

HEGESZTHETŐSÉGI SZEMPONTOK NÖVELT SZILÁRDSÁGÚ ACÉLOKRA

WELDABILITY STANDPOINTS FOR INCREASED STRENGTH STEELS

Bagyinszki Gyula¹, Bitay Enikő²

¹Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Magyarország, 1081 Budapest, Népszínház u.8, bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu

²Sapientia – Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Románia, 540485 Marosvásárhely (Koronka), Segesvári út 1.C., ebitay@ms.sapientia.ro

Abstract

During the welding process a metal base material is exposed to a rapid thermal cycle, this effect forms the joint crystallisation and also greatly affects the microstructure of the heat affected zone as well. The microstructural changing affects the properties and the stress range. This article reviews three important process groups - arc welding, resistance welding and high energy density welding - some weldability aspects.

Keywords: weldability, carbon equivalent, arc welding, resistance welding, high energy density welding

Összefoglalás

Hegesztéskor egy fém anyag gyors hőciklusnak van kitéve, ami nemcsak a képződő varrat mikroszerkezetére hat, hanem jelentősen befolyásolja a hőhatásövezet szövetszerkezetét is. A szerkezetváltozás pedig módosítja a tulajdonságokat és a feszültségi állapotot. Jelen cikk három fontos eljárás csoport – az ívhegesztések, az ellenálláshegesztések és a nagy energiasűrűségű hegesztések – néhány hegeszthetőségi aspektusával foglalkozik.

Kulcsszavak: hegeszthetőség, karbonegyenérték, ívhegesztés, ellenálláshegesztés, nagy energiasűrűségű hegesztés

1. Hegeszthetőség fogalomköre

Egy fém anyag akkor tekinthető egy adott eljárással és célra kielégítő mértékben hegeszthetőnek, ha megfelelő munkarenddel (technológiai paraméterekkel) hegesztve olyan folytonos, fémes kötés hozható létre, amely megfelel az alkatrész helyi tulajdonságaiból és a szerkezet egészére gyakorolt hatásából származó követelményeknek. Alapvető szempont, hogy a hegesztett szerkezet a rá ható

igénybevételeket megbízhatóan elviselje, de lényeges szempont az is, hogy vágással, képlékenyalakítással és hegesztéssel gazdaságosan elő lehessen állítani.

A hegesztett kötésekkel szemben általános elvárás, hogy a varrat a lehető legjobb tulajdonságú legyen, ami a leginkább akkor érhető el, ha a varratra és a hőhatás- övezetekre jellemző helyi tulajdonságok megegyeznek az alapanyagéval. Különösen igaz ez a megállapítás a szilárdsági méretezés alapjául szolgáló folyáshatárra és a

(hideg)szívósságot befolyásoló átmeneti hőmérsékletre.

2. Ívhegesztési szempontok

Ömlesztő ívhegesztéseknél – kritikus esetben – edződési ill. hidrogén okozta repedés is előfordulhat, aminek kockázata előmelegítés alkalmazásával csökkenthető. A megfelelő szívóssági és szilárdsági tulajdonságok megőrzése korlátok közé szorított fajlagos hőbevitellel, azaz a „szakaszenergia” értékének pontos és gondos szabályozásával érhető el.

A előmelegítés mértékének meghatározására több számítási eljárás is szolgál, ezek egyike az Uwer-Höhne módszer, amelyet szabvány is ajánl a finomszemcsés, gyengén ötvözött acélokhoz. Ez az alábbi karbonegyenértéket veszi alapul:

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \quad (1)$$

A repedésveszély elkerüléséhez szükséges előmelegítési hőmérséklet meghatározásához a „súlyozott” vegyi összetételen (CET %) kívül figyelembe kell venni a munkadarab mértékadó vastagságát (s mm), a diffúzióképes hidrogéntartalmat (H_d ml/100g fém), a fajlagos hőbevitelt vagy szakaszenergiát (q/v kJ/mm) is:

$$T_{el\hat{o}} = 695 \cdot CET + 160 \cdot th\left(\frac{s}{35}\right) + 62 \cdot H_d^{0,35} + (53 \cdot CET - 32) \cdot \frac{q}{v} - 328 \quad (2)$$

Ez minimális értéket jelent, ezért indokolt esetben nagyobb hőmérsékletet is elő lehet írni. A hegesztési hőfolyamat hűlési szakaszának jellemzésére a $t_{8,5/5}$ hűlési időt alkalmazzák, ami az A_3 hőmérsékletéről 500 °C-ra történő hűlési időt jelenti. Az ezzel jellemzett hűlési sebesség mértékét befolyásolja a kötés kialakítása, a hővezetési folyamatban résztvevő elemek száma és mérete. Ez alapján beszélhetünk kétdimenziós hővezetésről vékony lemezek esetén, illetve háromdimenziós hővezetésről

vastag lemezek esetén. Rosenthal a lemezanyagokra vonatkozó 2D-s hővezetési modelljével olyan egyenletet vezetett le, amely a hőmérséklet lefutását a hely és idő függvényében írja le. A 850 °C-ról 500 °C-ra való hűlés ideje a lemez felületén, a varrat középvonalában a következő:

$$t_{8,5/5} = \frac{P^2}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c \cdot \rho \cdot v_h^2 \cdot s^2} \cdot \left[\frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(850 - T_0)^2} \right] \quad (3)$$

ahol: P az effektív hőteljesítmény [W], λ a hővezetési tényező [W/mm·K], c a fajhő [J/g·K], ρ a sűrűség [g/mm³], v_h a hegesztési sebesség [mm/s], s a lemezvastagság [mm], T_0 az előmelegítési hőmérséklet [°C].

