

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Anyag- és Alakítástechnológiai Szakcsoport



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Az alkalmazható minimális, Cloos-robottal hegeszthető lemezvastagság meghatározása ötvözetlen acéloknál

Szerzők: **Dunavölgyi Dávid (ACF0T9),**
gépészmérnöki szak, II. évfolyam
Mészáros Levente (SSBT5I)
gépészmérnöki szak, II. évfolyam

Konzulens: **Érsek László**
óraadó
okleveles hegesztőmérnök/EWE

Budapest, 2012

Tartalomjegyzék

1. Bevezető	
1.1 Célkitűzés, rövid ismertető.....	1. oldal
2. A robotrendszer bemutatása	
2.1 Robotkar	2. oldal
2.2 Hegesztőgép	3.
3. Felhasznált anyagok	
3.1 A hegesztő vizsgálat során felhasznált anyagok	3. oldal
4. Próbalemezek	
4.1 Próbalemezek	4. oldal
5. Eljárások	
5.1 Alkalmazott eljárások.....	6. oldal
6. Az első hegesztések	
6.1 Próbahegesztések	7. oldal
6.2 Alkalmazott paraméterek (táblázat)	8. oldal
6.3 Észrevételek	9. oldal
7. Második hegesztés	
7.1 Ismételt hegesztés.....	11. oldal
8. Vizsgálatok	
8.1 Szakító vizsgálat.....	12. oldal
8.2 Szakítódiagramok.....	13. oldal
8.3 Szakító vizsgálat eredményei (táblázat)	14. oldal
8.4 Keménységmérés	15. oldal
Következtetések.....	16. oldal
Felhasznált irodalom	17. oldal
Hivatkozott szabványok	17. oldal
Felhasznált internetes segédanyagok.....	18. oldal

Célkitűzésünk, rövid ismertetés

Dolgozatunkban azt szeretnénk megtudni, hogy mekkora az a minimális lemezvastagság, amit az intézményben található hegesztőrobottal, teljes biztonsággal meg lehet hegeszteni. A különböző lemezvastagságokat azonos paraméter beállításokkal hegesztettük le az összehasonlíthatóság végett.

Mivel a legvékonyabb hegeszthető lemez megtalálása a célunk, a legkisebb beállítható paraméterek mellett próbálkoztunk a lemezek kötésével. A vizsgálatokat a 3mm vastagságú lemezekkel kezdtük, mivel a hegesztőrobot gépkönyvében leírtak szerint ez az a lemezvastagság, amelyet a Cloos, mint gyártó garantálni tud. Dolgozatunk azért is vizsgálja a vékonyabb lemezeket, mert a robotot gyártó Cloos cég leginkább a nehéziparban használatos varratok készítésére specializálódott, ezért a 3mm feletti varratok a legjáratosabbak, viszont a gép alsó határaitra voltunk kíváncsiak.

A hegesztett kötések három eljárásváltozattal készítettük minden lemezvastagságon, és így próbáltuk meghatározni a legoptimálisabb eljárást a legvékonyabb hegeszthető lemezhez. Így minden lemezvastagságnál (kivéve az 1mm-es lemezvastagságot, erről a továbbiakban tárgyalunk majd) készült három próba. A lemezvastagságokat 0,5mm-es méretlépcsőben csökkentettük 3mm-től 1mm-ig. Azért választottuk ezeket a táblaméreteket, mert a kereskedelemben ezek a legjáratosabb táblaméretek, így ezek alkalmazása a jellemzőbb, illetve számunkra is ez volt a beszerezhetőbb.

A vizsgált lemezeket gyökhézag nélkül ütköztettük, mert az ilyen vékony lemezeknél a gyökbeolvadás a nagy hegesztőáram hatására is teljes. A hő torlódás elkerülése érdekében réz alátétlemezt alkalmaztunk, hogy azzal a keletkezett hőt a lehető legjobban elvigyük a hegesztendő próbatestről. A méretre vágott próbalemezeket előzőlegesen a két végén fűzővarrattal rögzítettük, hogy a kötőhegesztés során a lemezek eltávolodását elkerüljük, illetve könnyen pozícionálható legyen az egyes beállításokhoz.

Az így elkészített varratokat sorba állítottuk, majd alapos szemrevételezéssel megállapítottuk, hogy melyik az a lemezvastagság, amit mi keresünk, és vizsgálatokat érdemes rajta végezni.

A robotrendszer bemutatása

Az intézményben található hegesztőrobotot a Cloos (Crown International Kft.) üzemelteti, mellyel a vizsgálatot is végeztük.

A robotrendszer két fő részből áll, a robotkarból illetve a hegesztőberendezésből. A két részt egy közös vezérlőegység irányítja, ezzel biztosítja az összehangolt munkavégzést. A robotkar segítségével kiküszöbölhetjük az emberi kéz által vétett hibákat így egyenletesebb varrat készíthető. A hegesztőberendezés önmagában is használható kombinált kézi hegesztőgépként.

Robotkar

A robotkar főbb adatai (QRC 350):

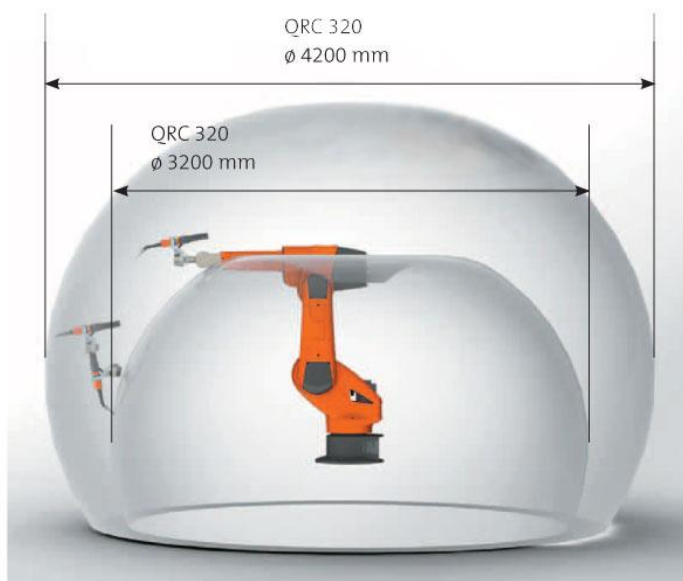
- tengelyek száma: 6
- meghajtás: nagy pontosságú léptető motorok
- maximális terhelhetőség: 15 [kg]
- visszaállási pontosság: 0,1 [mm]
- munkaterület: Ø 4430 [mm]

Az egyes tengelyek forgás tartománya:

I tengely:	340°
II tengely:	215°
III tengely:	290°
IV tengely:	358°
V tengely:	270°
VI tengely:	600°

