

NSSC 2120 típusú, sovány duplex acél nagy hőbevitelű hegesztése

High Heat Input Welding of NSSC 2120 Type Lean Duplex Steel

Simon Soma Csaba,¹ Varbai Balázs²

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Budapest, Magyarország, simon.somacsaba@gmail.com

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Budapest, Magyarország, varbai.balazs@gpk.bme.hu

Abstract

Duplex stainless steels offer a high strength alternative to stainless steel, while providing excellent corrosion resistance, due to their dual-phase microstructure. This microstructure can be significantly influenced during welding, thus the maximum recommended heat input is usually 2.5 kJ/mm. In this research, we inspected the high heat input (3 kJ/mm) weldability of NSSC 2120 lean duplex stainless steel, which is designed and developed specifically for this purpose. The welds were evaluated by metallographic techniques and corrosion tests. It was found the NSSC 2120 grade can be welded with high heat input without deterioration in the phase balance and microstructure.

Keywords: *lean duplex stainless steel, electrochemical etching, microstructure.*

Összefoglalás

A duplex korrózióálló acélok a kiváló korrózióállóságuk mellett nagy szilárdságú alternatívát jelentenek a korrózióálló acélok családján belül, ami a kettős szövetszerkezetüknek köszönhető. Ez a szövetszerkezet azonban jelentősen befolyásolható a hegesztési hőciklussal, ezért a hegesztésükre megengedett legnagyobb hőbevitel általában 2,5 kJ/mm. Ebben a kutatásban nagy hőbevitelű hegesztésre (~ 3 kJ/mm) kifejlesztett, NSSC 2120 jelű alapanyag hegeszthetőségét vizsgáltuk. A varratokat metallográfiai eljárásokkal és korróziós vizsgálattal értékeltük. A kutatásunk során azt találtuk, hogy a vizsgált technológiai tényezők mellett az NSSC 2120-as alapanyag nagy hőbevitellel jól hegeszthető a fázisarány és a szövetszerkezet leromlása nélkül.

Kulcsszavak: *sovány duplex acél, elektrokémiai maratás, szövetszerkezet.*

1. Bevezetés

A duplex korrózióálló acélok a kettős (ferrit-ausztenit) szövetszerkezetüknek köszönhetően nagy szilárdsággal és kiváló korrózióállósággal bírnak [1, 2]. A szövetszerkezeti arány azonban nagymértékben befolyásolható a hegesztési hőciklus által, ezért az ajánlott hegesztési hőbevitel általában legfeljebb 2,5 kJ/mm [3]. Az ennél nagyobb hőbevitellel történő hegesztés során a ferritfázisban káros szövetszerkezeti átalakulások, kiválások jelenhetnek meg [3].

A japán Nippon Steel and Sumitomo cég által gyártott, NSSC 2120-típusú sovány duplex acél nagy hőbevitelű hegesztésre, elsősorban fedett ívű hegesztésre fejlesztette ki a gyártó. A gyártói adatlap alapján nagy hőbevitelű hegesztés során a szövetszerkezeti átalakulásra különösen érzékeny hőhatásövezetben sem jelennek meg káros nitridkiválások [4]. Kutatásunkban 135-ös eljárással, ~3 kJ/mm hőbevitellel készítettünk varratokat, amelyeket metallográfiai eljárásokkal és korróziós vizsgálattal értékeltünk.

2. Felhasznált anyagok és berendezések

2.1. Az alapanyag tulajdonságai

A hegesztési kísérletekhez NSSC 2120 típusú, nem szabványosított, sovány duplex acéllemezeket használtunk 10 mm-es vastagságban. Az alapanyag összetétele a gyártói adatlap alapján az **1. táblázat**ban látható.

1. táblázat. Az NSSC 2120-as alapanyag kémiai összetétele %-os tömegarányban megadva, a gyártói adatlap alapján

C	Si	Mn	P	S
0,019	0,38	3,0	0,024	0,001
Ni	Cr	Mo	Cu	N
2,03	20,9	0,28	1,08	0,18

2.2. A felhasznált hegesztőanyagok tulajdonságai

A hegesztési kísérletekhez kétféle hegesztőhuzalt használtunk, mindkettőt \varnothing 1,2 mm méretben. A hagyományos duplex acélok hegesztéséhez ajánlott tömör huzal G 22 9 3 N L volt (22% Cr, 9% Ni, 3% Mo), a sovány duplex acélok hegesztéséhez ajánlott portöltetű huzal pedig T 23 7 N L R M/C 3 (23% Cr, 7% Ni, rutilos portöltet) volt. A hegesztőhuzalokat a későbbiekben rendre 2209-ként és 2304-ként (a gyártó jelölése szerint Avesta FCW-2D 2304) jelöljük, a gyártó jelölése alapján.

