

bránszky János\*, Kovács Dorina\*\*

## Szemlézés a rozsdamentes acélok hegesztésének európai kutatásaiból

2013-ban, Firenzében rendezték meg a rozsdamentes acélok első európai referenciáját. Ezt követően háromévenként került rá sor: Düsseldorf, Chiama, Párizs, Sevilla, Helsinki és Como után érkezett Grácba, ahol (elsőként) együttes konferenciaként rendezték meg az először 1990-ben, majd utóbb 2010-ben, egyaránt Beaune-ba összehívott, addig önálló konferenciasorozatként zajló, duplex rozsdamentes acélok konferenciájával. Ezek az 15 éve rendszeres konferenciák kiemelkedően fontos színterei voltak a rozsdamentes acélok fejlesztésével, hegesztésével és felhasználásával foglalkozó ipar és a tudományos kutatás bemutatkozásának. Minden konferencián kiemelt csoportot alkottak a hegesztéssel kapcsolatos előadások; Grácban is. A 76 előadásból a következő 12-nek volt szorosan a tárgya a hegesztés – amelyek közül néhányat szemlélünk a továbbiakban azért, hogy a magyar olvasókörzés is bepillantást nyerjen a rozsdamentes acélok hegesztésével kapcsolatos európai kutatások új eredményeibe.

Charles Jackson (Loughborough University): A tartós öregítés hatása az ausztenites acélok hozaganyag nélküli vegyes kötéseire.

Philipp Flockerzi, Manuela Zinke, Sven Juttner (Otto von Guericke University Magdeburg): A porozitásképződés hatástényezői a szuperduplex acélok varrataiban.

Severi Anttila, H-P. Heikkinen, Jukka Saynajakangas, David Porter (University of Oulu): Az ütőmunka

és a repedésképződés egyes ferrites acélok varrataiban.

• Andreas Richter (pro-beam AG & Co. KGaA): Duplex rozsdamentes acélok elektronsugaras hegesztése.

• Uwe Reisinger, Simon Olschok, Stefan Jakobs, Christoph Turner (RWTH Aachen University, ISF - Welding and Joining Institute): Duplex rozsdamentes acél vákuumban végzett lézersugaras hegesztése.

• Francesco Ciccomascolo, Elin M.

Westin, Ronald Schnitzer, Andrea Maderthoner (Voestalpine Böhler Welding Austria): Bizmutmentes rozsdamentes acél porbeles huzalok nagy hőmérsékleti alkalmazásokhoz.

• Dobránszky János, Lőrinc Zsuzsanna, Gyimesi Ferenc, Szigethy András, Bitay Enikő: Sovány duplex acélok és vegyes kötéseik lézersugaras hegesztése

• Dariusz Dyja, Marek Rybarz, Grzegorz Stradomski, Anna Januszka (Rybnik Engineering Center, Technical University of Czestochowa): A ferrites rozsdamentes acél hegesztőhuzal stabilizáló elemeinek hatása a varrat mikroszerkezeti és korróziós tulajdonságaira.

• Gianpaolo Orlando, Roberto Giovannardi (Nitty-Gritty srl; Università di Modena e Reggio Emilia): A rozsdamentes acélok varratainak gyors és gazdaságos pácolása és innovatív felületkezelése.