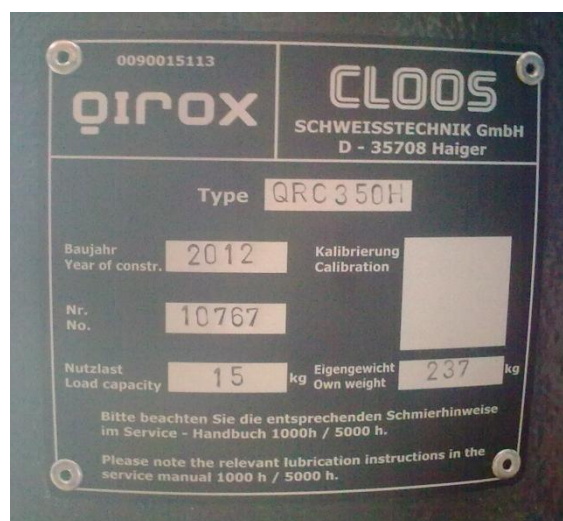
Telepítési terület:

500 × 515 [mm]



A robotkar mozgótartománya

Forrás: Cloos ismeretterjesztő



A robotkar géptáblája

Hegesztőgép

A hegesztőgép főbb adatai (Qineo pulse 350):

- hegesztő áramerősség: 40 [A]-350 [A]
- üresjáratú feszültség: 75 [V]
- Hegesztőáram: 350 A / 60% BI
- Hegesztőáram: 270 A / 100% BI
- hálózati feszültség: 400[V]/50[Hz]/3-fázis
- hálózati kábel $\varnothing$: 4×4 [mm²]
- hálózati biztosíték: 25 [A]
- érintésvédelmi fokozat: IP23



Vezérlőegység



Hegesztőgép (áramforrás)



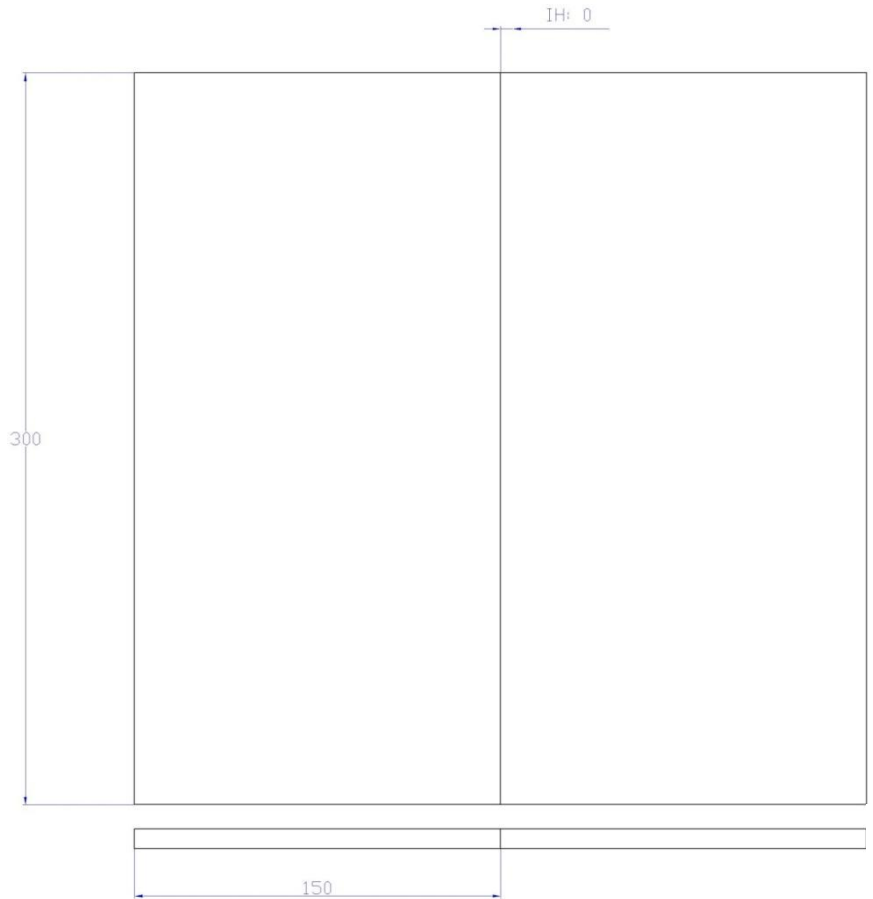
Alkalmazott védőgáz plakettje

A hegesztő vizsgálat során felhasznált anyagok:

- Védőgáz: Ar 90% / CO₂ 10% (Corgon)
(Besorolása: M20 az MSZ EN ISO 14175 szerint)
- Huzal: 1,2mm, Böhrer EMK 6 S, C 0,1%; Si 0,9%; Mn 1,4%
(MSZ EN ISO 14341- G 42 2 C G3Si1/G 42 4 M G3Si1)
- Alátétlemez: vörösréz, lemezvastagság 4 [mm]
alumínium, lemezvastagság 4[mm]
- Próbalemez: MSZ EN 15614-1 300×150 [mm]

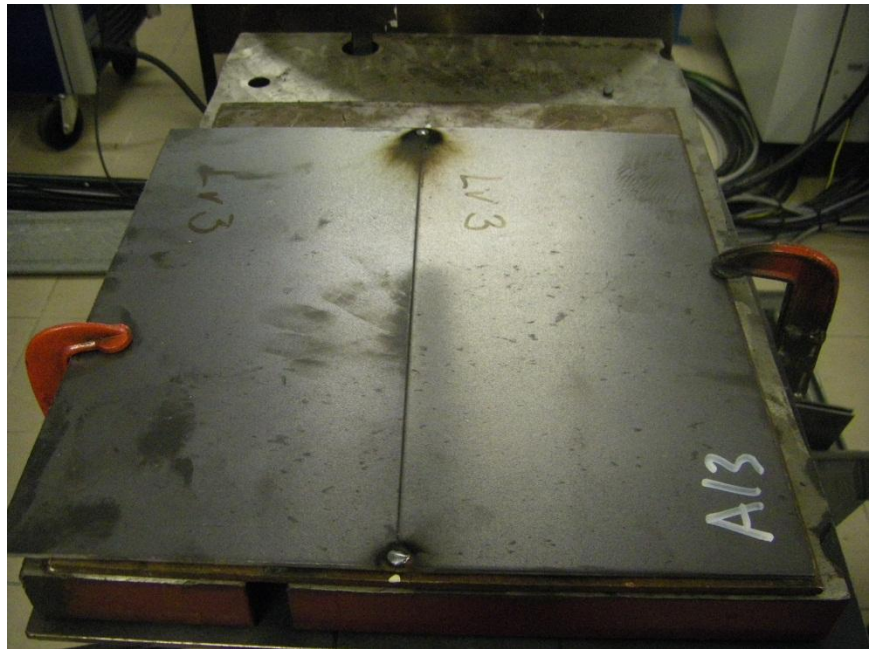
Próbalemezek

A hegesztési kísérletekhez az MSZ EN 15614-1 szabvány szerinti próbadarabokat használtunk. Leélezés és illesztési hézag nélkül. A különböző lemezvastagságok eltéréseivel a táblalemezek méretei rendre megegyeznek, azaz 150×300 [mm]-es táblák, melyeknek hosszanti élének ütköztetésénél végeztük a varratok készítését. Az összes lemez anyagminősége megegyező, S235-ös minimális folyáshatárú ötvöztelen szerkezeti acél, egyedül a hengerlési eljárásukban térnek el. A 2,0-3,0 [mm] és lemezvastagságok melegen hengerelt (MSZ EN 10111) táblalemezek, míg az 1,0-1,5 [mm] lemezvastagság hidegalakítási technológiával készült (MSZ EN 10130).



