

29. Nemzetközi Hegesztési Konferencia



MISKOLC
E G Y E T E M

**Miskolc
2018. május 24-26.**

Szerkesztette: Dr. Török Imre
Asszisztensek: Németh Alexandra
Kőmíves Mariann
Póka György

Lektorok: Dr. Balogh András, Dr. Bitai Enikő, Dr. Dobránszky János, Dr. Dobosy Ádám, Dr. Gáspár Marcell, Dr. Jármái Károly, Lenkeiné Dr. Bíró Gyöngyvér, Dr. Lukács János, Dr. Májlínger Kornél, Dr. Meilinger Ákos, Dr. Palotás Béla, Dr. Pavol Sejc, Dr. Tóth László, Dr. Török Imre

Készült a Miskolci Egyetem KLM Sokszorosító Üzemében.
ISBN: 978-963-358-160-5
Felelős Kiadó: Miskolci Egyetem – Anyagszerkezet-tani és
Anyagtechnológiai Intézet
Készült: 150 példányban

A KONFERENCIA ELNÖKE

Dr. Gáti József, a MAHEG elnöke

A KONFERENCIA TÁRSELNÖKEI

Dr. Szabó Béla, az MHE igazgatója

Prof. Dr. Trampus Péter, a MAROVISZ elnöke

Prof. Dr. Czinege Imre, a MAE elnöke

PROGRAMBIZOTTSÁG

Elnök: Gyura László, a MAHEG főtitkára

Tagjai:

Bakos Levente	Dobránszky János
Farkas Attila	Fehérvári Attila
Gáti József	Gayer Béla
Jármai Károly	Illyi János
Lukács János	Palotás Béla
Tóth László	Török Imre

TECHNIKAI és SZERVEZŐBIZOTTSÁG

Elnök: Török Imre, a MAHEG alelnöke

Tagjai:

Dobosy Ádám
Gáspár Marcell
Kuti János
Kőmíves Mariann

A SZERVEZŐBIZOTTSÁG CÍME

Miskolci Egyetem

Anyagszerkezetek és Anyagtechnológiai Intézet

3515 Miskolc-Egyetemváros

Telefon: (46) 565 164

E-mail: metkomar@uni-miskolc.hu

Honlap: www.uni-miskolc.hu

A Konferencia fő támogatói:



Lorch Magyarország



MESSER Hungarogáz Kft.



Flexman Robotics Kft.

A Konferencia kiemelt támogatói:



Crown International Kft. Cloos képviselő



Linde Gáz Magyarország

A Konferencia támogatója:



Stadler Szolnok Kft.

Köszöntő

Az elődök munkáját folytatva immár 29. alkalommal kerül megrendezésre a Nemzetközi Hegesztési Konferencia, a Magyar Hegesztési Egyesület rendezésében, a Magyar Hegesztéstechnikai és Anyagvizsgálati Egyesülés, a Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete, a Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség és – a konferencia vendéglátójaként – a Miskolci Egyetem együttműködésében.

A két évente megrendezésre kerülő szakmai rendezvénysorozat szervezői a **járműgyártás korszerű anyagait és kötéstechológiai fejlesztéseit** helyezték a 2018. évi konferencia tematikájának középpontjába. A résztvevőknek lehetőségük nyílik a legfrissebb információkat megismerni a szerkezetgyártásban alkalmazott korszerű hegesztési eljárások és eljárásváltozatok, a nagy energiasűrűségű hegesztő eljárások területén, betekintést nyerni a hegesztett kötések és szerkezetek vizsgálatába, a modellezés és szimuláció újabb eredményeibe, a nagyszilárdságú acél- és alumínium ötvözetek hegesztési tapasztalataiba, illetve az egyre intenzívebben fejlődő hegesztési automatizálásba és robottechnikába.

Az idei konferencia különlegessége, hogy a 29. Nemzetközi Hegesztési Konferencia a 2nd International Conference on Vehicle and Automotive Engineering konferenciával szinergikus együttműködésben valósul meg. A két konferencia közös szekciójában elhangzó, a járműgyártáshoz kapcsolódó angol nyelvű előadások a lektorálást követően, a Springer Verlag által gondozott Lecture Notes in Mechanical Engineering elnevezésű Scopus által referált folyóiratban jelennek meg. A Nemzetközi Hegesztési Konferencia önálló szekcióiban elhangzó magyar nyelvű előadások ISBN számmal ellátott, lektorált kiadványban kerülnek publikálásra.

Ezúton is köszönöm mindazon kollégák kitartó munkáját, akik tevékenységükkel hozzájárultak a konferencia előkészítéséhez és megszervezéséhez. Köszönöm az előadások szerzői, a szekciók elnökei felkészülését, a bírálók munkáját, a Programbizottság, a Technikai és Szervezőbizottság tagjainak odaadó gondoskodását. Köszönöm továbbá a konferenciát támogató és a kiállításon résztvevő cégek anyagi és szakmai segítségét.

A nemzetközi Hegesztési Konferencia alkalmat biztosít arra is, hogy a Magyar Hegesztési Egyesület nagyra értékelve és megbecsülve a hegesztő

közösség szolgálatában, fejlődésének elősegítésében, az Egyesület érdekeinek előmozdításában kimagasló, példamutató tevékenységet végző szakembereket, elismerésben részesítse. **Életmű Díjban** részesül Dr. Török Imre és Szász András, **Zorkóczy Díjat** vehet át Dr. Palotás Béla és Dr. Balogh András, **Magyar Hegesztésért kitüntető cím** tulajdonosa Farkas László és Illyi János, **Legaktívabb Egyesületi Tag** elismerés birtokosa Borhy István, míg **Ifjú Hegesztő Szakemberekért** elismerésben részesül Reichardt László, szakdolgozat, Diplomaterv pályázaton résztvevők közül **Rittinger János díjban** részesül: Kelemen Zoltán BSc, Jámbor Péter MSc, Szalacsi Áron Hegesztő Szakmérnök. Gratulálunk a kitüntetetteknek, erőt, egészséget, további sikereket kívánok mindannyiuknak!

Egyben kívánok a 29. Nemzetközi Hegesztési és a 2nd International Conference on Vehicle and Automotive Engineering Konferencia valamennyi résztvevőjének sikeres szakmai tanácskozást, ismereteik, szakmai és baráti kapcsolataik bővítését, és nem utolsó sorban eredményes munkát!

Dr. Gáti József

Tartalomjegyzék

Köszöntő: Gáti József köszöntője	5
Az ipar 4.0 hatása a hegesztés szakterületére	11
Dr. Farkas Attila, Dr. Palotás Béla	
Hegesztés–Kockázatalapú szemlélet	27
Tóth László	
Valós idejű megfigyelő eszköz a MIG/MAG hegesztés rövidzárlatos anyagátviteli módjának nyomon követésére	29
Adonyi János	
AW 6082 Kiválásosan keményíthető alumíniumötvözet hegesztése a modern védőgázos fogyóelektródás ívhegesztés alkalmazásával	31
Wilhelm Gerald	
Megfontolások a korszerű MIG/MAG hegesztési technológia tervezéséhez	33
Kristóf Csaba	
Nagyszilárdságú acélok mechanikai tulajdonságainak szabályozása a hegesztési folyamat optimalizálásával	43
Michael Fiedler, Alois Plozner, Bernd Rutzinger, Wolfgang Scherleitner	
Nagyszilárdságú acélok hegesztése	55
Tomas Brtník, Ivan Mika	
Sarkkörü viszonyokra fejlesztett 500 MPa folyáshatárú acél fizikai szimulációval előállított hőhatásövezeti sávjainak mechanikai tulajdonságai	57
Tervo H., Mourujärvi J., Kaijalainen A., Kömi J. *	
Nagyszilárdságú acélok és hegesztett kötéseik határgörbéli fáradásos repedésterjedésre két szakaszra osztott kapcsolat alapján	59
Lukács János *	
A hozaganyag választás hatása a nagyszilárdságú acélok és hegesztett kötéseik nagyciklusú fáradással szembeni ellenállására	61
Haidar Faisal Helal Mobark, Dobosy Ádám, Lukács János *	
Cr-Ni és Cr-Mn ötvöztetésű ausztenites korrózióálló acélok MIG-hegesztése és ív-hegesztőforrasztása	63
Kalácska Eszter, Varbai Balázs, Májlínger Kornél *	

<i>AA7075 alumíniumötvözet ellenállás ponthegeaszthetőségének vizsgálata</i>	65
Dobosy Ádám, Gáspár Marcell, Török Imre *	
<i>Az oldó izzítás és az öregítés hatása 6082 alumínium ötvözet ellenállás ponthegeaszthetőségére.....</i>	67
Gáspár Marcell, Tervo Henri, Kaijalainen Antti, Dobosy Ádám, Török Imre *	
<i>Ultrahangos hegesztés hatásának vizsgálata a szövetszerkezetre alumínium lemezeknél.....</i>	69
Kovács Tünde *	
<i>Eltérő minőségű DP/S235 acélok ellenállás ponthegeaszthetőségének hatására létrejövő fázisátalakulások és kialakuló mechanikai tulajdonságok.....</i>	71
Jaber Hassanen, Kovács Tünde *	
<i>Cink bevonatú nagyszilárdságú acélok ívhegesztése</i>	73
Pogonyi Tibor, Palotás Béla, Bakos Levente *	
<i>Termoelektromos erő mérése duplex korrózióálló acél hegesztett varratain..</i>	75
Varbai Balázs, Májlinger Kornél *	
<i>Napjaink kihívásai és fejlesztési lehetőségek a nagyszilárdságú acélok hegesztése során</i>	77
Sas Illés, Csuhaj Péter	
<i>Nemesített és termomechanikusan kezelt nagyszilárdságú acélok hegeszthetőségi tapasztalatai</i>	79
Dobosy Ádám	
<i>Hibrid lézer-ívhegesztés a nehézipari acélszerkezet-gyártásban.....</i>	81
Szalacsi Áron	
<i>A nagyszilárdságú acélok elektronsugaras hegesztésének elemzése numerikus és fizikai szimulációval</i>	83
Raghawendra P. S. Sisodia, Gáspár Marcell, Lukács János	
<i>Termomechanikusan kezelt nagyszilárdságú acél hegeszthetőségének fizikai szimulációra alapozott elemzése.....</i>	85
Jámbor Péter	

Kis hőbevitelű robotosított hegesztés alkalmazása bevonatos lemezeken CLOOS QUINEO ® CAMP áramforrással	95
Bakos Levente	
<i>Innovatív lézersugaras megmunkálások a járműiparban.....</i>	97
Halász Gábor, Szabó Balázs	
<i>Nyomáson öntéssel készült autóiipari alkatrészek robotos hegesztése</i>	99
Szalva Péter, Somoskői Gábor, Farkas Attila	
<i>Tíz év tapasztalata alumínium nagyvasúti kocsiszekrények gyártásában</i>	111
Koronczi László	
<i>Teljesítménynövelés lehetőségei alumínium ötvözetek TIG-hegesztése során</i>	113
Lakos Szabina, Gyura László	
<i>Alumínium lemezek ultrahangos hegesztése során létrejövő repedések elemzése</i>	125
Kovács Tünde, Gáti József	
<i>Védőgázok hatása ausztenites acél MIG/MAG hegesztésénél</i>	131
Balogh Dániel, Szabó Richárd	
<i>A hegesztés robotosításának 10 éve a Bognár és Társa Kft-nél.....</i>	145
Ifj. Bognár Miklós	
<i>Ívhegesztés robotizálása speciális megoldásokkal az Autopress Kft-nél</i>	147
Demeter Gábor	
<i>Az IC+ típusú 200 km/h sebességű vasúti kocsicsalád fejlesztésének aktualitásai</i>	149
Erdei Attila	
<i>Kiemelten nagyszilárdságú acél vékonylemezek ellenállás-ponthegesztett kötéseinek optimalizálása kísérlettervezési módszerrel</i>	151
Tóth Tamás, Májlinger Kornél	
<i>Szakaszos energiabevitel hatása nagyszilárdságú autóiipari vékonylemezek ellenállás-ponthegesztésekor</i>	161
Hareancz Ferenc, Kiss Norbert	

*Termomechanikusan hengerelt nagyszilárdságú acélok ellenállás-
ponthegeztésének lehetőségei a vasúti járműszerkezet gyártásban 169*

Borhy István

*Robotizált, védőgázos fogyóelektródás ívhegesztés alkalmazása különböző
szilárdságú szerkezeti acélok esetén 181*

Kelemen Zoltán

*Védőgázok, hegesztési paraméterek hatása lézersugarason hegesztett
varratok minőségére 197*

Fábián Enikő Réka, Takács Sándor

Gyémántszemcsés fúrószegmensek rögzítéstechnológiáinak vizsgálata 199

Kenéz Attila Zsolt, Bagyinszki Gyula

*Additív technológiával készülő egyéni implantátumok lézeres mikro
hegesztése 211*

Kónya János, Kulcsár Klaudia

*Hegesztési varrat hőterjedésének modellezése tompa varrat esetén
..... 213*

Halász Gábor, Kuti János

*a jelzett publikációk a Springer Verlag által gondozott
Lecture Notes in Mechanical Engineering elnevezésű
Scopus által referált folyóiratban jelentek meg
ISBN: 978-3-319-75677-6

AZ IPAR 4.0 HATÁSA A HEGESZTÉS SZAKTERÜLETÉRE

THE IMPACT OF INDUSTRY 4.0 ON THE DISCIPLINE OF WELDING

Farkas Attila

Flexman Robotics Kft.,
Neumann János Egyetem
fa@flexmanrobotics.hu

Palotás Béla

főiskolai tanár
Dunaújvárosi Egyetem
palotasb@uniduna.hu

Összeállításunkban megnézzük, hogy mit is értünk az ipar 4.0 fogalmán, hogyan helyezhető el a műszaki fejlődés történetében. Áttekintjük az Ipar 4.0 főbb általános jellemzőit, kitérünk annak bevezetéséből várható előnyökre, de megemlítjük az azzal járó kihívásokat és kockázatokat is. Bemutatjuk, hogy az ipar 4.0 technikai-technológiai elemei hogyan jelennek meg a hegesztésben, majd megvizsgáljuk, hogy jelenleg Magyarországon a hegesztés területén hogyan érvényesül annak hatása.

In our compilation we have a look at what is meant by the notion 'Industry 4.0' and how we can place it in the history of technical progress. The article reviews the general characteristics of Industry 4.0 and it also mentions the expected benefits of its introduction, as well as the challenges and risks entailed by it. We present how the technical- technological elements of Industry 4.0 appear in welding, in addition, we examine how it impacts the field of welding in today's Hungary.

1. Bevezetés

Az Ipar 4.0 kifejezés azt jelzi, hogy az ipar a fejlődés negyedik lépcsőfokára lépett globális szinten, amit szokás negyedik ipari forradalomnak is nevezni. Annak ellenére, hogy sokan beszélnek ma erről, konferenciákat is rendeznek ebben a témakörben, a tapasztalatok szerint nem mindenki tudja, hogy mit is jelent ez valójában. Sokan és sokat várnak az ipar fejlődésének ettől a korszakától: egyes szakértők 30%-os növekedést prognosztizálnak az Ipar 4.0 technikai és technológiai újításainak köszönhetően [1]. Mondhatjuk, hogy szinte megkerülhetetlen a témával való foglalkozás, és érdemes is áttekintenünk, hogy ennek a mi szakterületünkre, a hegesztésre milyen hatása van. Első körben azonban foglaljuk össze, hogy mit is értünk az Ipar 4.0 alatt.

2. Az Ipar 4.0-ról általában

A gyártóipar az Európai Unióban ma is jelentős hatást gyakorol a gazdaságra, azonban a teljes EU gazdasághoz viszonyított részaránya az utóbbi évtizedekben folyamatosan

csökkent, mely részben annak is köszönhető, hogy ebben az időszakban a gyártás egy része EU-n kívüli országokba, főleg Kínába került. Ennek a helyzetnek a megváltozását várják az EU vezetői az ipari termelés ma megfigyelhető olyan átfogó átalakulásától, melynek fő jellemzője a hagyományos iparnak a digitalizációval és az internettel való fúziója.

2.1 Honnan származik az Ipar 4.0 kifejezés?

A kifejezés Németországból származik: a 2011-es Hannoveri Vásáron használták először egy digitális gyártással foglalkozó projekt megnevezéseként [2]. A projekt résztvevői akkor még talán nem gondolták, hogy ez a koncepció milyen széles körben fog elterjedni néhány év múlva.

2.2 Az Ipar 4.0 fogalmának meghatározása

Az Ipar 4.0-t a technika jelen fejlődési szakaszának megjelölésére használjuk, mely a korábbiakhoz képest érezhetően egy új korszakba érkezett, főleg az informatika fejlődésének köszönhetően. Egységes definíciót jelenleg nem találunk rá. Ahány szakterület, annyi árnyalattal közelítik meg, és próbálják leírni a fogalmat. Minden esetre az is látszik, hogy a fejlődéssel együtt maga az Ipar 4.0 meghatározása is szétfeszíti a saját korábban megfogalmazott kereteit, mely kezdetben kifejezetten csak az úgynevezett digitális gyártásra vonatkozott. Segít megérteni, ha a technika fejlődésének történelmi idővonalára helyezzük el az ezzel jelölt korszakot, melyet az 1. táblázatban tekintünk át [3].

Ipari forradalom	Időszak	Technológia és képességek
Első	1784-től – 19. sz. közepéig	Gépesítés: víz- és gőzhajtású gépek
Második	19. sz. végétől – 1970-es évekig	Magasabb szintű munkaerő szervezésen (szerelő sorok) alapuló tömeggyártás villamos hajtású berendezésekkel
Harmadik	1970-es évektől – napjainkig	Az elektronika és az információ technológia komplex automatizálási feladatokat magasabb szinten képes megoldani
Negyedik	napjainkban	A szenzor (érzékelési) technológia, a kapcsolt rendszerek, az adatelemzés lehetővé teszi az érték láncolatok személyre szabását és integrálást, mely nagyobb hatásfokot biztosít

1. táblázat Az ipari forradalmak

Természetesen nincs éles átmenet a korábbi korszakokból a negyedikbe, mert például a mesterséges intelligencia fejlődése (mely a negyedik korszaknak szerves része) már a harmadik korszak második felétől nagymértékben hozzájárult, sőt megteremtette az alapokat ahhoz, hogy a negyedik ipari forradalomnak nevezett korszakba beléphessünk.

Teljes konszenzuson alapuló egységes meghatározásról tehát jelenleg nem igazán beszélhetünk.

Definíciót azért is nehéz alkotni, mert az Ipar 4.0 sokkal komplexebbé vált, kihatása túlmutat az okos gyártás kialakításán, bár természetesen azt is magában foglalja:

- a gyártóipar átalakulása felülhaladja magának a gyártásnak a területét, nem korlátozódik a korábban célként meghatározott okosgyár kialakítására,
- az ipar 4.0 több, mint automatizálás és adatcsere a gyártási technológiákban, mert fölé emelkedik magának a gyártástechnológiának, és a végpontok közötti láncolatra irányul, magába foglalja például a raktározást, a logisztikát, az újra hasznosítást az energia rendszereket stb.
- Az Ipar 4.0-ban központi szerepet játszó kiber-fizikai rendszerek úgymint az intelligens hálózatok, intelligens logisztika vagy akár az intelligens épületek, elősegítik az okos ipar okos gyártásában működő okos gyárak létrejöttét.

Az i-Scoop hét definíciót gyűjtött össze, melyekből a következő meghatározó jellemző megállapításokat emeljük ki:

1. A legtöbb az ipar fejlődésének egy teljesen új lépéseként értékeli ezt a korszakot, mely az 1. táblázat szerinti negyedik ipari forradalomként értékelnek,
2. Jelentős termelékenység növekedés várható az Ipar 4.0-re jellemző technikai-technológiai fejlesztések konvergenciájából, összekapcsolódásából, melyekben jelentős szerepet játszik az internet és a digitalizáció, a mesterséges intelligencia és a fejlett adatkezelés, adatelemzés.

2.3 Az Ipar 4.0 technikai-technológiai alappillérei

Az Ipar 4.0-tól várható növekedés és fejlődés a gyártóiparban 9 fő pilléren alapszik [4], [5]:

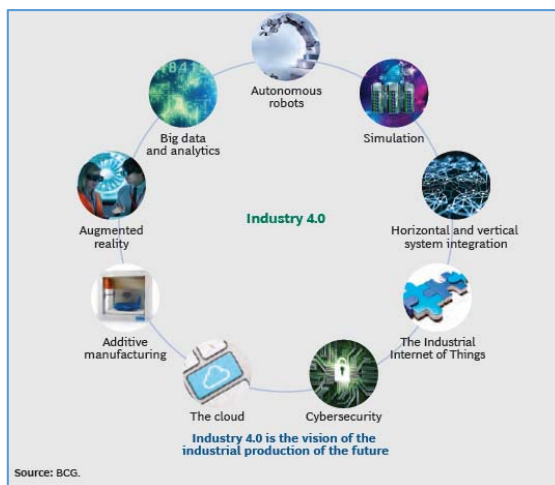
1. **Fejlett robottechnika** – autonóm, együttműködő robotok, fejlett szenzortechnika intelligens működés, szabványosított interfészek,
2. **Additív gyártás** – 3D nyomtatás, különösen prototípusok és tartalék alkatrészek gyártásához, decentralizált lehetőségek: kevesebb szállítás, és árukészlet,
3. **Kiterjesztett valóság** – karbantartáshoz, logisztikához, különféle szabványos működési eljárásokhoz, kijelző, tájékoztató információkkal pl. speciális szemüvegen keresztül,
4. **Szimuláció** – értékhalózatok szimulációja, intelligens rendszerektől származó valós idejű adatok optimalizálása,
5. **Vízszintes és függőleges integráció** – adatátviteli szabványokon alapuló teljes keresztmetszetű vállalati adatintegráció, előfeltételek a teljesen automatizált értéklánc kialakításához (a szállítótól a vevőig, a menedzsmenttől a műhelyig),

6. **Ipari internet** – gépek és termékek hálózata, többirányú kommunikáció a hálózat tagjai között,
7. **Felhő alapú rendszerek** – Nagymennyiségű adatok kezelése nyílt rendszerekben, valós idejű kommunikáció gyártó rendszerek között,
8. **Kiberbiztonság** – működés hálózatokban és nyílt rendszerekben, intelligens gépek, termékek és rendszerek hálózatba szervezése,
9. **Big Data és elemzés** – a rendelkezésre álló adatok teljes kiértékelése (pl. ERP¹-ből, SCM²-ből, MES³-ből, CRM⁴-ből és gépek adataiból), valós idejű döntéshozás-támogatás és optimalizálás⁵.

A 6. pontban felsorolt ipari internethez kiegészítésként megjegyezzük, hogy ez foglalja magába a kiber-fizikai rendszereket, mint az Ipar 4.0 építőelemeiből az úgynevezett IoT (Internet of Things = a dolgok internetje) eszközökből felépülő rendszereket.⁶

Az IoT eszközök konkrét IP címmel internetre kapcsolt eszközök, melyek egyik funkciója az, hogy önállóan képes adatokat, információkat feltölteni az internetre⁷, másik pedig az is lehet, hogy távoli, interneten keresztül történő beavatkozást tesz lehetővé [8].

