

Fazekas Csaba, Szigeti Ferenc

A hegesztési sebesség varratulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata S355 típusú acél hegesztésénél

Hegesztett kötések készítettünk ömlesztő hegesztőeljárással a hídszerkezetek gyártásában gyakran alkalmazott S355J2+N Z15 ötvözetlen acéllemez felhasználásával annak vizsgálatára, hogy az MSZ EN ISO 15614-1 szabványban előírt hőbeviteli értékektől való eltérés milyen mértékben változtatja meg a hegesztett kötések tulajdonságait. A hegesztett kötések roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatokat végeztünk. A hőbevitel jelentős változtatása legnagyobb mértékben a hegesztett kötés keménység- és ütőmunkaértékeit befolyásolta. A vizsgálati eredmények és a kísérleti tapasztalatok hozzájárulhatnak a vizsgált típusú és lemezvastagságú acélok helyes hegesztéstechnológiájának kidolgozásához, valamint a gyártás során keletkező hegesztési hibák csökkentéséhez.

Kulcsszavak: hegesztési sebesség, fajlagos hőbevitel, hegesztett kötések mechanikai vizsgálata, a hőhatásövezet keménysége és ütőmunkája

1. Bevezetés

Az MSZ EN ISO 15614-1 szabványban [2] rögzített követelmény acéllemezek hegesztésekor a korlátozott hőbevitel. Eszerint ütőmunka-követelmény esetén a hegesztéskor alkalmazott hőbevitel felső határa 25%-kal lehet nagyobb, keménységi előírásokról pedig a hőbevitel alsó határa 25%-kal lehet kisebb, mint a próbahegesztésnél korábban alkalmazott érték. Nem automatikus hegesztési eljárások alkalmazásakor a hőbevitel értékét meghatározó tényezők közül a legbizonytalanabb a hegesztési sebesség, mert az gyakran a hegesztő tapasztalatára van bízva, ellenőrzése nagyon nehéz és körülményes. Ilyen esetben a hegesztő megfelelő tapasztalata hiányában elképzelhető, hogy olyan hegesztett varrat készül (az előírt hegesztési sebességtartományok, például termelékenységi követelmények miatti jelentős változtatás következtében), amely a legszigorúbb üzemi roncsolásmentes anyagvizsgálatok (VT, PT, UT, RT) során sem mutat hibát. Mégis a roncsolásos anyagvizsgálatokkal kimutatható mechanikai tulajdonságok olyan mértékben megváltozhatnak, hogy már nem felelnek meg az előírt követelményeknek egy ellenőrző vizsgálat során. Kísérleteink során a szabványban előírt hőbevitelt jelentősen megváltoztatva készítettünk munkapróbákat, amelyeken roncsolásos és roncsolásmentes anyagvizsgálatokat végeztünk. Vizsgálataink célja a különböző hőbevitellel

elkészített varratok közötti, elsősorban mechanikai tulajdonságbeli különbségek feltárása a helyes hegesztéstechnológia kidolgozása, illetve a gyártás során keletkező hegesztési hibák csökkentése érdekében.

2. Kísérleti körülmények, vizsgálati módszer

A hegesztett kötéseks készítéséhez MSZ EN ISO 15614-1 szerinti, Lv30 × 150 × 700 mm-es szabványos próbatesteket készítettünk, mindkét fél munkadarab 30°-os leélezésével, 1 mm-es élszalaggal, amelyeket V-varrattal kötöttünk össze. A hegesztést megelőzően gondos felület-tisztítást végeztünk. Összeállításakor fűzővarratokat készítettünk a munkapróbák két végén kb. 80 mm hosszúságban, ügyelve az élszalagok párhuzamosságára és a (p)WPS-ekben szereplő 6 mm-es illesztési hézag pontos betartására. A jelentős hőbevitel által okozott szögzsugorodás csökkentése érdekében a munkapróbák mindkét végétől számítva 200 mm távolságra, munkapróbánként 2 db, a varratnál kivágott, később eltávolított merevítőbordát hegesztettünk fel a bordák mindkét végén 50 mm hosszán a5-ös méretű sarokvarrattal (1. ábra). A gyökoldalon kerámiamegtámasztást alkalmaztunk.