A lemezeket táblavágó gépen daraboltuk méretre, majd azokat egymás mellé helyezve, két végénél egy-egy fűzővarrattal rögzítettük. Az így előkészített próbalemezeket helyeztük a munkaasztalra, hogy a robot a hegesztést elvégezhesse. Mint tapasztaltuk, sokat segített ez az egyszerű előkészítés, mivel a robotprogramozásban csak egyszer volt szükségünk a koordináták, illetve a pontok felvételére, továbbá a lemezek asztalhoz rögzítése is könnyebben ment.

Ahogy a képen is látni, a hegesztendő próbatest alá hőelvezető rézalátétet raktunk, mely alá vastag acéllemez (~25[mm]) helyeztünk, hogy a keletkezett hőt legyen hová elvezetni. A mechanikai rögzítést az oldalt látható két pillanatszorítóval próbáltuk megoldani, mely a lemez

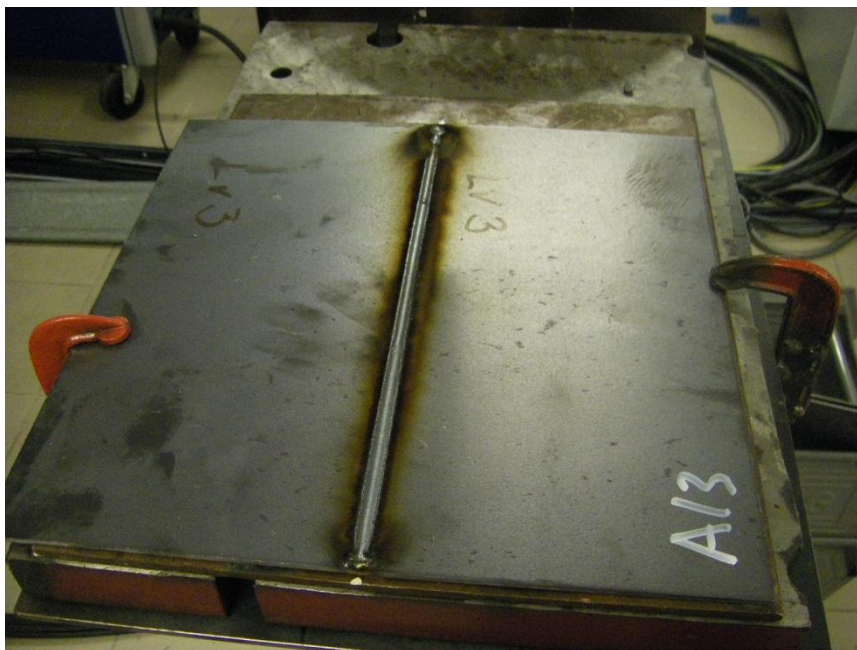


Fűzött táblalemez

vetemedését próbálta meggátolni.

(Későbbiekben ismertetjük milyen eredménnyel.)

A fenti képen a végighegesztett próbatest előzménye látható, a kétoldali fűzővarrat illetve a rögzítési módszer.



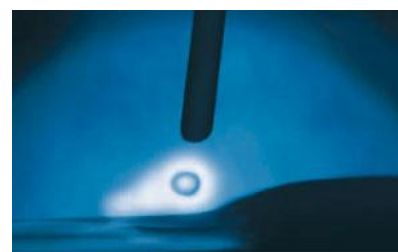
Alkalmazott eljárások

Az általunk használt három hegesztési eljárás, az a:
-„Control-Weld”
-„Vari-Weld”,
-„Speed-Weld”.

Az „Control-Weld” típusú eljárás egy hagyományos rövidzárlatos hegesztési módszer. Ennél az eljárásnál, ahogy a mellékelt kép is mutatja, olyan „cseppleválás” jön létre, mely alacsony paraméterek mellett folyamatos érintkezést hoz létre a hegesztőelektroda és a hegesztendő darab között. Ebből következik, hogy egy állandó áramerősségen képes hegeszteni, amennyiben a rövidzárlat nem szűnik meg. Innen is ered az elnevezése, a rövidzárlatos ívhegesztés. Az eljárás ideális vékonylemezek hegesztéséhez, javítóhegesztésekhez, alkalmazható tiszta CO₂ védőgázzal. Előnyei közé tartozik az egyenletes ív, a kis hő bevitel, jó résáthidaló képesség.



A „Vari-Weld” hegesztési eljárás az előzővel szemben egy impulzusos, fogyóelektrodás védőgázos hegesztés. Itt folyamatos érintkezés a hegesztendő munkadarabbal nem jön létre, kizárólag az első pillanatokban, amikor az ívgyújtás történik. Az ívgyújtástól csak az ionizált gázfelhő tartja fenn az ívet, és áramszabályozással érhetjük el a cseppleválást. Ez alapvetően egy vezérelt eljárás, ahol az ívfeszültséget közel konstans értéken tartjuk, és a hegesztő áram szabályozásával érhetjük el a kívánt pillanatban a cseppleválást. Így egy impulzusra egy csepp leválása történik meg. A belső áramszabályozás hatására az ívhossz állandó értéken tartható, így nem érzékeny az eljárás a munkadarab és a pisztoly távolságára. Az eljárás a huzal szabadkinyúlására is érzéketlen, ez tovább növeli az eljárás univerzalitását.



A „Speed-Weld” eljárás szintén egy impulzusos hegesztés változat, nagyjában hasonlít is az előzőekben ismertetett „Vari-Weld” eljáráshoz, csak a vezérlés módjában tér el. Itt a csúcsáram elérésekor áramszabályozást alkalmaz a technológia, viszont fenntartott ív mellett feszültség szabályozást használ. Ennek eredménye,

hogy kisebb leolvadási teljesítménynél elbizonytalanodik a cseppleválás, az ívet zavaróhatások felerősödnek. Tehát a hegesztési varrat kevésbé egyenletes, erőteljes fröcskölés jelentkezik alacsonyabb leolvadási teljesítménynél. Az eljárás nagyobb teljesítményű hegesztéseknél hozza ki előnyeit, nem az általunk vizsgált vékony lemezeknél.