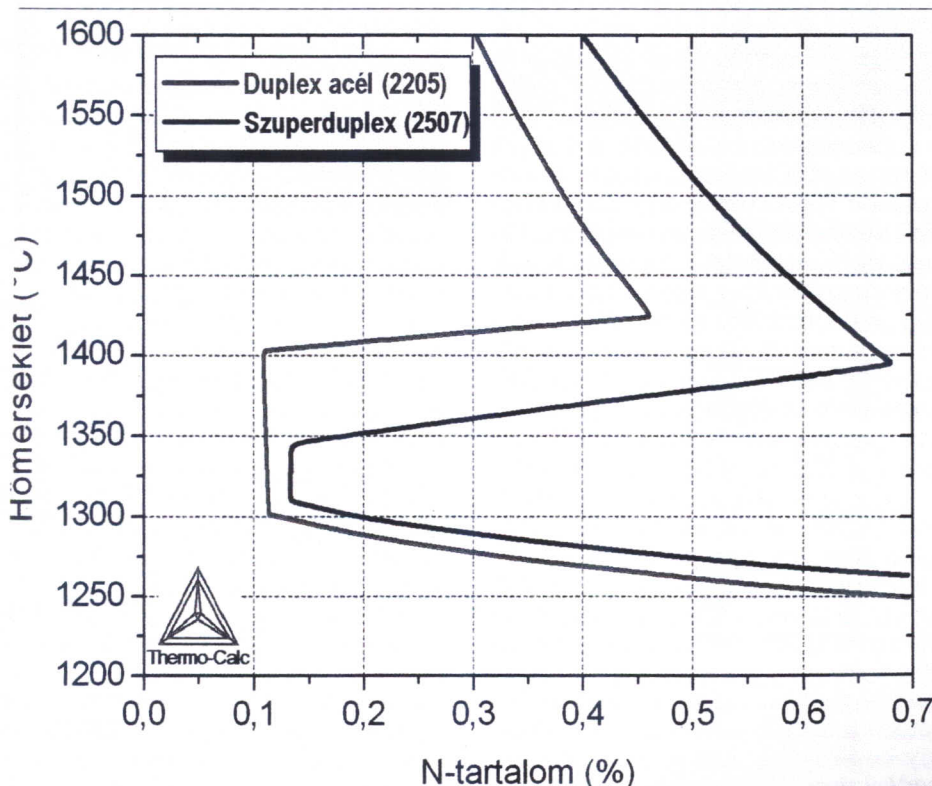
• Bernadette Gsellmann, W. Huemer, Rudolf Vallant, Christof. Sommitsch (Graz University of Technology): Lineáris dörzshegesztéssel összekötött láncok korrózióállósága.

• Alice Orsi, Yassar Ghanimi, Norbert Enzinger Andritz AG, IWS, TU Graz: 1.4418 anyagú hegesztett lemezek szulfidos feszültségi korróziója.

• Romulo F. Moreno (Villares Metals): Szuperduplex VDF55W huzal kifejlesztése hegesztőhuzalokhoz.

### A porozitásképződés hatástényezői [1]

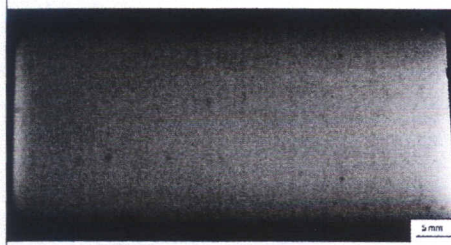
Flockerzi és szerzőtársai a szuperduplex rozsdamentes acélok védőgázos ívhegesztése során bekövetkező porozitásképződés hatástényezőinek kutatásában elért új eredményeiket ismertették. A duplex acélok varratfémében a legalább 30% ausztenit biztosítása az egyik legfontosabb követelmény. A védőgázos hegesztéseknél erre jó lehetőséget kínál a nitrogén hozzáadása a védőgázhoz. A TIG-hegesztésnél egységes a szakirodalom a nitrogén-hozzáadás előnyösségéről, de a MIG-hegesztésre nézve eltérő álláspontokkal lehet találkozni. A nitrogén oldhatóságának csökke-



1. ábra: A nitrogén oldhatóságának Thermo-Calc szimulációval számolt változása a hőmérséklettel (1. atm. nyomáson) duplex és szuperduplex rozsdamentes acélban [2]



Védőgáz: 69,5Ar-30He-0,5CO<sub>2</sub> Huzal: 115 ppm oxigén, 2604 ppm nitrogén



Védőgáz: 69,5Ar-30He-0,5CO<sub>2</sub> Huzal: 23 ppm oxigén, 2608 ppm nitrogén

2. ábra: A varratfém röntgenképe kétféle huzal + védőgáz kombinációval hegesztett varratra [1]

nését szemléltető 1. ábra alapján a porozitásképződés veszélye nagy, és éppen emiatt egyes szerzők nem javasolják [2].