1. ábra

Az alakváltozás csökkentése merevítőbordákkal [a szerzők]

Előkészítés és összeállítás után a munkadarabok felületén kicsapódott párát (40 °C-os előmelegítéssel) eltávolítottuk. A hegesztési kísérletek során a gyöksort fogyóelektródás aktív védőgázos kézi ívhegesztéssel (135) készítettük, a töltő- és takarósortokat fedett ívű (121) eljárással. Kézi hegesztéshez Fronius TransSteel 5000 Syn, míg fedett ívű hegesztéshez ESAB LAF635 típusú hegesztő áramforrást használtunk.

A hegesztési paraméterek meghatározásánál a viszonyítási alapul szolgáló próbatest (P1) hegesztésénél az MCE Nyiregyháza Kft.-nél a gyakorlatban is alkalmazott eljárásvizsgálat paramétereit használtuk. A normál paraméterekkel hegesztett munkapróbák készítésekor bevitt hő meghatározása az MSZ EN ISO 15614-1-nek megfelelően az alábbi képlettel történt [1], [4]:

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \text{ kJ/mm} \quad (1)$$

ahol:

- k – a hegesztési eljárás termikus hatásfoka: 0,6–1;
- 135 – fogyóelektródás kézi ívhegesztésnél (aktív védőgázzal): 0,8;
- 121 – fedett ívű hegesztésnél (huzalelektródával): 1;
- U – ívfeszültség (V);
- I – hegesztőáram (A);
- v – hegesztési sebesség (mm/s).

Túlzottan alacsony hőbevitel esetén a varrat és a hőhatásövezet felkeményedhet, a túlzottan magas hőbevitel hatására pedig a varrat és a hőhatásövezet szívóssága romolhat [3], ez magyarázza az MSZ EN ISO 15614-1 szabványban a hőbevitel alsó és felső határától való eltérés $\pm 25\%$ -kal történő korlátozását. A különböző munkapróbák hőbevitelének meghatározásakor az MSZ EN ISO 15614-1 által megengedett maximum 25%-os eltérést akartuk meghaladni, így a (P1) hőbeviteléhez képest 50%-os hőbevitel-növelést tűztünk ki célul.

A lassú, nagy hőbevitelű próba (P2) fajlagos hőbevitelének meghatározásakor a P1 (normál haladási sebességű) próba fajlagos hőbeviteli tartományainak a legnagyobb értékét vettük alapul, majd ehhez képest határoztuk meg a célul kitűzött 150%-os értékeket. A gyors, kis hőbevitellel hegesztett próba (P3) esetén a normálnak tekintett tartományok legkisebb megengedett fajlagos hőbeviteli értékeiből (a P1 hőbeviteli értékei) számítottuk ki az 50%-ot meg nem haladó értékeket. A kis és nagy hőbevitelű munkapróbák hegesztési sebességének (v) meghatározása az (1) egyenletről történt. A nagy hőbevitelű munkapróba esetén csak a maximális hegesztési sebességet számoltuk ki, amely az előzőekben meghatározott minimális fajlagos hőbeviteli érték eléréséhez szükséges. A kis hőbevitelű próba esetén pedig csak a minimális sebességet határoztuk meg, hogy a célul kitűzött alacsony hőbeviteli értékeket tartani tudjuk.

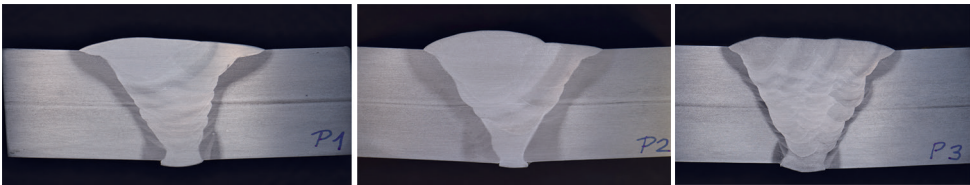
A hegesztett kötések elkészítése után a számított paramétereket a hegesztési kísérletek tapasztalatai alapján kis mértékben megváltoztattuk, valós paraméterek szerint módosítottuk, majd ezek alapján számítottuk ki a tényleges fajlagos hőbevitel értékeit és azok eltérését a tervezett normál hegesztési sebességű fajlagos hőbevitelhez képest (1. táblázat).

