

# A hidrogén ridegítő hatása a duplex korrózióálló acélok hegesztett kötéseiben

## Effects of hydrogen embrittlement in duplex stainless steel welds

*BREZNAY Csaba<sup>1</sup>, Dr. VARBAI Balázs<sup>2</sup>, Dr. KATULA Levente Tamás<sup>3</sup>*

1: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar,  
Anyagtudomány és Technológia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3,  
463-1234, breznay\_csaba@outlook.hu

2: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar,  
Anyagtudomány és Technológia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3,  
463-1955, varbai.balazs@gpk.bme.hu

3: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar,  
Anyagtudomány és Technológia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3,  
463-1955, katula.levente@gpk.bme.hu

### Abstract

*In my research, I investigated the effect of hydrogen in welded joints of duplex stainless steels. After selecting the appropriate test method, welds were prepared with electrodes with different moisture contents and on different surfaces (clean, painted surface). In my research, I found that the diffusible hydrogen content of the weld welded with a wet electrode increased, the weld contained porosities, but no cold cracking or increase in hardness appeared in the weld.*

**Keywords:** duplex stainless steel, hydrogen cracking, welding, controlled thermal severity test

### Kivonat

*Kutatásom során a hidrogén hatását vizsgáltam duplex korrózióálló acélok hegesztett kötéseiben. A hidegrepedés vizsgálatára a megfelelő vizsgálati mód kiválasztása után különböző nedvességtartalmú elektródákkal, illetve különböző felületekre (tisztá, festett felület) készítettünk varratokat. A kutatásaim során azt találtam, hogy a nedves elektródával hegesztett varrat diffúzióképes hidrogéntartalma megnőtt, azonban porozitáson kívül hidegrepedés vagy keménységnövekedés nem jelent meg a varratban.*

**Kulcsszavak:** duplex korrózióálló acél, hidegrepedés, hegesztés, élsarokvarratos vizsgálat

## 1. BEVEZETÉS

A duplex korrózióálló acélok 1980-as évek közepére tehető megjelenése óta igen elterjedt alapanyaggá váltak a különböző ipari alkalmazások terén, ilyenek például a hajóipar, olajipar, autóipar, offshore acélszerkezetek, hőcserélők gyártása. Felhasználásukból eredően gyakori, hogy helyszínen kell hegeszteni, kézi ívhegesztést alkalmazva. Helyszíni hegesztés során gyakorta nem biztosíthatók az optimális körülmények a varrat elkészítéséhez. Az alapanyag felülete szennyezett lehet, nem biztosított az elektróda kiszáritása és az időjárást sem tudjuk befolyásolni, azonban a javítást, karbantartást el kell végezni. Ilyen körülmények közt elkerülhetetlenül számolnunk kell a hidrogén hatásával.

A hidrogén hatására zárványok, porozitások jelenhetnek meg, rosszabb esetben hidegrepedés következhet be. Az anyag tulajdonságainak szempontjából döntő fontosságú a hűlés során kialakuló szövetszerkezetek aránya, tehát a hegesztés során fokozott figyelmet kell szánni a megfelelő hőbevitelre, a hegesztőanyag és az alapanyag összetételére [1,2]. Kutatásom célja a duplex korrózióálló acélok varratfémében megjelenő hidrogén hatásának vizsgálata, valamint annak vizsgálata, hogy az elektródák nedvességtartalma milyen hatással van a varratfém diffúzióképes hidrogéntartalmára. Ezt különböző mértékben nedvesített elektródákkal, festett és tiszta felületekre készített varratok segítségével vizsgáltuk.

## 2. KÍSÉRLETI ANYAGOK ÉS BERENDEZÉSEK

A kísérletekhez felhasznált alapanyag egy úgynevezett sovány duplex korrózióálló acél (X2CrMnNiN21–5–1, később: LDX 2101), 10 mm vastag lemez formájában. Az alapanyag kémiai összetétele a műbizonylat alapján az 1. táblázatban látható.