A fejezet elején felsorolt 9 pillér egyes elemeit külön-külön már sok helyen alkalmazzák, (pl. robottechnika, additív gyártás stb.), azonban az Ipar 4.0-ra jellemző előnyök akkor fognak kibontakozni, mikor ezek konvergenciája, összekapcsolt működése megvalósul (1. ábra) [9].



1. ábra. Az Ipar 4.0 elemei

¹ ERP (Enterprise Resource Planning) – vállalati erőforrás tervező vállalatirányítási rendszer

² SCM (Supply Chain Management) – ellátási lánc menedzsment

³ MES (Manufacture Executive System) – termelésirányítási rendszer

⁴ CRM (Customer Relationship Management) – ügyfélkapcsolat-menedzsment

⁵ Erre pl. szervíz és karbantartás céljából megvalósított megoldást mutat be [6].

⁶ Megjegyezzük, hogy az IoT ipari változatát is megkülönbözteti már az irodalom: rövidítése: IIoT (Industrial Internet of Things) Bővebben [7]-ben.

⁷ Az interneten manapság rendelkezésre álló óriási mennyiségű információ jelentős részét IoT eszközök töltötték/töltik fel.

2.4 A humán munkaerő szerepének változása az Ipar 4.0-ban

Az Ipar 4.0 bevezetése a szakemberek feladatának és a velük szemben támasztott követelmények változását is jelenti. A kiber-fizikai rendszerekre épült munkahelyeken a korábbiakhoz képest sokkal komplexebb, bonyolultabb rendszerekben kell eligazodni, döntést hozni és beavatkozni. A 80'-as évek CIM gyártási koncepciójával szemben az Ipar 4.0 nem az embernek a gyártásból való száműzését tűzi ki célul, hanem az ember beintegrálását a kiber-fizikai rendszerek struktúrájába, mely kihasználja az ember tapasztalatait és tehetségét. Ennek megvalósításához fejlett, és a kiber-fizikai rendszerek működéséhez illeszkedő HMI⁸ eszközöket kell létrehozni. Ezek tipikusan olyan ipari kivitelben készülő érintőképernyős mobil eszközök, melyek rendelkezhetnek beltéri pozicionáló rendszerekkel, virtuális és kiterjesztett valóság eszközeit használják [10].

2.5 Az Ipar 4.0-tól várható előnyök

Az Ipar 4.0 által kínált lehetőségek alkalmazásától a következő fő előnyök várhatók: [5]

1. **A termelékenység növekedése** a gyártás automatizáltságának magasabb szintje miatt, mely csökkenti a gyártás idejét a jobb eszközkihasználás és hatékonyabb készletgazdálkodás következtében.
2. **Rugalmasság növekedése:** főleg a robottechnikának köszönhetően sokféle termék, illetve termékváltozat gyártásának lehetőségével.
3. **Minőség javulása:** fejlett szenzortechnika és a mesterséges intelligencia segítségével a hibákra való valós idejű és gyors beavatkozással.
4. **Sebesség növekedése:** a tervektől a megvalósulásig eltelt idő csökken pl. a fejlett szimulációs eszközöknek és a vevői igények hatékony kielégítését biztosító megoldásoknak köszönhetően [11].

További járulékos előnyök:

- Munkabiztonság növekedése a magasabb automatizáltságnak köszönhetően,
- A munkakörülmények javulása az ergonómia szempontjából jobban kialakított munkahelyekkel,
- Hatékonyabb oktatás és együttműködés a gyártási hálózatban rendelkezésre álló konzisztens adatok következtében,
- Magasabb szintű környezetvédelem a források jobb kihasználása miatt: pl. a gépek nagyobb hatásfokú, energiatakarékosabb működtetésével.

2.6 Kihívások és kockázatok az Ipar 4.0 alkalmazásában

Az Ipar 4.0 bevezetése a várható előnyök mellett kihívásokat is jelent a szakemberek számára, illetve bizonyos kockázatokat is figyelembe kell venni [5].

⁸ HMI: Human-Machine-Interface (ember-gép-interfész) – kommunikációs felület a kezelő és a berendezés között

A **kihívások** tekintetében többek között a megfelelő stratégia meghatározása, a szervezet és a folyamatok újragondolása, a menedzsment változtatása, a cég kultúrájának hatása, az osztályok közötti jó együttműködés kialakítása, a tehetségek gondozásának megoldása, amivel elsődlegesen számolni kell.

Az Ipar 4.0 bevezetése polarizálni fogja a cégeket: akik jól alkalmazzák (illetve egyáltalán alkalmazzák), azok az előrejelzések szerint jelentős előnyre tesznek azokkal szemben, akik nem akarnak vagy nem képesek lépni ebbe az irányba.

A **kockázatok** tekintetében a szakemberek elsősorban arra irányítják rá a figyelmet, hogy az Ipar 4.0-ban alkalmazott IoT eszközök, mint a kibertér és a fizikai világ között kapcsolódási pontok, potenciális veszélyforrást jelentenek a kiber-támadások szempontjából, [12] és a fizikai világba való közvetlen beavatkozás útján képesek felerősíteni azok hatását [13]. Ezért az Ipar 4.0-ban kulcsfontosságú az információbiztonság. Az információbiztonság két szempontból értelmezhető, és mindkét értelemben megoldásokra van szükség: a rendszer megbízható működésének biztosítására, és a külső, illegális behatolások, beavatkozások elleni védelem megvalósítása érdekében [14].

3. Az Ipar 4.0 alkalmazása a hegesztésben

A hegesztés területén ma még komplex Ipar 4.0 megoldások sikeres bevezetéséről korai beszélni, viszont a 2.3 fejezetben felsorolt technikai és technológiai megoldások közül a hegesztésben több területen van már előre lépés.

A hegesztés területén [15] szerint (bár kicsit más sorrendben) az Ipar 4.0 követelményeinek megfelelően a következő feladatokat kell megoldani, illetve elemeket kell biztosítani ahhoz, hogy a hegesztés oldaláról az meglegyenek alapjai az intelligens gyártásnak:

- hegesztési ismeretek digitalizálása;
- mikroprocesszoros hegesztőgépekre van szükség;
- gyors adatátvitelt kell biztosítani;
- a hegesztési paraméterek kiválasztása és adatok tárolása;
- a szakemberek és a hegesztő berendezések kommunikációja;
- a hegesztőpisztoly helyzetének meghatározása;
- a virtuális hegesztés;
- additív gyártás fémekből;
- gondoskodni kell az adatbiztonságról.

Az ebben a felsorolásban szereplő „a hegesztőpisztoly helyzetének meghatározása” és a „virtuális hegesztés” pontokat összevonva a hegesztés robotosítása rész alatt fogjuk kifejteni, mert ez sokkal jobban összhangban van az Ipar 4.0 területével foglalkozó legtöbb irodalom által hivatkozott fő összetevőivel.

3.1 Hegesztési ismeretek digitalizálása

Egy hegesztési cellában megfelelő hegesztési paramétereket, megfelelő hegesztőanyagokat és egyéb kiegészítő eszközöket az adott feladathoz illeszkedően kell kiválasztani. Ehhez digitalizált adatokra van szükség, az adatokat tárolni kell, például a „felhő memóriában”. A hegesztőgépnek egy gyors hálózatra kell csatlakoznia, a gép mikroprocesszorának a szükséges adatokat meg kell kapnia ahhoz, hogy a megfelelő szinergikus paramétereket válassza ki. Ívhegesztés esetében ezek az információk, az alapanyag minősége, mérete, hegesztőanyag, védőgáz, a kötés geometriája és a hegesztési sebesség. Ezek a szükséges adatok a helyes eljárás- és paraméter-választáshoz. Jelenleg a hegesztési eljárások, paraméterek és egyéb adatok kiválasztása hegesztőmérnökök feladata és felelőssége. A jövőben ezek az adatok a felhő memóriából hívhatók elő, ahol a hegesztési szakértői tudást digitalizálva tárolják és neurális hálózatok segítségével határozhatók meg a szükséges információk. Ez a legnagyobb kihívása az Ipar 4.0-nak mert a tudás digitalizálása a legnehezebb feladat. Nehéz a tudás korrekt leírása és egzakt ábrázolása. Pontosan ez a legnagyobb hátránya az ilyen rendszereknek a hagyományos adatokkal szemben. A nehézségeket egy számítógépes anyagkiválasztó rendszer tervezésénél tapasztalták. Hegesztésnél ez még bonyolultabb, hiszen az eljárás összefügg a hőbevitellel, a metallurgiai folyamatokkal és a kötés minőségével. Az említettek miatt az várható, hogy a tudás teljes digitalizálása lesz az utolsó, amit el tudnak készíteni. Természetesen a hegesztési szakértői tudás digitalizálására több példát is láthatunk a gyakorlatban, például a [16] mely a hidegrepedés-mentes munkarend meghatározását teszi lehetővé (2. ábra).

The screenshot displays the EQUIST WELD software interface, which is used for digitalizing welding knowledge. The interface is divided into several sections:

- Top Bar:** Includes file management icons (Fájl, Nyitni, Menteni, Alap, Segítség) and a search bar.
- Left Panel:** Contains a list of parameters and their values:
 - Lemezvastagság 1: 20 mm
 - Lemezvastagság 2: 20 mm
 - Kötéstípus: Tempa kötés
 - Varrattípus: "V" varrat
 - Varratkérszám: 271 mm²
 - 3. Eljárás, paraméterek:**
 - Hegesztési helyzet: Vályú/Vízszintes (PA)
 - Töltőcső száma: 6
 - Gyökcső:**
 - Sorkérszám: 20 mm²
 - Eljárás: BKT Bevont elektródás kézi ív
 - Hidrogéntartalom a varratfémben: 5 ml/100g
 - Hőbevitel: 0.82 kJ/mm
 - Hűlési idő (20°C-on): 6.0 s
 - Töltőcső:**
 - Sorkérszám: 41 mm²
 - Eljárás: BKT Bevont elektródás kézi ív
 - Hidrogéntartalom a varratfémben: 5 ml/100g
 - Hőbevitel: 1.79 kJ/mm
 - Hűlési idő (20°C-on): 9.5 s
 - Hidrepedés megelőzése:**
 - Előmelegítési hőmérséklet, min (°C):

Módszer	Gyökcső	Töltőcső
Módszer "A"	-	-
Módszer "B"	155	155
Módszer "D"	-	-
 - Előmelegítés nélkül (20°C-on):

Módszer	Gyökcső	Töltőcső
Módszer "A"	-	-
Módszer "B"	155	155
Módszer "D"	-	-
- Right Panel:**
 - Anyagminőség jele: S960QL, 1.8933
 - Werkstoffnummer: 1.8933
 - Ország: EUR, BUL, GBR, CSE, DEU, HUN, FRA, POL, FIN, ROM, SVK, SLK, ITA
 - Szabvány: EN10025/6-2004, BSEN10025/6-2005, BSEN10025/6-2004, CSNEN10025/6-2005, CSN420904, DINEN10025/6-2004
 - Vegyi összetétel (%):**

max	EQUIST	min	EQUIST
Si	0.600	0.800	0.8
P	0.015	0.070	0.02
Cr	1.125	1.500	1.5
Ni	1.500	2.500	2.5
Al	0.075	0.200	0.1
W	0.075	0.200	0.1
Co	0.075	0.100	0.1
B	0	0.005	0
C	0.150	0.320	0.2
 - Szennyezőanyagok (%):**
 - CE: 0.84 Szennyezőanyag az "A", "D" módszerhez / 0.3 - 0.7
 - CET: 0.44 Szennyezőanyag az "B" módszerhez / 0.2 - 0.5
 - Kritikus hűlési idő (800°C = 500°C, s) / Módszer "D"**
 - min: számított: A módszer nem alkalmazható
 - max: -

2. ábra. Az EQUIST WELD program technológiai ajánlata

3.2 Mikroprocesszoros hegesztőgépek

Az Ipar 4.0 – hoz alkalmazkodó hegesztőgépnek mikroprocesszorral kell rendelkezniük. A feladattól függően erősebb vagy kevésbé erős számítógép van a hegesztőgépekben. A huzalelektrodás védőgázos hegesztőgépekben a következő feladatokat kell elvégeznie a számítógépnek:

- nagyon gyorsan kell szinergikus adatokat feldolgoznia,
- hegesztési paraméterirányító algoritmusokat kell működtetnie,
- hegesztési paramétereket kell mérnie és tárolnia,
- energiakorlátozás kell végezni a leggyengébb komponens szerint,
- biztosítani kell az internet kapcsolatot kábelben (pl. ethernet), vagy kábel nélküli kapcsolaton keresztül (pl. bluetooth), vagy NFC hálózaton keresztül,⁹
- eszközök azonosítása, az eszközök ellenőrzése, mint pl. hegesztő pisztoly, huzal előtölő egység, hűtő egység és a képernyő.

Az említett feladatok megoldása több elektronikus eszköz integrálását és működtetését követeli meg, illetve a hegesztőgép elektromágneses kompatibilitását is biztosítani kell. Az elektronikai eszközöknek éles tárgyakkal teli, piszkos, füstös ipari környezetben kell működniük. Ez új koncepciót követel a tervezésben, biztosítani kell a folyamatos működést, és a széleskörű hardver teszteknek kell megfelelni működés közben. Ez a legnagyobb kihívás az áramforrások tervezésében.

3.3 Adatátvitel

Az Ipar 4.0-ban a hegesztés szempontjából az egyik legnagyobb kihívás az adatátvitel. Milyen gyorsaság kell hegesztéskor? Huzalelektrodás védőgázos ívhegesztéskor álljon itt egy egyszerű számítás: a hegesztési folyamatnál a csepp-átmeneti frekvencia 150 Hz is lehet, ez azt jelenti, hogy a cseppek 7 ms-on [15] ként mennek át. A cseppátmenet optimalizálására 50-100-szor kell kapcsolatban lennie a mikroprocesszornak és az ívnek egy rövidzárlati ciklus alatt. Egy kapcsolati idő 30 μ s az elektromos ívtől a mikroprocesszorig, ez az idő magába foglalja a fontosabb fizikai adatok mérését és digitalizálását, továbbá átvitelét a mikroprocesszorba. A hatalmas mennyiségű adat feldolgozása sem egyszerű feladat. Valós idejű átvitelre van szükség, ami szintén kihívás: a legtöbbször az ívhez közel elhelyezett számítógéphez kell eljuttatni az adatokat, amely feldolgozza azokat. Két eltérő kommunikációs csatornára van szükség, az egyik nagy sebességű a gépen belül és egy a géptől és a „felhő” között.

⁹ NFC = Near Field Communication: adatátviteli szabvány egymáshoz közeli eszközök közötti kommunikációra, pl. okostelefon – okosóra

3.4 A hegesztési paraméterek kiválasztása és az adatok tárolása

Az Ipar 4.0 célja a gyártó cellák autonóm működése. Ez azt jelenti, hogy a számítógépnek kell kiválasztani, irányítani és módosítani a hegesztési paramétereket. A paraméterek irányítása valós idejű válaszokat követel és a számítógép ív közeli elhelyezését igényli. A megfelelő szinergikus paraméterek kiválasztása az alapanyagtól, a lemezvastagságtól és a réstől függően, többé-kevésbé független a hegesztési feladattól, és elvégezhető a „felhőben” a hegesztési tudásbázis felhasználásával, bár mint azt már említettük egy ilyen rendszer elkészítése sok időt igényel.

Másrészről az adatok tárolását egyre több és több érdeklődés kíséri a vevők részéről – nem csak a dokumentáció vonatkozásában, hanem a hegesztési káresetek elemzésére is használható adatok vonatkozásában. Ezeknek az adatoknak az őrzése és átvitele széles sávot igényel. A „felhő” és a gép közötti kapcsolat erre nem alkalmas, szükség van egy nagy sebességű számítógépre, amely a géphez kapcsolódik.

3.5 A szakemberek és a hegesztő berendezések kommunikációja

A hegesztőgép és az ember kapcsolatának erősítése a következő feladat a fejlesztésben egy autonóm cella esetében. A feladat hasonló a telekommunikációhoz, a tömegtermékekhez hasonlóan, pl. mobiltelefon, hanggal történő irányítás, a különböző nyelvek használata, az érintő képernyő 3D-ben stb. a hegesztőgépeknél is megoldandó feladat.

A Google szemüveghez, a Microsoft „Holo-Lens”-hez hasonlóan a hegesztőgépek és gépkezelők kapcsolata fókuszba került. Pl. a hegesztőpajzs és a hegesztő kapcsolata. Már létezik hanggal irányított hegesztőgép (a pajzsban adják az utasítást). A pajzs vezetékek nélkül csatlakozik a hegesztőgéphez. Újabban a hegesztőgépből az ív be és kikapcsolásakor jel érkezik a pajzsba és ez javítja az üveg időben történő sötétedését.

3.6 A hegesztés robotosítása

Az Ipar 4.0 irányába ható fejlesztések egyik fő területe a **hegesztés robotosítása**, így a robotikában markánsan megjelenő ezirányú fejlesztések ezen az úton kerülnek be a hegesztés szakterületére. Erre példa a szenzortechnikai fejlesztések, a mesterséges intelligencia alkalmazása [17].

A szabványos robotinterfészek kifejlesztése, interfész nyílt forráskódú programozáshoz, az internetes távdiagnosztika, karbantartások, alkatrészcserek intelligens előrejelzése ugyancsak fontos része a robottechnikában a hegesztést érintő területnek [18].

Amennyiben egy off-line programozással készült robotprogram futtatását virtuális hegesztésnek tekintünk, úgy állíthatjuk, hogy ez a terület is ide tartozik. Az off-line programozás során a robotprogram számítógépen készül. Ezek a szoftverek képesek a programot a számítógépen valós időben, de virtuális térben futtatni. A számítógépen készült programot ezt követően fel kell tölteni a robotvezérlésbe, és a szükséges korrekciók elvégzése után a program termelésben használható lesz. Itt az Ipar 4.0 irányú fejlesztéseknek két kapcsolódási pontja van:

- A felhő alapú kommunikáció lehetővé teszi az off-line programok globális disztribúcióját, ami több telephelyen működő (akár globális) vállalatok számára teszi lényegesen hatékonyabbá a programozást az által, hogy egy központi programozó bázisról lehet hatékonyan eljuttatni különböző telephelyekre robotprogramokat, és a párhuzamosan futó programozási műveleteket fel lehet számolni.
- A szenzortechnika és az ezen alapuló mesterséges intelligencia megoldásai segítik az off-line modellek adaptálását a valós viszonyokhoz, mely a programozási idő csökkentését eredményezik.

Mindezek a fejlesztések a hegesztés robotosításában azt is eredményezik, hogy a hegesztés robotosítása egyre kisebb sorozatoknál is kifizetődő lesz, sőt akár az egyedi gyártásban is meg fognak jelenni a hegesztőrobotok.

A mesterséges intelligenciát egyébként a robottechnikán kívül elsősorban hegesztési szakértői rendszerekben, és pl. az ugyancsak ide tartozó neurális hálózatokat hegesztési folyamatvezérléseknél alkalmazzák [19].

3.7 Additív gyártás fémekből

Az Ipar 4.0 kapcsán a 2.2 fejezetben említett additív gyártás során 3D-s modell alapján elkészíthető egy alkatrész lézer-, elektronsugaras- vagy ívhegesztéssel. A sugár technológiáknál rétegenként átolvasztott porból készül az alkatrész, míg ívhegesztésnél huzalelektroda felrakással. Ez utóbbi eljárás a hegesztésben a robotos megoldások kapcsán fordul elő elsősorban. Ezzel kapcsolatban hazai fejlesztésről is számot adhatunk [20], [21].

3.8 Kiber-biztonság a hegesztésben

Az Ipar 4.0 rendszerekben a hegesztőberendezések „IoT” eszközökként működhetnek, melyek interneten keresztül képesek sok információt szolgáltatni mind a felhasználók, mind a gyártók (különösen a szerviz és fejlesztő részleg) számára. Ez a működés nyitott hálózatokat, kommunikációs szabványokat, szabványos interfészeket és szabványos adatátvitelt követel. A kényelmes használat viszonyt hegesztő berendezésekhez olyan számítógépeket igényel, amelyek szokásos operációs rendszerekkel működnek. Ez azonban a gépek sebezhetőségét is jelenti az internetes támadásokkal („CYBER - ATTACK”-okkal) szemben és mivel az áramforrások is a helyi hálózatba vannak kapcsolva, azok is sebezhetővé válnak a hálózati támadásokkal szemben. Ezért mind az áramforrás gyártók, mind a felhasználók különleges intézkedéseket kell, hogy tegyenek az internetről érkező támadások ellen. Ez speciális szoftvereket és akár hardver kulcsokat is igényel.

4. Mi érzékelhető az Ipar 4.0 fejlesztéseiből, mit használunk ki ennek lehetőségeiből a hegesztéstechnika területén Magyarországon?

Annak érdekében, hogy erről valamennyire reális képet kapjunk, hegesztéstechnikai kereskedelmi cégek közül, főként hegesztő berendezések gyártóinak hazai képviselőitől gyűjtöttünk információkat az alábbi kérdéskörökben:¹⁰

- A cég termékeinek fejlesztésében milyen szerepet játszik az Ipar 4.0?
- Megítélésük szerint van-e komoly létjogosultsága ennek manapság Magyarországon, vagy ez még a "jövő zenéje" esetleg "divatirányzat", "trendkényszer"?
- Milyen előnyökkel járhatnak ezek a lehetőségek?
- Van-e már ilyen működő megoldás?
- Mik a célterületei az alkalmazásban az ilyen technikai megoldásoknak?
- Kézi berendezésekre is jellemzően megjelennek ilyen megoldások, vagy inkább az automatizálás területére jellemzők az ezirányú fejlesztések?
- Tapasztalható-e Magyarországon komolyabb igény felhasználói oldalról hegesztő, vágó berendezések illetve hegesztő robotok az Ipar 4.0 képességére?
- Mi hajtja az ez irányú fejlesztéseket? Valós piaci igény vagy egyfajta versenykényszer, melyet elsősorban fejlesztők generálnak?
- Van-e visszahúzó ereje az adatbiztonsággal, kiber-biztonsággal kapcsolatos aggodalmaknak? Akár a fejlesztők/gyártók, akár a felhasználók oldaláról?

A fenti kérdésekre kapott válaszokat a következőkben összegezzük:

A cég termékeinek fejlesztésében milyen szerepet játszik az Ipar 4.0?

Lényegében minden megkérdezett cégnél a megfigyelhetők az Ipar 4.0-ra jellemző fejlesztések, bár eltérő mértékben, területeken és komplexitással. Elsősorban a kommunikációs képességek fejlesztésével, távdiagnosztikai és folyamat arciválási, távelérési lehetőségek megjelenésével kezdődött ez a fejlesztési folyamat. Találkozhatunk már M2M kommunikációs képességekkel, BigData alapú statisztikai módszerek alkalmazásával, megfigyelhetők több esetben felhő alapú kommunikációs megoldásokra való törekvések.

Megítélésük szerint van-e komoly létjogosultsága ennek manapság Magyarországon, vagy ez még a "jövő zenéje" esetleg "divatirányzat", "trendkényszer"?

