



Auszténites korrozióálló acélból készült vastaglemez hegesztése egy oldali szűkített V varrattal

One side welding at austenitic corrosion-resistant thick steel plate with narrow V seam

¹Felvári Bálint, ²Fábián Enikő Réka

¹Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország, felvari.balint@bgk.uni-obuda.hu

²Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország, fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A hegesztési deformációk megállapítása hagyományos ötvözetlen szénacélból készült vékony lemezeknél jól korrelál a szimulációkkal. Az auszténites korrozióálló acélok hegesztésekor a darabok deformációja jelentős, ami különösen így van vastag lemezek esetén, főleg, ha azoknál a kötéseket egyoldali V varrattal oldjuk meg. A szimulációk és a gyakorlati alkalmazásokban jelentős az eltérés ezeknél az acéloknál. Hagyományos MIG hegesztéskor még lineáris mozgatóberendezést alkalmazva, illetve CMT eljárással való hegesztéskor is a deformáció 15°, míg CLOOS VariWeld eljárással való hegesztéskor 12° volt a 30 mm-es vastagságú 1.4301 minőségű lemezeknél.

Kulcs szavak: korrozióálló auszténites acél, MIG hegesztés, CLOOS VariWeld, vastag lemez, deformáció

Abstract

The finding of weld deformations in thin plates of conventional non-alloy carbon steel correlates well with the simulations. The deformation of austenitic corrosion-resistant steel pieces during the welding is significant, especially for thick plates, especially when the joints are made with a single V-seam. There is a significant discrepancy for these steels. In simulations and in practical applications. During conventional MIG welding, even automatized with linear motion, or after CMT method, the deformation was ~15°, still than in the case of CLOOS VariWeld technic was 12 in case of 30mm thick 1.4301 type austenitic steel.

Keywords: austenitic corrosion-resistant steel, welding, thick sheet, deformation, MIG, CLOOS VariWeld

1 Bevezetés

A korrozióálló acélok nevét adó tulajdonságának, alapvető feltétele a Cr ötvöző tartalma, melynek legalább 11-13 % - ot el kell érnie, a korrozióállóság biztosításához. A szükséges Cr tartalom révén a felületen, néhány rácsparaméternyi vékony oxid réteg jön létre, mely megvédi az acélt a korroziótól. Ezt a réteget passzív rétegnek, a folyamatot passzíválódásnak nevezzük. [1] A korrozióálló acélokat szövetszerkezetük alapján három nagy csoportba szokták sorolni: ferrites, martenzites, és auszténites korrozióálló acélok. A felhasznált korrozióálló acélok, mintegy 90 % - a auszténites acél [1, 2]. Ezeket az acélokat a kisebb mechanikai, ugyanakkor fokozottabb korroziós igénybevételnek kitett területeken alkalmazzák. Az auszténites acélok szilárdsága korlátozott, és ez hőkezeléssel sem javítható. Nagyobb szilárdság elsősorban N, B ötvözéssel, vagy hidegalakítással

érhető el [3-5]. Napjainkban folyamatosan fejlődő anyagminőségek újabb és újabb kihívásokat állítanak a felhasználók és megmunkálók elé. Az erősen ötvözött anyagokban hegesztés vagy vágás során a részben megolvad zónában kialakulhatnak, az alapanyag összetételétől függően különböző karbidok, nitridek, boridok. Ezeknek a kiválásoknak, mint amilyen a króm-karbid, titán-karbid, vagy niobium-karbid magasabb az olvadáspontja, mint az őket körülvevő anyag, ezért a részben megolvadt zónában a karbidok nem olvadnak meg, és ezek az ömledék szilárdulásakor repedéseket okozhatnak [6-7].