A kutatásban 1.4501 típusú szuperduplex acél porozitásképződési hajlamát vizsgálták, különféle adagokból származó (tehát kissé eltérő összetételű), G 25 9 4 N L típusú huzalelektrodával és különféle összetételű védőgázokkal hegesztve, impulzusos TIG- és MIG-eljárás alkalmazásával. A hegesztőhuzalok érdemlegesen csak az oxigéntartalomban tértek el (23–115 ppm), a N-tartalmuk 2340 és 2608 ppm között változott. Az ötféle védőgáz között volt egy- és négykomponensű is. A porozitás mértékét radiográfiai és metallográfiai vizsgálattal ellenőrizték. Két jellegzetes röntgenképet mutat a 2. ábra.

A kutatás eredményeinek értékelése alapján az alábbi fő tanulságok szűrhetők le:

- A szuperduplex acélok TIG-hegesztése során nem kell porozitásképződésre számítani, bármilyen védőgáz használata esetén sem. Ezzel szemben a MIG-hegesztés alkalmazásakor a porozitásképződési hajlam igen nagy. A semleges gáz használata elkerülhetővé teszi a porozitást, de minél nagyobb az aktív összetevők részaránya, annál inkább növekedni fog a porozitás mértéke.
- A huzalelektroda összetételének is rendkívül nagy a szerepe a porozitás



3. ábra: 1.4462 számjelű duplex acél 40 mm vastagságú lemez hegesztési varratának keresztmetszeti szövetképe [4]

kialakulásában: még a kis eltérések is (főleg az oldott gázok mennyiségében) is jelentősen eltérő eredményre vezetnek. A TIG-hegesztésnél nem észlelték sem az oxigén, sem a nitrogén porozitásképző hatását, míg a MIG-hegesztésnél egyértelmű a kapcsolat a varratfémekben oldott gázok mennyisége és a porozitás mértéke között.

## Duplex rozsdamentes acélok elektronsugaras hegesztése [4]

Richter, az 1974 óta elektronsugaras berendezéseket gyártó *pro-beam AG* fejlesztőmérnöke az előadásában a 2205 típusú duplex rozsdamentes acélok elektronsugaras hegesztésével foglalkozott. Hangsúlyozta, hogy bár az elektronsugaras hegesztést is az ömlesztőhegesztési eljárások közé sorolták be, egészen más stratégiát kíván ennek az eljárásnak az alkalmazása a duplex acélokra, mint az ívhegesztési eljárásoknál megszokott.

A hegesztést két lépésben hajtják végre: az első lépésben a teljes varratvonalon elkészítene egy „fűzővarratot”, nagyon kis energiájú sugárnyalábal, majd ezt követi a teljes átolvadású varrat. A 3. ábra erre mutat példát.

A kötést biztosító varrat tehát egyetlen varratsorból áll, így a rétegek közötti hőmérséklettel kapcsolatos előírás mellőzhető. Az 1.4462 típusú duplex acél sok nitrogént tartalmaz; az ebből adódóan fenyegető porozitási veszélyt a különösen gondosan meghatározott hegesztési sebesség tudja megszüntetni. A nyaláblengetési technika fokozza az ömledék és a kulcslyuk (amely ennél az eljárásnál egy szűk párolgási csatorna) dinamikai jellemzőit. A hegesztéstechnológiai változók helyes beállításával biztosítható a szükséges ferrit- és ausztenittartalom, így kivédhető a meleg- és a hidegpedési veszély. Természetesen adódna az elektronsugaras hegesztés általános előnyei:

- könnyű varrat-előkészítés
- nincs szükség hozaganyagra
- csekély alakváltozások és vetemedések

A relatíve nagy hegesztési sebességgel végzett hegesztéssel túl nagy ferrittartalom alakulhat ki, s emellett a nitrogén egy része is távozik az ömledékből, amelyek együttes következménye a varrat elridegedése. A nitrogénvesztés megállapítására végzett kísérletek azt mutatták, hogy a nitrogénvesztés kissé nagyobb a kis hegesztési sebességek esetén, de a hosszabb ömledéklétidő és a lassabb lehűlés kedvez az ausztenitképződésnek, és csökkenti a porozitást. A varratra ráhegesztetni nem szabad, mert ez erős nitrogénvesztést és elridegedést okoz, valamint a korrózióállóságot is erősen rontja.