Az eljárások ismertetését a CLOOS honlapjáról letölthető tájékoztató alapján végeztük, a mellékletben megtalálhatóak a hivatkozások

Próbahegesztések

A vizsgálatokat csak az előkészített próbalemezek legyártása után kezdtük el. Miután megvoltak a kész lemezek, a robot programozása volt hátra. Mivel sajnos kettőnk közül egyikünk sem rendelkezik megfelelő ismeretekkel a robot irányításához, a Cloos Végh Sándort küldte segítségünkre, aki mind a hegesztésben, mind a robot programozásában jártas. Az ő segítségével felvettük a szükséges pontokat, illetve meghatároztuk a használandó paramétereket. Az első pár hegesztésből csak a gép beállításait néztük végig, illetve pár beállítást és annak hatásait néztük meg egy külön lemezre hegesztve, hogy ezáltal is rövid bepillantást nyerhessünk a hegesztőrobot alkalmazhatóságaiba, illetve megnézhessük milyen hegesztésre is lesz képes a saját próbatesteinken.

Mikor az előzőleges tesztelési folyamatokon túl voltunk, jöhetett az érdemi munka. Mivel a hegesztőberendezés egy szinergikus gép, csak egy paramétert kellett beállítani, a többit, azt saját maga számítja és állítja be a kedvező hegesztési paraméterekhez. Mi a huzalelőtolás sebességét vettük alacsonyra, és ehhez korrigálta a vezérlés a megfelelő áramerősséget, illetve feszültségi értékeket az adott hegesztési eljárástól függően. Az előzetes hegesztési próbák alapján a 2,00 [m/perc]-es huzal-előtolást, illetve a 45,0 [cm/perc]-es hegesztési sebességet állítottuk be. A paraméterek megadása után annyi dolgunk volt, hogy a robotnak megadjuk a kezdési, illetve végpontokat, majd ezt ő automatikusan összeköti és a két pont közt a megadott paraméterekkel a meghatározott eljárástípussal kötőhegesztést készít.

Mivel a hegesztést a gép végzi, ránk csak az a feladat hárult, hogy a próbalemezeket pontosan pozícionáljuk a munkaasztalra, illetve feljegyezzük a hegesztés közben mért paramétereket. Ezeket természetesen digitálisan kijelezte, így részünkről számítást nem igényelt, csak pontos dokumentációt, melyet a mellékelt táblázatban foglaltunk össze.

Sorszám	Hegesztés azonosítója	Kijelzett feszültség	Kijelzett áramerősség	Teljesítmény	Alap feszültség	Lemez vastagság	Eljárás	Gáz	Hegesztési sebesség	Huzal előtolás	Dinamika	Ívhossz korrekció
1	A/1	16,50 V	96,00 A	1,50 kW	-	3,00 mm	Control Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,00 m/min	0	0
2	A/2	16,20 V	71,00 A	1,10 kW	15,30 V	3,00 mm	Speed Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,00 m/min	0	0
3	A/3	25,40 V	96,00 A	2,00 kW	23,50 V	3,00 mm	Vari Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,00 m/min	0	0
4	B/1	16,40 V	96,00 A	1,50 kW	-	2,50 mm	Control Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,00 m/min	0	0
5	B/2	16,70 V	74,00 A	1,20 kW	15,80 V	2,50 mm	Speed Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,00 m/min	0	0
6	B/3	32,50 V	83,00 A	1,80 kW	31,90 V	2,50 mm	Vari Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,00 m/min	0	0
7	C/1	16,40 V	95,00 A	1,50 kW	-	2,00 mm	Control Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,00 m/min	0	0
8	C/2	25,10 V	85,00 A	1,70 kW	25,90 V	2,00 mm	Speed Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,60 m/min	0	0
9	C/3	22,90 V	103,00 A	2,20 kW	20,30 V	2,00 mm	Vari Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,60 m/min	0	0
10	D/1	16,20 V	97,00 A	1,50 kW	-	1,50 mm	Control Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,00 m/min	0	0
11	D/2	19,40 V	85,00 A	1,60 kW	18,10 V	1,50 mm	Speed Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,60 m/min	0	0
12	D/3	24,70 V	102,00 A	2,20 kW	23,10 V	1,50 mm	Vari Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,60 m/min	0	0
13	E/1/(1)	16,30 V	97,00 A	1,50 kW	-	1,00 mm	Control Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,00 m/min	0	0
14	E/1/(2)	16,90 V	86,00 A	1,40 kW	-	1,00 mm	Control Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,60 m/min	0	0
15	E/1/(3)	16,70 V	92,00 A	1,40 kW	-	1,00 mm	Control Weld	Ar 90% / CO2 10%	45,00 cm/min	2,60 m/min	0	0
16	D/4	17,50 V	95,00 A	1,60 kW	-	1,50 mm	Control Weld	Ar 90% / CO2 10%	54,00 cm/min	2,00 m/min	5	-11
17	D/5	17,40 V	95,00 A	1,60 kW	-	1,50 mm	Control Weld	Ar 90% / CO2 10%	60,00 cm/min	2,00 m/min	5	-11
18	D/6	17,40 V	91,00 A	1,50 kW	-	1,50 mm	Control Weld	Ar 90% / CO2 10%	60,00 cm/min	2,00 m/min	5	-11

Alkalmazott paraméterek táblázata

A hegesztések során azt tapasztaltuk, hogy az egyre vékonyodó lemezek hegesztése egyre kevésbé oldható meg az impulzusos hegesztési eljárásokkal. Így az 1 [mm] vastagságú lemezt csak a rövidzárlatos technológiára épülő „Control-Weld” eljárással próbáltuk meghegeszteni, de sikertelenül.

A Cloos ajánlása szerint az alkalmazott 2,00 [m/perc]-es huzalelőtolási sebességgel a
 -, „Control-Weld” Eljárásnál 1,0 [mm]
 -, „Speed Weld” Eljárásnál 1,5 [mm]
 -, „Vari Weld” Eljárásnál 1,8 [mm]

Az alkalmazható minimális hegeszthető lemezvastagság. Sajnos, mint dolgozatunk további része is bemutatja, nekünk nem sikerült ezeket az értékeket elérni.