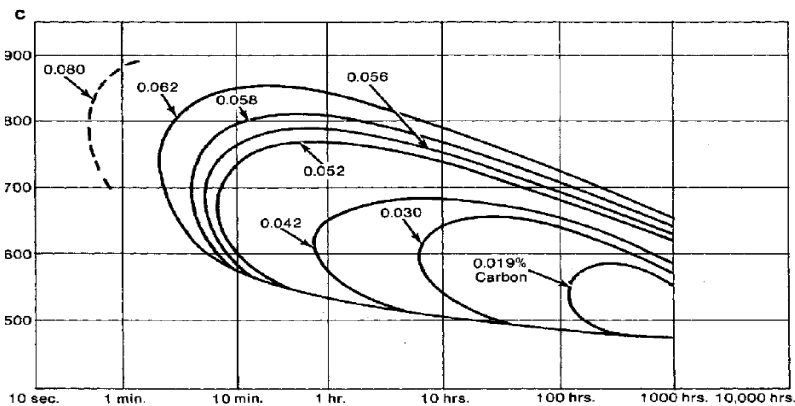
Az ausztenites korrózióálló acélokat a jól hegeszthető acélok közé szokás sorolni. Ennek ellenére különösen fontos szem előtt tartani a következő fő tulajdonságokat (szemben az ötvöztelen acélokkal):

- lényegesen nagyobb a hőtágulásuk,
- sokkal rosszabb a hővezető képességük,
- sokkal nagyobb a villamos ellenállásuk,
- nincs beedződés a hegesztés hőfolyamatban.

Ezekből az következik, hogy viszonylag kis hegesztési hőbevitellel kell hegeszteni, koncentrált hőforrásra van szükség, arra kell törekedni, hogy minél keskenyebb hősávot melegítsünk fel a hegesztés során. [1]

A nagy hőtágulás és a szénacélokhöz képest kisebb hővezetőképesség 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. A fokozott elhúzó veszélye miatt fűzőkor 1- 1,5 mm –rel nagyobb illesztési rést kell beállítani, mint amekkorára szükség lenne [1, 6].

Másik probléma a könnyebben előállítható relatív nagyobb karbontartalmú ausztenites acélok hegesztésekor a króm-karbid kiválás okozta korrózióval szembeni érzékenysége.



1. ábra Hőmérséklet, idő és karbontartalom közti kapcsolat az ausztenites korrózióálló acélok kabidkiválásainak megjelenésére, korrózióval szembeni érzékenysége [7]

Napjainkban hegesztési kötés során kialakuló a termikus, mikroszerkezeti és mechanikai problémák megoldása érdekében számos esetben használnak végeeselemes modellezéseket. A torzulás és a feszültségek pontos előrejelzését megnehezítik a hegesztések során esetlegesen megjelenő kiválások. A maradó feszültségekre vonatkozó valós mérések igen nehézkesek, különösen vastagabb daraboknál. Tsirkas és munkatársai [8] 3D végeeselemes analízist (VEA) használtak a lemezek tompakötéseinél a torzulások előrejelzésére. A kísérleti eredmények és a

numerikus modellezéssel előre jelzett eredmény közötti különbség 13 % volt. Deng és Murakawa [9] hasonló 3D-s végeelemes modellezést végzett lágyacélból készült vékony lemezeken, és jó egyezést mutatott a kísérleti eredményekkel. Kiderült, hogy az előrejelzés nagyon kis vastagságú lemezek hegesztésekor pontos, mivel a vastagságon átmenő hőmérsékleti gradiens elhanyagolható.

Elmesalamy és munkatársai [10] 2D-s véges elemes modellezést használtak a teljes vastagságon keresztüli maradó feszültség eloszlás, torzulások és képlékeny alakváltozások jellemzőinek értékelésére keskeny hézagú (lézerhegesztés) és V-hornyos (TIG) hegesztési kötéseknel SS 316 L lemezben, amelynek vastagsága legfeljebb 20 mm. Kimutatták, hogy a TIG esetében a torzulás körülbelül háromszor nagyobb a keskeny hézagú lézerhegesztésnél. Ezek az elemzések nem foglalkoztak a hozaganyagok hatásával. Fábíán és társainak [11-14] eredményei azt mutatták, hogy korrózióálló anyagok lézersugaras hegesztésekor, a hegesztési paraméterek mellett a hozaganyagok is jelentősen befolyásolják a varrat jellegét, hőhatásövezetet jellegét, különösen duplex acéloknaál, ami jelentősen befolyásolja az ilyen acélok varratközeli korrózióállóságát is [15-17]. Kovács és tsa [18] kísérletei rámutattak hogy az ausztenites acélok lézersugaras hegesztésekor is elhúzódnak, még 1-3 mm vastagságú lemezeknél is rögzítés, leszorítás szükséges.