A nitrogénvesztés és a túlzott ferrittartalom kompenzálására több lehetőség is alkalmazható:

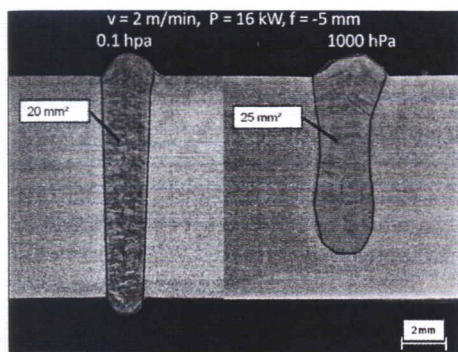
- oldó hőkezelés az elektronsugaras hegesztés után,
- nagy Ni-tartalmú hegesztőanyag hozzáadása hegesztés közben,
- előmelegítés.

## Duplex acél lézersugaras hegesztése vákuumban [5]

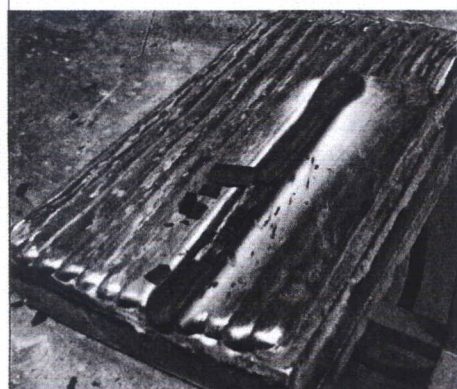
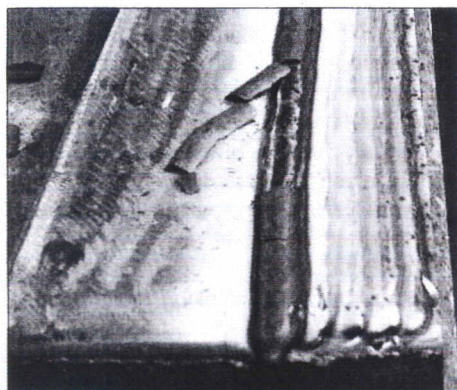
Reisgen és szerzőtársai 10–30 mm vastag, 2205 és 2304 típusú duplex korrózióálló acél lemezeket hegesztett 0,001 hPa-os vákuumban, 16 kW-os tárcsaelézerrel. A lézersugaras hegesztés vákuumban való végzésének kifejlesztését az a szándék hajtotta, hogy a mélyvarratos hegesztés során a párolgási csatornában (kulcslyukban) képződő plazma mennyiségét csökkentsék, és ennek hatására növekedjen a lézersugár behatolási mélysége. Az ötvözetlen acélok hegesztésekor a behatolási mélység a kétszeresére nőtt, ha 0,1 hPa-os vákuumban történt a hegesztés.

A hegesztési kísérletekben azt vizsgálták, hogy az 1000 hPa-os normál nyomáson, illetve vákuumban miként változik a varratgeometria. A 4. ábra jól mutatja a különbségeket.

Összegzésképpen megállapították, hogy a vákuumban végzett lézersugaras hegesztés (rövidítése: LaVa) a duplex acéloknál 10 mm az a vastagság, amelyet jól lehet hegesztetni, de a hegesztési sebesség csökkentésével ez a vastagság növelhető, mégpedig annál inkább, minél kisebb nyomáson történik a hegesztés.