Észrevételek



Szintén a kísérletek során jöttünk rá, hogy a fent említett beállításokon változtatnunk kell, mivel a 2 [mm] vastagságú lemezt se fogjuk tudni meghegeszteni az impulzusos technológiával. Így az impulzusos technológiáknál a huzalelőtolási sebességet növeltük 2,60 [m/perc]-es sebességre. Ezzel már jobb eredményt értünk el, a varrat már kötőhegesztés

képét mutatta (nem olvadt át végig), de a varratkép szemrevételezés után rossz beolvadást mutatott. (átfolyt gyök; magas púpszerű, koronaoldali domborulat; a varrat mentén a beolvadás sarkos, ami feszültséggyűjtő pont, így nem megfelelő). Hibáinkat továbbvizsgálva arra a következtetésre jutottunk, hogy a lemezek hegesztéseinek vége jellemzően azért égett át, mert volt ugyan alátét lemez, de ez sem tudta elvezetni megfelelő hatékonysággal a lemezben keletkezett többlet hőt. Továbbá a hegesztés közbeni vetemedés a lemez eltávolodását okozta az alátétől így,



úgynevezett „hőtorlódás” jött létre, aminek következtében a lemezünk túlhevült a varrat végén, és egyszerűen átfolyt az ömledék. Ez a 3 [mm]-es lemezek hegesztésén kívül az összes próbatestnél megfigyelhető. (Javaslatunk volt, hogy a hegesztési sebesség lineáris növelését állítsuk be a hegesztéseknél, ezzel megelőzve a „hőtorlódást”, de sajnos erre a beállításra nem volt lehetőségünk. Csak olyan megoldással lehetett volna közelíteni ehhez, hogy a varrat mentén további pontokat veszünk fel, melyeknél növeljük a hegesztés sebességét, de akkor a linearitástól már eltértünk volna. Minimalizálható lehetett volna ezeknek a hatása, ha egyenletesen sok pontot veszünk fel, és minden pontnál csak minimálisan változtatunk a

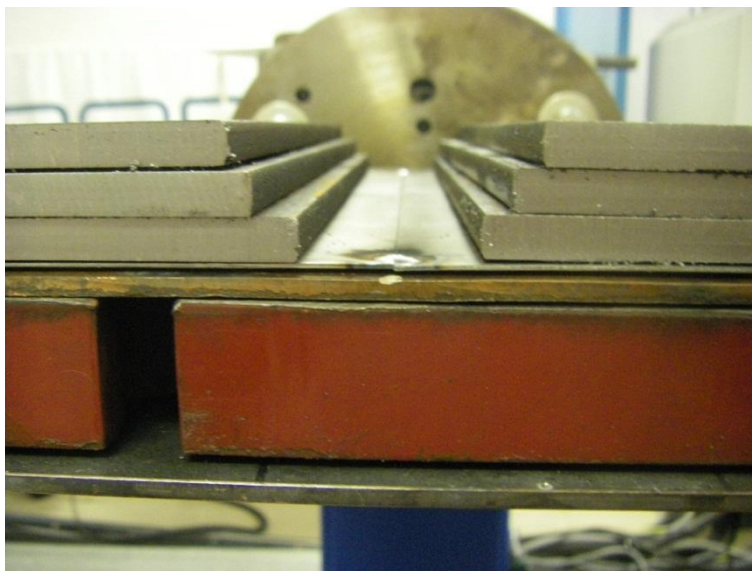
hegesztési sebességen, de sajnos ez már csak a hegesztési próbák után fogalmazódott meg teljes egészében.)



További észrevételünk, hogy az alátétlemezünk egy teljes rézlemez volt, melyre a gyökoldal is felfeküdt. Így azt tapasztaltuk, hogy egyes hegesztéseknél a gyökoldali varrat teljes mértékben felfeküdt az alátétlemezre, és csak ez „védte meg” az átolvadástól. A baloldali, és lenti kép ezt a hibát próbálja reprezentálni.

Az így elkészített varratokat sorba állítottuk, és alapos szemrevételezéssel vontuk le a fent említett következtetések java részét.

Amikor a mérésekhez értünk rossz irányelvek szerint daraboltuk le a lemezeket. Mikor egy ide vonatkozó cikket (Szabályozott anyagátvitelű



fogyóelektródás védőgázás hegesztések vizsgálata) olvastunk, rájöttünk a tévedésünkre, hogy az előírt vizsgálatokat nem tudtuk volna elvégezni rajtuk. Ez a tévedésünk lehetőséget adott arra, hogy az előbbieken elkövetett hibáinkat javítani tudtuk, illetve az intézmény felszereltségeihez igazított próbatestet készíthettünk, melyeken pontos méréseket tudunk végezni.

Mikor szemrevételeztük az előbbieken elkészített varratokat, arra a következtetésre jutottunk, hogy a vizsgálati kört egyetlen lemezvastagságra, az 1,5 [mm] vastag lemezre szűkíthetjük, továbbá ennél a lemezvastagságnál is csak a rövidzárlatos hegesztési eljárásra.

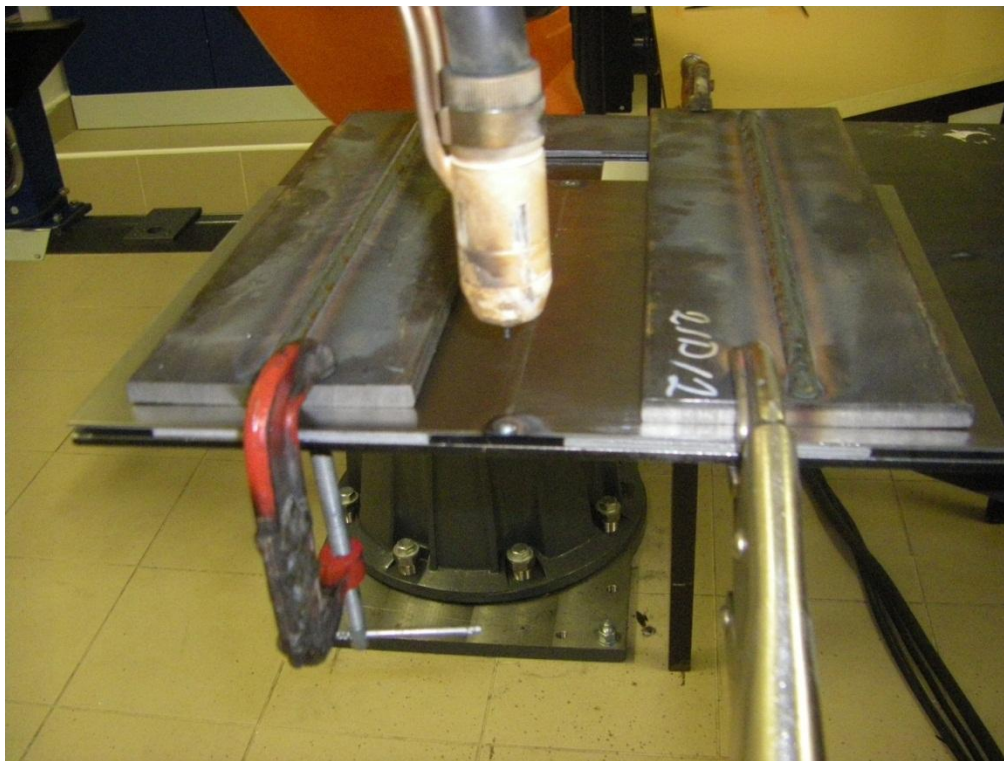
Az elkészült próbatestek szemrevételezésével, esztétikai megjelenésével egy gyakorlott szem seregnyi hibát képes kiszűrni. Így adott esetben szemrevételezés alapján kizárhatunk a

vizsgálati sorból egyes varratokat, mert ha a jellegzetes hibák láthatóak rajta, már nem kell költségesebb anyagvizsgálatok alá vetnünk őket, tudjuk, hogy nem hoznának megfelelő eredményeket.