Yavuz Yücesoy és Vural [19] által végzett kísérleteket 20 mm vastagságú rozsdamentes acéllemezek tompakötésinek konfigurációjára vonatkozó vizsgálatai kimutatták, hogy a végeelemes modellezés segítségével megjósolt torzulások alacsonyabbak, mint a tényleges alkatrészben előforduló torzulások. Yaghi és munkatársai [20] 7,1 mm (4 varrattal hegesztett) és 40 mm vastag (36 soros) rozsdamentes acélcsoövek maradó feszültségének értékelésére 2D tengelyszimmetrikus végeelemes modellezés-elemzésről számoltak be. Úgy találták hogy a vékony csönél a legnagyobb maradó feszültség a csöbelső falánál a gyökvarratnál, míg a vastag csönél a csö külsőfalánál a varratban és hőhatásövezetében marad. ezek a feszültséggel teli zónák a korrózió kiindulási pontjai lehetnek Deng és munkatársai 2008-ban [21] kimutatták, hogy a 23 mm vastagságú ausztenites (1.4304 típusú) acélcsoében a kísérleti és a numerikus úton kimutatott maradó feszültségek jól összehasonlíthatóak a hegesztési középvonal közelében lévő tengelyirányban. A hegesztés középvonalától távolodva azonban eltérések vannak a tengelyirányú feszültségekben.

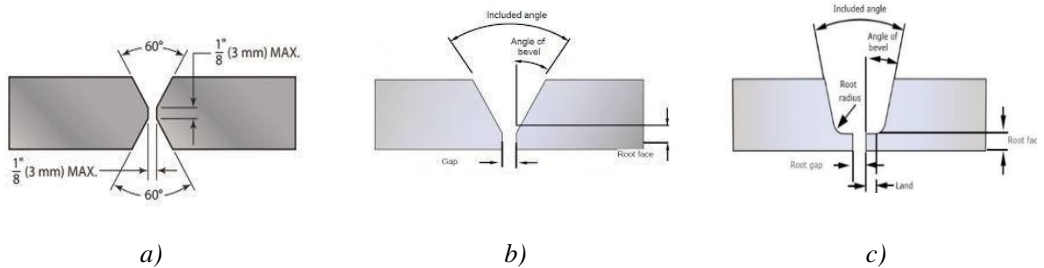
Deng és Kiyoshima [22] 3D-s végeelemes modellezést végzett a hegesztés okozta maradó feszültségek előrejelzésére 25 mm vastag SUS 304 körhegesztett csönél, a hegesztés kezdetének/végének régiójára helyezve a hangsúlyt. A hegesztés kezdő/vég régiójának közelében a maradó feszültségek éles gradiensét mutatták ki. Az utolsó menetnek a maradó feszültségek kialakulására gyakorolt jelentős hatásáról is beszámoltak. Zubairuddin és társai [23] kimutatták, hogy a maximális hosszirányú maradó feszültségek alacsony széntartalmú acél és ultranagy szilárdságú acél hegesztési varrataiban olyan magasak, mint az anyag folyáshatára.

Kevés kísérleti technika áll rendelkezésre a teljes vastagságon átmenő hegesztési kötésekben maradó feszültségek mérésére. A kísérleti eredmények és a numerikus/analitikus módszerek eredményei jelentősen eltérnek egymástól. A szakirodalomban a vastag hegesztési kötésekről szóló tanulmányok száma még kevesebb.