Ha hegesztéskor a megengedhető hűlési időtartomány felső határához közelítünk, kedvezőbb ütmunka értékek érhetőek el. Ha az alsó határhoz tartunk, keménység-növekedéssel kell számolni, s ezzel együtt fennáll a repedésképződés veszélye is.

Nemesített nagyszilárdságú acélok esetében az előmelegítési hőmérséklet meghatározása az Uwer-Höhne módszer alapján lehetséges. Az előírt minimális értéknél célszerű – a hűlési idők figyelembevételével – magasabb hőmérsékletet alkalmazni a repedések elkerülése céljából.

3. Ellenálláshegesztés szempontjai

Az ömlesztve sajtoló ellenállásponthegesztésnél elvárás, hogy az előírt méretű pontkötéseket reprodukálhatóan, repedésmentesen, az alapanyagra és a kötéstípusra jellemző terhelhetőséggel lehessen létrehozni. A hegeszthetőség megítélése az eljárás jellegzetességei (rendkívül gyors hevítés, kisméretű hegfürdő, nyomófeszültség és az elektrodák okozta intenzív hőelvonás alatti kristályosodás) miatt eltér az ívhegesztésektől.

A ponthegeszthetőség vizsgálati kritériumaként a kötések maximális keménységét és a pontkötések valamilyen

vizsgáló eljárásához kötött kedvezőtlen törési módjának megjelenését szokás megadni. Az alapanyag kémiai összetételének a hatása a ponthegezthetőség vizsgálata során is a karbon-egyenértékkel fejezhető ki:

$$C_{ESW} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + 2 \cdot P + 4 \cdot S \leq 0,24\% \quad (4)$$

Ezt a karbon-egyenértéket növelt szilárdságú acéllemezek hegeszthetőségének minősíté-sére vezették be. A 0,24 %-os határérték a kedvezőtlen törési mód megjelenési határát jelöli, ahol a kötések keresztszakító és nyíró-szakító erejének hányadosa csökkenni kezd. A határérték felett – a szokásos ponthegeztési technológia alkalmazása esetén – a hőhatásövezetben, illetve a heglencsében is keletkezhet repedés vagy üzem közbeni ridegtörés következhet be.

A duálfázisú acélok ferrites szövet-szerkezete jelentős mennyiségű, kis karbon-tartalmú, ún. lágy martenzitet tartalmaz, és az acél ötvözői ill. mikroötvözői az ausztenitesedett anyagterfogatok (varrat és a hőhatásövezet egy része) edződését egyaránt elősegítik. A kedvezőtlen szövetszerkezetet a hűlési sebesség lassításával kerülhetjük el. Ellenállás-ponthegeztéskor ez praktikusán a szakaszos energiabevitel alkalmazását, vagy a hegesztési fődő után beiktatott ún. „in machine” (gépben végzett) hőkezelő ciklus alkalmazását jelenti.

A duálfázisú acélok ponthegeztéséhez a – lágyacélokhöz viszonyítottan – nagyobb fajlagos elektromos ellenállásukból, nagyobb melegsilárdságukból és a rövid idejű hőhatás alatti megeresztésállóságukból következően mintegy 20...25 %-kal nagyobb elektroderő szükséges. A nagyobb elektroderő okozta ellenálláscsökkenést kompenzáló, 10...20 %-kal nagyobb áramerősség és ugyanolyan mértékkel hosszabb hegesztési fődő javasolt. További

kötésszilárdság növekedés várható nagyobb elektródátmérő és más elektródacsúcs-geometria alkalmazásától.

4. Nagy energiasűrűségű hegesztés

Ha a lézeres és az elektronsugaras hegesztés viszonylag vékony lemezeken történik, akkor feltételezhető az is, hogy függőleges irányban nem lépnek fel jelentős változások és a sugár egy mozgó vonalforrással helyettesíthető. A közölt teljesítmény és a hegesztési sebesség (fajlagos hőbevitel) változtatásával a varrat szélessége befolyásolható, azaz adott esetben növelhető is.

Az amúgy is csekély deformáció csökkentésének ill. szabályozásának technológiai módszerei a bevitt hőmennyiségen és a varratalakon keresztül érvényesülnek. A legkeskenyebb varrat és a csaknem párhuzamos varratoldal a lehető legkisebb sugárteljesítménnyel (de az elérhető legnagyobb teljesítménysűrűséggel) és a megengedhető legnagyobb hegesztési sebességgel készíthető.