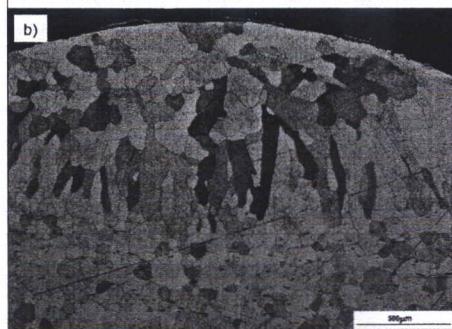
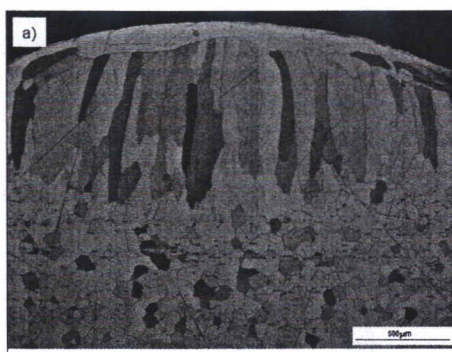
4. ábra: A varratgeometria 2205 típusú duplex acél lézersugaras hegesztésekor [5]



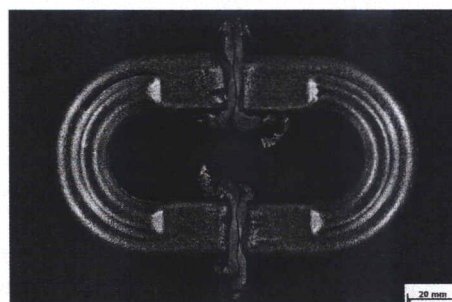
5. ábra: Salakleválási kísérlet egyrétegű és kétrétegű felrakóhegesztésnél [6]

## Bizmutmentes porbeles huzalok [6]

Ciccomascolo és szerzőtársai a Böhler-hegesztőanyagok fejlesztésének egyik új eredményét ismertették. A jelenleg gyártott, ausztenites acél porbeles huzalok tartalmaznak egy kevés bizmuttrioxidot ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ), ami elősegíti a salakleválást (5. ábra) és a tiszta szegélyt, különösen a sarokvarratoknál. A varratfém kb. 0,02% Bi-t tartalmaz. A szakirodalomban olyan kutatási eredmények jelentek meg, amelyek a Bi káros hatására mutattak rá: kristályközi repedés és idő előtti kúszási károsodás a 650–750°C-on üzemelő berendezések varrataiban, hegesztés utáni hőkezeléskor, szénacél felrakóhegesztésekor



6. ábra: 1.4509 típusú ferrites korrózióálló acél varratának keresztmetszete; a) 430LNb huzallal hegesztve, b) 430LNbTi huzallal hegesztve



7. ábra: Lineáris dörzshegesztéssel készített láncszem [8]

és öntvények javításakor. A bizmutnak e káros hatását felismerve olyan irányelveket adtak ki (AWS A5.22:2012 és API RP 582), amelyek a Bi mennyiségének maximumát 20 ppm-ben határozták meg a kritikus alkalmazások alapanyagainak hegesztőanyagában.

Az idézett szerzők által elvégzett nagyszabású összehasonlító kísérlet-sorozatban azt vizsgálták, hogy a hagyományos és a bizmutmentes ( $\text{Bi} < 10 \text{ ppm}$ ), AISI 347, 347H, 308H és 309L huzalok milyen hegesztési sajátosságokat mutatnak. A szobahőmérsékleten végzett szakítóvizsgálat szerint a varratfémek szilárdsága azonos, ám a Bi-mentes varratok nyúlása nagyobb, az ütőmunkában az eltérés pedig jelentősnek mondható (20% az eltérés). A 700°C-on – a hegesztést követő hőkezelés jellegzetes hőmérsékletén – végzett szakítóvizsgálat pedig a bizmu-

tos huzalok drámai nyúláscsökkenését mutatta meg (18% a 43%-kal szemben). A hőkezelés után végzett  $-196^\circ\text{C}$ -os ütővizsgálatban a Bi-mentes huzallal hegesztett varratfémek ütőmunkája 41 J, a bizmutos varratoké pedig mindössze 12–14 J. Az új, 82Ar–18CO<sub>2</sub> védőgázra optimalizált, Bi-mentes huzalokkal elkerülhető az elridegedés, és a salakleválás is problémamentes abban az esetben is, ha tiszta CO<sub>2</sub> gázzal hegesztik a varratokat.