Hegesztési vizsgálatok ismétlése

A másodszori hegesztéseknél ugyanazokat a próbatest méreteket alkalmaztuk, mint az előbbieknél, viszont itt a beállítások változtatásával próbáltunk megfelelő varratképet elérni. Tézisünk az volt, hogy annál a varratnál szükségszerű vizsgálatokat végezni, melyek szemrevételezéssel már vizsgálatra alkalmasnak tűnnek, jellegzetes hibák nem láthatóak rajtuk. Így addig-addig kísérleteztünk a beállításokkal, míg egy egyenletes varratképet nem kaptunk, melyen a vizsgálatokat maradéktalanul el tudtuk végezni.

Ezeket a hibákat kiküszöbölendő megoldásokat a következő képen bemutatott megoldásokkal próbáltuk javítani:



Látható a szabad gyök, a varrat mellett kétoldalt egy-egy alumínium lappal oldottuk meg a hőelvezetés egy részét. A hőelvezetés másik részében a leszorítást segítő vastag (8 [mm])

laposacél segített. Ezzel a keletkezett gyök valós képét láthatjuk, nincs éles hő-tükör, mely a gyökoldali varratunkat befolyásolná. A mechanikai rögzítés immáron nem oldalanként egy pontbeli leszorítás, hanem a varrat hatásvonalával párhuzamosan végigfutó laposacél kétoldali rögzítése. Ezzel megakadályozhattuk, hogy a lemez vetemedjen. ugyanis az előző hegesztések során előfordult, hogy az óriási hő bevitel következtében megengedhetetlen nagyságú, ívformában elhúzódott a hegesztésünk a rossz leszorítás miatt.

Vizsgálatok

Az előzőekben tárgyalt változtatásokkal, illetve utólagosan módosított beállításokkal, egy szemrevételezéssel elfogadhatónak minősülő varratot készítettünk. Az így elkészült varratból mintavételezésre volt szükségünk. A vonatkozó szabvány (MSZ EN ISO 15614-1:2004) négy darab hajlítót, illetve két szakító próbatestet ír elő. A hegesztett kötések közül, a varratra merőlegesen 25[mm] elhagyás után 30[mm] széles csíkokat kell kivágni, és ezeken végezni a további vizsgálatokat. Sajnos az iskolában található hajlítók betétek meghaladják az ehhez szükséges méreteket, mivel ez egy olyan vékony lemez, melyhez kis rádiuszú hajlítótüske lenne szükséges. Ennek kiváltására mikrokeménységet mértünk a darabokon.

Szakítóvizsgálat



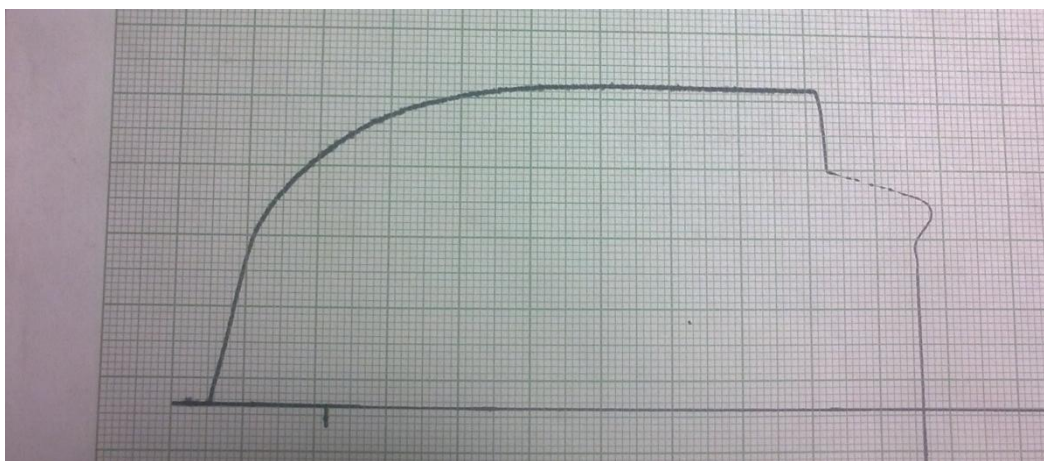
A szakítóvizsgálat során 80[mm]-es jeltávval dolgoztunk. Az eredeti állapot feltárására egy referenciaszakítást végeztünk. Három darab, azonos jeltávú, ugyanabból az anyagból készült azonos méretű (30×110×1,5 [mm]), de hegesztési varratot nem tartalmazó próbalemezen szakítást végeztünk, illetve szakító diagramot vettünk fel.

A kapott adatok feljegyzése után a varratokkal ellátott próbatesteken folytattuk a méréseket. A lemezeket a Bánki Donát kar Népszínház utca-i épületének alagsorában, a P22/A teremben található mechanikus szakítógépen

végeztük el. Az erő-nyúlás diagramot mechanikus kapcsolattal rajzolja ki egy forgó hengerre, melyre milliméterpapírt helyezve pontos jelleggörbét kaphatunk. Az első szakítások során tapasztaltuk, hogy túl nagy méréstartományt választottunk, mivel a kapott diagramunk nagyon

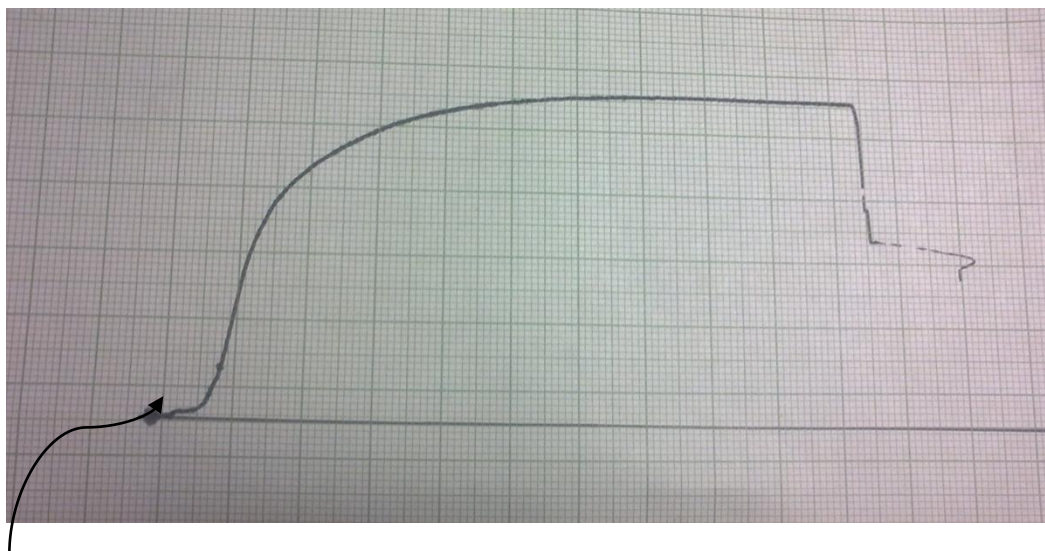
lapos lett. Ennek orvoslására a méréshatárt csökkentettük (gyakorlatilag feleztük az ellensúlyokat), így már jól látható jellegzetes szakítógörbét kaptunk eredményül. Megállapítható volt, hogy egy darabnak se volt tiszta folyáshatára, köszönhetően a gyártáskori hidegalakítási technológiának.