2.3. A hegesztési kísérletekhez felhasznált berendezések

A hegesztési kísérleteket 135-ös eljárással végeztük el, Yaskawa hegesztőrobot és Fronius TPS 400i Pulse áramforrás segítségével. A varratokat impulzusos anyagátvitellel hegesztettük, az áramforrás PMC Universal eljárásváltozatával, amely egyenletes beolvadási mélységet biztosít. A 2209-es huzal esetében a hőbevitel 0,8-as termikus hatásfokkal számolva 3,05 kJ/mm értékre, a 2304-es huzal esetében 2,99 kJ/mm értékre adódott. Védőgázként M12-es (argon + 2,5% CO₂) gázkeveréket használtunk, 15 L/min áramlási sebességgel mindkét esetben.

2.4. A szövetszerkezet kiértékeléséhez felhasznált anyagok és berendezések

A varratok ferrittartalmát Fischer Feritscope FMP30-típusú ferritszkóppal (ferrittartalom-mérővel) mértük. A varratgeometriai méreteket egy csiszolaton Olympus SZX16 típusú sztereomikroszkóppal mértük. A metallográfiai csiszolatok előkészítését először 4000-es szemcsefinomsá-

gig történő csiszolással, majd 3 μ m-es gyémánt-szuszpenzióval történő polírozással végeztük. A metallográfiai felvételeket Olympus PMG3 típusú fémmikroszkóppal készítettük. Az elektrokémiai maratást a metallográfiai vizsgálatra előkészített mintákon végeztük. Az oxálsavas maratáshoz 10 g reagenst (C₂O₄H₂) oldottunk 90 mL desztillált vízben, majd a maratást 7 V feszültségen, 15 másodpercig végeztük. A salétromsavas elektrokémiai maratáshoz 60 mL salétromsavat (HNO₃) kevertünk 40 mL desztillált vízhez, majd a maratást 2 V feszültségen, 20 másodpercig végeztük.

2.5. A korróziós vizsgálatokhoz felhasznált anyagok

A korróziós vizsgálatokat a sovány duplex acélokra érvényes ASTM 1084 szabvány [5] alapján végeztük el. A 25×50 mm-es mintákat 24 órára 55,1 g vas(III)-kloridot (FeCl₃·6H₂O), 6,6 g nátrium-nitrátot (NaNO₃) és 600 mL desztillált vizet tartalmazó oldatba helyeztük, majd a tömegvesztés és a felület alapján határoztuk meg a korróziósebességet és értékeltük a lyukkorroziós viselkedést. A minták tömegét Denver Instrument APX-200 típusú mérleggel mértük, 0,1 mg pontos sággal.

3. Eredmények és kiértékelésük

3.1. A varratgeometria-mérés eredményei

A 2209-es tömör huzallal hegesztett varrat koronaszélessége 14,5 ± 0,6 mm, a koronamagasság 4,1 ± 0,2 mm volt. A csiszolaton mért beolvadási mélység 5,4 mm, a varratkeresztmetszet 84,1 mm². A beolvadási mélység és a koronaszélesség hányadosával számolt formatényező így 0,37 volt.

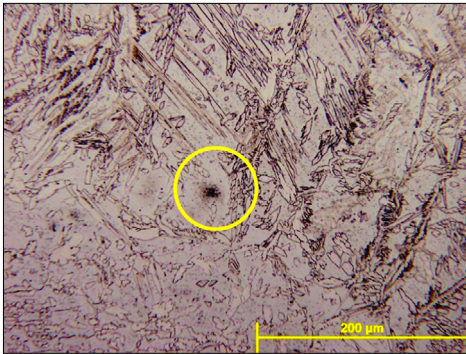
A 2304-es portöltetű huzallal hegesztett varrat koronaszélessége 15,9 ± 0,6 mm, a koronamagasság 3,3 ± 0,3 mm volt, a csiszolaton mért beolvadási mélység pedig 3,2 mm és a varratkeresztmetszet 60,1 mm². A beolvadási mélység és a koronaszélesség hányadosával számolt formatényező így 0,19 volt.