## Stabilizált ferrites hegesztőhuzalok [7]

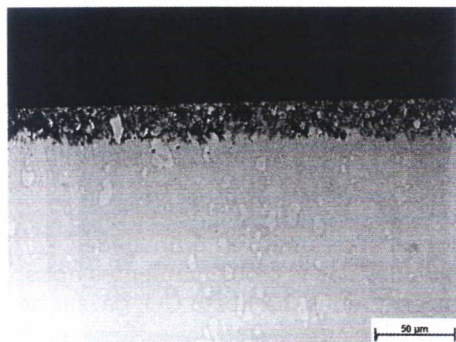
Dyja és szerzőtársai azt vizsgálták, hogy a duplán, nióbbiummal is, és titánnal is stabilizált, ferrites korrózióálló acél hegesztőhuzalok milyen előnyöket nyújtanak a csak Nb-mal stabilizáltakhoz képest a 96% Ar + 4% O<sub>2</sub> gázkeverékkel végzett huzalektrodás, védőgázos hegesztéssel készült varratok esetében. A stabilizálás alapvető célja a kristályközi korrózióra való érzékenyebbé válás megakadályozása, de a varratfém szemcsedurvulásait is fékezi. Ebből a szempontból sokkal hatásosabb a kettős stabilizálás, ezt jól mutatja a 6. ábra.

További előnye a kettős stabilizálásnak, hogy a varratfém keménysége szinte azonos marad az alapanyagával, míg a csak nióbbiummal stabilizált huzal esetén a varratfém 20–25%-kal is keményebb lehet a szemcsehatármenti martenzitképződés miatt. Az elvégzett, „dip and dry” típusú korróziós vizsgálat azt mutatta, hogy a Nb + Ti stabilizálás a varratfém korrózióállóságát is egyértelműen jobbá teszi.

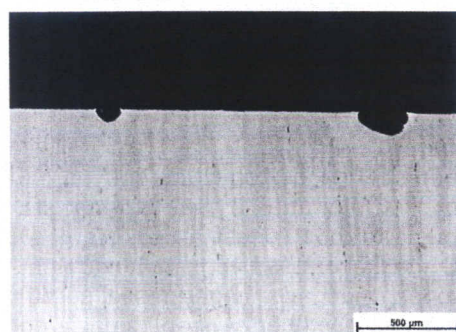
## Dörzshegesztéssel gyártott láncok korrózióállósága [8]

Gsellmann és szerzőtársai ausztenites (AISI 316L) és martenzites (AISI 440B) korrózióálló acélból lineáris dörzshegesztéssel gyártott láncszemek (7. ábra) varratainak korrózióállóságát vizsgálták különféle korróziós vizsgálatokkal (8. ábra).

A vizsgálati eredmények rámutattak, hogy a 316L típusú ausztenites acél varrata jól ellenáll különféle korróziós hatásoknak, míg a martenzites acél csak a gyenge korróziós hatásokkal szemben mutat kellő ellenállást, és kifejezetten érzékeny a kristályközi korrózióra (ami nem meglepő a 0,92% széntartalma alapján). Mindkét anyagra nézve a hőhatásövezet bizonyult a hegesztett kötés „legyengébb



a)



b)

8. ábra: Kristályközi korrózió a martenzites acélon (a) és lyukkorróziós bema­ródások az ausztenites acélon (b) [8]

láncszemének” korróziós szempontból. A 316L acél korrózióállósága összeségében csak kevésbé csökkent, míg a martenzites acélé jelentős mértékben.