Banik és társai [24] 20 mm vastag lemezek tompa hegesztésekor fellépő torzulásokat TIG eljárással hegesztve vizsgálták. A 25 x100x20 mm-es darabok hegesztésekor, V varrat kiképzéssel (8 réteg és13 sor) 15°-os torzulást mértek. A hőmérsékleteloszlást, feszültségeloszlásokat illetve a torzulások modellezéshez a 3D-s SYSWELD-et [25] alkalmazták. A 60 °-os kiképzéssel készített V varratok okozta feszültségek és torzulások eredményei igen jó egyezést mutattak a számított értékekkel. A valóság és a modellezés között csak 2,61% eltérést tapasztaltak.

Ye és munkatársai [26] ausztenites korrózióálló acélnál (SUS304) a varratalak (V, K és X típusú) hatását vizsgálták a hegesztés okozta torzulásra, a maradó feszültségekre és a hőhatásövezetben kialakuló korróziós érzékenységre tompahegesztési kötések kísérleteinek és szimulációinak elvégzésével. A kimutatták, hogy a torzulások, a maradó feszültségek és a

szenzibilizált varrat szélessége V-típusú hornyoknál lényegesen nagyobbak Számos esetben nagy daraboknál a darabok forgatása a termelékenységet rendkívül csökkenti, vagy a hegesztéskori kétoldali hozzáférés korlátolt, így szükség van az egyoldali hegesztésre vastag lemezeknél is. Ugyanakkor kétoldali varratkialakításnál ügyelni kell a pontos pozícionálásokra, hiszen a darab megmunkálása nagy valószínűséggel, egy forgatási mellékfolyamat segítségével valósul meg. Igen komoly kihívásokat jelent a kétoldali gyök megmunkálása és a kétoldali hegesztés, sok esetben kivitelezhetetlen a darabok méretéből adódóan (2. ábra). Modern eljárással kiválthatjuk a kétoldali megmunkálást. Egy oldalról történő hegesztéskialakításnál különböző profilokat választhatunk (2. ábra b), c) vázlatai, melyek az aktuális feladat alapján határozhatunk meg.



2. ábra A varrat kialakítása vastag lemezeknél a) X varrat kialakítás b) V varrat kialakítása c) U varrat kialakítása

Bár a SYSWELD számos esetben igen jól használható, modern hegesztési eljárásokra még kevés az adat, különösen az ausztenites korrózióálló acéloknaál. Ahhoz hogy adataink legyenek szükséges a kísérletek végzése.

2. Anyagok és technológiák

Vizsgálatainkhoz a választott minőség egy nagyon széles körben használt 1.4301 típusú ausztenites korrózióálló acélra esett, melyet elsőszeretettel használnak élelmiszeripar, gyógyszeripar és vegyipar számos területén. Az acél szabvány szerinti összetételét az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat Avizsgálatra választott acél összetétele

Acél jele		Vegyí összetétel, %				
DIN 17006	DIN 10088-3 (AISI)	C, max	Cr	Ni	Mo	Egyéb
X5CrNi18-10	1.4301 (304)	0,07	17 - 19,5	8 - 10,5	-	5xC<Ti≤0,7

A 100mm × 300mm × 30 mm méretű próbalemezekből 15 fokal lelézéssel két -két darabot fűztünk össze a kísérlet lebonyolításához. Összefűzés nélkül a két darab közti hézag egyre szűkül. A munkadarabok így szűkített egy oldali „V” varrattal lettek kihegesztve. A megmunkálási folyamatot termoelemekkel dedikáltuk, így a hegesztés minden folyamatát a sorok közti hőmérsékletet jól lehet szabályozni. Kezdetekben az egyoldali szűkített varratok úgy voltak kialakítva, hogy a munkadarabok teljesen összeértek gyökhézag alkalmazása nélkül. Eleinte, ez a megoldás a vékony anyagél miatt elfogadhatónak tűnt, ugyanakkor később, a csiszolatoknaál rávilágított egy súlyos problémára, mégpedig a gyökoldal átolvadásának részlegességére.