1. táblázat. LDX 2101 alapanyag kémiai összetétele (MSZ EN 10088 szerint maximálisan megengedett értékek, tömeg%)

Anyagminőség	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N
LDX 2101	0,04	6	1	0,04	0,015	1,7	22	0,8	0,8	0,25

A vizsgálathoz 5db CTS (*Controlled Thermal Severity*)-próbatestet készítettünk el, az MSZ EN ISO 17642-2:2005 szabvány szerint. A kísérleti paraméterek a 2. táblázatban láthatóak. A próbatestek hegesztése során alkalmazott hőbevitel nagyjából állandónak tekinthető, értéke  $\bar{Q} \approx 0,78$  kJ/mm. Az elektróda nedvességtartalmának hatását vizsgáltam a varrat hidrogéntartalmának változására. A nedvesített elektródákat a hegesztések megkezdéséig zárható tasakokban tároltam, az elektróda által felvett nedvesség mértékét tömegméréssel határoztam meg [3]. A hidrogéntartalom meghatározására hordozógázos módszert alkalmaztam. A hidrogéntartalmat az elektródák nedvesítésén kívül, az alapanyag felületének akril festékekkel való bevonásával is növeltem.

2. táblázat. Kísérleti paraméterek

Próbatest sorszáma	Elektróda felvett nedvessége	Próbatest felülete	Hőbevitel (kJ/mm)
I/1	1,082 g	tiszta	0,85
I/2	1,107 g	tiszta	0,73
II/1	1,053 g	tiszta	0,76
II/2	1,052 g	tiszta	0,75
III/1	1,219 g	tiszta	0,80
III/2	1,058 g	tiszta	0,75
IV/1	száraz	festett	0,82
IV/2	száraz	festett	0,79
V/1	száraz	tiszta	0,78
V/2	száraz	tiszta	0,83

A hegesztéseket az MSZ EN ISO 17642-2:2005 szabvány szerint előírt módon végeztük el, a próbatesteket 45°-ban megtámasztva. A hegesztéshez E2209 (E 22 9 3 NL R) jelű rutil-bázikus bevonatú, 3,2 mm maghuzal-átmérőjű elektródát használtunk, a hegesztőgép Sirius Migpulse 501 DPP volt. Az elektróda kémiai összetétele a műbizonylat alapján a 3. táblázatban látható.

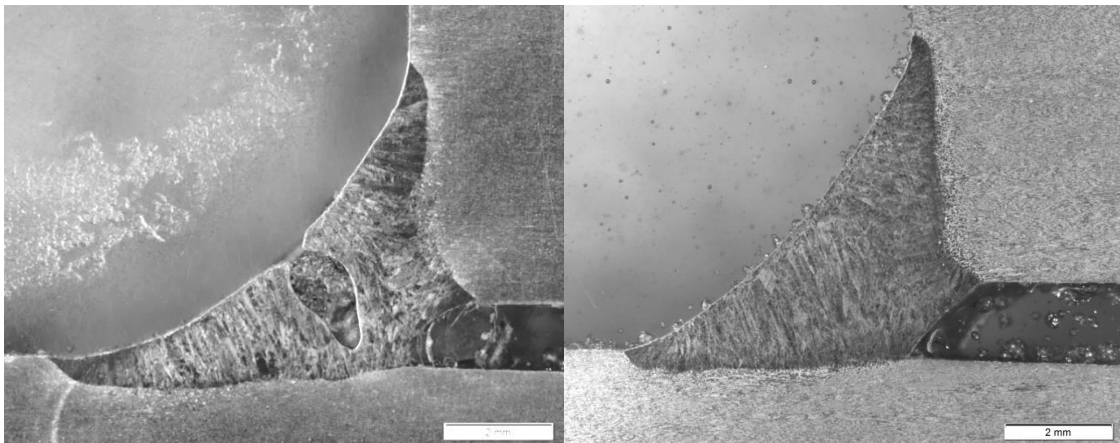
3. táblázat. E2209 rutil-bázikus elektróda kémiai összetétele (maximálisan megengedett értékek, tömeg%)

Heg. anyag	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	N
E2209	0,03	0,9	0,9	9	22,5	3	0,18

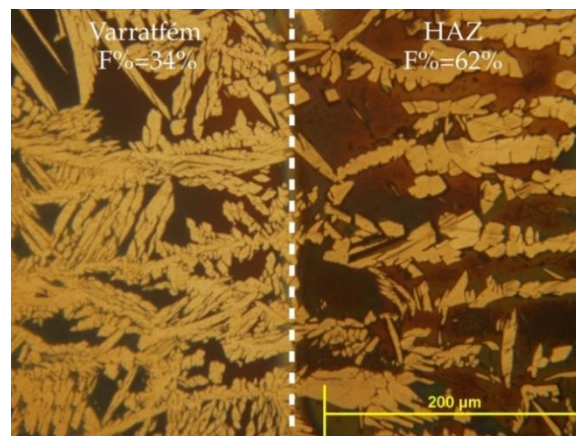
### 3. EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