Szakítódiagramok



A képen egy kontrollként elszakított, hegesztett kötést nem tartalmazó próbatest szakító diagramja látható

Az alábbi képen látható diagram már egy hegesztett kötést tartalmazó próbatest szakítódíagramja



A diagram elején látható elhúzás csak a próbalemez befogásakor keletkezett, a mérőszerszék akaratlan mozgása során.

1	Kontrollemez 1		
	L_0	80	[mm]
	L_u	114	[mm]
	F_{max}	11400	[N]
	S_0	45	[mm ²]
	A_{80}	42,5	[%]
	R_m	253	[MPa]
2	Kontrollemez 2		
	L_0	80	[mm]
	L_u	116	[mm]
	F_{max}	12300	[N]
	S_0	45	[mm ²]
	A_{80}	45	[%]
	R_m	273	[MPa]
3	D4L4		
	L_0	80	[mm]
	L_u	97	[mm]
	F_{max}	13200	[N]
	S_0	45	[mm ²]
	A_{80}	21,25	[%]
	R_m	293	[MPa]
4	D5L3		
	L_0	80	[mm]
	L_u	102	[mm]
	F_{max}	13000	[N]
	S_0	45	[mm ²]
	A_{80}	27,5	[%]
	R_m	289	[MPa]
5	D5L1		
	L_0	80	[mm]
	L_u	103	[mm]
	F_{max}	12500	[N]
	S_0	45	[mm ²]
	A_{80}	28,75	[%]
	R_m	278	[MPa]

Az itt mellékelt táblázatban a szakítógépen mért eredmények találhatóak összegezve.



A képen a követőmutatós maximális erőregiszter látható. A követő mutató segítségével könnyen leolvashatjuk, hogy mekkora volt a próbatestet ért maximális húzóerő.

Felhasznált számítási képletek

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0}$$

$$S_0 = a \times b$$

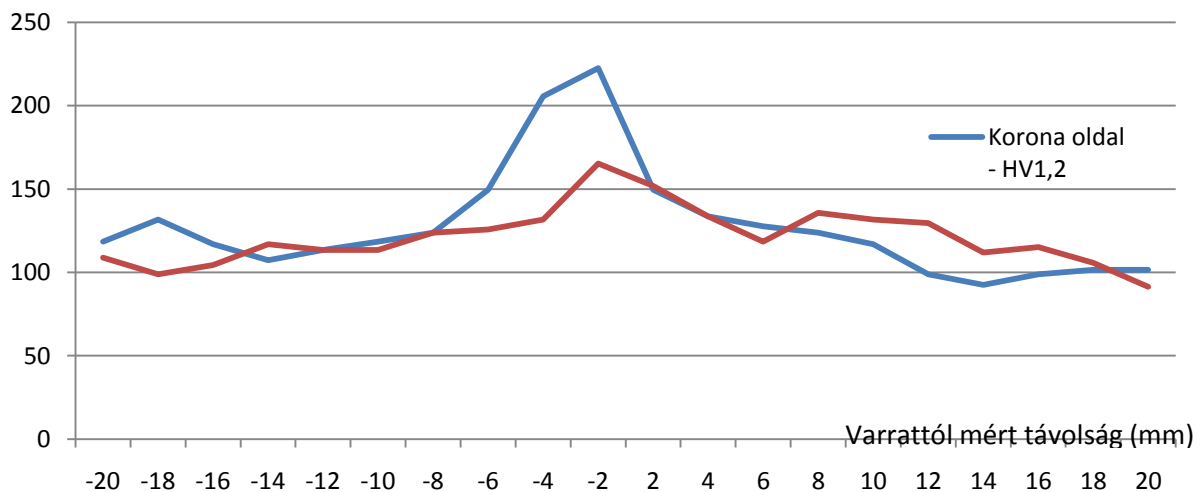
$$A_{80} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100$$

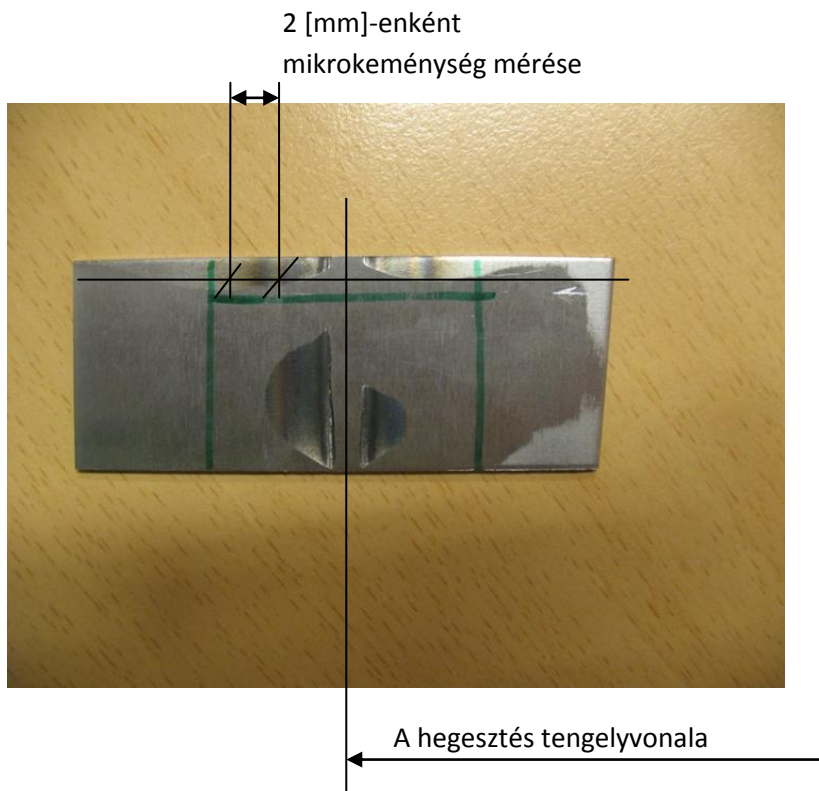
Keménységmérés

A szakító vizsgálatokon kívül mikrokeménységmérést is végeztünk, hogy a lemez a hő érte övezetében képet alkothassunk a kilágyulási, felkeményedési szakaszokról.