Későbbiekben, ezt a problémát minimális 1,5 mm-es hézaggal orvosoltuk



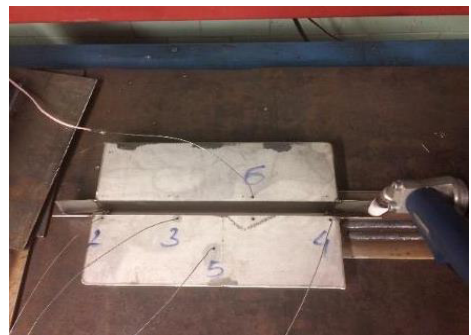
3. ábra Összefűzött próbatest a termoelemeknek előkészített furatokkal

A választott huzal ausztenites korrózióálló acélokhoz fejlesztett Esab 308LSI. volt . Védőgázként argont alkalmaztunk.

Három technológiát próbáltunk ki. Elsősor a szinte mindenhol megtalálható MIG/MAG technológiát alkalmaztuk. Az eljárás során a 4. ábrán látható lineáris mozgató berendezésségítségével hegesztettünk. A berendezés egy robosztus vázból és asztalból áll, amelyet egy golyós orsó segítségével egy léptetőmotor mozgat. A motor vezérlését egy mikroprocesszor végzi.



a)



b)

4. ábra MIG eljárással való hegesztés részletei a) MVE MIG berendezés: b) Lineáris mozgató és munkadaraba termoelemekkel

A berendezés oldalán található egyszerű kezelőfelületen beállíthatjuk a hegesztési sebességet, és az iv gyújtás indítását és befejezését.

A második kísérletként Fronius CMT eljárát alkalmaztunk, modernebbnek mondható hét tengelyes Yaskawa robot robottal végzetük a hegesztést. A paraméterek beállítása, azaz a beprogramozás kimondottan korrózióálló anyagminőségekhez volt fejlesztve.

Harmadik kísérlethez CLOOS Variweld technológiát alkalmaztunk.

3. Kísérleti eredmények

Az első MIG/MAG technológiát alkalmazó kísérletsorozatnál, annak ellenére, hogy befogó készülékben robusztus zártszelvényekhez (60×40×3 mm) volt rögzítve a darab a készüléket is elhajlította (5. ábra), a csavarok megnyúltak.



5. ábra MIG eljárással való hegesztés után elhajlott darab és készülék

A másodikként alkalmazott Fronius CMT eljárás alkalmazásakor a folyamat közben egyáltalán nincs semmilyen fröcskölést nem tapasztaltunk. A robot pontos mozgása, mind a sebesség mind a mozgásirányok tekintetében sokkal precízebb, mint a lineáris mozgatás hozzá tett a munkadarab helyes hegesztéséhez. A munkadarab vetemedése valamelyest kevesebb volt mérések alapján, mint az előbbi hegesztés során. A nagy áttérés talán azért váratott magára mert az eljárás nem kifejezetten vastaglemezhez lett kifejlesztve. A hegesztést több sorból kellett kialakítanunk, mint korábban így a drasztikus energiabevitel csökkentése elmaradt, de a vetemedés mértéke kissé 15°-alá. csökkent.

A CLOOS VariWeld eljárással készülhegesztések hozták a legjobb eredményeket. A 6-7. ábrán előfeszítés nélkül, a 9. ábrán szögelfordulással illesztett lemezek hegesztés utáni állapota látható.



6. ábra Vetemedett lemez



7. ábra 12°-os vetemedés

A hagyományos eljárással hegesztett munkadaraboknál a torzulás mértéke, ~ 15°-os torzulás (felhajlás) volt mérhető, addig a CLOOS eljárással hegesztett darab 12°-ot torzult (6- 7. ábra). Ezen kísérletek eredményei alapján, arra a következtetésre jutottunk, hogy a próbatetek leélezésén nem változtatunk, viszont a vetemedés mértékét előre kialakítjuk a próbadarabokon Az így kapott lemezpárok ellentétes szögben beállítva kerültek a hegesztőberendezés asztalára. Így a jelenlegi állás alapján, erre az értékre állítottuk be a darabot (8. ábra). Gyökhézagot 2 mm-re növeltük ezzel segítve

az átolvadást. Az így létrehozott varrattal a darab sík kifekvésű lett és (9. ábra) és teljes átolvadás jött létre (10. ábra).

