságú és korrózióálló acélok [1–5]. Ezen korrózióálló acélok, túlnyomó többségében ausztenites acélok (austenitic stainless steel; ASS) [6, 7], melyek legismertebb típusai króm (Cr = 16–19 %) és nikkel (Ni = 6–12 %) ötvözésűek. Az ezredfordulón tapasztalható gazdasági világválság következményeként a nikkel és a ferromolibdén világpiaci ára nagymértékű ingadozást mutatott, aminek hatására előtérbe kerültek a kisebb Ni tartalmú (3–6 %), növelt mangán (Mn = 5–11 %) és nitrogén (N = 0,15–0,25 %) tartalmú ASS-ek [8, 9]. Ezen Cr-Mn ötvözésű ASS-ek felhasználása rohamosan növekszik, köszönhetően a nitrogén ötvözés okozta nagyobb folyáshatárnak (≤ 600 MPa), és a kis Ni tartalom miatt olcsóbb alapanyagárnak. Mindemellett meg kell említenünk a nagyobb Ni tartalmú ASS-ekhez képest kisebb korrózióállóságot. Hegeszthetőségi szempontból elmondható, hogy a Cr-Mn ötvözésű acélok hasonló feltételekkel hegeszthetők, mint a hagyományos, Cr-Ni ötvözésű társaik. A közelmúltban a védőgázos ív-hegesztőforrasztás (MSZ ISO 4063:2016 szerinti 973-as eljárás) egyre nagyobb teret nyert az autóiparban [10]. Az eljárás előnye, hogy ugyanaz a berendezés használható, mint huzalelektrodás védőgázos ívhegesztés esetén. Illetve másik nagy előnye, hogy kisebb a hőbevitel, ami lehetővé teszi kis falvastagságú, vagy horganyzott lemezek kötését is [11–13].

2. KÍSÉRLETI ANYAGOK ÉS BERENDEZÉSEK

Az ív-hegesztőforrasztott kötések létrehozásához két Cr-Mn-ötvözésű, N-nel növelt szilárdságú (1.4376 és 1.4371), egy Cr-Ni ötvözésű, N-nel növelt szilárdságú (1.4318), valamint egy hagyományos, Cr-Ni ötvözésű (~2 mm vastag) ASS lemezt használtunk fel. Hozaganyagként 2.0992-es anyagminőségű (SG CuAl8Ni2) Ø1,2 mm huzalt alkalmaztunk, Fronius Transpuls Synergy 2700 hegesztő berendezéssel a lemezekből tompa kötések hoztunk létre, a korona és gyök oldalán egyaránt $8 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ térfogatáramú Ar-He védőgáz-keveréket alkalmazva. A számolt tényleges hőbevitel értékek 0,15–0,19 kJ mm⁻¹ között változtak.

1. táblázat. *A felhasznált acélok főbb mechanikai tulajdonságai*

Anyag-minőség	R _{p0.2} (MPa)	R _m (MPa)	A _{11.3} (%)	Keménység (HV0.5)	Szemcseméret (μm)
1.4371	620	760	25	277 ± 10	12
1.4376	405	740	40	251 ± 10	11
1.4318	350	660	35	205 ± 2	10
1.4301	190	620	35	187 ± 5	22
2.0992	175	420	40	165 ± 6	-

Az alapanyagok fő tulajdonságait az 1. táblázat, kémiai összetételüket a 2. táblázat tartalmazza. Az alapanyagok és kötések szövetszerkezetét a hagyományos metallográfiai előkészítést követően egy Olympus PMG 3 típusú fémmikroszkóp segítségével vizsgáltuk (pl.: 1. ábra). Az alapanyagok, tisztán ausztenites szerkezetűek voltak, szemcseméret tekintetében (1. táblázat) a N-nel növelt szilárdságúak közel azonosak, míg a Cr-Ni-lel ötvözött, hagyományos 1.4301-es acélminőség durvább szemcseszerkezetű. Az elkészült kötésekben keresztcsiszolatokat készítettünk, amelyeken elemeztük a hőhatásövezet egyes tartományaiban lévő szövetszerkezeteket. Ugyanezekben a mintákban egy Buehler 1105 típusú mikrokeménység mérő berendezéssel 500 g terheléssel mértük a keménységértékeket.

2. táblázat. *A felhasznált anyagok kémiai összetétele*

Acéltípus	Kémiai összetétel (tömeg%)											
	C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	Cu	N	Al	Fe	C _{req.}	Ni _{eq.}
1.4371	0,05	15,8	4,4	7,7	0,5	0,1	0,4	0,2	-	bal.	16,7	15,8
1.4376	0,11	17,1	3,8	7,2	0,6	-	0,5	0,2	-	bal.	18,0	16,8
1.4318	0,05	16,5	7,3	1,6	0,5	0,2	0,3	0,2	-	bal.	17,5	15,6
1.4301	0,05	18,3	8,6	1,8	0,4	0,2	0,4	-	-	bal.	19,1	11,0
2.0992	-	-	0,3	0,2	0,05	-	bal.	-	8,0	0,1	-	-

A kötésekre merőlegesen arányos szakító próbatesteket munkáltunk ki, amelyeket 3 mm·min⁻¹-es keresztfej elmozdulással szakítottunk – minden kötéskombinációból 3-3 db próbatestet – MTS 810 berendezéssel. Meghatároztuk a kötések szakítószilárdságát (R_m), a szakadási nyúlást (A_{11.3}), egy l₀=10×d₀ arányos próbatestre vonatkoztatva. A jeltávokat a varrat középvonalából kiindulva vettük fel, így vizsgálhattuk az egyes oldalak nyúlását is (A_{5.65}), egyenletes alakváltozását (ε) valamint a kötések kontrakciójának (Z) mértékét is.

3. EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

A különböző anyagkombinációk viselkedése jelentősen eltért az egyes kötésekben, például a hőhatásövezetekben (HAZ) tapasztalt szemcsedurvulásokban (1. ábra) és keménységértékekben is.



1. ábra

Makrofelvétel egy ívforrasztott kötés keresztcsiszolatáról és mikroszkópi felvételek a hőhatásövezetekről

Ezeket az értékeket éppen ezért a saját alapanyagokra fajlagosítva adtuk meg a 3. táblázatban. Ami elsőre is szembetűnő, hogy a varratfém keménysége jelentős mértékben megnövekedett, ami valószínűleg a forrasztóanyag és az alapanyag között kialakuló intermetallikus vegyületek miatt lehet. A keményforrasztó Al-tartalma mind a Fe-vel, Cu-val és a Mn-al is alkothat vegyületeket. A legnagyobb keménység azon kötések-

XXVI. NEMZETKÖZI GÉPÉSZETI TALÁLKOZÓ

ben volt ahol az alapanyag(ok) Mn-tartalma a legnagyobb, és csökkent az alapanyagok Mn-tartalmának csökkenésével.

A kötések páronként megvizsgálva a HAZ-okban az alapanyag függvényében megállapítható, hogy legkevésbé az 1.4376 lágyult (sőt nőtt a keménysége egyes kötésekben) ezt követte az 1.4371 és 1.4318 anyagok majd a normál Cr-Ni ötvöztetésű 1.4301. A fajlagos szemcseméret változásokat vizsgálva (3. táblázat) megállapítható, hogy a legnagyobb mértékű szemcsedurvulás a 1.4318 acélban volt ezt követték sorrendben a 1.4371, 1.4376 és 1.4301-es acélok.

3. táblázat. A kötések fajlagos keménység és szemcseméret értékei

1. Alap- anyag	Fajlagos keménység (%)			Fajlagos szemcseméret (%)		2. Alap- anyag
	HAZ	Varrat	HAZ	HAZ	HAZ	
	1. anyag		2. anyag	1. anyag	2. anyag	
1.4371	99	131	99	217	225	1.4371
1.4371	95	125	106	217	191	1.4376
1.4371	94	116	94	225	240	1.4318
1.4371	92	122	101	233	136	1.4301
1.4376	110	124	109	164	155	1.4376
1.4376	106	121	92	155	270	1.4318
1.4376	100	120	97	164	150	1.4301

A szakítóvizsgálatok eredményei az 4. táblázatban láthatók. A kötések átlagos szakítószilárdsága nem sokkal ugyan, de meghaladta a forrasz névleges szilárdságát és a szórás is relatív nagy volt. A kötés teljes nyúlására vonatkoztatott szakadási nyúlások igen kicsik voltak, ahogy a kontrakció értékek is (minden kötés a forraszanyagban szakadt) ami szintén rideg fázisok kiválását feltételezi. A kontrakció értékek csak az 1.4301-es acéllal kombinálva érték el a 10%-ot az összes növelt szilárdságúnál alatta volt (ez is az Al_xMn_y intermetallikusok jelenlétére utalhat). Az oldalankénti nyúlásokat páronként vizsgálva megállapítható, hogy a kötések nagyobb Mn tartalmú oldala nyúlt legkevésbéet mind szakadási nyúlás mind egyenes nyúlás tekintetében. Tehát a sorrend itt: 1.4371 < 1.4376 < 1.4318 < 1.4301. Ez a sorrend követi a folyáshatár és a szakítószilárdsági értékek csökkenését is. A normál szilárdságú 1.4301-es acélban volt a legnagyobb alakváltozása. Általánosságban a szakadás helye a varratban a több Mn-t tartalmaz acél oldalán volt.

