

---

# A védőgázhoz kevert nitrogén hatása duplex korrózióálló acélok volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztésekor

## THE EFFECTS OF NITROGEN ADDITION TO SHIELDING GAS IN CASE OF DUPLEX STAINLESS STEEL TUNGSTEN INERT GAS WELDING

VARBAI Balázs<sup>1,2</sup>, LADOS László<sup>1,3</sup>, dr. MÁJLINGER Kornél<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Anyagtudomány és Technológia Tanszék  
1111, Budapest, Bertalan Lajos utca 7.

Tel.+36 1 463 1115, Fax: +36 1 463 1366 E-mail: matsci@att.bme.hu, www.att.bme.hu  
E-mail: varbai.balazs@eik.bme.hu<sup>2</sup>, laszlo.lados07@gmail.com<sup>3</sup>, welding@att.bme.hu<sup>5</sup>

### ABSTRACT

*In this paper the nitrogen content of TIG welded weld metals were investigated in case of one standard and two lean duplex stainless steels. Six different shielding gas mixtures were used for the welding. The nitrogen addition to the shielding gas increased the weld metals nitrogen and austenite content.*

### KIVONAT

*Munkánk során egy hagyományos és két sovány duplex acél varratfémének szövetszerkezetét és nitrogéntartalmát vizsgáltuk TIG-hegesztés esetén. Hat különböző nitrogéntartalmú védőgázkeveréssel végeztük a hegesztéseket. A nitrogéntartalom növelte a varratfémekben oldott nitrogéntartalmat és a varratfém ausztenittartalmát.*

**Kulcsszavak:** duplex korrózióálló acél, védőgáz összetétel, ömledék ausztenittartalom, TIG-hegesztés

## 1. BEVEZETÉS

A duplex korrózióálló acélok kettős, ausztenites-ferrites szövetszerkezetből állnak. A kettős szövet szerkezetnek köszönhetően a duplex korrózióálló acélok kiváló mechanikai tulajdonságokkal és korrózióállósággal bírnak [1,2]. Ezen tulajdonságok miatt a duplex acélok felhasználása a nagy szilárdságú acélok mellett folyamatosan növekszik a vegyipar, kőolaj- és földgázipar területén [3–8]. A duplex acélok ívhegesztése során a varratfémekben és hőhatásövezetben kialakuló szövetszerkezet jellemzően eltér az ideálisnak tekintett 50-50 % ausztenit-ferrit aránytól [9,10]. Ausztenitképző elemként a duplex acélok ívhegesztéséhez ajánlott hozag- és hegesztőanyagok általában nikkellel túltöltöztek (~9 %) az alapanyaghoz (~ 1-5 %) képest. Volfrámelektrodás, semleges védőgázos (TIG) hegesztés esetén lehetőség van még az argon védőgázhoz kevert nitrogén (N<sub>2</sub>) erős ausztenitképző hatásának kihasználására is. Az ipari gyakorlat alapján ajánlják 1-2-5 % nitrogén keverését az inert védőgázhoz [11]. A varratfém ausztenittartalma azonban a védőgáz N<sub>2</sub> tartalma mellett függ a hegesztési paramétereiktől is. Ennek oka, hogy a védőgázban lévő N<sub>2</sub> egy sor fizikai-kémiai folyamat során tudja kifejteni az ausztenitképző hatását (disszociáció, oldódás, szilárd állapotban történő diffúzió). Munkánkban a duplex acélok hozaganyag nélküli, volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztése esetén a különböző N<sub>2</sub>-tartalmú (0, 2, 5, 10, 20, 50 térfogat % N<sub>2</sub>) védőgázok hatásait vizsgáltuk a kialakult varratfém teljes oldott nitrogéntartalmára, és az ezzel szorosan együtt járó ausztenittartalomra, hozaganyag nélküli TIG-hegesztés esetén.

## 2. KÍSÉRLETI ANYAGOK ÉS BERENDEZÉSEK

A TIG-hegesztési kísérleteket egy hagyományos (X2CrNiMoN22–5–3, később: 2205) duplex és két csökkentett nikkeltartalmú, úgynevezett sovány duplex acélok (X2CrMnNiMoN21–5–1, később: 2101 és X2CrNiMnMoCuN24–4–3–2, később: 2404) végeztük el. Az alapanyagok kémiai összetétele az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat. A felhasznált anyagok kémiai összetétele

Acéltípus	Kémiai összetétel (tömeg%)							
	C	Cr	Ni	Mn	Mo	Cu	N	Fe
<b>2205</b>	0,02	22,4	5,7	2,0	3,1	-	0,187	bal.
<b>2101</b>	0,03	21,5	1,5	5,0	0,3	0,3	0,234	bal.
<b>2404</b>	0,02	24,0	3,6	3,0	1,6	0,4	0,276	bal.