Az eredményekből megállapítható, hogy bár a hőbevitel nagyjából megegyezett (~3 kJ/mm mindkét esetben), a portöltetű huzal esetében jóval kisebb volt a varratérfogat. Ennek oka: az azonos átmérőjű portöltetű huzalban sok salakképző anyag is jelen van, melyek a varratfém térfogatában nem szerepelnek.

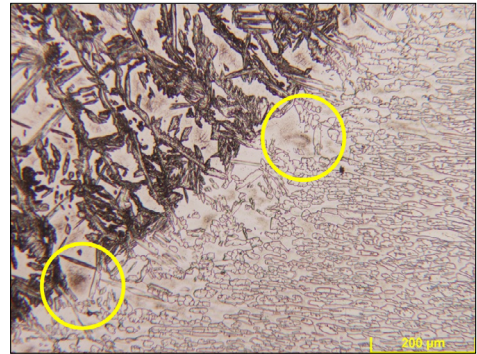
3.2. A szövetszerkezet kiértékelésének eredményei

A ferritstóppal mért ferrittartalom a 2209-es tömör huzallal hegesztett varratfém esetén $40,5 \pm 5,5\%$ volt. A 2304-es portöltetű huzal esetén ez az érték $41,5 \pm 6,8\%$. Az értékek megfelelnek az MSZ EN ISO 17781-es szabvány [6] által előírt ferrittartalomnak (legalább 30% és legfeljebb 70%), tehát az NSSC 2120-as alapanyag nagy hőbevitellel és mindkét huzal használatával a fázisarány szempontjából jól hegeszthető.

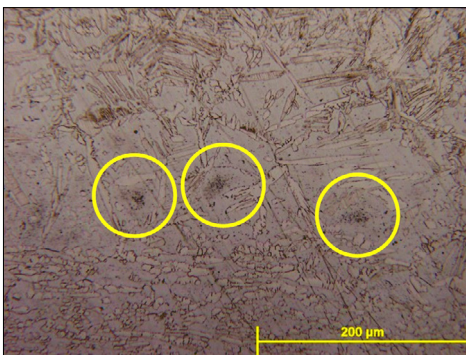
Az oxálsavas elektrokémiai maratás az ASTM A1084 [5] szabvány alapján a ferritben jelen lévő karbidok és nitridek kimutatására használható. A karbid- és nitridkiválások a maratás után sötét területként jelennek meg, amelynek arányaira a szabvány összehasonlító felvételeket tartalmaz. Az oxálsavas maratást követő felvételek a 2209-es tömör huzal esetén az **1. ábrán**, a 2304-es portöltetű huzal esetén a **2. ábrán** láthatók.



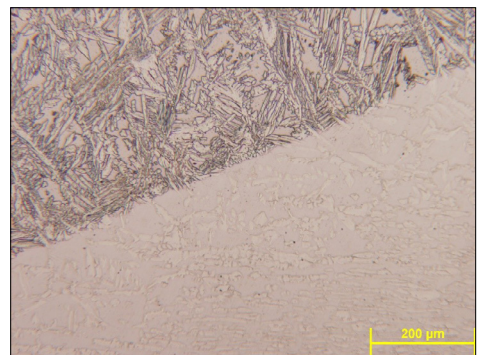
1. ábra. A 2209-es huzallal hegesztett varrat és a hőhatásövezet az oxálsavas elektrokémiai maratást követően. Bekarikázva látható a nitridkiválásra utaló jel a hőhatásövezetben



3. ábra. A 2209-es huzallal hegesztett varrat és a hőhatásövezet a salétromsavas elektrokémiai maratást követően. Bekarikázva látható a nitridkiválásra utaló jel a hőhatásövezetben



2. ábra. A 2304-es huzallal hegesztett varrat és a hőhatásövezet az oxálsavas elektrokémiai maratást követően. Bekarikázva látható a nitridkiválásra utaló jel a hőhatásövezetben



4. ábra. A 2304-es huzallal hegesztett varrat és a hőhatásövezet a salétromsavas elektrokémiai maratást követően. Nitridkiválásra utaló jel nem látható