Felhasználói oldalról elég nagy különbségek vannak Magyarországon az ezzel kapcsolatos igények tekintetében. Van, ahol a napi gondok (melyet sok esetben a krónikus munkaerőhiány okozta problémák leküzdése) egyelőre elterelik a figyelmet az ez irányú

¹⁰ 9 cégtől beérkezett válaszok, illetve saját tapasztalatok alapján készült az összesítés.

fejlesztésekről. Sok helyen még az „Ipar 3.0” vívmányainak bevezetése lehet a következő lépcső, ugyanakkor a frissen elérhető fejlesztéseket is magukba integráló új berendezésekbe automatikusan beépültek már az Ipar 4.0 bizonyos elemei, és elsősorban az gépesítés/automatizálás területén. Ezzel mintegy maguktól is bekerülnek a cégek életébe az bizonyos Ipar 4.0-hez köthető megoldások.

Mivel Magyarországon az autóipar a hegesztésnek is jelentős felhasználási területe, ezzel együtt „érkeznek” be az Nyugat-Európából az Ipar 4.0-ra jellemző megoldások, illetve az ezzel kapcsolatos markáns igények. Ugyanakkor azt is meg kell jegyeznünk, hogy bizonyos olyan fejlesztések, mint a helyi hálózatokon működő folyamatfelügyelet és adatgyűjtés/archiválás már azt megelőzően jelen voltak, mint elérhető megoldások, hogy Ipar 4.0-ról beszéltünk volna. Ezek már jó alapul szolgáltak a további lépésekhez olyan megoldások bevezetéséhez, melyeket ma az Ipar 4.0-hoz kötünk.

Milyen előnyökkel járhatnak ezek a lehetőségek?

Elsősorban az adatgyűjtések és azok kiértékeléséből származó előnyöket lehet első körben kihasználni, és a vállalatirányítási rendszerekbe való integráció lehetőségét.

Van-e már ilyen működő megoldás?

A kapott válaszok alapján látszik, hogy a cégektől erősen függően, de többségében találhatók már ilyen, Magyarországon is működő megoldások. Van, ahol az első ilyen rendszerek megvalósítása van folyamatban, de olyan cég is van, ahol már napi rendszerességgel használják az ilyen megoldásokat.

Mik a célterületei az alkalmazásban az ilyen technikai megoldásoknak?

Az autóipar, mint húzóágazat itt is megmutatkozik, de a munkaerőpiac szűkülése sok ilyen igényt generálhat. Az adatgyűjtés, adatfeldolgozás és a távdiagnosztika jelenleg az alkalmazások fő területei a visszajelzések többsége alapján.

Kézi berendezésekre is jellemzően megjelennek ilyen megoldások, vagy inkább az automatizálás területére jellemzők az ezirányú fejlesztések?

Több esetben először az automatizálás területén jelentek meg ilyen megoldások, de a nagy többségnél már kézi berendezéseknél is elérhetők ilyen lehetőségek.

Tapasztalható-e Magyarországon komolyabb igény felhasználói oldalról hegesztő, vágó berendezések, illetve hegesztő robotok az Ipar 4.0 képességére?

Ennek a megítélése tekintetében viszonylag megoszlottak a vélemények. A „nincs komoly igény”-től az „alapszinten megjelentek már ilyen érdeklődések”-en keresztül, a markánsan megjelenő igényekig minden megjelent a válaszokban. Minden esetre tapasztalatok szerint

jelenleg a vágó berendezéseknél találkozunk markánsabb igényekkel és működő megoldásokkal ezen a területen.

Mi hajtja az ez irányú fejlesztéseket? Valós piaci igény vagy egyfajta versenykényszer, melyet elsősorban fejlesztők generálnak?

A válaszolók látása szerint bizonyos mértékig mindkettő, de hosszú távon nyilvánvalóan csak az állhat meg, melynek a haszna a gyakorlatban is érezhető a felhasználói oldalon realizált előnyök, végső soron a nyereségesebb gyártás megvalósításával.

Van-e visszahúzó ereje az adatbiztonsággal, kiberbiztonsággal kapcsolatos aggodalmaknak? Akár a fejlesztők/gyártók, akár a felhasználók oldaláról?

A válaszadók többsége szerint nincs jelentős visszahúzó ereje ennek, esetleg átmenetileg jelentkeznek ezzel kapcsolatos aggodalmak.

Összefoglalás

Az Ipar 4.0 az ipar fejlődésének negyedik szakaszát jelenti, melyben főként a digitalizáció és az internetes megoldások fejlődése játszik domináns szerepet. Áttekintve az Ipar 4.0 főbb területeit megállapítottuk, hogy azok közül a hegesztés területén főleg a robottechnika, a mesterséges intelligencia, az additív gyártás és a felhő alapú megoldásokkal találkozunk napjainkban. Ezek ugyan mindenképpen előremutató megoldások, azonban az Ipar 4.0-tól várható előnyöket a szakemberek előrejelzései alapján akkor lehet majd igazán kihasználni, mikor ezek a részmegoldások szinte valamennyi területen összekapcsolódnak, és hatékonyan működnek majd együtt. Megvizsgálva a magyarországi helyzetet ezzel kapcsolatban látható, hogy hazánkban is elérhetők már az Ipar 4.0 fejlesztéseire jellemző megoldások. Ezeknek most még nagyon a bevezető szakaszában vagyunk, ami azt jelenti, hogy kínálat oldalról jelen vannak az Ipar 4.0-ra jellemző fejlesztések és bizonyos használható megoldások, de a felhasználói oldalról még nagyon változó az ezekkel kapcsolatos érdeklődés.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a következő cégeknek, hogy a cikk elkészítését hasznos információk küldésével segítették: Crown International Kft. (CLOOS képviselet), ESAB Kft., FROWELD Kft. (Fronius képviselet), Invent Welding Kft. (KEMPPi képviselet), ITM International Kft. (EWM képviselet), KLS System Kft. (KEMPER képviselet), Linde Gáz Magyarország Zrt., Rechen Kft. (Lorch képviselet), Rehm Hegesztéstechnika Kft.

Irodalomjegyzék

- [1] Otte, C.: What is Industry 4.0? BDI Internet: <https://english.bdi.eu/article/news/what-is-industry-4-0/> 2018.03.15.
- [2] I-Scoop: Industry 4.0: the fourth industrial revolution – guide to Industrie 4.0 <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/> 2018.03.16.
- [3] Briefing September 2015 - European Parliament: Industry 4.0 - Digitalisation for productivity and growth Internet: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf) 2018.03.16.
- [4] Rüssmann, M. és szerzőtársai: Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries 2015. április 9. Internet: http://www.inovasyon.org/pdf/bcg.perspectives_Industry.4.0_2015.pdf 2018.03.25
- [5] BCG: Sprinting to Value in industry 4.0. Internet: https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=hu&prev=search&rurl=translate.google.hu&sl=en&sp=nmt4&u=https://www.slideshare.net/TheBostonConsultingGroup/sprinting-to-value-in-industry-40&xid=17259,15700022,15700105,15700124,15700149,15700168,15700173,15700186,15700201&usq=ALkJrhjmzcbqbNJOJ42v0hYnkLkL_cSZuA 2018.03.21.
- [6] Lee, J., Kao, H-A., Yang, S.: Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. ScienceDirect, Procedia CIRP 16 (2014) pp. 3-8.
- [7] i-scoop: The Industrial Internet of Things (IIoT): the business guide to Industrial IoT Internet: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/industrial-internet-things-iiot-saving-costs-innovation/> 2018.03.21.
- [8] Farkas B.: IoT alapú motorvezérlés. Szakdolgozat, 2017. BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Villamos Energetika Tanszék pp. 9-14.
- [9] Industry 4.0 The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries, Boston Consulting Group Inc. 2015. [media.media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original \(pdf\)](media.media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf) 2018. 03. 28.
- [10] Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyl, M., Zühlke, D.: Human-Machine-Interaction in the Industry 4.0 Era. Innovative Factory Systems, German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI), Kaiserslautern, Germany 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN) Porto Alegre, Brazil pp. 289 – 294.
- [11] Zawadzki, P., Zywicki, K.: Smart Product Design and Production Control for Effective Mass Customization in the Industry 4.0 Concept. Management and production Engineering Review. Volume 7. number 3 September 2016. pp. 105-112

- [12] i-scoop: IoT security: smart business requires smarter Internet of Things security. Internet: <https://www.i-scoop.eu/iot-security-smarter-internet-of-things-security/> 2018.03.21.
- [13] Schneier, B: The Internet of Things Will Turn Large-Scale Hacks into Real World Disasters. Internet: https://motherboard.vice.com/en_us/article/qkizwp/the-internet-of-things-will-cause-the-first-ever-large-scale-internet-disaster 2018.03.21.
- [14] Seacon Europe: Ipar 4.0 Internet: <http://www.industry4.hu/hu/ipar4> 2018.03.15
- [15] Posch, G., Bruckner, J., Ennsbrunne, H.: INDUSTRY 4.0 IN WELDING White_Paper_Industry-4_0_EN_low, Researchgate.net, 2018.03.30.
- [16] Palotás B. – Gyura L. – Somogyi Sz.: "EQUIST WELD" Hegesztési tanácsadó rendszer, 26. Hegesztési Konferencia és Hegesztéstechnikai Kiállítás, Budapest, 2012. május 10 – 12. Óbudai Egyetem, Budapest, p.: 27 – 34.
- [17] Farkas A: A mesterséges intelligencia szerepe a hegesztés robotosításában. 26. Hegesztési Konferencia, Budapest, 2012. Május 10-12. ISBN: 978-615-5018-28-2 pp. 45-51.
- [18] Garcia, L. A.: Robot systems at YASKAWA: today and tomorrow 2018.02.26. Internet: https://www.yaskawa.eu.com/en/news-events/news/article/news/robot-systems-at-yaskawa-today-and-tomorrow-1/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=4a98525248e3d1998a86f8ab23ea3681 2018.03.22.
- [19] Palotás B., Farkas A.: CAD/CAM rendszerek a hegesztésben. Globe Edit - OmniScriptum GmbH, Saarbrücken. 2016 ISBN: 978-3-330-80646-7 pp. 71-84.
- [20] Uzonyi S., Asztalos L., Farkas A., Dobránszky J.: Az additív gyártás jelen és jövője. Hegesztéstechnika 28/3 (2017.) pp. 89-92.
- [21] Uzonyi S, Asztalos L.: Additív gyártás robotosított, huzalelektrodás, védőgázos hegesztéssel. 28. Hegesztési konferencia Dunaújváros, 2016. május 26-28.

HEGESZTÉS – KOCKÁZATALAPÚ SZEMLÉLET

WELDING – RISK BASED APPROACH

Tóth László

TVE Mérnökiroda Kft.

tlaszlo@tvekft.hu

Absztract. A kockázatalapú szemlélet alkalmazása (RBA) az életünk minden területén robbanásszerűen terjed szerte a világban. E tényt megfelelően igazolja az a tény, hogy a legjelentősebb szabványalkotó szervezetek (ISO, BSI, stb) sorra bocsájtják ki szabványaikat, műszaki ajánlásait. Ugyancsak sorra jelennek meg az alkalmazást segítő szoftverek is a legkülönbözőbb ágazatokban. A hegesztés területén is teljesen hasonló a helyzet. Így a képzéssel, oktatással szembeni elvárások a hegesztés területén is jelentősen növekedtek. Mind az IWW, mind pedig az EWF időben megértette az igényeket és képzési kínálatukban folyamatosan koncentrált a hegesztési ipárhoz kötődő RBA kurzusokra. Ezeket főleg az WE/EWE, IWT/EWT és IWI-C minősítést már megszerzett szakembereinek ismeretének bővítésére javasolta. Az EWF igen korán, már 2007-ben teljes mértékben megértette az RBA jelentőségét és meghirdette speciális kurzusát „Kockázatkezelés a hegesztett szerkezetek gyártásában” címmel. Az elmúlt évtizedben az RBA alkalmazási környezete gyökeresen megváltozott az új szabványok, műszaki előírások megjelenésével, így joggal vetődött fel az EWF 640-07 tematikájának korszerűsítése. Ez valósul meg az ISIM vezetésével az ERASMUS+ programban összeállt projekt konzorciumával. Ennek tagjai az EWF, a Miskolci Egyetem a QM-Soft (Norvégia) és a TVE Mérnökiroda Kft. szakemberei. Az előadás keretében az eddigi mintegy másfél éves munka eredményei kerülnek összefoglalásra.

Abstract. The risk based approach applications (RBA) are very quickly spreading in different in everyday activities all round the world. This fact can be demonstrated by appearing different standards, technical materials, and guidelines issued the most reasonable and leader standard offices, like ISO, BSI.etc. For practical applications different kind of software are created by considering the characteristics features of the industrial sectors. The situation is the same in the field of welding as well. That is why the educational requirement is very quickly increasing in the special technical field of welding. Both the International Institute of Welding (IIW) and European Federation of Welding (EWF) are continuously focusing on the introduction of risk based applications in welding technology related sectors. These are organized within the framework of different special courses for IWE/EWE, IWT/EWT and IWI-C specialists. The EWF understood the importance of the risk based concept in time, that why the EWF Special Course has been launched at the first time in 2007 under the title “Risk Management in Welding Fabrication” (EWF 640-07). During the last decade the series of the standards RBA related standards have been issued for different fields of the economical and technical areas, that is why the upgrading of the EWF 640-07 became an important issue. That has been planed within an ERASMUS+ program leaded by ISIM Timioara with the following partners: EWF, University of Miskolc, QM-Soft (Norway) and TVE Engineering (Hungary). In the presentation the results of one and half year activities will be demonstrated.

VALÓS IDEJŰ MEGFIGYELŐ ESZKÖZ A MIG/MAG HEGESZTÉS RÖVIDZÁRLATOS ANYAGÁTVITELI MÓDJÁNAK NYOMON KÖVETÉSÉRE

REAL-TIME MONITORING OF THE GMAW SHORT-CIRCUIT METAL TRANSFER MODE

Adonyi János

Professor Emeritus

LeTourneau University, Longview, TX

yoniadonyi@letu.edu

A huzalelektródás védőgázos ívhegesztés (MIG/MAG) anyagátviteli módjai hosszú ideje jól ismertek és megfelelően használtak. Azonban, a szabályozott impulzussal történő anyagátviteli módok nem minden esetben biztosították a megfelelő hegesztési minőséget a lehetséges kezelői hibák miatt. Az utóbbi évtizedben a korszerű huzalelektródás hegesztőberendezés áramforrások téves alkalmazásainak száma növekedni látszik az Egyesült Államokban. A rövidzárlatos anyagátvitel alkalmazásának következtében az 50 – 100 mm falvastagságú acél és nikkelt ötvözetek hegesztése során tapasztalható beolvadási hiány és ennek javítása az USA gazdaságának több millió dollárjába került. Ezen okokból egy különleges, valós idejű megfigyelő eszköz került tervezésre és szabadalmaztatásra 2012 és 2017 között a Federal Highway Administration finanszírozásával. Az úgynevezett "Magic Box" egyszerűen csatlakoztatható a huzalelektródás hegesztő berendezés áramforrásához, és segítségével 20 kHz mintavételezési frekvenciával is mérhető a hegesztés közben kialakult ívfeszültség. A rendszer észleli, ha rövidzárlatos anyagátvitel jelentkezik, és figyelmezteti a hegesztőt audiovizuális jelekkel. A "Magic Box" több vállalatnál is sikeresen vizsgázott pl. Newport News Shipbuilding, Virginia, High Steel Structures, Pennsylvania és Tyler Junior College, Texas. A kutatás két, szabadalmaztatott prototípus fejlesztéséhez vezetett, melyek alkalmazhatósági lehetőségei a közeljövőben kerülnek bemutatásra. A jövőben a készülék méretének és költségeinek csökkentései és a kezelőfelület fejlesztésének módjai kerülnek megvitatásra.

Molten metal transfer modes in GMAW welding have been well-known, and properly used for many years. However, the feed-forward algorithms resulting in pre-set welding parameters could not always ensure proper weld quality because of possible operator error.

The number of such misapplications related to the use of the most sophisticated GMAW power supplies seemed to be on the rise in the USA in the past decade. Particularly, when short-circuit metal transfer was improperly used for thick steel and Ni-base superalloy constructions (50-100 mm thick), severe lack of sidewall fusion resulted, costing the economy millions of dollars in repairs.

Therefore, a special real-time monitoring device was designed, tested and patented between 2012-2017, under funding from the Federal Highway Administration. The so-called "Magic Box" can simply be connected to the leads of any GMAW power supply and it can analyze arc voltages at up to 20 kHz high acquisition rates. The system can detect when the metal transfer unintentionally goes into short-circuit (SC) mode and alerts the welder on the spot by giving him/her a visual and audio signal. This "Magic Box" was successfully tested at the Newport News Shipbuilding in Virginia, High Steel Structures in Pennsylvania and Tyler Junior College in Texas.

The research leading up to the development of two prototypes will be presented, as well as the potential future uses for the patented product. Ways of future miniaturization, cost reduction and welder interface improvements are going to be discussed.

LORCH

Egyszerűen **intelligens** hegesztés

Mivel az automatizálás nem boszorkányság, hanem **a megfelelő rendszer kérdése.**

Automatizálás



Moduláris felépítés

A Lorch automatizálás esetében Ön nem vásárol komplett rendszert olyan elemekkel és funkciókkal, amelyeket talán sohasem használ. A gazdaságosság számunkra azt jelenti, hogy Ön csak azt fizeti ki, amire a hegesztés automatizálása szempontjából valóban szüksége van. Ezért a Lorch „építődobozból” igényeinek megfelelően állíthatja össze a berendezést, mely utólag bármikor egyéb moduláris elemekkel kiegészíthető.

Tökéletesen illeszkedő elemek

Egyvalaminek meg kell adnia a hangot. A Lorch Control vezérlő egység virtuóz módon vezényli az „automata zenekart”. Valamennyi modul – akár forgatóasztal, áramforrás vagy pneumatikus pozícionáló – pontosan tudja a feladatát. Valamennyi tökéletesen együttműködik, utasításait a LorchNet hálózaton keresztül a vezérlőtől kapják. Mindegy, milyen hegesztési eljárás vagy milyen építőelem, itt minden összejön, ami összetartozik.

Rendkívül gyors

A készüléket felállítani, egymással összekötni, bekapcsolni és kész. Az automatizálás a legrövidebb időn belül üzemkész. Ezt nevezzük „Plug & Weld”- nek, ami a barkácsolás végét jelenti. Azonnal a lényegre, a tökéletesen automatizált hegesztési varratokra koncentrálnak. Már az üzembe helyezés első napján valódi eredményeket érhet el. Nem ismerünk más rendszert, amivel megközelítően ilyen gyors lehetne.

Az Ön magyarországi képviselői:

Heinbo Hegesztéstechnikai Kft. LRCH Hegesztéstechnika Kft.

5000 Szolnok,

József Attila 56.

Tel.: (+36) 70 363 18 99

iroda@heinbo.hu
www.lorch-hungary.hu

2027 Dömös,

Zelovich Kornél u. 3.

Tel.: (+36) 20 2 66 02 80

iroda@lrch.hu
www.lrch.hu

Rechnen Hegesztőház Kft.

3528 Miskolc,

Kisfaludy Károly u. hrsz. 46857/3

Tel.: (+36) 46/432-866

(+36) 46/555-313

rechnen@rechnen.hu
www.rechnen.hu

AW 6082 KIVÁLÁSOSAN KEMÉNYÍTHETŐ ALUMÍNIUMÖTVÖZET HEGESZTÉSE A MODERN VÉDŐGÁZAS FOGYÓELEKTRÓDÁS ÍVHEGESZTÉS ALKALMAZÁSÁVAL

WELDING OF THE PRECIPITATION HARDENING ALUMINIUM ALLOY AW 6082 BY APPLYING MODERN GMAW PROCESSES

Wilhelm G.

Lorch Schweisstechnik GmbH

gerald.wilhelm@lorch.eu

A védőgázas fogyóelektródás ívhegesztést évtizedek óta alkalmazzák fémek, különösen különböző acélok és alumíniumötvözetek hegesztésére. A termelékenység fokozása és a minőség növekedése iránti igény folyamatosan megköveteli új eljárásváltozatok fejlesztését. Az AW6082 kiválásosan keményíthető alumíniumötvözet hegesztésekor jelentős mértékű keménység és szilárdságcsökkenés megy végbe a hőhatásövezetben. Ezenkívül az alumínium ötvözet százalékos szakadási nyúlása is lecsökken. Az elvégzett vizsgálatsorozat keretében elemezzük az egyes Lorch Speed hegesztési eljárásváltozatok keretében a szakaszos energiabevitel hatását a hegesztett kötés mikroszerkezetre és mechanikai tulajdonságaira, továbbá a hegesztési folyamat teljesítményére. Számos esettanulmány igazolja a Lorch Welding Speed eljárásváltozatok előnyeit a vasúti járművek gyártásakor felmerülő hegesztési feladatok megoldására.

The GMAW process has been applied for many decades to join metals, especially different steel grades and various aluminium alloys. The demand for an increase in productivity combined with an increase in quality are constantly triggering the development of modified GMAW processes. Welding of the precipitation hardening aluminium alloy AW6082 leads to a significant decrease of the hardness and yield strength in the heat affected zone. In addition the material percentage elongation after fracture is reduced. In this investigation the influence of various discontinuous energy regimes of different Lorch Speed Welding Processes on the microstructure, the mechanical and technological properties of the joints and on the performance of the welding process is analysed. Based on several case studies the benefits of the Lorch Welding Speed Processes are carried out referring to the specifics of railway vehicles.



TARTÓS BÉRLET NE VEGYE, BÉRELJE!

Az új, nagyértékű berendezések beszerzésére a TARTÓS BÉRLET a jó megoldás!

Nincs beruházási költség, és a gép kitermeli a saját árát a bérlet futamideje alatt, amely akár 60 hónap is lehet.

A bérlet végén nincs maradványérték, a készülék az Öné lehet!
Ezzel a konstrukcióval ÁFÁ-t is megtakarít!

Kérjen személyre szabott árajánlatot:
info@syrius.hu; + 46/500 822

SYRIUS-TECH Kft.
HATÉKONY HEGESZTÉSTECHNIKAI MEGOLDÁSOK

4 PROBLÉMÁRA 1 MEGOLDÁS!

- HEGESZTŐGÉP
- HEGESZTŐGÉP
- BIZTONSÁGI
- HEGESZTŐGÉP

**KARBANTARTÁS
SZERVIZELÉS
FELÜLVIZSGÁLATOK
VALIDÁLÁS**

A SYRIUS a legjobb megoldás! A kért szolgáltatást az Önök telephelyén, a legmodernebb diagnosztikai berendezésekkel végezzük el. Ha szeretné, hogy készülékei mindig biztonságosak legyenek, és tökéletesen működjenek, forduljanak hozzánk!

Részletekért érdeklődjön:
info@syrius.hu; + 46/500 822



Rendelkezésükre állunk az ORSZÁG EGÉSZ TERÜLETÉN!