1. táblázat
Valós hegesztési paraméterek [a szerzők]

| A próba- test jele | Varratsor | I [A] | U [V] | Huzalelőtölési seb. [m/min] | Hegesztési sebesség (beállított) [mm/min] | Hőbevitel [kJ/mm] WPS szerint | Számított hőbevitel (beállított értékből) [kJ/mm] | Hőbevitel- eltérés (a normál- hoz képest) [%] |
|-----------------------|-----------|---------|---------|--------------------------------|--|-------------------------------------|---|---|
| P1 (normál) | gyök | 260 | 26,5 | 8,2 | 154,5 | 1,81–3,88 | 2,14 | – |
| | töltő | 500 | 29 | – | 450 | 1,61–2,26 | 1,93 | – |
| | takaró | 535 | 30 | – | 350 | 2,38–3,54 | 2,75 | – |
| P2 (lassú) | gyök | 278 | 26,5 | 9 | 69,9 | $5,82 \leq$ | 5,06 | +30% |
| | töltő | 500 | 29 | – | 230 | $3,39 \leq$ | 3,78 | +67% |
| | takaró | 535 | 30 | – | 160 | $5,32 \leq$ | 6,02 | +70% |
| P3 (gyors) | gyök | 278 | 26,5 | 9 | 191,5 | $\leq 0,9$ | 1,85 | – |
| | töltő | 500 | 29 | – | 1150 | $\leq 0,8$ | 0,76 | –52% |
| | takaró | 535 | 30 | – | 840 | $\leq 1,19$ | 1,15 | –51% |

3. Vizsgálati eredmények

A roncsolásmentes anyagvizsgálatok alapján (szemrevételezéses, VT; mágneporos, MT; ultrahangos, UT; röntgen, RT) valamennyi varrat megfelelt. A roncsolásos vizsgálatokhoz a próbatestek kimunkálása az MSZ EN ISO 15614-1 szerint történt. A keresztirányú szakítóvizsgálat (MSZ EN ISO 4136:2022) eredménye minden próbatest esetén megfelelt, a szakítószilárdság az előírt tartományon belül volt, minden vizsgálati próbatest az alapanyagban szakadt. A makrovizsgálatok (MSZ EN ISO 4136:2022) minden próbatestnél megfelelő beolvadást mutattak. A 2. ábrán a makrociszolatokon jól látható, hogy a nagy hegesztési sebességgel (P3) való hegesztéskor a varratsorok száma jelentősen megnőtt, illetve a hőhatásövezet jelentősen lecsökkent. A kis haladási sebességnél (P2) a varratsorok száma csökkent, viszont a hőhatásövezet lényegesen szélesebb lett. Ez különösen a varrat középvonalaiban és a koronaoldalon látványos.