A maratás során karbid- vagy nitridkiválásra utaló minimális jeleket találtunk (az ábrákon bekarikázva), amelyek, mértéküket tekintve, a hivatkozott szabvány szerint bőven a megfelelő kategóriában vannak. A salétromsavas elektrokémiai maratás az ASTM E 407 szabvány [7] szerint a különböző intermetallikus fázisok és nitridkiválások kimutatására alkalmas duplex acélok esetén. A salétromsavas maratást követő felvételek a 2209-es tömör huzal esetén a **3. ábrán**, a 2304-es portöltetű huzal esetén a **4. ábrán** láthatók. A maratás során nitridkiválásra utaló minimális jeleket találtunk (az ábrákon bekarikázva), amelyek mértéküket tekintve a hivatkozott szabvány szerint szintén megfelelnek.

A szövetszerkezeti kiértékelés alapján megállapítható, hogy az NSSC 2120-as alapanyag a gyártó ajánlásai szerint 3 kJ/mm hőbevitellel is jól hegeszthető, a hőhatásövezet káros másodlagos fázisok kialakulására kevésbé érzékeny.

3.3. A korróziós vizsgálat eredményei

A korróziós vizsgálat eredményei a **2. táblázat**-ban láthatók. A korróziósebesség a 2209-es tömör huzal esetén $0,64 \text{ g/m}^2$, a 2304-es portöltetű huzal esetén $0,72 \text{ g/m}^2$ értékre adódott, amely megfelel az MSZ EN ISO 17781-as szabványban [6] a varratokra előírt maximális 4 g/m^2 határértéknek.

2. táblázat. A korróziós vizsgálat eredményei

	2209-es huzal	2304-es huzal
Tömeg a vizsgálat előtt	61,0167 g	59,8156 g
Tömeg 24 óra után	61,0159 g	59,8147 g
Tömegvesztesség	0,0008 g	0,0009 g

4. Következtetések

Kutatásunkban az NSSC 2120-as sovány duplex acél nagy hőbevitellel történő hegeszthetőségét vizsgáltuk. A hegesztési kísérleteket 135-ös eljárással $\sim 3 \text{ kJ/mm}$ hőbevitellel, 2209-es tömör és 2304-es portöltetű huzallal végeztük el. A varratok kiértékelése alapján megállapítható, hogy a ferrittartalom mindkét esetben megfelelt az előírt értéknek, az alkalmazott elektrokémiai maratási módszerek során kiválási fázisok kialakulása nem jellemző, valamint a varrat korrózióállósága megfelelő volt.

Köszönetnyilvánítás

A hegesztéshez szükséges Yaskawa robot használatáért köszönettel tartozunk a Flexman Robotics Kft.-nek. A projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával – NKFIH – valósult meg (OTKA PD 138729).

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Uzonyi S., Asztalos L., Dobránszky J.: *Duplex korrózióálló acél durvalemezek hegesztése*. Műszaki Tudományos Közlemények, 3. (2015) 315–318. <https://doi.org/10.33895/mtk-2015.03.71>
- [2] Kovács D., Blücher J., Fábrián E. R., Dobránszky J.: *Nemesíthető acélok és rozsdamentes acélok plazmanitridálása*. Műszaki Tudományos Közlemények, 5. (2016) 237–240. <https://doi.org/10.33895/mtk-2016.05.50>
- [3] Kotecki D. J.: *Some Pitfalls in Welding of Duplex Stainless Steels*. Soldagem & Inspeção, 15. (2010) 336–343. <https://doi.org/10.1590/S0104-92242010000400011>
- [4] New Lean Duplex NSSC@2120. <https://stainless.nipponsteel.com/en/campaigns/duplex/orientation/nssc2120.php> (letöltve: 2022. április 22.)
- [5] ASTM A1084-15a: Standard Test Method for Detecting Detrimental Phases in Lean Duplex Austenitic/Ferritic Stainless Steels, 2015.
- [6] MSZ EN ISO 17781:2018: Kőolaj-, petrolkémiai és földgázipar. Vizsgálati módszerek a ferrites/ausztenites (kettős) korrózióálló acélok minőség-ellenőrzésére, 2018.
- [7] ASTM E407-07(2015)e1: Standard Practice for Microetching Metals and Alloys, 2015.