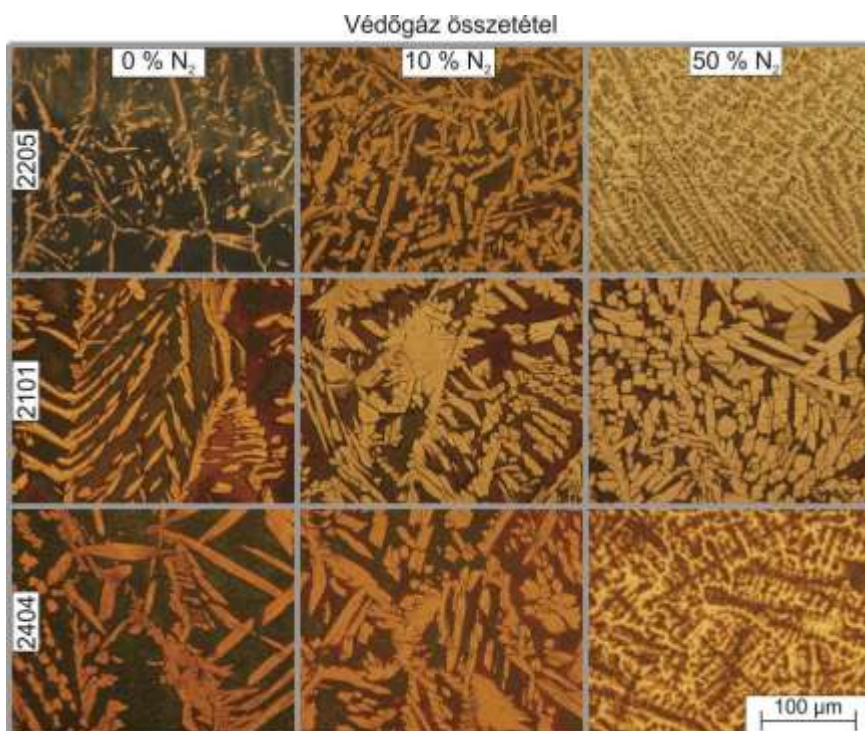
A hozaganyag nélküli TIG-hegesztést ESAB CaddyTIG 200 berendezéssel végeztük el. Az áramnem DC- (egyenáram, elektróda negatív polaritáson) volt minden esetben. Az ívenergia (hőbevitel 1,0 termikus hatásfokkal számolva) értékeket állandó 0,53 és 0,68 kJ/mm értéken tartottuk minden védőgázkeverék esetében. Az argon védőgázhoz kevert N<sub>2</sub> tartalom hatásának vizsgálata érdekében a TIG-hegesztést hat különböző gázkeverékkel végeztük el, melyek N<sub>2</sub> tartalma: 0, 2, 5, 10, 20 és 50 %. A védőgáz áramlási sebesség 11 l/perc volt minden esetben. A varratfémekben oldott teljes nitrogéntartalom (N) mérését HORIBA EMGA-620W elemvizsgálóval végeztük ~1 g tömegű mintákon, ASTM E1019:2011 szabvány szerint. Az optikai mikroszkópos felvételek Olympus PMG3 típusú optikai mikroszkóppal készültek. A varratfém ausztenittartalmát ImagePro képelemző szoftverrel mértük egy korábbi publikációnkban [12] részletesen ismertetett maratási és kiértékelési módszer segítségével.

### 3. EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

A varratfém szövetszerkezete látható az 1. ábrán a különböző védőgázkeverék függvényében, mindhárom anyagminőségre, 0,68 kJ/mm ívenergia esetén. A metallográfiai felvételeken a ferrites fázisok a sötét területek, az ausztenites fázisok a világos területek. Az 1. ábrán látható, hogy a tiszta argon védőgázzal hegesztett minta esetében (0 % N<sub>2</sub>) a varratfém zömében ferrites marad. Ennek oka, hogy minden duplex korrózióálló acél  $\delta$ -ferritként kristályosodik, és a szilárd állapotú lehülés során történik meg a  $\delta \rightarrow \delta + \gamma$  ausztenit átalakulás [1]. Ennek a szilárd állapotú átalakulásnak a hajtóereje az oldott atomos nitrogén diffúziója [13]. Argon védőgáz esetén a gyors hűlés, és az ausztenitképző ötvözők kis mennyisége miatt (csak az alapanyagból származó) a varratfém zömében ferrites marad.