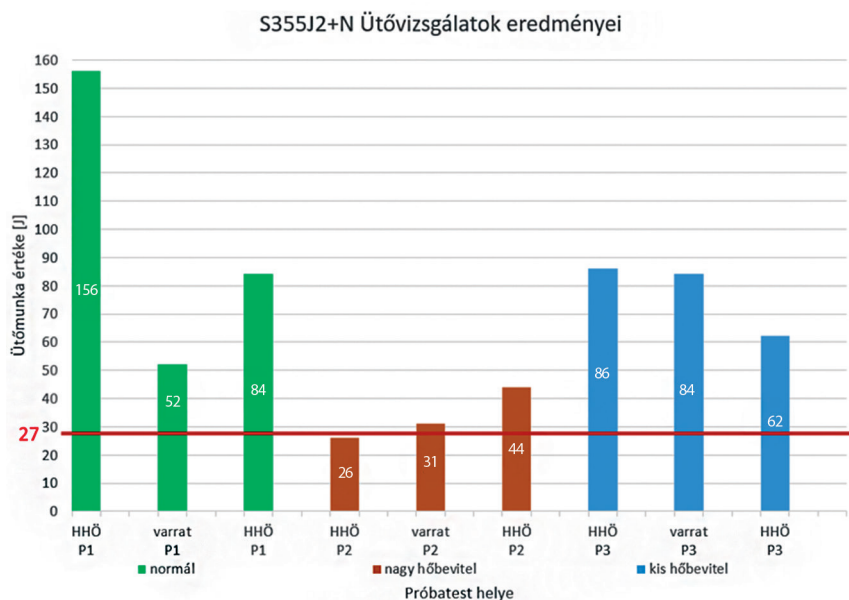
2. ábra

A P1, a P2 és a P3 jelű próbatestek makrociszolata [a szerzők]

Az MSZ EN ISO 9015-1:2011 szabvány szerint elvégzett HV10 keménységmérés szerint minden próbatest esetén a varratban és a hőhatásövezetben mért keménységi értékek az S355J2+N anyagminőség 1.2-es anyagcsoportjára vonatkozó maximális 320 HV10 keménységi értéket nem haladták meg. A koronaoldalon és a kötés középvonalaiban ugyan valamivel nagyobb keménységi értéket mértünk a kis hőbevitelű próbatestnél, de az eltérés nem számottevő. A gyökoldalon jól látszik a várakozásoknak megfelelő keményedés a kis hőbevitellel készített munkapróbák esetén. Az értékek azonban itt sem haladták meg a szabványban előírt értéket, de szigorúbb előírások esetén mindenféleképpen figyelni kell erre. A legnagyobb keménységnövekedést a kézzel készített gyöksornál tapasztaltuk. A varrat és a hőhatásövezet szívósságát mérő ütővizsgálatokat az MSZ EN ISO 9016:2022 szabvány szerint hajtottuk végre, -20 °C -os, a szabvány által előírt helyeken a varratból és a hőhatásövezetből kimunkált $10 \times 10\text{ mm}$ -es próbatesteken, majd a mérések átlagértékeit diagramban ábrázoltuk (3. ábra).

A 3. ábrán bejelöltük a hegesztett alapanyagra előírt minimális 27 J ütőmunkaértéket. Az ábrán jól látszik, hogy a P2-es, nagy hőbevitelű próba egyik hőhatásövezetbeli ütőmunkája nem érte el az előírt 27 J ütőmunkaértéket. Így ezek alapján kijelenthető, hogy a vizsgált kis haladási sebességből adódó nagy fajlagos hőbeviteli érték jelentős mértékű szemcsedurvulást, elridegedést okoz a hegesztett kötés hőhatásövezetében (megfigyeléseink alapján a P2-es próbatestek ridegen törtek, képlékeny alakváltozás, nyúlás jelét szinte egyáltalán nem mutatva). A nagy hegesztési sebességgel készített (P3 jelű) varrat közel azonos értékeket

mutatott az ütővizsgálatok során, mint a normál paraméterekkel hegesztett, viszonyítási alapul szolgáló P1-es munkapróba. A P1-es és a P3-as jelű ütőmunka-próbatestek töreteri szívós töret képét mutatták, látszott rajtuk a törést megelőző képlékeny alakváltozás, illetve nyúlás.