4. táblázat. A kötések szakítóvizsgálati eredményei

1. Alap- anyag	Alakváltozások						Szakadás helye a varratban	2. Alap- anyag	
	R_m (MPa)	$A_{11.3}$ (%)	Z (%)	1. anyag		2. anyag			
				$A_{5.56}$ (%)	ϵ (%)	$A_{5.66}$ (%)			ϵ (%)
1.4371	476±49	2,7±0,8	8,2	3,31	3,4	2,42	2,8	◀ ◀ ◀	1.4371
1.4371	439±19	1,8±1,6	9,0	1,50	0,8	2,09	1,1	◀ ▶ ▶	1.4376
1.4371	423±64	2,2±0,7	9,3	0,99	0,5	3,28	2,4	◀ ◀ ◀	1.4318
1.4371	497±21	7,9±1,6	9,4	1,95	1,6	13,77	9,5	▶ ▶ ▶	1.4301
1.4376	449±99	4,2±0,4	10,1	4,22	2,1	4,20	1,9	◀ • ▶	1.4376
1.4376	453±50	5,6±1,2	9,3	5,12	3,4	6,00	5,0	◀ ◀ •	1.4318
1.4376	576±63	16,1±6,5	14,9	7,63	5,7	24,62	22,1	◀ ◀ ▶	1.4301

◀ 1. alapanyag oldala, • varrat közepe, ▶ 2. alapanyag oldala

KONKLÚZIÓK

Az elvégzett kísérletek és vizsgálatok alapján a következő megállapítások tehetők:

- A varratok keménysége jóval nagyobb volt a keményforrasz névleges keménységénél. Ez a keménységérték csökkent a kötés alapanyagai Mn- tartalmának csökkenésével.
- A durvaszemcsés hőhatásövezetben a legnagyobb szemcsedurvulást a 1.4318 acél majd sorrendben a 1.4371, 1.4376 és 1.4301-es acélok szenvedték el.
- A kötések szilárdsága nagy szórást mutatott, de meghaladta a forraszanyag névleges 420 MPa-os értékét. Az elérhető kötőszilárdság 420-580 MPa között változott.

- Minden kötés a forrasanyagban szakadt, a kötések kontrakciója és a próbatestek szakadási nyúlása kicsi volt, valószínűleg az intermetallikus fázisok elridegítették a varratot. A Mn tartalmú alapanyagok esetében voltak a legkisebb az alakváltozási értékek az 1.4301-es acél oldalán már elfogadhatóak voltak az alakváltozás értékek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az alapanyagok biztosításáért köszönettel tartozunk az Aperam, az Outokumpu Distribution Hungary és a Dunakeszi Járműjavító kft.-nek. Köszönet Törköly Tamásnak az ívforrasztásban nyújtott közreműködéséért. Ez a kutatás a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült (BO/00196/16/6). A Projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával - NKFIH, valósult meg (OTKA PD 120865).

HIVATKOZÁSOK

- [1] Pasquale Russo Spena, Manuela De Maddis, Franco Lombardi, Matteo Rossini. Investigation on resistance spot welding of TWIP steel sheets. *Steel Research International* (2015)86/12 1480-1489.
- [2] Dobosy Ádám, Lukács János. S690QL jelű acélok hegeszthetőségének és fáradással szembeni ellenállásának vizsgálata. *Hegesztéstechnika* (2015)26/1 51-59.
- [3] Gáspár Marcell, Jámbor Péter. Termomechanikusan kezelt S960M nagyszilárdságú acél hőhatásövezetének fizikai szimulációra alapozott elemzése. *Hegesztéstechnika* (2017)27/2 30-35.
- [4] Kovács-Coskun Tünde Anna, Vajdics Dániel. A TRIP acél ponthegeztésének hatása. *Műszaki Tudományos Közlemények* (2015)2 227-234.
- [5] Palotás Béla, Zemankó István, Rózsahegyi Richárd. Ferrites-martenzites DP-acélok ellenállás-ponthegeztése. *Bányászati Kohászati Lapok - Kohászat* (2014)147/5-6 39-43.
- [6] Dobránszky János, Kovács Dorina. Szemlézés a rozsdamentes acélok gyártásának európai kutatásaiból. *Bányászati Kohászati Lapok - Kohászat* (2016)149/1 6-10.
- [7] Dobránszky János, Sándor Tamás. Új trendek a korrózióálló acélok hegesztésében. *Hegesztéstechnika* (2008)19/3 8-13.
- [8] Dobránszky János, Varbai Balázs. A króm-mangán ötvözésű ausztenites acélok és hegesztésük. *Hegesztéstechnika* (2016)27/3 33-38.
- [9] Jacques Charles. The new 200 series: an alternative answer to Ni surcharges? *Stainless Steel World* (2007)May 23-33.
- [10] Luisa Quintino, Gervasio Pimenta, Danut Iordachescu, R.M. Miranda, N.V. Pépe. MIG Brazing of Galvanized Thin Sheet Joints for Automotive Industry. *Materials Manufacturing Processes* (2006)21/1 63-73.
- [11] Miklós Berczeli, Zoltán Weltsch. Experimental Studies of Different Strength Steels MIG Brazed Joints. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. Published in Onlinefirst 24-01-2018
- [12] Yong Kim, Kiyong Park, Sungbok Kwak. A Review of Arc Brazing Process and Its Application in Automotive. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research* (2016)5/4 246-250
- [13] Corinne Chovet, S. Guiheux. Possibilities offered by MIG and TIG brazing of galvanized ultra high strength steels for automotive applications. *Metallurgia Italiana* (2006)98/7-8 47-54.