A nagy teljesítménysűrűség hatására gyorsan létrejövő és mély ömledéket fajlagosan nagy határfelület választja el a szilárd anyagtól, ill. a megömlesztett térfogat kicsi a munkadarab összterfogatához képest, így az ömledék igen gyorsan hűl. A hevítés és a lehűlés sebességének ilyen megnövekedése jelentősen megváltoztatja, eltolja az acélok kritikus átalakulási hőmérsékleteit és ez befolyásolja a fázisátalakulást szenvedő anyag mennyiségét. A hőhatásövezet gyors hevítése kiválthatja igen nagy számú, elnyúlt alakú ausztenitsíra keletkezését és a túlhevülés ellenére sem lép fel szemcsedurulás (legfeljebb az eredeti szemcsenagyság öröklődik). A varrat finom szemcseszerkezete gátló tényezője a repedések keletkezésének.

A legtöbb ötvözetlen és gyengén ötvözött acélban – a hegesztés utáni hűlési

sebességtől függően – többé-kevésbé martenzites, bainites szövetszerkezet alakul ki, mely kemény és repedésre hajlamosít. Ha lehet, törekedni kell a varrat hűlési sebességének csökkentésére. Ez megtehető a sugár defokuszolásával vagy lengetésével, de még inkább a darab előmelegítésével és/vagy hegesztés utáni esetleges hőntartásával. A maximális varratfém-keménységet előrejelző összefüggés ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok esetére:

$$HV_{10\max} = \left(\frac{840}{t_{8/5}^{0,22}} \cdot C_e + 58 \right) \pm 66 \quad (5)$$

ahol:

$$C_e = C\% + \frac{Mn\%}{2,4} + \frac{Si\%}{24} + \frac{Ni\%}{14} + \frac{Cr\%}{16} + \frac{Mo\%}{60} \quad (6)$$

$$t_{8/5} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c \cdot \rho} \cdot \left[\frac{0,8 \cdot P}{v_h \cdot s} \right]^2 \cdot \left[\frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(800 - T_0)^2} \right] \quad (7)$$

Az acélok elektronsugaras és lézeres hegeszthetőségénél is fontos, hogy a két fő szennyező és a C-tartalom értéke maximalizálандó ($P\% + S\% \leq 0,11\%$; $C\% \leq 0,35\%$) a meleg- ill. a hidegrepedés, valamint az azokat elősegítő káros szövetszerkezeti változások elkerülése érdekében. Természetesen a hegesztési munkarend elemeit is hozzá kell igazítani az anyagösszetételhez. Repedés- és porozításmentes lézerrel hegesztett varratok létrehozása is az acélglyártás során visszamaradó szennyező- ill. zárvány-tartalom mennyiségétől függ, a fajlagos hőbevitel (teljesítmény, hegesztési sebesség) mellett.

Az eltérő minőségű fémek hegeszthetőségének két alapvető feltétele van:

– a két fém képes legyen egyidejűleg megömleni és közös ömledéket képezni. Ez a feltétel nehezen teljesül, ha a két fém olvadáspontja messze esik egymástól,

vagy a hővezetőképességük nagyon különbözik. Ezért ha szükséges, a sugarat aszimmetrikusan irányítják a nehezebben megömlő fém felé.

– a két fém metallurgiaiailag kompatibilis legyen, azaz ne keletkezzenek megengedhetetlen intermetallikus fázisok, átmeneti vegyületformák a hegesztési folyamat során. Ha két ötvözet kötéséről van szó, még hozzávetőlegesen sem lehet következtetést levonni az egyensúlyi diagramokból, hanem előzetes kísérleteket kell végezni.

Következtetések

A nagyobb folyáshatárú fémek alapanyagok alkalmazása a hegesztett termékekben kisebb szelvényvastagságok alkalmazását teszi lehetővé, ami önsúlycsökkenéshez és kisebb tömegű varratokhoz vezet. Ez csökkenti a hozaganyag szükségletet, a hegesztéshez felhasznált munkaidőt és energiát. A vékonyabb szelvény, a kisebb hegesztési hőbevitel általában mérsékli a keletkező termikus feszültségeket (sőt az ezekkel összefüggő repedésveszélyt), javítja a termék használati tulajdonságait.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Komócsin Mihály: *Nagyszilárdságú acélok és hegeszthetőségük*, Miskolci Egyetem, 2008
- [2] Gáspár Marcell Gyula - Balogh András: *Nagyszilárdságú acélok hegesztéstechnológiájának fejlesztése a hűlési idő elemzésével*, Miskolci Egyetem - Mechanikai Technológiai Tanszék
- [3] Balogh A., Prém L.: *Ferrit-martenzites (DP) acél vékonylemezek ellenállás-ponthegezhetsége*, Gép LXIV. évfolyam 8. szám, 13-17. oldal
- [4] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Nagy energiasűrűségű eljárások hegeszthetőségi szempontjai*, XVII. Fialtal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2012. március 22-23.; Műszaki Tudományos Füzetek - Erdélyi Múzeum-Egyesület kiadványa (ISSN 2067 - 6 808) 13-18. o.