3. ábra

A P1, a P2 és a P3 jelű próbatestek ütővizsgálatainak átlageredményei [a szerzők]

4. Összefoglalás

Hegesztett kötések készítettünk ömlesztő hegesztőeljárással annak vizsgálatára, hogy a vonatkozó szabványban előírt hőbeviteli értékektől való eltérés milyen mértékben változtatja meg a hegesztett kötések tulajdonságait. A hegesztett kötésekben végzett roncsolásmentes vizsgálatok nem mutattak eltérést. A hőbevitel változtatása a hegesztett kötés mechanikai tulajdonságaira gyakorolt jelentős hatást, legnagyobb mértékben a hegesztett kötés keménység- és ütőmunkaértékei változtak. A nagy hőbevitelű munkapróbákból kimunkált próbatestek ütőmunkaértékei radikálisan csökkentek, a hőhatásövezetbeli ütőmunka több esetben nem érte el az előírt értéket. A hegesztett kötések keménységvizsgálata során mért eredmények már nem mutattak ekkora eltérést. A kis hőbevitelű próbatestnél koronaoldalon és a kötés középvonalában ugyan valamivel nagyobb keménységi értékeket mértünk, de az eltérés nem számottevő, a mért értékek egyik esetben sem haladták meg a szabványban 320 HV10-re korlátozott értéket. A legnagyobb keménységi eltérés a kézzel készített gyöksornál volt mérhető, ezért hasznos lenne még egy, csak kézi hegesztéssel készített kísérlet elvégzése is. A vizsgálati eredmények és a kísérleti tapasztalatok hozzájárulhatnak a vizsgált típusú

és lemezvastagságú acélok helyes hegesztéstechnológiájának kidolgozásához. A hőbevitel jelentős változtatása esetén, a hegesztési paraméterek véglegesítése előtt javasolt a hegesztett kötés ütőmunkájának és keménységének ellenőrzése.

Felhasznált irodalom

- [1] MSZ EN 1011-1 Hegesztés. Ajánlások fémek hegesztéséhez – 19. Hőbevitel, 11. p.
- [2] MSZ EN ISO 15614-1:2004 – Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése. A hegesztéstechnológia vizsgálata – 1. rész: Acélok ív és gázhegesztése.
- [3] Komócsin M., „Nagyszilárdságú acélok és hegeszthetőségük,” Hegesztéstechnika, 1. sz. 2002.
- [4] Szunyogh L., „Hegesztés és rokon technológiák,” Budapest, Magyarország: Gépipari Tudományos Egyesület, 2007.

Investigation of the Effect of Welding Speed on Weld Properties When Welding S355 Steel

Welded joints were made by a bulk welding process using S355J2+N Z15 non-alloy steel plate, commonly used in the construction of bridge structures, to investigate the extent to which deviations from the thermal loading values specified in MSZ EN ISO 15614-1 alter the properties of the welded joints. Welded joints were subjected to destructive and non-destructive tests. A significant variation in the heat input had the greatest effect on the hardness and impact values of the welded joint. The test results and experimental experience may contribute to the development of correct welding techniques for the tested types and le-field thicknesses of steels and to the reduction of welding defects during fabrication.

Keywords: *welding speed, specific heat input, mechanical testing of welded joints, hardness and impact work of the heat affected zone*

Fazekas Csaba
gépészmérnök
Nyíregyházi Egyetem
Műszaki és Agrártudományi Intézet
Műszaki Alapozó, Fizika
és Gépgyártástechnológia Intézeti Tanszék
f.csaba120@gmail.com
orcid.org/0009-0002-3350-6051

Csaba Fazekas
Mechanical Engineer
University of Nyíregyháza
Institute of Technical and Agricultural Sciences
Department of Technical Foundation, Physics
and Mechanical Engineering Technology
f.csaba120@gmail.com
orcid.org/0009-0002-3350-6051

Dr. Szigeti Ferenc
mb. intézetigazgató
tanszékvezető
Nyíregyházi Egyetem
Műszaki és Agrártudományi Intézet
Műszaki Alapozó, Fizika
és Gépgyártástechnológia Intézeti Tanszék
szigeti.ferenc@nye.hu
orcid.org/0009-0007-0662-5043

Ferenc Szigeti, PhD
Commissioned Director of Institute
Head of Department
University of Nyíregyháza
Institute of Technical and Agricultural Sciences
Department of Technical Foundation, Physics
and Mechanical Engineering Technology
szigeti.ferenc@nye.hu
orcid.org/0009-0007-0662-5043