3508 MISKOLC, FUTÓ U. 74. • TEL:+46/500-822 • E-MAIL:INFO@SYRIUS.HU

MEGFONTOLÁSOK A KORSZERŰ MIG/MAG HEGESZTÉSI TECHNOLÓGIA TERVEZÉSÉHEZ

CONSIDERATIONS FOR PROCESS PLANNING FOR MODERN GMAW PROCEDURES

Kristóf Csaba

Magyar Hegesztési Egyesület

kricsaba43@gmail.com

Az IIW által javasolt terminológia szerinti elektronikus áramforrás (electronic power source) programozható irányítása új kihívást jelent a hegesztési technológia tervezői számára. Ebben a felosztásban a konvencionális áramforrások (conventional power source) statikus és dinamikus tulajdonságai (feszültségtartó statikus jelleggörbe, illetve meghatározott tartományban állítható belső induktivitás) alapján kialakuló, diszkrét anyagátviteli módokhoz (D, G, P, S) jól azonosítható, diszkrét technológiai tulajdonságok társíthatók. Az elektronikus áramforrások nagyságrendekkel nagyobb dinamikája lehetővé teszi a hegesztőív energiaellátásának célszerű modulációját, amivel lényeges mértékben befolyásolhatók az ív technológiai tulajdonságai, illetve a kialakuló anyagátvitel és minősége. Az új lehetőségek kezelésére két megoldás formálódik. Az egyik, az elektronikus áramforrásokkal megvalósítható eljárásváltozatok osztályozása, amely arra kínál lehetőséget, hogy az osztályba sorolás alapját képező technológiai tulajdonságok alapján válasszon a technológus a céljának megfelelő eljárásváltozatot (konvencionális megközelítés). A másik az adott áramforrás irányításának célszerű programozása, a hullámalak-tervezés, és ennek megfelelően a technológia értékelésének új módszerének kidolgozása (új megközelítés).

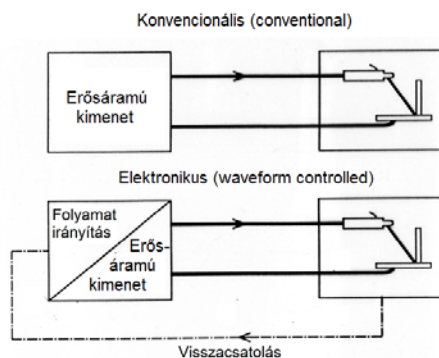
Programmable control of electronic power sources (designation proposed by IIW) creates new challenges for process planning of GMAW procedures. The conventional power sources (IIW terminology) offer uniform static and dynamic characteristics (constant voltage static characteristic, defined range of inductance), which led to conventional definition of the defined process variants (spontaneous metal transfer modes: D, G, S, completed with the controlled pulsed mode P). Electronic power sources have far better dynamics, which makes it possible the planned (and very quick) modulation of the arc voltage and current. Using such power source, the static characteristics and dynamics are not constant figures any more, which would define the power sources' behaviour, but the program is controlling the output, i.e. the instantaneous power of the arc instead. For the process planning of electronic power source the conventional metal transfer modes and the connecting static and dynamic characteristics is really just an option, however a lot of chance is given to get a procedure, which is optimal for the given job. There are two options for handling this situation: either extending the classification of process variants, significantly differing from the conventional metal transfer modes (conventional approach), or letting the process design free, creating a new mode of evaluation (new approach).

1. Bevezetés

Az ipari elektronika és az információtechnológia rohamos fejlődése nem kerülte el a hegesztőáramforrások fejlesztését sem. Az elmúlt évtizedekben kialakult azok új generációja, amely – miközben radikálisan megnövelte a gyártás hatékonyságát – új korszakot nyitott a hegesztéstechnológiák tervezésében, alkalmazásában és ellenőrzésében. Az évtizedek alatt kialakult konvenciók, amelyek a vonatkozó, nemzetközi szabványokban nyertek széles körű alkalmazást, nem alkalmasak az új generációs áramforrások kínálta lehetőségek kezelésére.

Paradigmaváltás előtt áll a szakma. Új értékelési módra van szükség. A konvencionális áramforrásokra épülő, a hegesztéstechnológia minősítésére és ellenőrzésére szolgáló rendszer nem alkalmas a korszerű, elektronikus áramforrásokkal megvalósítható teljesítménymodulációval végzett hegesztési eljárások értékeléséhez.

2. Konvencionális és elektronikus áramforrások



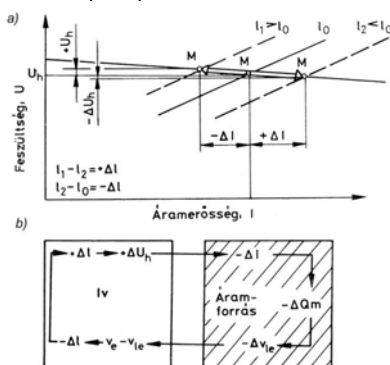
1. ábra
Áramforrás típusok

Konvencionális áramforrások. A kimenet (statikus és dinamikus) jellemzőit az áramforrás elemeinek (transzformátor, egyenirányító, fojtótekercs) villamos jellemzői határozzák meg, ezért azok egy beállítás (munkapont) esetén a használat során nem változnak (1. ábra).

- A hegesztő transzformátor kimenete szinuszos váltakozó feszültség/áram („*sinusoidal AC*”).
- A hegesztő egyenirányító kimenete több-kevesebb hullámosságú egyenfeszültség/áram („*steady DC*”).
- A kimeneti jellemzők mérésére váltakozó áram esetén effektív értéket, egyenáram esetén galvanikus átlagértéket kijelző, hagyományos (Deprez-) műszerek alkalmasak.

A konvencionális áramforrások fontos jellemzője, hogy a gép beállításának egy munkapont felel meg (ebből adódik a hegesztőáram és -feszültség diszkrét értéke). A munkapont stabilitásáért az áramforrás és a terhelés (az ív) statikus jelleggörbéjének megfelelő megválasztása és a rendszer meghatározott dinamikája felel. Ez utóbbi számára meghatározó az áramforrás belső ellenállása és induktivitása, amelyeket a konvencionális

áramforrásoknál a beépített elemek ellenállásának és induktivitásának lényegében statikus értéke határoz meg. A 2. ábrán egy konvencionális áramforrás és huzalelektrodás, védőgázos hegesztési folyamat fenntartott ív terhelése során kialakuló munkapont és stabilizálási módjának szokásos ábrázolását idézzük. Látható, hogy a kimenet teljesítményét a (dinamikusan) stabilizált munkapont paraméterei határozzák meg.

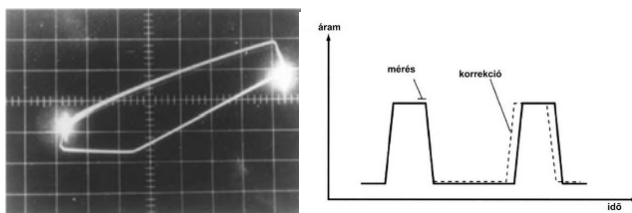


2. ábra

Konvencionális áramforrás „feszültségtartó” statikus jelleggörbével és a huzalelektrodás, védőgázos hegesztési folyamat terhelésével kialakuló munkapont és stabilitása

Elektronikus áramforrások. A kimenet jellemzői elektronikusan irányítottak („controlled output”). Így lehetséges az áramforrás és a terhelés munkapontjának célszerű, a hegesztési folyamat stabilitását szolgáló folyamatos változtatása (modulációja). Az MSZ EN ISO 15614-1:2017 számára elfogadott magyar elnevezés szerint az elektronikus áramforrás használata ilyen üzemmódban a *teljesítménymodulációval végzett hegesztés* („waveform-controlled welding” – ISO/TR 18491:2015).

Az elektronikus áramforrások lényeges tulajdonsága, ami – a működés tekintetében – alapvetően megkülönbözteti a konvencionálisoktól, hogy – legalábbis teljesítménymodulációs üzemmódban – egy beállításához nem egy diszkrét munkapont tartozik, hanem modulált, azaz az irányító szoftver utasításainak megfelelően, pillanatról pillanatra változik. Az ilyen üzemmódban használt áramforrás „statikus” munkapontja csak egy adott pillanatra értelmezhető, beállítását nem a hegesztőáram és -feszültség diszkrét értéke jellemzi, hanem az áramforrás *üzem módja*, azaz a választott teljesítménymoduláció. A 3. ábrán egy jellegzetes alkalmazás, az impulzusos MIG/MAG-hegesztés munkapontjának jellegzetes mozgása követhető az U-I koordináta-rendszerben.



3. ábra

Elektronikus áramforrással végzett, impulzusos MIG/MAG-hegesztés munkapontjának „vándorlása” az U-I koordináta-rendszerben [1], illetve az ívhossz-szabályozás egy jellegzetes megoldása (cseppfrekvencia-, I-I szabályozás).

3. A hőbevitel és mérése

A hőbevitel a (jóváhagyott) hegesztéstechnológia lényeges paramétere, ezért mérése elengedhetetlen a gyártásban alkalmazott technológia ellenőrzéséhez.

A konvencionális áramforrásokhoz elterjedt lengőtekerceses (Deprez-) műszerek elegendő pontossággal alkalmasak a kimenet jellemzőinek (I , hegesztőáram és U hegesztőfeszültség) mérésére. A mérés eredményét – kiegészítve az egyes hegesztési eljárásokra szabványosított termikus hatásfok-tényezővel (k) – alkalmasnak ítéljük a hőbevitel számítására:

$$Q = \frac{kUI}{v} 10^{-3} \text{ [kJ/mm]}$$

Rögzíteni kell azonban, hogy az alkalmazott mérési modellek,

- *egyenáram* esetén a „kémiai egyenértéknek” megfelelő *átlagérték* sima (nem hullámos) egyenáram, illetve
- *váltakozóáram* esetén a „hőhatás” (Ohm-törvény) alapján képzett ún. *effektív érték* szinuszos, a tápfeszültséggel fázisban lévő váltakozóáram esetén

adnak pontos értékeket [2]. Az eltérések mérési hibát okoznak, amelynek mértéke konvencionális áramforrások esetén általában elfogadott mértékű.

Elektronikus áramforrások kimeneti jellemzőinek mértéke azonban – a ténylegesen alkalmazott modulációtól függően – csak elfogadhatatlan hibával (20...40%) állapítható meg a konvencionális mérési eljárással [2]. Ezért az ilyen üzemmódban végzett hegesztés paramétereinek méréséhez mintavételes eljárást alkalmaznak (kvantálás), amelyhez megfelelő matematikai modell tartozik az áram és a feszültség valós értékének megállapításához. Egyes áramforrások nem csak a szokványos paramétereket jelzik ki, hanem a hőforrás (általában a villamos ív) tényleges teljesítményét is.

A hőbevitel adekvát mérési eljárásainak meghatározása nemzetközi műszaki jelentésben található [3]. A kimeneti teljesítmény méréséhez három eljárás (módszer) ajánlott:

$$\text{„A” eljárás: } E = U \cdot I \cdot 10^{-3} / v \text{ [kJ/mm]},$$

$$\text{„B” eljárás: } E = IE \cdot 10^{-3} / L \text{ [kJ/mm]},$$

$$\text{„C” eljárás: } E = IP \cdot 10^{-3} / v \text{ [kJ/mm]},$$

ahol E az ívenergia (a villamos ívnek a varrat hosszegységére vonatkoztatott mértéke), U a hegesztő feszültség [V], I a hegesztőáram [A], L [mm] a hegesztett varrat hossza, IE [Joule] pillanatérték-energia, IP [Joule/s] átlagos pillanatérték-teljesítmény.

Új fogalmak

- a pillanatérték-energia

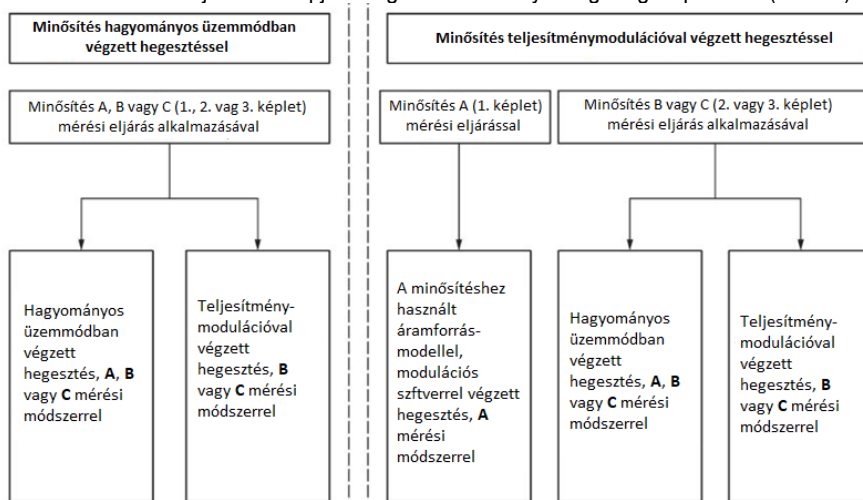
$$IE = \sum_{i=1}^n (i_i u_i t_i)$$

- a (z átlagos) pillanatérték-teljesítmény

$$IP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (i_i u_i)$$

ahol i_i és u_i a mintavételek során vett áram- és feszültség (pillanat)értékei, t_i mintavételezési frekvencia reciproka ($1/f$), n a hegesztett varrat hosszára jutó mintavételek száma.

A műszaki jelentés [3] ugyanakkor ajánlást ad a technológiavizsgálat és a gyártásban alkalmazott mérési eljárások alapján megítélhető érvényesség megállapítására (4. ábra).



4. ábra

Ajánlás a hőbevitel (ívenergia) mérésére [3]

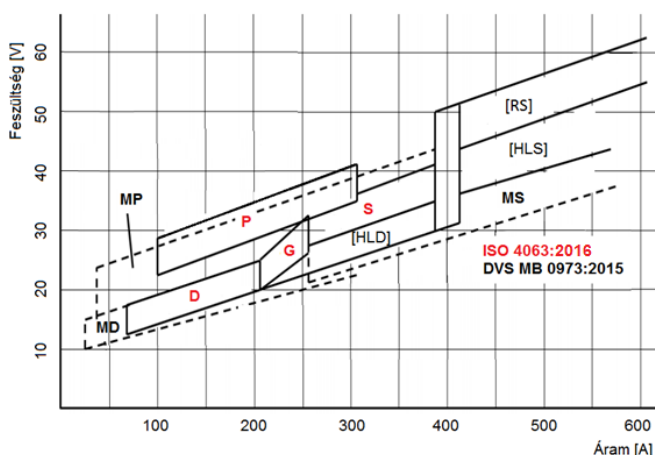
4. Az eljárások (procedures) osztályozása

Huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztéshez (MIG/MAG-hegesztéshez) konvencionális (vagy a teljesítménymoduláció nélküli üzemmódban használt elektronikus) áramforrások alkalmazása esetén a, a beállított paraméterek alkalmazásával megvalósuló statikus munkapontban kialakuló stabil hegesztési folyamatot négy, jól elkülöníthető, és tetszőleges áramforrással reprodukálható anyagátviteli mód definiálható (D – rövidzárlatos, G – nagyceppes, S – finomceppes, P – impulzusos), amelyekhez jellegzetes technológiai tulajdonságok rendelhetők. Ezek között az impulzusos anyagátvitel bizonyos értelemben kakukktójs, mert fogalmilag nem sorolható a konvencionális áramforrással megvalósíthatók közé, hiszen használatához (nagyon kevés kivétellel, amelyeket ma már nem használnak) teljesítménymoduláció szükséges, és ennek megfelelően – mint látni fogjuk – a technológiai tulajdonságok szignifikánsan különbözhetnek, ami valójában a konvencionális és a teljesítménymodulációval végzett hegesztés megítélése közötti határvonal.

A teljesítménymodulációval végzett hegesztés meghatározása ([3] – a szerző fordítása):

„Teljesítménymodulációval végzett hegesztés: a feszültség és/vagy áram hullámalakjának modulációja az olyan jellemzők közben tartására, mint a csepp alakja, beolvadás, nedvesítés, fürdő alak vagy anyagátviteli mód.”

A teljesítménymoduláció alkalmazásával lehetséges eljárásváltozatok rendszerezésére tesz kísérletet egy német ajánlás.



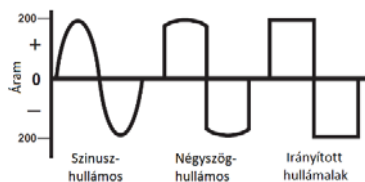
5. ábra

Ajánlás a MIG/MAG-hegesztés változatainak csoportosítására [DVS Merkblatt 0973:2015], illetve a hagyományos eljárásváltatkora definiált anyagátviteli módok [MSZ EN ISO 4063:2017]

Az 5. ábra a *DVS Merkblatt 0973:2015* szerinti felosztást foglalja össze, amely kijelöli az irányított (német terminológia szerint „módosított”), azaz a teljesítménymodulációval végzett hegesztési eljárásváltozatok tartományát. Ezt egészítettük ki az MSZ EN ISO 4063 szerinti hagyományos eljárásváltozatokkal (D, G, S, P).

A javaslat abból indul ki, hogy a teljesítménymodulációval megvalósított, a konvencionális anyagátviteli módokhoz kapcsolt tulajdonságokkal jellemezhető eljárásváltozatokat azok változataként, ún. *módosított eljárásként* értékeli (MD – módosított rövidzárlatos, MP – a módosított impulzusos, MS – módosított finomcseppes), azaz a konvencionális anyagátvitel stabilitási tartományának kiterjesztéseként értelmezi, kiegészítésként pedig bevezeti a nagyteljesítményű rövidzárlatos (HLD), a nagyteljesítményű finomcseppes (HLS) és a forgóíves finomcseppes (RS) kategóriákat, amelyek a konvencionális meghatározásoktól szignifikánsan különböznek, és ezért önálló eljárásváltatként kezelhetők, amelyek hiányoznak a konvencionális felosztásból. Ez utóbbiak vonatkozásában meg kell jegyezni, hogy ezek megvalósításához nem feltétlenül szükséges teljesítménymoduláció, általában elegendő az elektronikus áramforrásoknak a konvencionálisakénál lényegesen nagyobb dinamikája.

A teljesítménymodulációval végzett hegesztés értékelésével összefüggésben más eljárások, pl. a TIG- vagy fedettívű esetében is felmerül a hőbevitel mérésének és a teljesítménymodulációnak a hegesztési hőfolyamatra és a varratképzésre gyakorolt hatása.



6. ábra

Váltakozó áramú kimenetek változatai. A szinuszhullámos a négyzet-hullámos konvencionális, az irányított pedig csak elektronikus áramforrással lehetséges.

A 6. ábrán a váltakozó áramú TIG-hegesztéshez használt áramforrások három – jól megkülönböztethető – változata követhető. A transzformátoros áramforrás (kvázi) szinuszos áramával járó ívstabilitási gondok és az egyenáramú komponens kezelésére jó megoldás volt a tirisztoros váltóirányítóval megvalósítható, ún. „négyzöghullámú” kimenet. Az elektronikus áramforrásokhoz használt (tranzisztoros) áramirányító kapcsolások alkalmasak a hullámalak és a frekvencia változtatására, és ezzel megfelelnek a teljesítménymodulációs hegesztés meghatározásának. Alkalmazásuk mindkét említett eljárás számára új lehetőségeket kínál, beleértve az egyenáramú, impulzusos TIG-hegesztés frekvenciatartományának lényeges kiterjesztését is, a hagyományos 1 Hz körüli értékről a 10 - 15 kHz-es tartományra.

5. A teljesítménymoduláció tervezése

Mint láttuk, az elektronikus áramforrásokra – per definitionem – jellemző, hogy a kimenet mindenkori statikus és dinamikus tulajdonságait a folyamatirányítás – statikus vagy időben változó – referenciatartomány-szintje határozza meg. Ilyen módon egy ilyen villamos készüléknek mindig „meg kell mondani”, miként viselkedjen, működjék. A teljesítménymoduláció tehát – leegyszerűsítve – az áramforrás kimenetének programja, amelyet – a rendszer felépítésével meghatározott korlátok között – szabadon, a kitűzött célt szolgáló módon lehet alakítani. Ez tehát egyrészt kényszer (az áramforrás működésének feltétele), másrészt lehetőség a hegesztési folyamat célszerű irányítására.

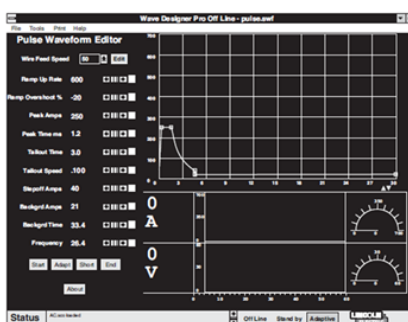
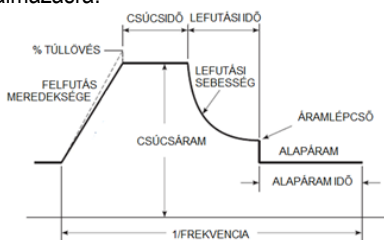
Ebben a megközelítésben mutatkozik meg az „új eljárásváltozatokként” („process variants”) aposztrofált megoldások lényege. Az áramforrások fejlesztői kezdetben a működést biztosító modulként értelmezték a folyamatirányító egységet, később – felismerve a teljesítménymodulációban rejlő lehetőségeket – felruházták ezeket valamilyen, a hegesztési folyamatot célszerűen befolyásoló funkcióval. Tették ezt egymástól függetlenül, és saját megoldásaikat nem egyszer védett megnevezéssel illetve. Ennek során néhány olyan megoldás is született, amelyek valóban szignifikáns eltérést jelentenek a konvencionális áramforrásokkal megvalósíthatóktól, és valóban új eljárásváltozatnak voltak tekinthetők (pl., a teljesség igénye nélkül, *Fronius Cold Metal Transfer* vagy *Lincoln-Electric Surface Tension Transfer®*), ugyanakkor számos olyan megoldással találkozunk a felhasználók, amelyeknek beállításához specifikus program tartozik, de alkalmazásuk csak nehezen megkülönböztethető (nehezen reprodukálható) hegesztési folyamatot eredményez.

Egyes esetekben, amikor a teljesítménymoduláció nem érinti az anyagátvitel módját és stabilitását (pl. TIG- vagy fedettívű hegesztés), a teljesítménymoduláció megoldható az áramforrás szabad programozásával. A felhasználó számára ezek konkrét paraméterek (impulzusalak, impulzus paraméterek, váltakozó áram frekvenciája, valamint a polaritás- és/vagy árambalansz) megadását jelenti, amelyek nem csak stabilizálják, hanem lényegesen befolyásolják is a hegesztési folyamatot.

Huzalelektrodás, védőgázos hegesztéshez azonban ez jóval bonyolultabb feladat, mert – a folyamat stabilitása és a varratképzés követelményei miatt – az ívteljesítmény célszerű megosztása szükséges a huzalelektroda leolvasztása és a hegfürdő hevítése között. Az elektronikus MIG/MAG-hegesztő áramforrások programozása ezért kezdetektől, érthető módon a gyártók privilégiuma (ez jellemzi napjaink gyakorlatát is).

A közelmúltban azonban megjelentek olyan megoldások, amelyek az áramforrás programozását – legalábbis a hegesztési folyamat irányítása számára fontos paramétereit – lehetővé teszik a felhasználó részére.