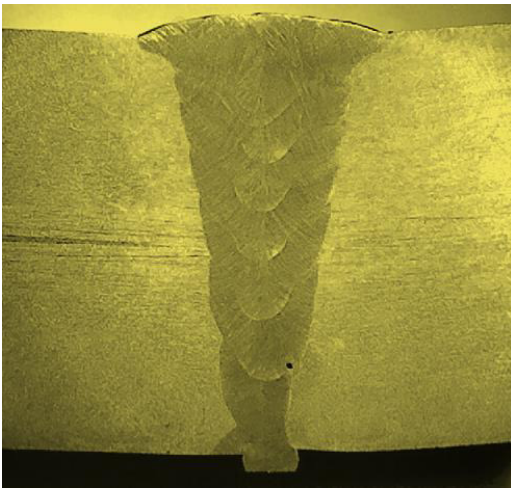


8. ábra Korrigált összeillesztés

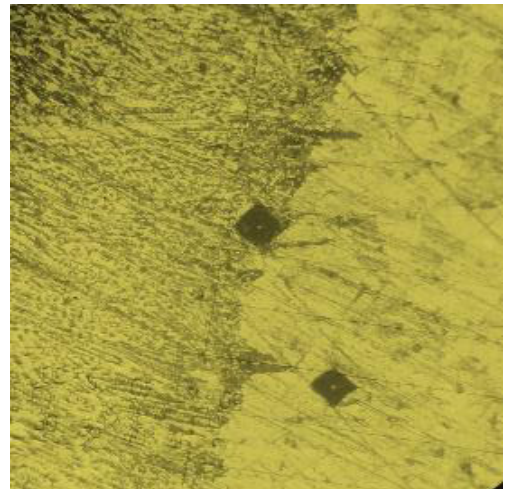


9. ábra Torzulás mentes szerkezet

A metallográfiai csiszolaton látható hogy e szűkített módszerrel létrehozott varrat hőhatásövezete nagyon keskeny . a keménységek lenyomatai közti különbségek a hőhatás övezetben és az alapanyagban alig különbözik (11. ábra).

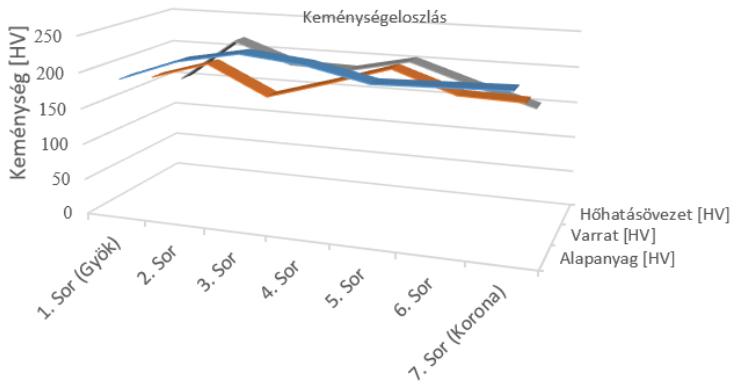


10. ábra Keskeny réshegesztéssel létrehozott 7 soros varrat makro felvétele



11. ábra Keménységlenyomatok a varrat hőhatásövezetében és az alapanyagban ($N_{eredeti}=500x$)

Minden varratsor környezetében szabványnak megfelelően 3-3 mérést végeztünk az alapanyagban a hőhatásövezetben és a varratfémbe. A keménységeloszlás homogénnek mondható. Jelentős eltérés az alapanyaghoz viszonyítva sem a hőhatás övezetben, sem a varratfémbe nem volt tapasztalható (12. ábra)-



	1. Sor (Gyök)	2. Sor	3. Sor	4. Sor	5. Sor	6. Sor	7. Sor (Korona)
■ Alapanyag [HV]	188,66	218,8	234,67	226,06	207,72	210,2	212,73
■ Varrat [HV]	173,97	199	158,73	183,79	210,2	181,09	178,45
■ Hőhatásövezet [HV]	154,44	217,04	187,5	185,16	203,69	175,87	151,09

12. ábra Keménységmérési eredmények átlagának ábrája

4. Következtetés

Az egyoldali varrat kialakítás nagyban hozzájárul a termelékeny és gazdaságos „modern” igények érvényesüléséhez, sőt mi több a biztonságot is elősegíti. Kísérletekben használt kis méretű, (korábban bemutatott) minta jó alapul szolgálhat a valódi felhasználásnál jóval nagyobb méretek alkalmazásánál.