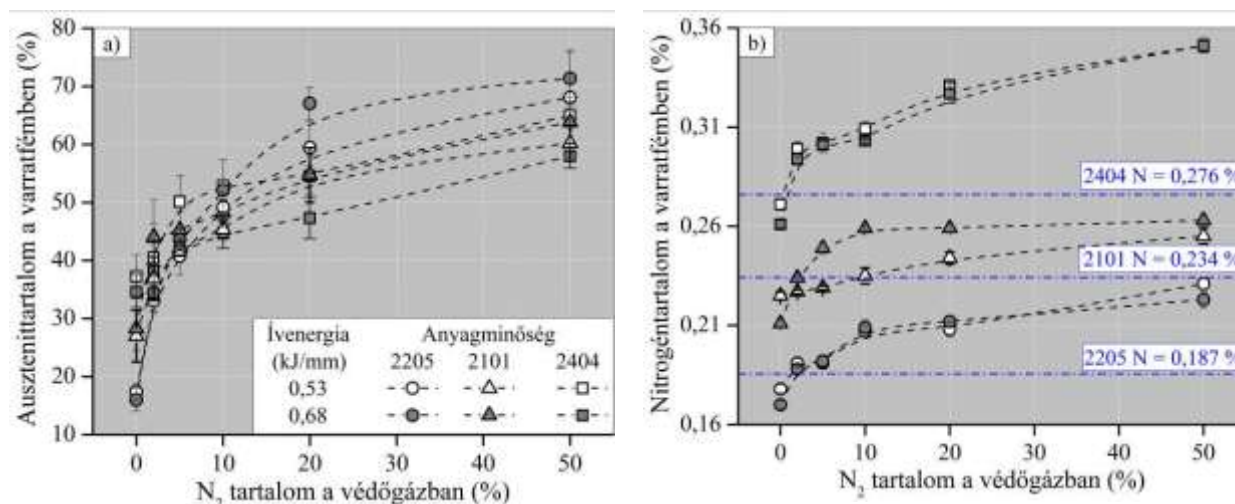
A védőgázhoz kevert N<sub>2</sub> tartalom növeli a varratfém ausztenittartalmát. A szövetszerkezeti felvételek (1. ábra) alapján a 10 % N<sub>2</sub> védőgázzal hegesztett minták esetén a varratfémekben körülbelül egyenlő arányban találhatóak az ausztenites és ferrites fázisok. Az 50 % N<sub>2</sub> védőgázzal hegesztett minták esetében a varratfém jelentősen ausztenites. A 2205 és 2404 alapanyagok ebben az esetben folyadék  $\rightarrow \delta + \gamma$  eutektikumként kristályosodtak az ömledékben található ausztenitképző ötvözők (nikkel, nitrogén) nagymértékű növekedése miatt. A kis nikkeltartalmú (1,5 %) 2101 alapanyag esetében még 50 % N<sub>2</sub> védőgáz esetén is  $\delta$ -ferrit volt az elsődleges kristályosodás és a duplex szövetszerkezet a szilárd állapotú lehülés során alakult ki.

A varratfém ausztenittartalmát mutatja a 2(a). ábra a különböző védőgázkeverék és az alkalmazott ívenergia függvényében, mindhárom anyagminőségre. A 2(a). ábrából látható, hogy hozaganyag nélküli TIG-hegesztés esetén argon védőgáz mellett a varratfém inkább ferrites marad (ausztenittartalom 16-37 %). A védőgázhoz kevert N<sub>2</sub> jelentősen növeli a varratfém ausztenittartalmát. A növekedés mértéke a 10 % N<sub>2</sub> tartalmú védőgázig a legjelentősebb. A további védőgáz N<sub>2</sub> növekedés már csak kisebb mértékű. Az argon mellett 50 % N<sub>2</sub>-t tartalmazó védőgáz esetén a varratfém már jelentősen ausztenites (58-71 %). Az 50 % ausztenittartalom eléréséhez alapanyag összetétel és ívenergia függvényében ~ 10-30 % N<sub>2</sub> tartalmú védőgáz szükséges. A 10 %-nál nagyobb N<sub>2</sub> tartalom azonban ívstabilitási problémákat okoz, ezért ipari körülmények között nem alkalmazható.



1. ábra

A varratfém szövetszerkezete a különböző védőgázkeverék függvényében, a vizsgált acéloknál 0,68 kJ/mm ivenergia esetén. A sötét területek ferrites, a világos területek ausztenites fázisok.



2. ábra

A varratfém ausztenit- (a) és nitrogéntartalma (b) a különböző védőgázkeverék és az alkalmazott ivenergia függvényében, a vizsgált acéloknál. A jelmagyarázat mindkét diagram esetében ugyan az.