- Kezdetben – egyes modellek esetében – a felhasználónak lehetősége volt a gyári program módosítására egy adott alkalmazás számára (szinergikus program paramétereinek szerkesztése).
- Később megjelentek azok a megoldások, amelyek a teljesítménymoduláció tervezését az áram hullámalakjának formálásaként fogalmazzák meg, lehetőséget kínálva a felhasználónak, hogy – bizonyos korlátok között – azt saját céljainak megfelelően tervezze meg (Lincoln-Electric, Waveform Control Technology™). Az 5. ábra mutat példát egy ilyen alkalmazásra.



7. ábra

Impulzusos MIG/MAG-hegesztés teljesítménymodulációjának tervezése (Lincoln Electric Wave Designer™)

Összefoglalva, a teljesítménymoduláció a hegesztési folyamatot meghatározó paraméterek megadásának korszerű módja, amely minőségi változást jelent a hegesztéstechnológia tervezése, jóváhagyása és ellenőrzése számára.

A konvencionális áramforrások statikus és dinamikus jellemzői a választott munkapontban diszkrét értékek. A hegesztési technológia e munkapont paramétereivel határozható meg a reprodukálhatóság és az ellenőrzése számára. Más szavakkal, az érvényes (a vonatkozó szabványokban és szabályzatokban testet öltött) konvenció szerint – más, lényeges paraméter teljesülése mellett – a technológia reprodukcióját akkor tekintjük elfogadhatónak, ha ezeknek a paramétereknek az eltérése a megengedett határokon belül van. Ez a megállapítás minden ívhegesztő eljárásra vonatkozik.

A hegesztéstechnológiák azonosítása fontos eleme azok jóváhagyásának és végrehajtásuk ellenőrzésének. Lényeges, hogy elektronikus áramforrásoknak is lehetséges *konvencionális üzemmódja*, amely statikus rendelkezőjel-szint mellett valósul meg, ezért teljesíti ezt a feltételt.

Az elektronikus áramforrások teljesítménymodulációs üzemmódja (amelyhez tehát nem rendelhető egy, a „hegesztési paraméterekkel” meghatározott munkapont) merőben új helyzetet teremt. Kissé leegyszerűsítve, ilyenkor a paraméter a modulációs programmal irányított „hullámalak”, illetve annak paraméterei. A klasszikus gondolatmenetet követve, szükségünk van a megengedett eltérés meghatározására. Elvárás az is, hogy ez az eltérés legyen mérhető, és a mérési eredmény legyen felhasználható a folyamat értékelésére.

Első lépésként – amerikai kezdeményezésre – elkészült egy ajánlás („műszaki jelentés”) a hegesztési energia (alias *hőbevitel*) mérésére [3]. Amint láttuk, a teljesítménymoduláció alkalmazása során nem érvényesek a konvencionális áramforrásoknál alkalmazott áram- és feszültségmérés modellek, ezért indokolt az ilyen üzemmódban megvalósuló ívteljesítmény mérésére más modellt („kvantálás”) alkalmazni. Az irányelv ugyanakkor bevezeti a termikus hatásfoktól megtisztított, ún. ívenergia (a varrat hosszegységére jutó villamos teljesítmény) fogalmát, lehetővé téve az ívenergia (vagy ívteljesítmény) mérését és mindenkor értékének kijelzését és értékelését. Alkalmazását a hegesztéstechnológia jóváhagyására vonatkozó szabvány új kiadása (MSZ EN ISO 15614-1:2017) ugyan lehetővé teszi, ám a hőbevitel (pontosabban a $t_{8/5}$ lehűlési idő) meghatározásához a konvencionális, szabványosított termikus hatásfoktényező használatát írja elő, ami nem kis gondot okoz egyes, teljesítménymodulációval végzett hegesztés (pl. váltakozó polaritású MIG/MAG-hegesztés, CMT eljárások stb.) értékelése számára [4].

A probléma megoldására tett kísérlet a már hivatkozott DVS Merkblatt 0973:2015 dokumentumban publikált osztályozási rendszer.

A teljesítménymodulációval végzett hegesztéstechnológia jóváhagyásának érvényességi tartományát illetően nincs konszenzus. Az egyre élénkülő szakmai viták remélhetően hamarosan elvezetnek a mindenki által elfogadott megoldáshoz.

Ami azonban a technológia tervezését illeti, az elektronikus áramforrások kínálta lehetőségek használata mindennapos gyakorlattá válhat. Ehhez azonban szükségesek azok az ismeretek, amelyek a teljesítménymoduláció technológiai hasznosításához szükségesek. Ez – az ív teljesítményének statikus hatásai mellett – magában foglalja a dinamikus hatások megismerését is, különös tekintettel a huzalelektrodás eljárások anyagátvitelére, illetve valamennyi eljárás esetén a varratképzésre vonatkozóan. E tekintetben igény mutatkozik az egyre kiterjedtebben alkalmazott szimulációs eljárások hőforrás-modelljeinek pontosítására, hogy képesek legyenek az ívteljesítmény dinamikus változásának követésére, másfelől a teljesítménymodulációval befolyásolható varratulajdonságok és a moduláció (a „hullámalak”) közötti összefüggések módszeres feltárására.

Irodalomjegyzék

- [1] Pan Julian: Arc Welding Control. Woodhead Publication Ltd., Cambridge, 2003.
- [2] Kristóf Csaba: A hőbevitel meghatározása és mérése. Előadás a 960-asok klubba 2. országos szakmai fórumán. Jászberény, 2017. október 6.
- [3] ISO/TR 14891:2015 Welding and allied processes – Guidelines for measurement of welding energies
- [4] Kristóf Csaba: A hegesztési eljárásra vonatkozó feltételek. Előadás a Hegesztéstechnológia minősítése, az MSZ EN ISO 15614-1:2017 értelmezése és alkalmazás c. szakmai fórumon. MSZT, Budapest, 2018. március 21.

NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK MECHANIKAI TULAJDONSÁGAINAK SZABÁLYOZÁSA A HEGESZTÉSI FOLYAMAT OPTIMALIZÁLÁSÁVAL

CONTROL OF MECHANICAL PROPERTIES FOR HIGH STRENGTH STEELS THROUGH OPTIMIZED WELDING PROCESSES

Michael Fiedler

Alois Plozner

voestalpine Böhler Welding Austria GmbH. Kapfenberg

Michael.Fiedler@voestalpine.com

Alois.Plozner@voestalpine.com

Bernd Rutzinger

Wolfgang Scherleitner

Fronius International GmbH

Rutzinger.Bernd@fronius.com

Scherleitner.Wolfgang@fronius.com

A 800 és 500°C között eltöltött hűlési idő kulcsfontosságú, mert nagymértékben meghatározza a nagyszilárdságú acélok hegesztett kötéseinek tulajdonságait. A $t_{8/5}$ -el jelzett hűlési idő a hőbevitel mértéke befolyásolja. Korszerű, elektronikusan szabályozott ívhegesztési eljárásoknál optimalizált gépbeállítások mellett csökkentett hőbevitellel a korábbi hegesztőgépekkel megvalósított leolvadási teljesítmény érhető el úgy, hogy a szilárdsági értékek javulnak. Az előadásban összehasonlítják a hagyományos fogyóelektródás eljárás, valamint az új eljárások, mint PMC (Pulse Multi Control) és egyéb eljárások hegesztett kötésre gyakorolt hatását. A varratfém tulajdonságai és a kötés kialakítás az összehasonlításban különös hangsúlyt kap. A gyakorlati következtetések és ajánlások segítségével az optimális hegesztési tulajdonságok érhetőek el.

The cooling time between 800°C and 500°C, is a crucial factor which determines the properties of welding joints of high strength steels significantly. For field welding the cooling time $t_{8/5}$ can be steered by the heat input even a different wall thickness for the base materials is used. Modern arc processes with reduced heat input allow at the same with comparable deposition rates and increases the stability of the strength level due to optimized equipment settings. This paper compares the influence of conventional GMAW processes like short arc, spray arc, GMAW pulse with the new launched processes like PMC (Pulse Multi Control) and others regarding the properties of the weld. Special emphasis is laid on all weld metal and joint welds. From this practical conclusions and recommendations can be derived to optimize welding properties.

1. Introduction

High strength steels are used in many areas of the industry to reduce weight and material costs.

Typical applications for this kind of steels are mobile cranes, offshore platforms, concrete pumps and pressure pipelines.

The advantage of TMCP (thermo mechanical controlled processed) fine grain steels is to reach an optimum of strength and toughness. In general high strength steels are used to reduce the wall thickness which leads in lower weight and the already mentioned cost savings. Due to the low carbon content the weldability of this steels grade is good -for sure the manufactures recommendation of steel and welding consumable should be followed.

The temperature time gradient during welding and the material chemistry are crucial for the mechanical properties of high strength steels. The temperature time gradient is also described as $t_{8/5}$ time. This time is significant responsible for the structural condition in the weld and in the heat affected zone. The $t_{8/5}$ time is the duration of the cooling down between 800 and 500 degree Celsius.

Parameters like material thickness, weld shape, bead or layer sequence, preheating temperature and heat input influence the $t_{8/5}$ time. The heat input can be specific controlled by the selection of the welding process. This paper compares GMAW single wire processes and GMAW Tandem-processes and their influence on mechanical properties. In particular conventional GMAW processes like short arc process and modified processes like GMAW Pulse, PMC (Pulse Multi Control), LSC (Low Spatter Control) and Tandem-processes like CMT Twin and Time Twin are surveyed.

2. Compared welding processes

2.1 Short arc

The short arc process has continues wire feeding. Process regulation parameters are welding voltage and welding current. As following the cycle sequence can be described: The wire is melted by the arc and a drop is formed. At the beginning of the short circuit the drop is contacting the surface of the workpiece. To break up the short circuit and reignite the arc a high current is needed. The surface tension of the weld pool and the high current create the so called „Pinch effect“, which detaches a drop at the wire end. At the peak value of the current the arc is reignited. High short circuit current may create extensive spatter [1].

2.2 GMAW Pulse

This process is proven and known in the industry for many years, electronic regulated power sources made it possible. The drop detachment is controlled by a material and shielding gas depending current pulse. A short circuit free material transfer allows almost no spatter formation. The function principle is explained like following. A liquid weld pool and a molten welding wire end is caused by the base line current level (ground current phase). Due to each rise of current (current peak), also the current density rises, the Lorenz Force will increase and the droplet is moving to the workpiece. [2]

2.3 LSC (Low Spatter Control)

As already mentioned the short arc process enables the material transfer with a high current peak which leads to a possibly higher amount of spatter. High measure and control rates in the welding power source allow the LSC process to lower the current before the short circuit brake up. This stabilizes the welding performance and reduces the spatter to a minimum.

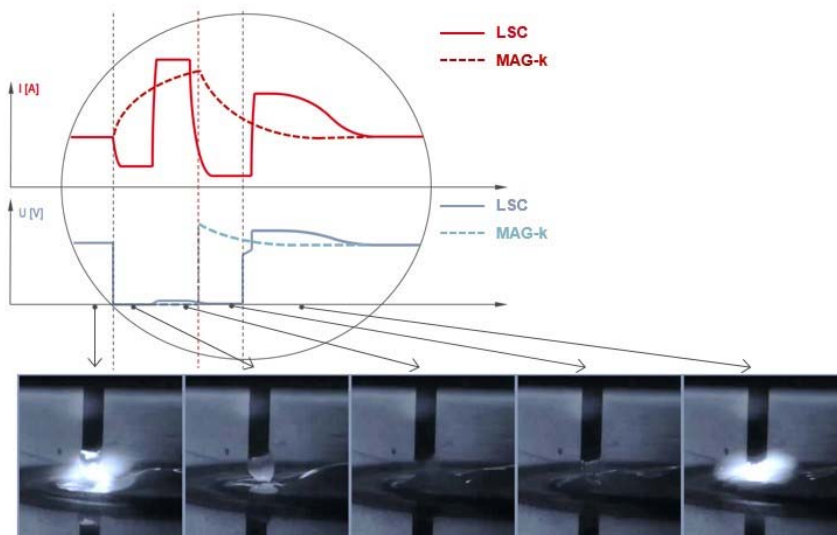


Figure 1:
Current and voltage diagram for the LSC process [Fronius International GmbH].

2.4 PMC (Pulse Multi Control)

PMC is a further development of the GMAW Pulse process. New functions like penetration- and arc length stabilizer which have been realized by new algorithm and higher calculation speed are integrated in the welding power source. TPSi help to control the arc in an efficient and easier way. Conventional welding machines use a constant wire feed speed. If the stickout of the welding wire is increased and the welding voltage is kept at the same level the welding current will be decreased. This results in a reduction of the penetration and a higher risk for lack of fusion may occurs. The "Penetration stabilizer" helps to detect variations in the stickout length and regulates according to the changes (with adjustment on the wirefeed speed). The constant welding current helps to keep the penetration on a constant level over the whole length of the weld bead.

Changes in the geometrics of the weld bead or different welding speeds lead to variation in the arc length.

The arc length stabilizer provides with a controlled short circuit during the drop detachment a constant arc length [3].

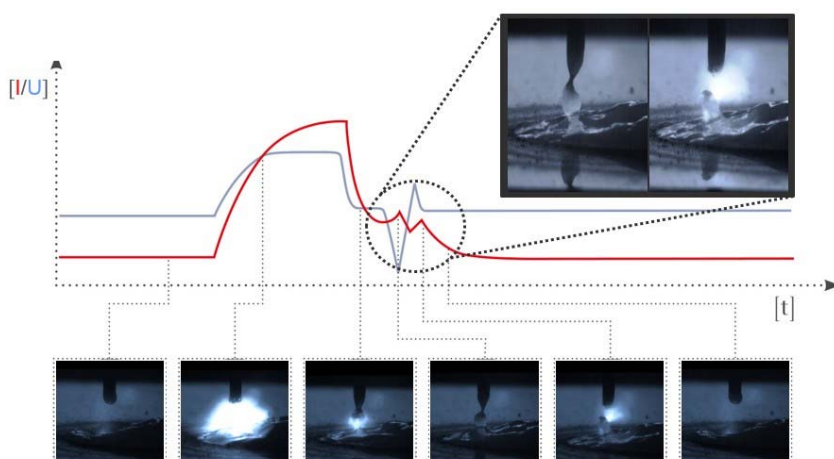


Figure 2:
Current and voltage diagram for the PMC process [Fronius International GmbH].

2.5 Tandem GMAW (Time Twin)

Tandem welding (Time Twin) is using two separate welding electrodes which are molten in one weld pool. Due to the separation of the electrical potentials different arc combinations can be realized. This enables to regulate welding speed and deposition rate.

2.6 CMT Twin

CMT (Cold Metal Transfer) was basically developed as thin sheet metal joining process for the car industry. The main advantage of the CMT process is the low heat input due to the fact that the wire is pulled out of the liquid weld pool with an accordingly lower welding current. CMT Twin is an upgrade of the Tandem process. Similar to the Tandem process, CMT Twin operates with two digital controlled power sources which are completely independent from each other. The system makes a large spread of the wire feed speed possible and allows the use of two CMT arcs or a mix of different arc combinations. The advantage of CMT Twin is the arc stability and the reduced heat input.

3. Metallurgical aspects

New optimized welding processes are created by modified electrical parameters especially the welding voltage and the welding current have a main influence. This effect leads to variation in the heat input per unit length of weld (at constant welding speed) and therefore it influences the mechanical properties. The use of modern welding processes enable an easier handling of the weld pool and a higher arc stability, this results in higher welding speed. All these variation possibilities give a larger process window with regards to heat input and for this reason also for the cooling time ($t_{8/5}$).

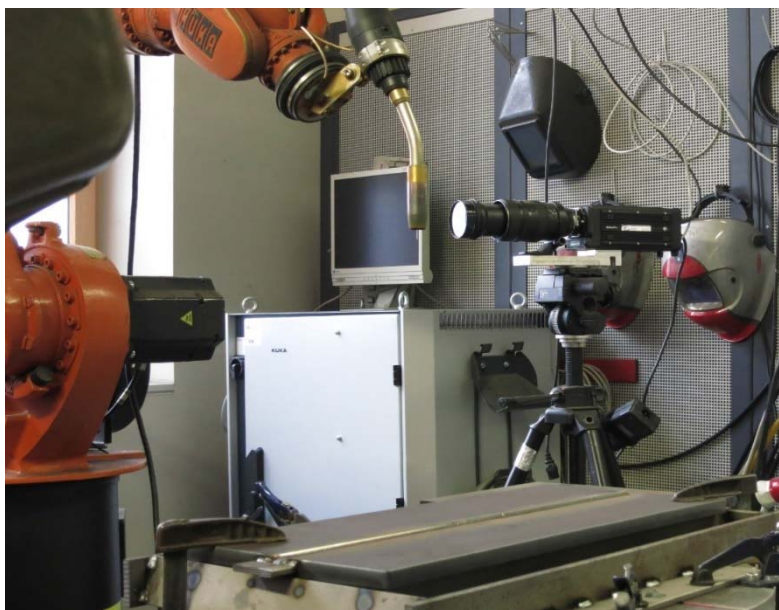
Using a modified arc process (at a comparable welding task) different mechanical properties can be expected. The LSC process for example, reduces the welding current before the short circuit brake up which leads to a lower heat input in comparison to a conventional short arc process. This effect gives lower heat input of and leads to shorter cooling time. Accordingly the strength is higher and the ductility is decreased due to a higher content of higher strength microstructure. Exists knowledge about these circumstances the welding engineer can take advantage out of that.

4. Experimental Setup

To achieve comparable welding results, a standardized welding setup was chosen. The test was welded with a ro- bot in PA position with M21 shielding gas (82% Argon / 18% CO₂). An alform plate 700 M was used for the base material. Böhler alform® 700 MC (metal cored wire) and the Böhler alform® 700 IG (solid wire) with wire diameter 1,2 mm were used as welding consumable. All weld metal and V-Joint welds were surveyed, the interpass temperature for all tests was adjusted to 150°C.

The test plates for all weld metal samples had a dimension of 500 mm x 150 mm and a thickness of 20 mm. An opening angle of 10° was used with a gap of 16 mm all edges are buffered with similar material.

For the V-joints the dimensions were 700 mm x 150 mm x 20 mm. 60° bevel angle was chosen and root gap was 2 mm, a ceramic backing was used. All test plates were welded in 6 layers, the V-joints were welded with 10 beads, the all weld metal includes 12 beads.



Picture 1:
Welding setup [Fronius International GmbH].

5. Results

5.1 Results all weld metal

The setup and the elaboration of the test samples was done according to the standard EN ISO 18276 and EN ISO 16834 – in case of joint welding with adaption to robot welding. Special emphasis was laid to use practical parameters also in regards to the repeatability of the weld metal joints. From all weld metal longitudinal tensile specimen and impact specimen were taken. The impact toughness specimen were tested from room temperature down to -40° C. Figure 3 shows the bevel preparation and the sketches the specimen in the all weld metal.

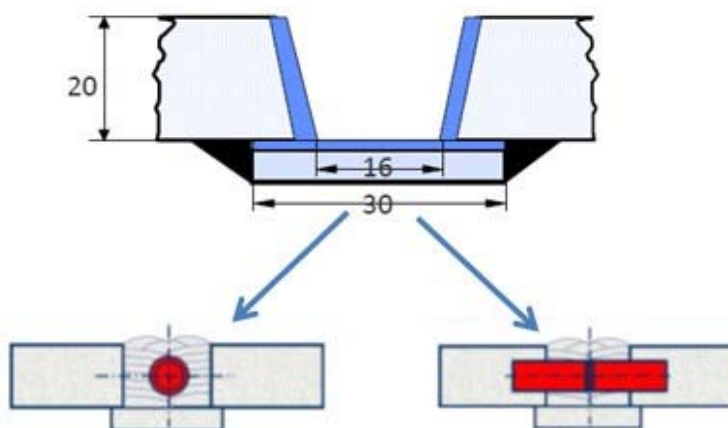


Figure 3:
Testing all weld metal.

All specimens fulfilled the minimum requirement according to the standard. Due to chemical differences between solid wire (Böhler alform® 700-IG) and metal cored wire a higher strength level is achieved with the usage of solid wires. (see table 1). The toughness values follow the common metallurgical correlation. This means higher strength leads to lower toughness values. Nevertheless tend the optimized single wire GMAW processes for both products (solid wire and metal cored wire) to result in higher toughness values in reference to the strength modification. Homogeneous welding parameter and homogeneous solidification conditions (nucleation and precipitation) might have a beneficial influence on these circumstances.

Table 1 shows the results of the tensile test in the all weld metal. It also shows the connection between welding process and heat input. For practical reasons the technical term heat input was used without calculation of thermal efficiency. In this respect the documented parameters of the power source were used for calculation. Hence a practical mode of operation was possible which is easy to follow by the user.

Due to controversial discussions about the investigation of the actual heat input, especially in regards to arc efficiency on tandem wire processes it was relinquished as well.

Process	Product	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	Heat input [kJ/mm]
Standard	alform 700-IG	763	814	1,44
	alform 700-MC	736	787	1,27
PMC	alform 700-IG	785	830	1,26
	alform 700-MC	776	817	1,22
CMT-Twin	alform 700-IG	877	926	1,11
	alform 700-MC	786	828	1,05
Time-Twin	alform 700-IG	814	857	1,26
	alform 700-MC	778	814	1,19
Puls	alform 700-IG	761	817	1,57
	alform 700-MC	726	769	1,35
LSC	alform 700-IG	767	814	1,51
	alform 700-MC	727	772	1,37

Table 1:

Yield strength, tensile strength and heat input for all weld metal test.

The better wetting ability of the metal cord wire allowed higher welding speeds which resulted in lower heat input. However the batch caused lower strength values could not be compensated. Due to its characteristic (refer chapter 2.6) the CMT Twin process provides low heat input which leads to higher strength levels.

Process	Product	Impact toughness [J]		
		+20°C	0°C	-40°C
Standard	alform 700-IG	118	113	64
	alform 700-MC	137	126	97
PMC	alform 700-IG	127	118	89
	alform 700-MC	131	124	95
CMT-Twin	alform 700-IG	82	77	69
	alform 700-MC	103	96	79
Time-Twin	alform 700-IG	130	123	98
	alform 700-MC	108	104	86
Puls	alform 700-IG	133	131	94
	alform 700-MC	142	138	98
LSC	alform 700-IG	128	116	77
	alform 700-MC	152	141	108

Table 2:

Impact toughness for all weld metal test.

Table 2 shows the results of the impact test of all weld metal. As already mentioned the higher strength (especially with the CMT- Twin process) give lower toughness values. The optimized single wire processes tend to have better toughness and strength performance.

5.2 V-joint results

The survey matrix for V-joints covers the investigation of strength values longitudinal and transverse to the welding direction, the elaboration of longitudinal and transverse tensile samples and toughness analyses in the weld metal as well as a hardness profile over the entire weld. Picture 4 shows the layer sequence and sample preparation.

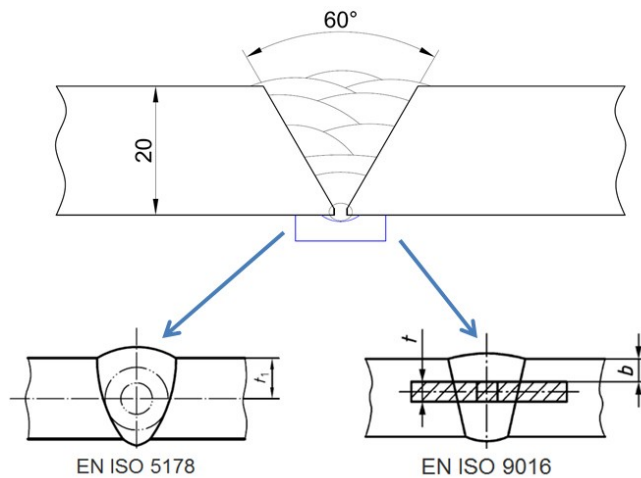


Figure 4:
Layer sequence and sample preparation for V-Joints.