A vetemedés problémájának mérséklése érdekében különböző kialakításokat vizsgáltunk meg. Az így kapott eredmények alapján az eljárások és kialakítások kombinációjából, az optimálisnak egy szűkített varratot találtam melyet megfelelő előfeszítéssel eszközölve, szinté teljesen deformáció mentes munkadarabot kaptam az eljárás végére. A darab belső feszültségéből adódó alakváltozások irányítottan, az előfeszítéssel ellentétes irányba mentek végbe, így a bevitt hőenergia egy része a darab helyes pozíciójába történő elmozdulást segítette.

Kísérletek végeztével megállapítható, hogy a modern gépiesítés és a jól megválasztott kialakítás segítheti a gyártási folyamat egyszerűsítését. A modern eljárások segítenek az új szigorú biztonsági feltételek érvényesülésében. Megéri időt pénzt és energiát áldozni, egy folyamat optimalizálására főleg, ha sorozatgyártásról van szó. Korábbiakban az erősen ötvözött anyagminőségek körülményes hegesztése napjainkra már viszonylag leegyszerűsödött, ez segíti a felhasználási területek bővülését. Jól megválasztott technológia és kialakítás választása után is garantálni tudjuk a szövetszerkezet megfelelőségét és a mechanikai tulajdonságok megtartását.

5. Szakirodalom

- [1] Károly, B. (1997). Az ötvözetlen, gyengén és erősen ötvözött szerkezeti acélok korrózióállósága, különös tekintettel azok hegeszthetőségére. Corweld, Budapest, Hungary, 1, 12.
- [2] Mika, S. (2013). Outokumpu, Stainless Steels Handbook Outokumpu Stainless AB, Avesta Research Centre. www.outokumpu.com
- [3] Dománková, M., Bártová, K., Slatkovský, I., & Pinke, P. (2016). High nitrogen austenitic stainless steel precipitation during isothermal annealing. *Materials Engineering/Materialove Inzinierstvo*, 23(2).
- [4] Katarína, B., Marek, A., Jana, P., & Peter, P. (2018). Microstructure Characteristics of Borated Austenitic Stainless Steel Welds. *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, 26(43), 45-52.
- [5] Dománková, M., Kocsisová, E., Pinke, P., & Slatkovský, I. Effect of deformation on sensitisation process in austenitic stainless steel aisi 316.
- [6] Lippold, J. C. (2014). *Welding metallurgy and weldability*. John Wiley & Sons.
- [7] Series, A. D. S. H. (1988). *Welding of stainless steels and other joining methods*. American Iron and Steel Institute, Washington.
- [8] Tsrikas, S. A., Papanikos, P., & Kermanidis, T. (2003). Numerical simulation of the laser welding process in butt-joints specimens. *J Mater Process Technol*, 134, 59-69.
- [9] Deng, D., & Murakawa, H. (2008). Prediction of welding distortion and residual stress in a thin plate butt-welded joint. *Computational Materials Science*, 43(2), 353-365.
- [10] Elmesalamy, A., Francis, J. A., & Li, L. (2014). A comparison of residual stresses in multi pass narrow gap laser welds and gas-tungsten arc welds in AISI 316L stainless steel. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 113, 49-59.
- [11] Fábrián E.R. ; Dobránszky J. ; Csizmazia J. ; Ott R. (2016). Duplex acélok lézersugaras hegesztése: Hozaganyag hatása a varratfém tulajdonságaira In: Palotás, Béla (szerk.) 28. Nemzetközi Hegesztési Konferencia Dunaújváros, Magyarország, 323 p. pp. 317-323
- [12] Kovács, F., & Fábrián, E. R. (2020). Microstructural Changes During Laser Beam Welding of Austenitic Stainless Steel Sheets. *Acta Materialia Transylvanica*, 3(2), 81-85.
- [13] Fábrián, E. R. (2018). Laser Welding Parameters Effect on the Weld Metals Properties at Duplex Stainless Steels. *Adv Tech Mat*, 43(2), 7-13.
- [14] Fábrián, E. R., Dobránszky, J., Csizmazia, J., & Ott, R. (2017). Effect of laser beam welding on the microstructure of duplex stainless steels. In *Materials Science Forum* (Vol. 885, pp. 245-250). Trans Tech Publications Ltd.
- [15] Kovács, F. ; Fábrián, E. R. (2019). Korrózióállóság a hegesztési eljárások és a hegesztési sebesség függvényében In: Horváth, Richárd; Beke, Éva; Stadler, Róbert Gábor (szerk.) Mérnöki Szimpózium a Bánkin előadásai : Proceedings of the Engineering Symposium at Bánki (ESB 2019) Budapest, Magyarország : Óbudai Egyetem 94 p. pp. 23-28.
- [16] Fabian, E. R., Kuti, J., Gati, J., & Toth, L. (2020). Corrosion Behavior of Welded Joints in