A mérés megkezdését megelőzően több problémába is ütköztünk. Mivel a vizsgálandó lemezeink vastagsága igen alacsony, a metszeten nem volt alkalmunk keménységet mérni. Ezáltal a lemez felületéről kellett keménységi adatokhoz jutnunk. Problémánk a vizsgálandó lemezek síkra köszörülésével adódott. Mivel a lemez mind két oldalán a hegesztett varrat a lemez síkjából kiemelkedett, a varratpúp miatt nem tudtuk a síkköszörű asztalára felfogatni, mivel az elhúzta a lemezünket, illetve nem nyújtott kellő merevségű lefogatást (mágnes asztal). Hosszas gondolkozás után jutottunk el ahhoz, hogy egy olyan mágnes asztalt használtunk a felfogatásra, melybe már előzőlegesen egy 90°-os horony volt köszörülve. Itt a horonyba bele tudtuk rakni a varratdomborulatot felül a lemeznek, és az ellenkező oldalát síkra tudtuk köszörülni. A köszörülést kis fogásokkal (0,005 [mm]) végeztük, illetve vízhűtést alkalmaztunk, hogy megelőzhessük a kilágyulást, és hiteles adatokhoz juthassunk. A fentiekben ismertetett módon elkészített vizsgálati darabot a táblavágó gépen kisebb méretűre daraboltuk, majd a mikrokeménység mérése következett. A mérést a varrat tengelyére merőlegesen végeztük a felületen, ahol is egy hatásvonalon 2 [mm]-es raszter mentén keménységi értékeket mértünk. A vizsgálatokat a varrat tengelyvonalától mindkét irányba 20-20 [mm] es hőhatás övezetében végeztük. A Vizsgálat során 1,2 [kg]-os terhelést alkalmaztunk. A mért eredményeket a mellékelt táblázat foglalja össze, a szemléltetést a grafikon segíti.

Mért értékek [HV _{1,2}]	Mérések sorsz.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Korona oldal	119	132	117	107	114	119	124	149	206	222	149	134	128	124	117	99	93	99	102	102
	Mérések sorsz.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	Gyök oldal	109	99	104	117	114	114	124	126	132	165	152	134	119	136	132	130	112	115	106	91





A mellékelt képen a keménységmérés elvi vázlata.

Következtetések

Vizsgálataink során a „Control Weld” eljárással az 1,5 [mm] vastagságú lemez volt az a minimális lemezvastagság, amit meg tudtunk hegeszteni megfelelő biztonsággal. Az általunk alkalmazott beállítások 2,00 [m/perc] huzalelőtolás illetve 60 [cm/perc] hegesztési sebesség. Ez az a paraméter pár, amellyel készített próbalemez vizsgálata során a szakítószilárdsági vizsgálat nem mutatott mechanikai gyengülést, illetve a keménységmérést végeztük. Így állapítottuk meg, hogy általunk az 1,5 [mm] vastag táblalemez, az amely minimálisan még hegeszthető. Ennél vastagabb lemezeknél megfelelő gyökbeolvadás eléréséhez a hegesztési sebességet kell csökkentenünk.

Fontosnak érezzük, hogy ez a hegeszthetőségi kijelentés csak nagyon alapos technológiai előkészülés mellett alkalmazható biztonsággal, hisz gondoskodnunk kell a hőelvezetésről és a megfelelő mechanikai rögzítésről!

Szeretnénk megköszönni az intézmény oktatóinak együttműködését, a Cloos (Crown International Kft.)-nek az általuk nyújtott segédanyagokat. Végh Sándornak a hegesztőrobot kezelésében nyújtott segítséget.

Irodalom

- Dr. GÁTI József **Hegesztési zsebkönyv**
Második, átdolgozott kiadás, 2003
Változatlan utánnyomás, 2008
GARMOND 2000 Kft., Szeged (ISBN : 963 04 8287 5)
- GYURA László et al.: **Szabályozott anyagátvitelű fogyóelektródás védőgázos
hegesztések vizsgálata**
25. Jubileumi Hegesztési Konferencia – Budapest, 2010. május
19-21. (235-253. old.)

Hivatkozott szabványok

- MSZ EN 10111:2008 Folytatólagosan melegen hengerelt lemez és széles szalag kis C-tartalmú acélból, hidegalakításra. Műszaki szállítási feltételek. (E)
(Continuously hot rolled low carbon steel sheet and strip for cold forming. Technical delivery conditions)
- MSZ EN 10130:2007 Hidegen hengerelt lapos termékek kis C-tartalmú acélból, hidegalakításra. Műszaki szállítási feltételek. (E)
(Cold rolled low carbon steel products for cold forming. Technical delivery conditions)
- MSZ EN ISO 4063:2011 Hegesztés és rokon eljárások. A hegesztési eljárások megnevezése és azonosító jelölésük (ISO 4063:2009, 2010-03-01-jei helyesbített változat) (E)
- MSZ EN ISO 14175:2008 Hegesztőanyagok. Gázok és gázkeverékek ömlesztő hegesztéshez és rokon eljárásokhoz (E)
(Welding consumables. Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes)
- MSZ EN ISO 14341:2008 Hozaganyagok hegesztéshez. Hegesztőhuzalok és hegesztési ömledék ötvöztelen és finomszemcsés acélok fogyóelektródás védőgázos ívhegesztéséhez. Osztályba sorolás (E)
(Welding consumables. Wire electrodes and deposits for gas shielded metal arc welding of non alloy and fine grain steels. Classification)
- MSZ EN ISO 15609-1: 2005 Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése.
1. rész: Hegesztési utasítás ívhegesztéshez
- MSZ EN ISO 15614-1:2004 Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése.
/A1 módosítás:2008 1. rész: Technológia vizsgálatok acélok ívhegesztésére

* (E)- jóváhagyó közleményes, angol nyelvű szabványok

Felhasznált internetes segédanyagok:

„Control Weld”

Ismertető: <http://www.cloos.hu/ivhegeszto-gepek/hegeszto-eljarasok/control-weld-hegesztesi-eljaras>

Letölthető leírás: <http://www.cloos.hu/wp-content/uploads/2011/08/Control-Weld.pdf>

„Vari Weld”

Ismertető: <http://www.cloos.hu/ivhegeszto-gepek/hegeszto-eljarasok/vari-weld-hegesztesi-eljaras>

Letölthető leírás: <http://www.cloos.hu/wp-content/uploads/2011/08/Vari-Weld.pdf>

„Speed Weld”

Ismertető: <http://www.cloos.hu/ivhegeszto-gepek/hegeszto-eljarasok/speed-weld-hegesztesi-eljaras>

Letölthető leírás: <http://www.cloos.hu/wp-content/uploads/2011/08/Speed-Weld.pdf>