The yield and tensile strength of the weld metal was investigated with longitudinal tensile samples according to the same procedure as described for the all weld metal. For the joints similar parameters with practical adaption (on layer sequence) were used. Thereby no noteworthy discrepancy occurred.

Process	Product	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	Heat input [kJ/mm]
Standard	alform 700-IG	714	872	1,32
	alform 700-MC	712	806	1,25
PMC	alform 700-IG	693	895	1,24
	alform 700-MC	751	855	1,10
CMT-Twin	alform 700-IG	833	888	0,97
	alform 700-MC	824	902	0,79
Time- Twin	alform 700-IG	798	873	1,13
	alform 700-MC	757	837	1,14
Puls	alform 700-IG	739	877	1,42
	alform 700-MC	718	818	1,26
LSC	alform 700-IG	715	854	1,38
	alform 700-MC	701	810	1,27

Table 3:
Yield strength, tensile strength and heat input for V-joints.

Table 3 shows the results of the tensile test for the V-joints. According to the already discussed difference in the layer sequence the welding speed has been slightly increased. Hence the heat input was reduced. The dilution with the base material is the critical factor which influences the mechanical properties significantly. Compared to all weld metal the heat input was lower, however the yield point was also reduced. The tensile strength followed the expected analogy according to the modified heat input. Therefore a reduction of the yield point ratio ($R_{p0,2}/R_m$) in the weld can be realized.

By the use of a matched system between base material and welding consumable (alform® welding system) optimized results can be achieved [5].

In particular the toughness values in the joint welding (besides the dilution with the base material) were mainly influenced by the layer sequence. A comparison between all weld metal and V-joints have been omitted due to the multidimensional parameter variations. Alike in the survey matrix in (table 4), an explicated correlation with the welding process is not possible. To get comparable results in this case a different testing setup with a similar layer sequence would be necessary. Essentially is that every process reached an impact toughness of 27J at -40°C.

Process	Product	Impact toughness [J]		
		+20°C	0°C	-40°C
Standard	alform 700-IG	170	156	101
	alform 700-MC	134	123	79
PMC	alform 700-IG	161	128	87
	alform 700-MC	116	107	69
CMT-Twin	alform 700-IG	128	113	90
	alform 700-MC	98	95	72
Time-Twin	alform 700-IG	127	113	74
	alform 700-MC	113	104	78
Puls	alform 700-IG	139	122	67
	alform 700-MC	137	120	80
LSC	alform 700-IG	160	141	83
	alform 700-MC	146	137	82

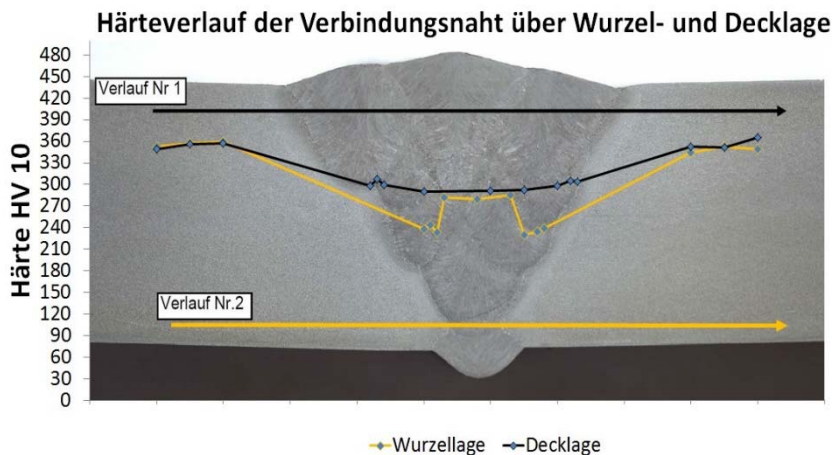
Table 4:
Impact toughness values.

Table 5 shows the evaluation of the transversal tensile strength as well of the fracture location. The fracture location depends on the lowest local stability in the weld or in the base material. In all cases the fracture strength is above 800 MPa.

Process	Product	Rm [MPa]	Fracture location GW: base material SG: all weld metal
Standard	alform 700-IG	832	GW
	alform 700-MC	816	SG
PMC	alform 700-IG	898	SG
	alform 700-MC	870	SG
CMT-Twin	alform 700-IG	858	GW
	alform 700-MC	864	GW
Time-Twin	alform 700-IG	870	GW
	alform 700-MC	838	GW
Puls	alform 700-IG	846	SG
	alform 700-MC	818	SG
LSC	alform 700-IG	818	SG
	alform 700-MC	839	SG

Table 5:
Tensile strength and fracture location of transverse tensile samples (V-joints).

Picture 5 shows the hardness profile over the weld seam. One hardness transverse was evaluated for the root – the other for the cap layer. In any case, the hardness of the weld metal was always around 280 HV10 which is below the values of the base material.



Picture 2:

Hardness profile over the weld seam -root- and cap layer for Böhler alform® 700-IG welded with the PMC process [voestalpine Böhler Welding Austria].

6. Summary and conclusions

Modern arc processes do not only simplify the handling for the welder, they also enlarge the process window to control the mechanical properties for the welding engineer. The practical “modus operandi” (without additional measuring) was a particular focus in this paper. From a welders point of view, higher welding speed with easier arc control could be achieved which effects the heat input.

Especially the V-joints which are in special focus for welding engineers show in comparison to the all weld metal an improvement for the yield point ratio. This means a lower yield point ratio value gives a higher reliability for the components.

Remarkable in this survey are the homogenous properties concerning strength and toughness by the use of modern arc processes. An improved toughness (at the same strength) can be recognized, this concludes of a homogenous solidification behaviour. Hence modern arc processes do not only provides advantages for the welder (easier handling), they also influence in a positive way the formation of the weld metal microstructure.

The well tested and proven alform® welding system can thus be used more flexible and with a high safety reliability. Modern welding power sources improve welding solutions.

References

- [1] K.-J. Matthes u. E. Richter: Schweißtechnik Schweißen von metallischen Konstruktionswerkstoffen (2008)
- [2] J. Artelsmair, J. Bruckner, J. Kazmaier: Der CMT-Prozess – Ein neuer Prozess in der Fügetechnik (2005)
- [3] F. J. Roßmann: Neue Impulse für kontrolliertes und schnelles Schweißen
- [4] B. Rutzinger: Influence of the welding process to the dilution rate, of weld overlays on unalloyed steel using the weld consumable ERNiCr- Mo3 (Alloy 625) (2014)
- [5] M. Fiedler, R. Rauch, R. Schnitzer, W. Ernst, G. Simader, J. Wagner: Alform welding system - The world's first system for high-strength welded structures. 68th IIW annual assembly & international conference, Helsinki (2015).

NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK HEGESZTÉSE

WELDING OF HIGH STRENGTH STEELS

Brtník T.,

Mika I.:

Technical Development Manager,

SSAB EMEA

tomas.brtnik@ssab.com

ivan.mika@ssab.com

A nagyobb teljesítményű acéltermékek állandó csatájában az erős és vékony győz. Szilárdabb acélra van szükség vékonyabb méretekben, hogy még erősebbé és még fenntarthatóbbá tegyék a termékeket. Ezért fejlesztettük ki a Strenx termékeket, a nagy szilárdságú, nagy teljesítményű szerkezeti acélok széles körű portfólióját.

A Strenx rendelkezik a világ egyik legszélesebb termékprogramjával, mind a rendelkezésre álló méretek, mind a 600 és 1300 MPa közötti folyáshatár-tartományt tekintve. A Strenx kiemelkedő eredményeket produkálhat az ambiciózus tervezők kezében, akik 20-30% -kal, vagy akár még többel csökkenthetik az acélszerkezetek súlyát. A Strenx segít termékeinek - és az Ön vállalkozásának - új teljesítményszintet elérni.

Ezek a modern, nagy szilárdságú acélból (AHSS) készült lemezek kevésbé vastagok, de a hagyományos acélokhöz képest nagyobb feszültségnek vannak kitéve, így használatukkor nagyobb hangsúly kerül a tervezésre. A tervezés szó szerint megalkotja - vagy meghiúsíthatja - a termék tartósságában rejlő lehetőséget.

A modern technológia lehetővé teszi új termékek kifejlesztését rövidebb idő alatt. Számítógépes eszközök gyorsították a folyamatot a koncepciótól a késztermékig. Mindazonáltal, a helyes eredmények biztosítása érdekében, minden szimulációt a megfelelő módszerekkel kell ellenőrizni.

Az AHSS acélok használatakor különösen fontos szempontok a következők:

- Szerkezeti kialakítás
- Anyag megválasztása
- Gyártási módszerek
- Hegesztés és egyéb műhelytechnikák

Ha a jelenlegi acélszerkezet működik hagyományos lágyacélokból, a Strenx acélokra való váltás ezt még jobbá teheti. Ha azonban egy radikálisabb megközelítést alkalmazunk már a kezdetektől fogva, a potenciál még nagyobb lesz. A valóságban azonban ritkán kezdünk tiszta lappal. Az előző termékek, gyártási eszközök és gyakorlatok visszatarthatnak minket. Azonban egy egészséges adag szabad gondolkodás új ötleteket, és erősebb, könnyebb és versenyképesebb termékeket eredményezhet. Strenx termékeket, ha úgy tetszik.

Acéllal dolgozni a 600-1300 MPa folyáshatár-tartományban minden bizonnyal megváltoztatja az tervezés korábbi koncepcióit. Egyes esetekben szinte olyan, mint egy teljesen új anyagot kezelni. Új ötletei támogatása érdekében fedezze fel tervezési és innovációs lehetőségeinket az SSAB Knowledge Service Center-ben. Számítógépes szimulációk segítségével virtuálisan tesztelheti az új tervezési megoldásokat, a feszültség eloszlását, fáradási körülményeket és más tervezési kritériumokat.

In the constant battle for higher-performing steel products, strong and thin win.

You need stronger steel in thinner dimensions to make products stronger yet lighter and more sustainable. That's why we developed Strenx™, our extensive portfolio of high-strength, high-performance structural steels.

Strenx has one of the world's most extensive product programmes, both in terms of dimensions available, and with yield strengths ranging from 600 to 1300 MPa. Strenx can produce outstanding results in the hands of ambitious designers who can cut 20 to 30 percent or even more weight off steel structures. Strenx helps your products — and your business — reach new levels of performance.

Because plates made from advanced high-strength steel (AHSS) are less thick but subjected to higher stress levels than conventional steels, the use of this steel places an increased focus on design. The design can literally make — or break — the potential of a long-lasting product.

Modern technology makes it possible to develop new products in a shorter time. Computer-based tools have speeded the process from concept to finished product. Still, all simulations must be verified using the appropriate methods to ensure correct results.

Particularly important points to consider when using AHSS include:

- *Structural design*
- *Choice of material*
- *Manufacturing methods*
- *Welding and other workshop techniques*

If a current design works fine with a lower strength steel, switching to Strenx steel can make it even better. However, by taking a more radical approach and starting over, the potential becomes even greater. In reality, it is seldom that we start with a blank screen. Previous products, production facilities and other practicalities have a way of holding us back. However, a healthy dose of free thinking can reveal new ideas for stronger, lighter, and more competitive products. Strenx products, if you like. Working with steel in the 600-1300 MPa range will certainly challenge some preconceptions of steel design. In some cases it is almost like handling a brand new material. To support your new ideas, you are welcome to explore our design and innovation resources at the SSAB Knowledge Service Center. New design solutions can be tested virtually with the help of computer simulations for stress distribution, fatigue conditions, and other design criteria.

SARKKÖRI VISZONYOKRA FEJLESZTETT 500 MPa FOLYÁSHATÁRÚ ACÉL FIZIKAI SZIMULÁCIÓVAL ELŐÁLLÍTOTT HŐHATÁSÖVEZETI SÁVJAINAK MECHANIKAI TULAJDONSÁGAI

MECHANICAL PROPERTIES IN THE PHYSICALLY SIMULATED HEAT-AFFECTED ZONES OF 500 MPa OFFSHORE STEEL FOR ARCTIC CONDITIONS

Tervo H., Mourujärvi J., Kaijalainen A., Kömi J.

University of Oulu, Materials and Production Engineering Unit

henri.tervo@oulu.fi

A sarkkörü viszonyokra fejlesztett acélokra egyre nagyobb igény mutatkozik a Jeges-tengeren lévő új olajmezők feltárása miatt. Ebből következően ezekre az acélokra rendkívül szigorú követelmények vonatkoznak tekintve, hogy az elvárt tulajdonságaikat igen kemény sarkkörü körülmények között is meg kell őrizniük. Ráadásul, ezeknek a követelményeknek a hegesztés miatt kialakuló hőhatásövezetben is teljesülniük kell. Jelen tanulmányban fizikai szimuláció segítségével állítottuk elő a hőhatásövezet kritikus részeit abból a célból, hogy az egyes sávok mérete elegendően széles legyen a későbbi mechanikai vizsgálatok számára.

A kísérleteknél alkalmazott sarkkörü viszonyokra fejlesztett 500 MPa folyáshatárú acélt laboratóriumi körülmények között megleghengerlésnek vetettük alá, és elemeztük az alapanyag és a hőhatásövezet tulajdonságait. Gleeble 3800 típusú fizikai szimulátort használtunk a hőhatásövezeti sávok szimulációjához. Két különböző $t_{8/5}$ hűlési időt alkalmaztunk abból a célból, hogy különböző hegesztő eljárások és a rájuk jellemző eltérő fajlagos hőbevitel hatását meg tudjuk vizsgálni. Mind az alapanyagok és mind a szimulált hőhatásövezeti sávok szövetszerkezetét szkennning elektronmikroszkóppal és lézer szkennning mikroszkóppal megvizsgáltuk. Charpy-féle ütésvizsgálat segítségével jellemeztük az alapanyagok és a hőhatásövezet szívósságát, valamint meghatároztuk a keménység eloszlást.

Az alapanyag alapvetően ferrites szerkezetűnek mutatkozott, amelyben kis mértékben tús bénites szövet is megtalálható volt. Az interkritikus hőhatásövezetben kis mértékű szövetszerkezeti változás volt megfigyelhető, miközben a szimulált durvaszemcsés sávban az ausztenit szemcsék mérete megnövekedett és az átalakulás során alapvetően tús szerkezetű bénit, a $t_{8/5} = 6$ s hűlési idő esetén pedig martenzit is megfigyelhető volt. A hegesztett kötés szívóssága szempontjából a durvaszemcsés sáv mutatkozott kritikusnak, miközben az interkritikus hőhatásövezet szívóssága érdemben nem különbözött az alapanyagétól. A durvaszemcsés sáv szívóssága $t_{8/5} = 30$ s hűlési időnél kisebb volt mint $t_{8/5} = 6$ s esetén jelezve azt, hogy a kisebb fajlagos hőbevitellel történő hegesztés kedvezőbbnek bizonyul a vizsgált anyagminőségénél.

Offshore steels for the arctic conditions have an increasing demand due to the opening of new oil fields in the Arctic Ocean. However, the requirements for these steels are extremely tough, as they need to maintain the desired properties in harsh arctic conditions. Additionally, these requirements need to be achieved also in heat-affected zones caused by the welding. In this study the heat-affected zones were created using the physical simulation, so that the zones would be wide enough for reliable mechanical testing.

Experimental cast of a 500 MPa offshore steel for the arctic conditions was hot rolled in the laboratory hot rolling mill and studied to find out the mechanical properties of the base metal as well as the physically simulated heat-affected zones. Gleeble 3800 was used for simulation of heat-affected zones. Two different cooling times from 800 °C to 500 °C ($t_{8/5}$) were used in order to simulate two different welding methods with different heat inputs. Microstructure of both base materials and simulated heat-affected zones were studied using scanning electron microscope and laser scanning confocal microscope. Charpy V-notch impact toughness and hardness profiles were determined of both base material and simulated heat-affected zones.

The base metal microstructure was ferritic with some lath-like bainitic features. Minor changes were noted in the microstructure of physically simulated inter-critical heat-affected zone (ICHAZ), while in physically simulated coarse grained heat-affected zone (CGHAZ) the prior austenite grains had coarsened and the transformation microstructure consisted of lath-like features of bainite and in case of a shorter $t_{8/5}$ of 6 s, even martensite. It was found out that the critical location regarding the impact toughness in arctic temperatures was found out to be CGHAZ, while the impact toughness of ICHAZ did not differ remarkably from that of the base material. The CGHAZ impact toughness was weaker with $t_{8/5} = 30$ s than with $t_{8/5} = 6$ s indicating that lower heat input welding methods are more beneficial for this material.

NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK ÉS HEGESZTETT KÖTÉSEIK HATÁRGÖRBÉI FÁRADÁSOS REPEDÉSTERJEDÉSRE, KÉT SZAKASZRA OSZTOTT KAPCSOLAT ALAPJÁN

FATIGUE CRACK PROPAGATION LIMIT CURVES FOR HIGH STRENGTH STEELS AND THEIR WELDED JOINTS BASED ON TWO STAGE RELATIONSHIP

Lukács János

egyetemi tanár

Miskolci Egyetem

Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

3515, Miskolc-Egyetemváros

metluk@uni-miskolc.hu

Napjainkban a nagyszilárdságú acélok széles körben alkalmazzák a különböző hegesztett szerkezetekben (keretek, hidak, csővezetékek stb.). Az alapanyaggyártók újabb típusú és szilárdsági kategóriájú acélokat fejlesztettek ki, amelyek kedvezőbb szívóssági és hegeszthetőségi tulajdonságokkal rendelkeznek. A nemesített nagyszilárdságú acélok (Q+T) mindig a legnagyobb szilárdsági kategóriákat képviselték, ugyanakkor a termomechanikusan kezelt acélok (M) esetében is elérhető ma már a 960 MPa-os szilárdsági kategória. A nagyszilárdságú acélok hegeszthetősége általánosságban összetettebb feladat, mint a közepes szilárdságú acéloké, köszönhetően a nagyobb hidegrepedés érzékenységnek, a kisebb szívóssági és szilárdsági jellemzőknek a hőhatásóvezetben, illetve a hozaganyag-alapanyag párosítás nehézségének. Mivel a növelt szilárdsági jellemzők legelőnyösebben a különböző nehéz munkagépek esetében (például: traktorok, mobildaruk, markolók, mezőgazdasági gépek) használhatók ki, ahol jelentős energia megtakarítás nyerhető, a leggyakrabban jelentkező igénybevételek ismétlődő jellegűek. Továbbá, az ismétlődő igénybevételek mellett, az acélok nagyobb hegesztési repedésérzékenységevel is számolni kell. Ezen okok miatt a fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállás vizsgálata ezen acélok és az azokból készült szerkezetek esetében igen fontos.

A fáradásos repedésterjedés határdiagramjaira, illetve a repedés terjedésének becslésére számos előírás vonatkozik. A leggyakrabban alkalmazott összefüggés az egyszerű Paris-Erdogan törvény, a nagyszilárdságú acélok fáradásos repedésterjedése azonban ettől eltérő viselkedést mutat. Ezért a kutatómunka célkitűzése fáradásos repedésterjedésre érvényes határdiagramok meghatározása volt, S960QL és S960M alapanyagokra, illetve hegesztett kötéseikre, két szakaszra osztott kapcsolat alapján. A hegesztett kötések 15 mm falvastagságú lemezekben készültek, X varratos kialakítással, többsoros felépítéssel, hegesztő szekátor és folyamattfelügyelő rendszer alkalmazására mellett. A fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatokhoz a próbatesteket párhuzamosan, illetve merőlegesen munkáltuk ki a meghatározó irányokhoz képest, mind az alapanyagok, mind a hegesztett kötések esetén. Ennek megfelelően, a terjedő repedések a valóságos repedések lehetséges helyzeit adták meg. A vizsgálatokat állandó terhelés amplitúdóra vezéreltük, a terjedő repedés méretét optikai és compliance módszerrel mértük. A kiértékelésre, a repedésterjedési adatok számítását követően, hat lépésben került sor, a határgörbék egyes szakaszainak meghatározása pedig statisztikai módszerekkel történt.

Nowadays there is an extended application of high strength steels in a wide range of welded structures (frames, bridges, pipelines etc.). New generations and strength categories of high strength steels with better toughness and weldability properties have been recently developed by the steel producers. Up to now quenched and tempered (Q+T) steels have belonged to the highest strength categories of structural steels, although thermomechanical steels (M) have already been available in the 960 MPa yield strength category. The weldability of the high strength steels is generally more complicated than mild steels due to the risk of cold cracking, the decrease of toughness and strength properties in the heat-affected zones and the limited filler material selection attached to the mismatch effect. Because the outstanding strength properties can be primarily utilized in mobile structures (e.g. trucks, mobile cranes, agricultural vehicles) where significant energy saving can be achieved with their application, cyclic loading can often occur among the various loading conditions. Furthermore, the cyclic loading can attach to the higher crack sensitivity of the material. Due to the above mentioned reasons, the analysis of fatigue crack growth resistance is relevant in terms of these steel groups and structures.

There are different prescriptions containing fatigue crack propagation limit curves and rules for the prediction of the crack growth. The most frequently used relationship for different materials is the one stage relationship, the Paris-Erdogan law. Since the crack propagation in these steels has another characteristics, the research work aimed to determine fatigue crack propagation limit curves for S960QL and S960M steels and their welded joints, based on two stage relationship. Welding experiments were performed on 15 mm thick plates, where X-groove multipass welds were made. Welding carriage and a monitoring system were used during the welding process. For the fatigue crack growth investigations, the specimens were cut parallel and perpendicular to the characteristic directions of the base materials and the welded joints; therefore, the propagating cracks represent the different possible locations of the real cracks in the structural elements. Fatigue crack growth tests were executed by constant load amplitude method, and the propagating cracks were measured by optical and compliance methods. The evaluation process consists of six steps, and by means of the selected values a statistical method can be proposed for determination of the different parts of the fatigue crack propagation limit curves.

A HOZAGANYAG-VÁLASZTÁS HATÁSA A NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK ÉS HEGESZTETT KÖTÉSEIK NAGYCIKLUSÚ FÁRADÁSSAL SZEMBENI ELLENÁLLÁSÁRA

MISMATCH EFFECT INFLUENCE ON THE HCF RESISTANCE OF HIGH STRENGTH STEELS AND THEIR GMA WELDED JOINTS

Haidar Faisal Helal Mobark¹, Ádám Dobosy², János Lukács³

¹ PhD hallgató

² IWE/EWE, adjunktus

³ egyetemi tanár

Miskolci Egyetem, Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet
3515, Miskolc-Egyetemváros

Napjainkban a nagyszilárdságú acélok jelentős szerepet töltenek be a különböző szerkezetekben, különös tekintettel a járműiparra. A fejlesztések, válaszolva az alkalmazási igényekre, kimagasló tulajdonságú anyagokat eredményeztek, amelyeknél a nagy szilárdság mellett elfogadható alakváltozó képességgel is számolhatunk. Tekintettel arra, hogy ezen szerkezetek terhelése igen gyakran ismétlődő jellegű, így a jellemző károsodás mód a fáradás. A meghatározó gyártástechnológia a hegesztés, ezen belül az iv-, illetve az ellenállás-hegesztés, így a gyártás során hőhatással és/vagy mechanikai igénybevétellel kell számolni. A kutatómunka célja olyan tervezési határgörbék meghatározása, amelyek alkalmasak a nagyszilárdságú vastaglemezek és hegesztett kötéseik nagyciklusú fáradással szembeni ellenállásának leírására.