- Different Stainless Steels. *Revista De Chimie*, 440-449.
- [17] Fábíán, EE R. (2021). Lézersugárral hegesztett duplex és ausztenites acélok korróziós viselkedése *Hegesztéstechnika XXXII évfolyam* : 2021 V 4 pp. 41-46.
- [18] Kovács F. ; Fábíán E. R. (2021). Korrózióálló acélok szövetszerkezetében végbemenő változások lézersugaras hegesztési paraméterek függvényében In: Gáti, József (szerk.) XXX. Jubileumi Nemzetközi Hegesztési Online Konferencia: Konferencia Kiadvány Budapest, Magyarország: Magyar Hegesztési Egyesület pp. 126-130
- [19] Yücesoy, H. Y., & Vural, M. (2014). Experimental & Finite Element Analysis Of The Distortion Behavior Of Welded AISI 321 Type Austenitic Stainless Steels. *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 10(1), 65-80.
- [20] Yaghi, A., Hyde, T. H., Becker, A. A., Sun, W., & Williams, J. A. (2006). Residual stress simulation in thin and thick-walled stainless steel pipe welds including pipe diameter effects. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 83(11-12), 864-874.
- [21] Deng, D., Murakawa, H., Liang, W., (2008). Numerical and experimental investigations on welding residual stress in multi-pass butt-welded austenitic stainless steel pipe. *Comput. Mater. Sci.* 42, 234–244.
- [22] Deng, D., Kiyoshima, S., (2010). FEM prediction of welding residual stresses in a SUS304 girth-welded pipe with emphasis on stress distribution near weld start/end location. *Comput. Mater. Sci.* 50, 612–621.
- [23] Zubairuddin, M., Albert, S. K., Mahadevan, S., Vasudevan, M., Chaudhari, V., & Suri, V. K. (2014). Experimental and finite element analysis of residual stress and distortion in GTA welding of modified 9Cr-1Mo steel. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28, 5095-5105.
- [24] Banik, S. D., Kumar, S., Singh, P. K., Bhattacharya, S., & Mahapatra, M. M. (2021). Distortion and residual stresses in thick plate weld joint of austenitic stainless steel: Experiments and analysis. *Journal of Materials Processing Technology*, 289, 116944.
- [25] Systus International, ESI Group, (2017). SYSWELD FEM Analysis Program, Reference Manual. ESI Group, Paris/Lyon, France.
- [26] Ye, Y., Cai, J., Jiang, X., Dai, D., Deng, D., (2015). Influence of groove type on welding-induced residual stress, deformation and width of sensitization region in a SUS304 steel butt welded joint. *Adv. Eng. Softw.* 86, 39–48.