## Befejezés

Igyekezünk a *Hegesztéstechnika* olvasóinak figyelmét felhívni a rozsdamen-

tes acélok hegesztésével kapcsolatos legújabb európai kutatási eredményekre. Ha valaki bővebben is érdeklődik a konferencia előadásai iránt, javasoljuk, keresse fel a konferencia honlapját: [www.stainlesssteel2015.org](http://www.stainlesssteel2015.org). Az elektronikus könyvként megjelent, 590 oldalas konferenciakiadványt pedig minden érdeklődőnek szívesen elküldjük.

További jó hegesztést!

## Irodalom

- 1.] Flockerzi P, Zinke M, Juttner S: Influencing factors on pore formation in superduplex welds. 8th European Stainless Steel & Duplex Stainless Steel Conference, 28-30 April 2015, Graz, Austria, ASMETS, Leoben 2015, pp 88–97.
- 2.] Karlsson L: Welding Duplex Stainless Steels – A review of current recommendations. *Welding in The World*, 56 (2012:5–6) pp 65–76.
- 3.] Arola R, Wendt J, Kivineva E: Gas Porosity Defects in Duplex Stainless Steel Castings, *Materials Science Forum*, 318–320 (1999) pp 297–302.
- 4.] Richter A: Electron beam welding of duplex stainless steels. 8th European Stainless Steel & Duplex Stainless Steel Conference, 28-30 April 2015, Graz, Austria, ASMETS, Leoben 2015, pp 108–117.
- 5.] Reisgen U, Olschok S, Jakobs S, Turner C: Phenomenological study of laser beam welding under vacuum of duplex stainless steel. 8th European Stainless Steel & Duplex Stainless Steel Conference, 28-30 April 2015, Graz, Austria, ASMETS, Leoben 2015, pp 118–127.
- 6.] Ciccomascolo F, Westin EM, Schnitzer R, Maderthoner A: Stainless steel bismuth free flux-cored wires for high temperature applications. 8th European Stainless Steel & Duplex Stainless Steel Conference, 28-30 April 2015, Graz, Austria, ASMETS, Leoben 2015, pp 128–137.
- 7.] Dyja D, Rybarz M, Stradomski G, Januszka A: The role of the stabilizing elements in the ferritic welding wire in the microstructural and corrosion properties of the stainless steel weld joints. 8th European Stainless Steel & Duplex Stainless Steel Conference, 28-30 April 2015, Graz, Austria, ASMETS, Leoben 2015, pp 148–155.
- 8.] Gsellmann B, Huemer W, Vallant R, Sommitsch C: Corrosion resistance of linear friction welded chain links. 8th European Stainless Steel & Duplex Stainless Steel Conference, 28-30 April 2015, Graz, Austria, ASMETS, Leoben 2015, pp 297–306.

*Dobránzsky János (tudományos tanácsadó, MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport)*

*Kovács Dorina (egyetemi hallgató, BME Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék)*

## Rendezvénynaptár

Időpont	Hely	Megnevezés	Felvilágosítás
2015. szept. 14–19.	Németország Nürnberg	DVS Congress 2015 (D)	német nyelvű
2015. szept. 15–17.	Nürnberg Németország	DVS Expo (D)	német nyelvű
2015. szept. 17–18.	Hajdúszoboszló Magyarország	MHtE – hegesztési felelősök tanácskozása 25 éves az MHtE	
2015. szept. 24–27.	Németország	DVS – Bundeswettbewerb “Jugend Schweißt”	DVS
2015. szept. 29–okt. 1.	Linz Ausztria	Fachmesse – 2015	
2015. nov. 10–11.	Hamburg Németország	5. Tagung UNTERWASSERTECHNIK	
2016. okt. 5–7.	Mumbai India	INDIA ESSEN WELDING & CUTTING 2016 (E)	angol nyelvű
2016. okt. 18–20.	Sosnowiec Lengyelország	International Welding Fair ExpoWELDING KÍSÉRŐ RENDEZVÉNY: 58 <sup>th</sup> Scientific–Technical Welding Conference.	szervező: Institute of welding in Gliwice, Poland