Ívhegesztések esetén a megfelelő hozaganyag megválasztása, alapanyaggal való párosítása (matching) összetett feladat. A napjainkban alkalmazott legnagyobb szilárdságú acélok esetén még nem állnak rendelkezésre egyenszilárdságú hozaganyagok; ugyanakkor vannak esetek, szilárdsági kategóriák, amikor a kisebb szilárdságú, undermatched hozaganyag használata lehet előnyös. Ilyen alapanyag-hozaganyag párosítás esetén általában a hegesztett kötés jóval ellenállóbb a gyártásból adódó repedésekkel szemben. A kisebb szilárdságú varratfém nagyobb alakváltozó képessége, illetve a kisebb maradó feszültségek együttesen csökkentik a réteges tépődés kialakulásának veszélyét.

Nagyciklusú fárasztó (HCF) vizsgálatokat végeztünk két különböző szilárdsági kategóriájú (S690 és S960) nagyszilárdságú acélon, nemesített (Q+T) és termomechanikusan kezelt (TM) állapotban, alapanyagokból és hegesztett kötéseikből kimunkált próbatesteken, különböző alapanyag-hozaganyag párosítások esetén. Az alapanyagok és a hegesztett kötések vizsgálata során nyert adatokat elemeztük és értékeltük. Statisztikus szemléletet alkalmaztunk mind a vizsgálatok tervezése, mind azok kiértékelése során, így a kapott eredmények megbízhatóságát növelni tudtuk. A nagyciklusú fáradásra vonatkozó tervezési határgörbék paramétereit japán előírás (JSME) szellemében határoztuk meg, ami eredetileg 14 próbatest vizsgálatán alapul. Jelen cikkben közöljük és értékeljük a kapott eredményeket, összevetve azokat különböző irodalmi adatokkal.

Nowadays, the high strength steels play a determining role among the structural applications, especially in the automotive industry. The material innovations, responding to requirements of applications, result in a combination of characteristics, where the increased (high) strength occurs in conjunction with the acceptable (lower) formability. The loading of these engineering structures is often cyclic loading, therefore the typical failure type is the fatigue. The characteristic manufacturing process is the welding, both the fusion and the resistance welding, therefore these structures are influenced heat and/or mechanical effect. The objective of our research work is to determine high cycle fatigue design curves, which are suitable for the description of the fatigue resistance of the modern heavy plate thickness high strength steels and their gas metal arc (GMA) welded joints.

In the case of fusion welding, the appropriate matching of the base and the filler metal (mismatch effect) is a complex work, where strength matching is the most general aspect. Nowadays, there are advanced high strength steels that could not be welded by matching filler metal according to our knowledge. However, there are special cases and steel categories when undermatched filler metals can be advantageous. When undermatched weld metal can be used, the welded joint is typically more resistant to fabrication-related cracking. The increased ductility of the lower strength weld metal and the reduction in residual stresses can reduce lamellar tearing tendencies as well.

High cycle fatigue (HCF) tests were performed on two strength categories (S690 and S960) of high strength steels, on quenched and tempered (Q+T), and on thermomechanical (TM) types, on base materials and their welded joints, and on different mismatch conditions (matching, undermatching, overmatching). Measured and analysed data from base materials and welded joints investigations were compared and discussed. Statistical approach was applied during both the preparation and the evaluation of the experiments, which have been allowed of the expansion of the results and increasing of their reliability. The parameters of the high cycle fatigue design curves were calculated based on the Japanese (JSME) testing method, which uses 14 specimens. The article presents and evaluates our results, comparing with each other and with literary data.

CR-NI ÉS CR-MN ÖTVÖZÉSŰ AUSZTENITES KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK MIG-HEGESZTÉSE ÉS ÍV- HEGESZTŐFORRASZTÁSA

MIG WELDING AND MIG BRAZING OF CR-NI AND CR-MN ALLOYED AUSTENITIC STAINLESS STEEL GRADES

Kalácska Eszter¹, Varbai Balázs¹, Májlinger Kornél^{1,2}

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műegyetem rakpart 3,
H-1111 Budapest, Magyarország

² welding@att.bme.hu

Összefoglaló. Korróziós tulajdonságait tekintve az ausztenites acélok kiemelkedő tulajdonságokkal rendelkeznek. Az egyik fő ötvöző (nikkel) árának ingadozása miatt a gyártók igyekeznek kiváltani ezt az ötvözőt, többek között mangánnal. Ennek eredményeképp stabilizálható és csökkenthető az acélok ára. Jelenleg a Cr-Mn ötvözésű anyagok inkább Ázsiában elterjedtek, de előreláthatólag Európában is nagyobb teret nyernek a közeljövőben.

Ezen okból kifolyólag jelenlegi munkánkban a Cr-Mn ötvözésű ausztenites acélok hegesztéstechnológiájának egyes aspektusait tanulmányoztuk. Az ausztenites acélok szilárdsága kisebb a többi korrózióálló acélhoz viszonyítva, de ez 0,1–0,3 m% nitrogén ötvözéssel növelhető. Kutatásunk során két Cr-Mn ötvözésű, N-nel növelt folyáshatárú ausztenites acélt (1.4371 és 1.4376), valamint egy N-nel növelt szilárdságú, Cr-Ni ötvözésű (1.4318) és egy hagyományos Cr-Ni ötvözésű ausztenites acél kötéstéchnológiáját vizsgáltuk.

A kötésekhez felhasznált acéllemezek vastagsága 1,92 és 2,28 mm között változott konkrét anyagminőségtől függően. Homogén és vegyes kötések hoztunk létre MIG-hegesztéssel tömör huzalelektrodával és ív-hegesztőforrasztással.

A varratok tulajdonságait szakítóvizsgálatok, keménységmérések és metallográfiai vizsgálatok segítségével értékeltük ki miszerint az egyes anyagminőségek igen eltérő viselkedést mutattak.

A legnagyobb mértékű szemcsedurvulást például az 1.4371-es és az 1.4318-as jelű acél szenvedte el, ezeket követték az 1.4376-os és 1.4301-es anyagminőségek. A hegesztett kötések szakítószilárdsága 600–670 MPa között változott, nyúlásuk 13–25% között ingadozott. A legnagyobb szakítószilárdság az 1.4371-es acéllal kötött kombinációkban volt elérhető míg nyúlásuk jelentősen kisebb volt a többi anyagminőséghez viszonyítva. A varratfém és a hőhatásövezet keménysége az alapanyagok Mn-tartalmának növekedésével nőtt.

Kulcsszavak: Cr-Mn ötvözésű ausztenites korrózióálló acél, nagyszilárdságú ausztenites korrózióálló acél, MIG-hegesztés, ív-hegesztőforrasztás

Abstract. Regarding the corrosion properties, the austenitic stainless steel grades have outstanding properties. The price fluctuations and increment of the one of the main alloying element (nickel) the steel manufacturers decrease its content with manganese alloying. As result of this substitution the steels variable costs can be stabilised and lowered. The Cr-Mn alloyed austenitic steels are more widespread in the Asian countries, but in the foreseeable future their application can extend in the European region as well.

Therefore several aspects of the weldability of different Cr-Mn alloyed high strength austenitic steel grades is investigated in our present work.

The tensile strength of the austenitic steels are low compared to other stainless steel grades, but it can be increased with the alloying of 0.1–0.3 m% nitrogen. In our experiments two Cr-Mn alloyed high strength (+N alloying) austenitic steel grades (1.4371 and 1.4376) and as comparison; Cr-Ni alloyed high strength (1.4318) and normal strength (1.4301) austenitic steel grades were used. Similar and dissimilar joints were made with MIG (metal inert gas) welding and MIG brazing. The thickness of the investigated sheets varied between 1.92 and 2.28 mm.

The produced joints were evaluated according to their tensile- hardness- and metallographic properties. The different steel grades showed quite different behaviour regarding the mechanical and microstructural properties.

The largest grain coarsening occurred in the 1.4371 and 1.4318 sheets, followed by the 1.4376 and 1.4301 grades. The ultimate tensile strength of the joints varied between; 600-670 MPa and the fracture elongations ($A_{11.3}$) between 13–25 %. The joints with the 1.4371 steel grade showed the highest tensile strength, meanwhile its elongation was the lowest compared to the other grades. The hardness values in the weld metal and the heat affected zone increased parallel to the increasing Mn-content of the base metal sheets.

Keywords: Cr-Mn austenitic stainless steel; High strength austenitic stainless steel; MIG welding; MIG brazing

AA7075 ALUMÍNIUMÖTVÖZET ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTHETŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

RESISTANCE SPOT WELDING OF AA7075 ALUMINIUM ALLOY

Dobosy Ádám¹, Gáspár Marcell², Török Imre³

^{1, 2} IWE/EWE, adjunktus

³ c. egyetemi tanár

Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

3515, Miskolc-Egyetemváros

metda@uni-miskolc.hu, gasparm@uni-miskolc.hu, metti@uni-miskolc.hu,

A nagyszilárdságú alumínium ötvözetek új generációját egyre szélesebb körben alkalmazzák az autópárhánban. Az AA7075 (AlZn5,5MgCu) alumíniumötvözet, amelyet egyre gyakrabban alkalmaznak elsöndleges ötvözője a cink. Szilárdsága kiemelkedö, nagysága összemérhető több acélcsoporttal is. Jó fáradási jellemzőkkel rendelkezik, ugyanakkor a megmunkálhatósága átlagos, továbbá a korrózióval szembeni ellenállása rosszabb a többi alumínium ötvözethez viszonyítva. T6-os kezeltégi állapotban maximális szakítószilárdsága 510 – 540 MPa, folyáshatára pedig 430 – 480 MPa. Ennek megfelelően ezek az ötvözetek alternatívát jelenthetnek a nagyszilárdságú acélok mellett autó karosszériák esetében. A T6 állapot eléréséhez első lépésben egy 450 °C hőmérsékletű homogenizáló hőkezelést alkalmaznak több órán keresztül, ezt követi egy edzés majd egy mesterséges öregítéses 120 °C-on 24 órán keresztül. A kiemelkedő szilárdságot a diszperz eloszlású kiválások okozzák a szemcséken belül, illetve a szemcsehatárokon. A nagy szilárdság mellett ezen ötvözetek kis alakváltozó képességgel rendelkeznek, nyúlásuk jellemzően 5 és 11% közötti. Ez egyértelmű hátrányt jelent karosszéria elemek gyártása esetén. Éppen ezért kiemelkedő jelentősége van a legújabb alakadó technológiáknak, mint például a HFQ eljárásnak, amely a megalakítás és edzés technológiai folyamatát kapcsolja össze egyetlen lépésben. A korlátozott alakváltozó képesség mellett a hegeszthetőségi jellemzői sem kedvezöek ezeknek az ötvözeteknek. A felületi oxidréteg jelenléte, valamint a heglencse és a hőhatásövezet kilágyulása hegesztés során összetett hegesztéstechnológiát igényel.

Jelen kutatás célja ezen alumínium ötvözet hegeszthetőségi jellemzőinek vizsgálata ellenállás-ponthegesztés esetén. A kísérleteket 1 mm vastagságú AA7075 alumíniumlemezeken végeztük T6 hőkezeltégi állapotban. Tecna 8007 ellenállás-hegesztő berendezést alkalmaztunk, TE 550 vezérlőegységgel, amelyet utánnyomás alkalmazására alkalmas kiegészítéssel láttunk el. Az elkészült kötéseket optikai mikroszkópos vizsgálattal, nyíró-szakító vizsgálattal, valamint keménységméréssel ellenőriztük.

New generations of high strength aluminium alloys are spreadly used in automotive industry. AA7075 (AlZn5.5MgCu) is an aluminium alloy with zinc as the primary alloying element. It is strong, with a strength comparable to many steels and has good fatigue strength and average machinability, however it has lower resistance to corrosion than many other aluminium alloys. In T6 tempered condition this grade has an ultimate strength of 510-540 MPa and yield strength at least 430-480 MPa. Therefore 7075 may have a relevant competitor of high strength steels in car-body. The T6 temper is usually achieved by homogenizing the alloy at 450 °C for several hours, quenching and then aging at 120 °C for 24 hours. The strength is derived mainly from finely dispersed precipitates both within grains and along grain boundaries. However the 7075 has outstanding strength properties the elongation is limited between 5 and 11%. This means an obstacle when this alloy is aimed to use in car body elements. Therefore the new forming technologies, like hot forming and quenching (HFQ) is in the focus of researchers. Besides the limited formability properties the weldability of this alloy is also a challenge. The presence of oxide layer and the weld nugget and the heat-affected zone (HAZ) softening due to the welding heat input should be considered when the welding technology is determined.

The goal of the present research work is to analyse the weldability of this alloy through resistance spot welding (RSW) tests. Experiments are performed on 1 mm thick AA7075 sheets in T6 condition and the welding lobe was determined for constant welding current. A Tecna 8007 RSW equipment with a TE 550 control unit was used, which has been recently developed with a tool for the application of post pressing force. The spot welded joints were examined by optical microscope, tensile-shear and hardness tests.

AZ OLDÓ IZZÍTÁS ÉS AZ ÖREGÍTÉS HATÁSA 6082 ALUMÍNIUM ÖTVÖZET ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSÉRE

THE EFFECT OF SOLUTION ANNEALING AND AGEING DURING THE RSW OF 6082 ALUMINIUM ALLOY

Gáspár Marcell¹, Tervo Henri², Kaijalainen Antti³, Dobosy Ádám⁴,
Török Imre⁵

¹ University of Miskolc, Institute of Materials Science and Technology, senior lecturer

² University of Oulu, Materials and Production Engineering Unit, PhD student

³ University of Oulu, Materials and Production Engineering Unit, Postdoctoral researcher

⁴ University of Miskolc, Institute of Materials Science and Technology, senior lecturer

⁵ University of Miskolc, Institute of Materials Science and Technology, associate professor

gasparm@uni-miskolc.hu¹, henri.tervo@oulu.fi², metda@uni-miskolc.hu⁴,
metti@uni-miskolc.hu⁵

Az autóiparban növekvő igény mutatkozik a nagyszilárdságú alumínium ötvözetek alkalmazására. Az alumínium ötvözetek széleskörű felhasználásának napjainkban még gátat szab korlátozott alakíthatóságuk és hegeszthetőségük, annak ellenére, hogy alkalmazásukkal a személygépkocsik sajáttömegének jelentős csökkenését lehetne elérni. A melegalakításból és a szerszámban történő edzésből álló HFQ eljárás új lehetőséget jelent a nagyszilárdságú alumínium karosszéria lemezek alakítására. A HFQ eljárás során a lemezalakítás úgy történik, hogy az ötvözet oldó izzított (lágy) állapotban van, amelyhez kedvezőbb alakíthatósági jellemzők társulnak. Az alakító eljárást a kiválósos keményítésből álló öregítő hőkezelés követi abból a célból, hogy az alumínium ötvözet elérje az elvárt mechanikai tulajdonságokat. Ezt az autóiparban igyekeznek összekapcsolni a karosszéria elemek festésével, amely szintén növelt hőmérsékleten történik. A HFQ eljárás ipari bevezetése a lemezalakítás mellett a hegeszthetőségi tulajdonságokra is hatással van. A HFQ eljárás az alumínium karosszéria lemezek ellenállás ponthegeztésére is hatással van, mivel a kötéstechológiák a technológiai sor közepén, azaz az oldó izzítás után, de még az öregítés előtt helyezkednek el, amikor a lemezek még lágyított és melegalakított állapotban vannak. A ponthegeztett kötések végső mechanikai tulajdonságait ebben az esetben a hegesztést követő kiválósos keményítés határozza meg. A jelen kutatómunka célja a HFQ eljárás ellenállás ponthegeztésre gyakorolt hatásának vizsgálata az AA6082-T6 ötvözet esetén. A ponthegeztett kötések tulajdonságait különböző állapotban vizsgáltuk meg (T6 állapot, lágyított állapot, kiválósosan keményített állapot). Az anyagvizsgálatok során makro-, keménység- és nyírószakító vizsgálatokat, valamint elektronsugaras mikroanalízist (EDS) és visszaszórt elektrondiffrakciós (EBSD) vizsgálatokat végeztünk, amelyek segítségével az ötvöző elemek eloszlását és a szemcseszerkezet változását elemeztük a ponthegeztett kötésekben.

Kulcsszavak: ellenállás ponthegeztés, AA6082, alumínium ötvözet, HFQ eljárás, EDS, EBSD

In the automotive industry there is a growing tendency for the application of high strength aluminium alloys. In spite of their significant role in weight reduction there are still obstacles for their wider use due to their limited formability and weldability. Hot forming and in-die quenching (HFQ) process was recently developed for the forming of car body sheets. During the HFQ technology the sheet metal forming should be performed in a solution annealed condition. In the solution annealed condition the aluminium alloys have lower strength and better formability properties. The forming process is followed by a precipitation hardening which is generally connected with the painting of body parts (bake hardening). Besides the formability the implementation of HFQ has an effect on the weldability properties, too. HFQ must have an effect on the resistance spot welding (RSW) of aluminium sheets since the weld nuggets are produced after the HFQ, in the assembly part of the production chain, when the aluminium alloy is in a solution annealed and formed condition. The final properties of the welded joints are determined by the precipitation hardening which is the final step of the whole production process. The present research work aims to investigate the effect of the HFQ process on the weldability of AA6082-T6 aluminium alloy. The properties of the RSW joints are examined in different conditions (T6 delivery condition, solution annealed, precipitation aged). The materials tests include conventional macro testing, hardness tests and tensile-shear tests extended with EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) and EBSD (Electron Backscatter Diffraction) tests in order to characterize the distribution of alloying elements and to analyze the grain structure.

Keywords: Resistance Spot Welding (RSW), AA6082, aluminium alloy, hot forming and in-die quenching (HFQ), EDS-mapping, EBSD test

ULTRAHANGOS HEGESZTÉS HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA A SZÖVETSZERKEZETRE ALUMÍNIUM LEMEZEKNÉL

INVESTIGATION OF THE ULTRASOUND WELDING EFFECT IN CASE OF ALUMINIUM SHEET WELDING

Kovács Tünde

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

kovacs.tunde@bgtk.uni-obuda.hu

Az ultrahangos hegesztés egy speciális hegesztési technológia. Általában a hidegen hengerelt vékony lemezek kötéstecnológiájában alkalmazzák. A kötést a nagyfrekvenciás ultrahang és az összeszorító erő együttes hatása hozza létre. A hegesztés során hő képződik. Ez a hő nem elegendő a lemez anyagának megolvasztásához, de meghaladja az alkalmazott hidegen hengerelt lemez újrakristályosodási hőmérsékletét ezzel a mikroszerkezet megváltozását okozza. A kialakuló újrakristályosodott szerkezet szemcseméretét és a szemcsék alakját a lemez gyártása során végrehajtott hidegalakítás is befolyásolja.

Kutatás célja, kapcsolatot találni a hegesztett kötésben kialakuló szemcseméret és az alkalmazott ultrahangos hegesztési paraméterek között.

The ultrasound welding is a special welding technology. Usually use in case of cold rolled sheets. This technology use ultrasound and pressure to establish a welded joint. During the joining it can detect some heat. This heat isn't enough to melt the materials but it effects recrystallization of the used cold rolled metal. The grain size and geometry depend on the used parameters and the level of the used sheet shaping estate. The goal of this work to find the relationship between the welded joint grainsize and the used parameters of the ultrasound welding.

ELTÉRŐ MINŐSÉGŰ DP/S235 ACÉLOK ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSÉNEK HATÁSÁRA LÉTREJÖVŐ FÁZISÁTALAKULÁSOK ÉS KIALAKULÓ MECHANIKAI TULAJDONSÁGOK

DISSIMILAR SPOT WELDING OF DUAL PHASE STEEL / LOW CARBON STEEL: PHASE TRANSFORMATIONS AND MECHANICAL PROPERTIES

Jaber Hassanen¹, Kovács Tünde²

Óbudai Egyetem

1 Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola

2 Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

kovacs.tunde@bvk.uni-obuda.hu

A különböző acélminőségek ponthegeztése során az alapanyagok mechanikai tulajdonságai megváltoznak a hegesztett pont és a hőhatás övezeti zónában. Mivel a duál fázisú (DP) acélok a karbontartalm miatt edződésre hajlamosak ezért komplex szövetszerkezet (bénit, martenzit, perlit, ferrit) kialakulására lehet számítani az ausztenites hőmérsékletet elért részekben. A mikroszerkezet megváltozása mellett a mechanikai tulajdonságok is változnak, a keménység növekedés igen jól mutatja ezt.

Különböző minőségű acélok hegeztése során a különböző kémiai összetételű acéloknál ez eltérő hatású.

Metallurgical characterization, failure mode transition and mechanical properties in dissimilar resistance spot welds of advance high strength steel and low carbon steel are analyzed. It was found that the fusion zone microstructure exhibits a complex microstructure of bainite, martensite, perlite and ferrite. The peak hardness in the heat affected zone of advance high strength steel was greater than fusion zone hardness due to the higher hardenability of advance high strength steel compared to fusion zone. Dissimilar advance high strength steel / low carbon steel spot welds show the highest trend to fail in pullout failure mode with good mechanical properties. Effects of weld microstructure and fusion zone size on mechanical properties dissimilar advance high strength steel / low carbon steel spot welds are analysed.

CINK BEVONATÚ NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK ÍVHEGESZTÉSE

ARC WELDING OF ZINC COATED HIGH STRENGTH STEELS

Pogonyi Tibor¹, Palotás Béla², Bakos Levente³

Dunaújvárosi Egyetem

pogonyit@uniduna.hu

Tartalmi kivonat Az autóiparban a korszerű nagyszilárdságú acélokat (például DP, CP, TRIP, TWIP) használják általában különböző karosszéria és alváz elemekben. Az autógyártásban az ívhegesztési eljárások általánosan használt kötési technológiák. A hagyományos hegesztési technológiák alkalmazásakor problémák merülnek fel. A bevonatos (galvanizált) lemezek bevonata megsérül a hagyományos hegesztések alkalmazásakor. A sérülés következménye korrózió és extra karbantartási terheket okoz. Ennek a problémának a megoldására kis fajlagos hőbevitelű eljárás változatokat lehet alkalmazni. Ezek lehetnek például a Cold-Arc, SpeedARC, force-Arc, CMT, Cold Weld, microMIG, microMIG-cc és további korszerű hegesztési eljárások. Ezek az eljárások a szabályozott rövidzárlatos anyagátmenetű eljárások. A Cold Weld, a microMIG és microMIG-cc eljárások szintén használhatók. A microMIG-cc és a Cold Weld eljárások jól alkalmazhatók bevonatos lemezekhez. Ez a dokumentum leírja ezeknek a lemezeknek a hegesztési lehetőségeit úgy, hogy a bevonat ne sérüljön a varrattal ellentétes oldalon.