A varratfémekben mért teljes oldott N tartalom értékei láthatóak a 2(b). ábrán a különböző védőgázkeverék és az alkalmazott ivenergia függvényében, mindhárom anyagminőségre. A 2(b). ábrából látható, hogy a védőgázhoz kevert  $N_2$  növeli a varratfémekben oldott N tartalmat. Az alapanyaggal megegyező oldott nitrogéntartalom  $\sim 3\%$   $N_2$  tartalmú védőgáz esetén érhető el. Ez az érték azonban függ az alapanyag ötvözőtartalmától és az alkalmazott ivenergiától. Az ivenergia értékétől való függés a 2101 alapanyag esetén a legjelentősebb. Az alapanyagéval megegyező nitrogéntartalom azonban mégsem jelenti a megfelelő, 50% ausztenittartalmat (2(a). ábra). Ennek oka az ívhegesztés nem egyensúlyi folyamata (gyors lehűlés). Az 50%  $N_2$  tartalmú védőgáz már jelentősen növeli a varratfém nitrogéntartalmát: 2205 esetében  $\sim 0,23\%$ , 2101 esetében  $\sim 0,26\%$ , 2404 esetében  $\sim 0,35\%$ .

## 4. KONKLÚZIÓK

Az elvégzett kísérletek és vizsgálatok alapján a következő megállapítások tehetők:

- A varratfém ausztenittartalma függ az alkalmazott védőgáz nitrogéntartalmától az ívenergiától és az alapanyag kémiai összetételétől.
- Az 50 % N<sub>2</sub> védőgázzal TIG-hegesztett minták esetében a varratfém jelentősen ausztenites. A 2205 és 2404 alapanyagok ebben az esetben folyadék →  $\delta + \gamma$  eutektikumként, a kis nikkeltartalmú 2101 sovány duplex acél  $\delta$ -ferritként kristályosodott.
- Az 50 % ausztenittartalom eléréséhez alapanyag összetétel és ívenergia függvényében ~ 10-30 % N<sub>2</sub> tartalmú védőgáz szükséges.
- Az alapanyaggal megegyező oldott nitrogéntartalom ~3 % N<sub>2</sub> tartalmú védőgáz esetén érhető el, ez azonban nem jelenti a varratfém ~50 % ausztenittartalmát.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a kutatás a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült (BO/00196/16/6). A Projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával - NKFIH, valósult meg (OTKA PD 120865).

## HIVATKOZÁSOK

- [1] Gunn R N, Duplex stainless steels : microstructure, properties and applications, Abington Publishing, Cambridge, 1997
- [2] Dobránszky J és Kovács D, Szemlézés a rozsdamentes acélok gyártásának európai kutatásaiból Bányászati Kohászati Lapok – Kohászat, 2016, 149, 6–10
- [3] Palotás B, Zemankó I és Rózsahegy R, Ferrites-martenzites DP-acélok ellenállás-ponthegesztése Bányászati Kohászati Lapok – Kohászat, 2014, 147, 39–43
- [4] Gáspár M, Balogh A és Lukács J, Toughness Examination of Physically Simulated S960QL HAZ by a Special Drilled Specimen, Lect. Notes Mech. Eng.,2017, 469–81
- [5] Kovács-Coskun T A és Vajdics D, A TRIP acél ponthegesztésének hatása, Műszaki Tudományos Közlemények,2015, 2, 227–34
- [6] Dobosy Á és Lukács J, S690QL jelű acélok hegeszthetőségének és fáradással szembeni ellenállásának vizsgálata, Hegesztéstechnika, 2015, 26, 51–9
- [7] Mészáros I és Bögre B, Microstructural and magnetic investigations of duplex steel, IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.,2018, 426, 1-7
- [8] Berecz T és Szabó P J, A  $\sigma$ -fázis és az austenit orientációs kapcsolatának vizsgálata duplex acélokban, Anyagok világa, 2004, 5, 1–9
- [9] Sándor T és Dobránszky J, Microstructural properties of the heterogeneous welded joints of LDX2101 and AISI 304 stainless steels, 8th Duplex Stainl. Steels Conf., 2010
- [10] Komócsin M, Duplex szerkezetű korrózióálló acélok hegesztése, Gép, 2008, 59, 24–7
- [11] Karlsson L, Welding Duplex Stainless Steels – a Review of Current Recommendations, Weld. World, 2012, 56, 1–17
- [12] Varbai B, Pickle T és Májlinger K, Development and Comparison of Quantitative Phase Analysis for Duplex Stainless Steel Weld, Period. Polytech. Mech. Eng., 2018, 62, 247–253
- [13] Westin E, Microstructure and properties of welds in the lean duplex stainless steel LDX 2101, Doktori értekezés, 2010