A száraz elektródákhoz képest, a nedvesített elektródák esetében rosszabb ívgyújtás volt tapasztalható, számottevő fröcskölés azonban nem jelentkezett. Megfigyelhető az 1. ábra bal oldali felvételén a nedvesség hatására kialakult jelentős méretű tömlő alakú gázzárvány, amely több esetben is kialakult (I/1, II/2, III/1 sorszámú próbatestek). Ezek mérete meghaladja az MSZ EN ISO 5817:2014 szabvány szerint megengedett legnagyobb eltérést, tehát az I/1, II/2, III/1 sorszámú próbatestek varratai egyik minőségi szinten sem felelnek meg.

A 2. ábrán látható a varratfém és a hőhatásövezet szövetszerkezete. Hidegrepedés egyik próbatest esetén sem jelentkezett. A ferrit tartalmat képelemző szoftver (*JMicroVision*) segítségével határoztam meg [4,5]. Japán kutatások szerint [6] a duplex korrózióálló acélok hidegrepedés-érzékenysége 50 % ferrit tartalom felett megnő. Az összes vizsgált próbatest esetén a 2. ábrához hasonló ferrit tartalom volt mérhető. Ennek és a kedvező keménységprofilnak köszönhető, hogy nem alakult ki hidegrepedés [7]. A festett felületre készített varratokon a hegesztés során leégő festék a varratfém alapanyag felőli részsein zárványként jelent meg.

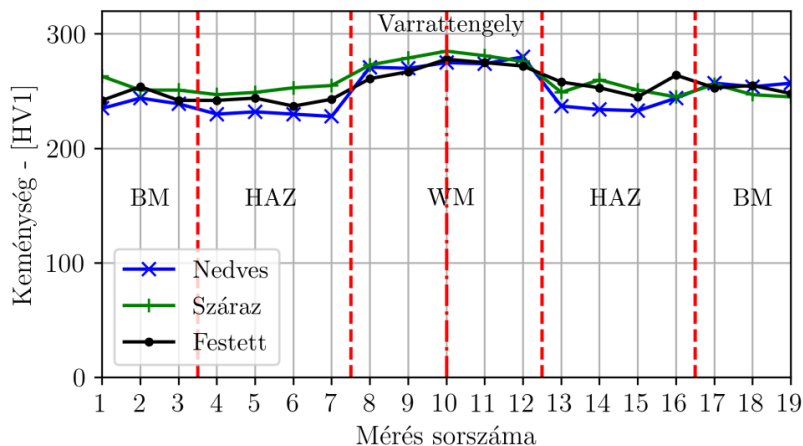


1. ábra. Nedves és száraz elektródával készített varratok sztereomikroszkópi felvétele



2. ábra. Ferrit tartalom az összeolvadási vonalnál, a hőbevitel 0,80 kJ/mm volt. A sötét területek ferrites, a világos területek ausztenites fázisok.

A 3. ábrán láthatóak a különböző paraméterekkel készített varratok keménységprofiljai. A száraz elektródával készített varratok esetén az alapanyag és a hőhatásövezet keménységében számottevő különbség nem mérhető, a varratfém keménysége a nagyobb ötvöztartalom miatt 20–30 HV értékkel nagyobb.



3. ábra. Az elkészült varratok keménységprofiljai, Vickers-keménység, 1000 g terhelés

### 3.1 A varratfém diffúzióképes hidrogéntartalma

A CTS-próbatestek hegesztéséhez hasonló módon 1 db száraz, illetve 1 db nedvesített elektródát készítettem elő a méréshez. A vizsgálatokat az MSZ EN ISO 3690:2019 szabvány szerint végeztük el, 400 °C-on 25 percig. A szabványban szereplő előírás szerint a gyártó által az elektródára előírt maximális áramerősség 90 %-ával (90 A) készítettük el a vizsgálandó varratokat. Hogy a kísérlet releváns eredményt adjon, fontosnak tartottam a CTS-próbatestek vizsgálandó varrataihoz hasonló hőbevitel alkalmazását. A száraz elektróda esetében a hőbevitel 0,77 kJ/mm, a nedves elektródával készített varrat esetében pedig 0,72 kJ/mm. A varratokat a szabványban előírt S235JR anyagminőségű próbatestekre készítettük, amelyeket a hegesztést megelőzően 1 órán keresztül 650° C-on hidrogénmentesítettek. A méréseket egy BRUKER G4 PHOENIX típusú hidrogéntartalom-elemző segítségével végeztük el.

A száraz elektródával hegesztett varratfém diffúzióképes hidrogéntartalma 25 perc elteltével 0,13 ml/100 g varratfém, míg a nedvesített elektródával (felvett nedvessége=1,1926 g) 0,26 ml/100 g varratfém. Jól látható a mérési eredmények alapján, hogy a nedvesítés hatására a diffúzióképes hidrogéntartalom a kétszeresére növekedett, azonban a kis vizsgálati hőmérséklet, illetve a rövid mérési idő miatt nem tudtuk kimérni a varratfém teljes diffúzióképes hidrogéntartalmát. A. J. Leonard és kutatótársai [8] munkájukban különböző hőmérsékleten mérték hosszú ideig a diffúzióképes hidrogéntartalmat. Kutatásukból kiderül, milyen hatással van a vizsgálati hőmérséklet a vizsgálatához szükséges időre. 400 °C-on 25 perc elteltével a mért érték 0,6 ml/100 g varratfém, míg a teljes diffúzióképes hidrogéntartalom meghatározásához 1200 perc volt szükséges, az így mért érték 1,2 ml/100 g varratfém. Ugyanezen érték eléréséhez 900 °C-on körülbelül 50 perc volt szükséges. Ez a viselkedés az ausztenit hidrogéncsapdaként való működéséhez köthető.

## 4. KONKLÚZIÓK

Az elvégzett kísérletek és vizsgálatok alapján a következő megállapítások tehetők:

- Az elektródák nedvesítésével kimérhetően megnő a varratfém diffúzióképes hidrogéntartalma.
- A nedvesítés hatására a varratban porozítások, zárványok jelennek meg.
- Megfelelő (<50 %) ferrit tartalom esetén jelentős mértékű hidrogén jelenléte mellett sem alakul ki hidegrepedés duplex acélokban.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A diffúzióképes hidrogéntartalom mérését a móri ESAB Kft laboratóriumában végeztük el, amit ezúton is szeretnék megköszönni. A projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával – NKFIH, valósult meg (OTKA PD 138729). A szerző konferencia részvételét a BME Gépészmérnöki Kar NTP-HHTDK-21-0051 pályázata támogatta.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- Uzonyi S., Asztalos L. és Dobránszky J., „Duplex korrózióálló acél durvalemezek hegesztése,” XX. Fialtal
- [1] Műszakiak Tudományos Ülésszaka, pp. 315-318, 2015.
- Dr. Bödök K., Az ötvöztelen, gyengén és erősen ötvözött szerkezeti acélok korrózióállósága, különös
- [2] tekintettel azok hegeszthetőségére, CORWELD, 1997.
- D. Fydrych és J. Łabanowski, „An experimental study of high-hydrogen welding processes,” Revista de
- [3] Metalurgia, 51. évfolyam, 4. szám, e055, 2015.
- Varbai B., „A nitrogén szerepe a duplex korrózióálló acélok hegesztésekor”, doktori értekezés, Budapesti
- [4] Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2019.
- A. Corolleur, A. Fánica és G. Passot, „Ferrite Content in the Heat Affected Zone of Duplex Stainless
- [5] Steels,” BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 1. kötet, 160, p. 413–418, September 2015.
- K. SHINOZAKI, K. E. L és T. NORTH, „Hydrogen cracking in duplex stainless steel weld metal,” Welding
- [6] Journal-New York-, 71. évfolyam, 387s-396s, 1992.
- K. Ogawa és M. Miura, „Hydrogen cracking in duplex stainless steel weldments,” Welding International, 1.
- [7] kötet 5, p. 691–696, 1991.
- A.J. Leonard , R. N. Gunn, T. G. Gooch: Hydrogen Cracking of Ferritic-Austenitic Stainless Steel Weld
- [8] Metal, Stainless Steel World, Duplex America 2000: Conference on Duplex Stainless Steels, KCI Publishing, 2000.