Abstract In the automotive industry advanced high strength steels (for example: DP, CP, TRIP, TWIP) are used for different applications on the body or on the chassis. The most commonly used jointing technologies in the automotive production are the arc welding processes. By using conventional welding technologies problems can occur. Using conventional welding on coated (galvanized) plates usually damages the coating. The consequence of this damage will be corrosion and extra maintenance costs. To solve this problem low heat-input process variants can be applied. They can be e.g. Cold-Arc, SpeedARC, forceArc, CMT, Cold Weld, microMIG, microMIG-cc, and other advanced welding processes. These are controlled short circuit material transition processes. We investigated the Cold Weld, microMIG and microMIG-cc processes when welding zinc coated high strength steel plates. The microMIG-cc and Cold Weld processes were found well applicable for the coated plates. This paper describes those welding possibilities of these plates which will not be damaged the coating on the other side of the weld.

TERMoeLEKTROMOS ERŐ MÉRÉSE DUPLEX KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉL HEGESZTETT VARRATAIN

THERMOELECTRIC POWER MEASUREMENTS ON DUPLEX STAINLESS STEEL WELDMENTS

Varbai Balázs^{1,2}, Májlinger Kornél¹

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műegyetem rakpart 3,
H-1111 Budapest, Magyarország

²varbai@eik.bme.hu

Összefoglaló. Munkánk során volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztési eljárással hegesztési varratokat készítettünk 2 mm vastag UNS S32205 (EN 1.4462) duplex korrózióálló acél lemezekre, hozaganyag nélkül, különböző védőgázokkal. Védőgázként tiszta argont és argon + nitrogén keverékeit használtunk (argon + 2 térf. %, + 5 térf. % és +10 térf. % nitrogén tartalmú gázkeverékeket). A hegesztett varratok Gleeble®1500 thermomechanikus szimulátorban kerültek újrahevítésre, 1250°C csúcshőmérséklettel, argon atmoszférában. Mind hegesztett állapotban, mind újrahevítés után mértük az ausztenit fázisarányát, a teljes oldott nitrogéntartalmat és a termoelektromos erő értékét.

A védőgáz nitrogéntartalmának növelésével a varratfém ausztenittartalma növekedett, valamint a varratfém nitrogéntartalma is növekedett. Tiszta argonban történő szilárd állapotú újrahevítés után a minták varratfémeinek ausztenittartalma nőtt viszont nitrogéntartalmuk csökkent.

A védőgáz nitrogéntartalmának növelésével a varratfémen mért termoelektromos erő csökkent. Újrahevítés után is megmaradt ez a trend, de jóval kisebb hatás volt mérhető.

Kísérletet tettünk a teljes oldott és az intersticiós helyet elfoglaló nitrogén atomok megkülönböztetésére.

Jelen munkánk egy kutatási projekt része, mely a nitrogén szerepének megértése irányul duplex korrózióálló acélok hegesztésekor.

Abstract. In our research bead-on-plate autogenous, tungsten inert gas (TIG) welds were made on 2 mm thick UNS S32205 (EN 1.4462) duplex stainless steel sheets using different shielding gases. Pure argon, and argon + nitrogen shielding gas mixtures – with Ar + 2 vol.% N₂, + 5 vol.% N₂ and + 10 vol. % N₂ nitrogen content – were used. The welds were reheated in argon atmosphere up to 1250°C peak temperature, using Gleeble®1500 thermomechanical simulator. Both in the as-welded and in the reheated state the austenite fraction, total nitrogen content and thermoelectric power values were measured.

With nitrogen addition to the shielding gas, the austenite content increased in the weld metal. The total nitrogen content in the weld metal also increased with addition of more nitrogen the shielding gas. After solid-state reheating in Ar atmosphere the austenite content in the weld metal increased but nitrogen evolution was measured.

The thermoelectric power values of the welded specimen decreased with the increasing nitrogen content in the shielding gas. After solid-state reheating the thermoelectric power values are further decreasing but not with the same degree.

We also attempted to differentiate between the total dissolved nitrogen and interstitial atomic nitrogen. This work is a part of an extended project in order to understand the sometimes controversial effects of nitrogen on duplex stainless steel welding.

NAPJAINK KIHÍVÁSAI ÉS FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK A NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK HEGESZTÉSE SORÁN

TODAY CHALLENGES AND DEVELOPMENT POSSIBILITIES DURING WELDING OF HIGH STRENGTH STEELS

Sas Illés¹, Csuhaj Péter²

¹ FORTACO ZRt. Jászberény QHSE Manager, EWE/IWE hegesztőmérnök

² FORTACO ZRt. Jászberény Hegesztési felelős, EWE/IWE
hegesztőmérnök

illes.sas@fortacogroup.com

Napjaink kihívásai - mint számos más ipari területen - a termelékenység növelése, szabványosított irányított folyamatok kialakítása és a digitalizáció egyre inkább előtérbe kerül a hegesztett szerkezetek gyártása során is. Ezeket a kihívásokat átgondolva számos fejlesztési lehetőség nyílik meg a nagyszilárdságú acélból készülő hegesztett szerkezetek gyártása területén. Előadásomban azokat a fejlesztési lehetőségeket tekintem át mely gyakorlati tapasztalatokon alapulva a jelen illetve a jövő fejlesztési iránya lehet azon cégeknek, akik nagyszilárdságú acélok gyártása területén szeretnének ezeknek a kihívásoknak megfelelni.

Szintén új trendként egy szélesebb körben jelenik meg a LEAN gondolkodás filozófia bevezetése, amely számos esetben a szakmai megközelítés hiánya és/vagy helytelen bevezetés miatt kudarcba fullad. Azokat a gondolatokat gyakorlati tapasztalatokat szeretném megosztani előadásom során mely segíthet azon cégeknek, akik a LEAN filozófia bevezetésén gondolkodnak vagy a folyamat elején járnak hogy hogyan tudják sikeressé tenni a bevezetést.

Today's challenges - as in many other industries - increase productivity, standardized controlled processes, and digitization are becoming more and more important in the manufacturing of welded structures. Considering these challenges, many development opportunities are available in the production of welded structures made of high strength steel. In my presentation, based on practical experience those development opportunities are reviewed which can be present or future direction of development for those companies whose want to answer to these challenges in the manufacture of high strength steels.

New trend is spread out into welding industry to implement the LEAN Thinking/Philosophy, which in many cases falls due to lack of a professional approach and/or improper implementation. I would like to share practical experiences in my lecture which can help to make successful implementation of LEAN Philosophy to those who think about implementing it or already start it.

NEMESÍTETT ÉS TERMOMECHANIKUSAN KEZELT NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK HEGESZTHETŐSÉGI TAPASZTALATAI

WELDABILITY EXPERIENCES OF QUENCHED AND TEMPERED AND TERMOMECHANICALLY ROLLED HIGH STRENGTH STEELS

Dobosy Ádám

IWE/EWE, adjunktus

Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

3515, Miskolc-Egyetemváros

metda@uni-miskolc.hu

A nagyszilárdságú acélok napjaink szerkezeti alkalmazásaiban meghatározó szerepet töltenek be. Az anyagfejlesztések, reagálva az alkalmazások támasztotta igényekre, olyan tulajdonság-kombinációk létrejöttét eredményezték, amelyekben a fokozott szilárdsági követelmények elfogadható alakváltozó képességgel párosulnak. A szerkezetek gyártástechnológiai között kiemelt szerep jut a hegesztésnek, amely – a hőbevitel okán – anyagszerkeztani változásokat okoz a felhasznált alapanyagokban. Ezen acéloknál továbbá külön nehézséget jelent a megfelelő típusú, szilárdságú hozaganyag megválasztása. A komplex problémakör visszatükröződik a tervezői, a technológusi és az üzemeltetői feladatokban egyaránt.

Jelen közlemény célja a nagyszilárdságú acélok, különös tekintettel a nemesített és a termomechanikusan kezelt acélok hegesztési kísérletei során nyert tapasztalatok összefoglalása. A kísérletek kiterjednek az egyes acélkategóriák esetén alkalmazható hegesztési munkatartományok meghatározására, valamint a hozaganyag-párosítás hatásának elemzésére, különböző hozaganyagok felhasználásával. A kutatómunkában vizsgált alapanyagok a Ruukki Optim 700QL (S690QL), az SSAB Weldox 700E (S690QL) és a Voestalpine Alfrom 960M (S960M) voltak. A vizsgálatok kiterjedtek a hagyományos roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatokra, az érvényben lévő hegesztéstechnológiát minősítő szabvány szerint.

Nowadays, the high strength steels play a determining role among the structural applications. The material innovation, responding to demands of applications, results in a combination of characteristics, where the increased requirements of strength occur in conjunction with the acceptable deformability. The typical manufacturing method of these steels is the welding, which - because of the heat input - causes microstructural changes. Furthermore, in case of these steels, the appropriate matching of the base and the filler metal (mismatch effect) is a complex work, where strength matching is the most general aspect. The complex problem scenario is reflected in the engineering, the operational tasks, and their solubility and solution, as well.

The objective of this article is to summarize the experiences of the welding experiments on high strength steels, especially on quenched and tempered and on thermomechanically rolled steels. The experiments contain the determination of the welding lobes in case of each base materials, furthermore the examination of the mismatch effect, in case of different filler metals. The Ruukki Optim 700QL (S690QL), the SSAB Weldox 700E (S690QL) and the Voestalpine Alfrom 960M (S960M) base materials were examined. During the experiments destructive and non-destructive material testing methods were used, according to the relevant standards.

HIBRID LÉZER-ÍVHEGESZTÉS A NEHÉZIPARI ACÉLSZERKEZET-GYÁRTÁSBAN

APPLICATION OF HYBRID LASER-ARC WELDING FOR MANUFACTURING OF HEAVY STEEL STRUCTURES

Szalacsi Áron

Acélhidak Kft

szalacsi.aron@gmail.com

Az előadás fő témája a hibrid lézer-ívhegesztés nehézipari alkalmazhatósága, és az eljárás hézagtoleranciája. Röviden ismerteti a híd-, hajó- és daruszerkezeteket és a gyártásukhoz kapcsolódó követelményeket. Ezekre a szerkezetekre leginkább jellemző a zárt, szekrényes keresztmetszet, ahol gyakoriak a csak egy oldalról hozzáférhető tompavarratok, amik fokozott technológiai követelmények elé állítják a gyártókat. Szó lesz a hibrid lézer-ívhegesztés elméleti alapjairól, az eljárás gyakorlat szempontjából fontos paramétereiről, illetve azok kiválasztási elveiről. Az előadás végén bemutatásra kerül a szakdolgozat keretén belül elvégzett kísérlet, illetve ennek értékelése.

The presentation's main topic is the application of hybrid laser-arc welding in the heavy industry, and the gap tolerance of the process. The first part will be about the bridge, ship and crane structures and their manufacturing requirements. The box cross section is typical at this structures, because these have a lot of welds which are only accessible from one side. These welds require strict technological processes from the manufacturers. There will be a short summary about the theoretical bases of the hybrid laser-arc process, the practical parameters of the process, and how to choose them. At the end of the presentation the experiment, the results and the evaluation will be described.

A NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK ELEKTRONSUGARAS HEGESZTÉSÉNEK ELEMEZÉSE NUMERIKUS ÉS FIZIKAI SZIMULÁCIÓVAL

ANALYSING THE EB WELDING OF HIGH STRENGTH STEELS BY NUMERICAL AND PHYSICAL SIMULATION

Raghawendra P. S. Sisodia¹, Marcell Gáspár², János Lukács³

¹ Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet, PhD
hallgató

² Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet,
adjunktus

² Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet,
egyetemi tanár

gasparm@uni-miskolc.hu, metluk@uni-miskolc.hu

Az elektronsugaras hegesztés új lehetőségeket teremt a nagyszilárdságú szerkezeti acélok minőségi és hatékony hegesztésére. Az eljárás kimagasló minőségű varratokat eredményez meglehetősen széles lemezvastagság tartományban 1 mm és 300 mm között. A hagyományos ívhegesztő eljárásokhoz képest (pl. 135 eljárás) jelentősen nagyobb energiasűrűsége révén kisebb hőbevitelt, nagyobb hegesztési sebességet eredményez, amely a hőhatásövezet méretének csökkenéséhez és kisebb hegesztési maradó alakváltozáshoz vezet. A kisebb hőhatásövezetnek köszönhetően a mechanikai tulajdonságok romlása szempontjából kritikus hőhatásövezeti sávok mérete is csökken, amely nagyszilárdságú acélok hegesztésekor kimondottan előnyösnek bizonyul. A költséges és időigényes hegesztési kísérletekhez képest a numerikus modellezés segítségével is részletes információt nyerhetünk a hegesztő eljárás és a hegesztési paraméterek hatásáról. Az elektronsugaras hegesztés végeselemes modellezése lehetővé teszi a hőmérsékletmező meghatározását, ezáltal pedig a hőhatásövezet kritikus részeiben a hőmérséklet-idő diagram előállítását, továbbá a hegfürdő méretének és a hegesztési maradó alakváltozásoknak az előrejelzését. A hőmérsékletmező meghatározása abból a szempontból is különösen előnyös, mivel a $t_{8/5}$ hűlési idő rendszerint 2 s alatt van elektronsugaras hegesztésnél.

A Sysweld és Visual Environment programcsomag felhasználásával a hőmérséklet idő diagram a hőhatásövezet különböző részeire előállítható, az eredmények pedig a Gleeble fizikai szimulátoron elvégzendő hőhatásövezeti vizsgálatok számára felhasználhatók. Jelen kutatómunka keretében a numerikus modellezés során a hőmérsékletmező előállításához kúpos hőforrást használtunk fel. A szimulációk során vizsgált alapanyag az MSZ EN 10025-6 szabvány szerinti S960QL acél volt. A sikeresen elvégzett hőhatásövezeti szimulációk eredményeként sikerült meghatározni az extrém rövid hűlési idők esetén kialakuló hőhatásövezet tulajdonságait. A különböző hőhatásövezeti sávokat optikai mikroszkópos vizsgálattal, keménységméréssel és ütővizsgálattal elemeztük.

Kulcsszavak: végeselemes modellezés, elektronsugaras hegesztés, fizikai szimuláció, nagyszilárdságú acél, $t_{8/5}$ hűlési idő

The electron beam welding (EBW) sets new standards as it facilitates very high quality and effective welding of high strength structural steels. The technology ensures high-quality welded joints in structural metals thickness range from 1 mm to 300 mm. It has a high energy density in comparison to the conventional arc welding processes (e.g. GMAW). As a result of less overall energy input and higher velocity, the effect of welding on the base material in the heat-affected zone (HAZ) and the distortion is much smaller compared to conventional arc welding processes. The low heat input result in a small HAZ and a reduced extension of critical HAZ areas which can be favourable in high strength steels when the mechanical properties can drastically decrease in the HAZ. In comparison with experimental studies, a numerical modelling study can provide detailed information concerning the welding process and parameters, and the number of costly experiments can be reduced. Finite element modelling (FEM) of EBW enables the estimation of temperature field, time temperature curve, weld pool geometry and welding distortion etc. The determination of the temperature field can be very useful in terms of the further investigations since the $t_{8/5}$ cooling time can be less than 2 s during EBW.

By the application of Sysweld and Visual Environment software the time-temperature curve can be determined and exported from the FEM results to the Gleeble physical simulator for HAZ tests. During our investigations a conical heat source model was applied. The examined material was S960QL according to EN 10025-6. HAZ tests have been successfully performed in order to analyse the properties of HAZ during extremely short cooling time. The different subzones were investigated by optical microscope, hardness and Charpy V-notch impact tests.

Keywords: *Finite element modelling (FEM), Electron beam welding (EBM), Physical simulation, High strength steel, $t_{8/5}$ cooling time*

TERMOMECHANIKUSAN KEZELT NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉL HEGESZTHETŐSÉGÉNEK FIZIKAI SZIMULÁCIÓRA ALAPOZOTT ELEMZÉSE

WELDABILITY ANALYSIS OF THERMOMECHANICALLY ROLLED HIGH STRENGTH STEEL BASED ON PHYSICAL SIMULATION

Jámbor Péter

Miskolci Egyetem

Gépészmérnöki és Informatikai Kar

Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

peti.jmbr@gmail.com

Jelen cikkben a korszerű nagyszilárdságú acélok közül az S960M típusú termomechanikusan kezelt acél hegeszthetőségi kérdéskörével foglalkoztam. A hegesztett kötés hőhatásövezetében kialakuló inhomogén szövetszerkezet kritikus részei meglehetősen kis kiterjedésűek, így ezeket a zónákat fizikai szimuláció segítségével és a Rykalin-3D modell felhasználásával a vizsgálható mérettartományban előállítottam. A próbatesteket optikai mikroszkópos és keménység vizsgálatnak, illetve műszerezett ütővizsgálatnak vetettem alá, és az eredmények kiértékelésén keresztül elemeztem a hegesztéstechnológia tervezése szempontjából releváns $t_{8,5/5} = 5-30$ s hűlési idő hőhatásövezetre gyakorolt hatását. A vizsgálat eredményei összevethetők az azonos szilárdsági kategóriájú nemesített nagyszilárdságú acélalával (S960QL), amelynek hegeszthetősége már feltárára került korábbi fizikai szimulációs kísérletek során.

In my paper I analyse the weldability properties of the S960M thermomechanically rolled high strength steel. The extension of critical parts in the heat-affected zone (HAZ) of a welded joint is limited, therefore these zones were reproduced in measureable size range by physical simulation based on the Rykalin-3D model. The changes in the HAZ microstructure are studied through the test specimens with optical microscope, hardness test, and instrumented Charpy-V notch impact test, in the analysed $t_{8,5/5} = 5-30$ s cooling time interval. The test results are comparable with the properties of quenched and tempered (S960Q) high strength steel in the same strength category, which weldability properties have been explored by a former research.

1. Nagyszilárdságú szerkezeti acélok felhaználása

A korszerű nagyszilárdságú acélok között új fejlesztésként jelentek meg az utóbbi évtizedekben a termomechanikusan kezelt (TM) típusok [1, 2, 3, 4]. A nagyszilárdságú acélokban a kiváló szilárdsági és szívóssági tulajdonságokat nem-egyensúlyi, alapvetően martensit-bainit alapú szövetszerkezet révén érik el az acélgyártók, amit hegesztés során a

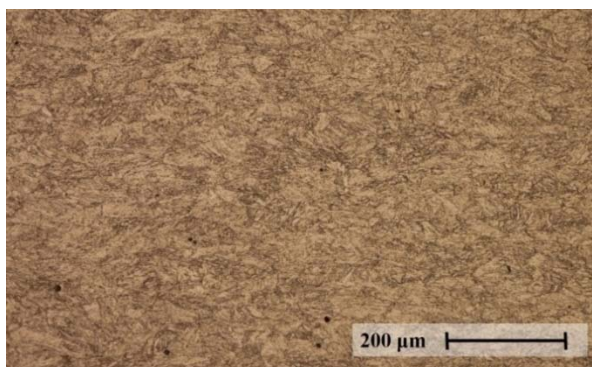
hegesztési hőbevitel irreverzibilis módon megváltoztat, inhomogén szövetszerkezetet létrehozva a kötésben [5]. A hőhatásövezetben változatos mikroszerkezet alakul ki, amelyhez különböző mechanikai tulajdonságok társulnak. A hőhatásövezet kritikus részei meglehetősen kis kiterjedésűek, így valós hegesztett kötésekben a vizsgálatuk korlátozott (pl. ütővizsgálat).

A fizikai szimuláció egy olyan korszerű vizsgálati lehetőséget nyújt, amellyel az adott alapanyagból kimunkált próbatesteken az előállítani kívánt kritikus hőhatásövezeti sávok a későbbi anyagvizsgálatok számára megfelelő mérettartományban előállíthatók [6, 7, 8]. További előnye a berendezésnek, hogy a többrétegű varratfelépítés esetén kialakuló lokális hőhatásövezeti zónák létrehozására is alkalmas. A széles tartományban programozható hőciklus modellek segítségével a különböző hegesztési paraméterek mellett kialakuló szövetszerkezetek tulajdonsága megfelelő pontossággal elemezhető.

A cikkben a hőhatásövezeti sávok közül a nagyszilárdságú acéloknál jellemzően kedvezőtlenül viselkedő durvaszemcsés (DSZ), interkritikus (IK) és a többrétegű varratokban kialakuló interkritikusan megeresztett durvaszemcsés sávot (IK DSZ) vizsgáltam meg az S960M acél esetén [9].

2. Hegesztéstechnológiai megfontolások

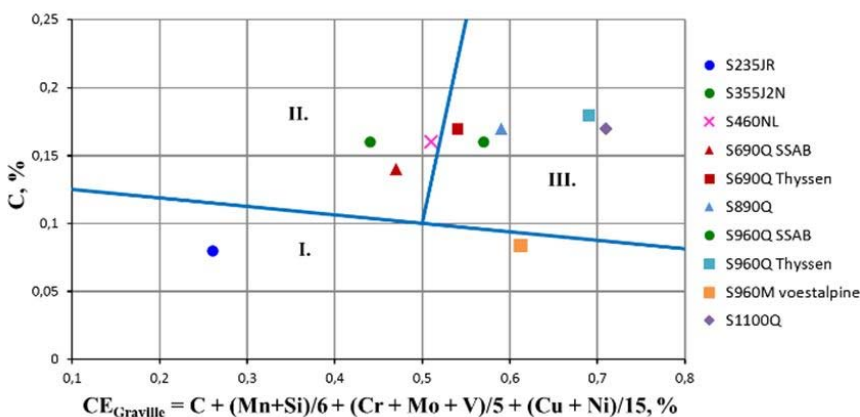
A korszerű, nagy folyáshatárú, jó szívósságú, alacsony hőmérsékleten is jelentős ütmunkával rendelkező acélok gyártási technológiai közül a termomechanikus hengerlés jelenti az egyik legmodernebb eljárást. A technológia két szilárdságnövelő mechanizmust alkalmaz egyszerre. A finom szemcseszerkezet egyrészt a szabályozott véghőmérsékletű meleghengerléssel, azaz termomechanikus kezeléssel érhető el, másrészt a mikroötvözésnek köszönhetően, az acél nagyobb hőmérsékletű stabilitását is garantáló, nitrid- és karbidképző ötvözők segítik a finom szemcseszerkezet kialakulását. A termomechanikus kezelés során az acél a kedvező tulajdonságait alakítási és hőkezelési mechanizmusok révén éri el [1]. A S960M acél finomszemcsés szövetszerkezete látható az 1. ábrán.



1. ábra S960M acél alapanyag szövetszerkezete (N=200x; 2% HNO₃)

A vizsgált S960M típusú acélt vegyi összetétel tekintetében a rendkívül kis karbontartalom ($C < 0,16\%$, de jellemzően $C = 0,06...0,10\%$) és alacsony ötvöztartalom jellemzi, ez kisebb karbonegyenértéket is eredményez, amelyből több kedvező tulajdonság is származik.

A korszerű nagyszilárdságú acélok hegeszthetőségi kérdéskörét az alapanyag gyártástechnológiájából és ötvözöttségéből fakadó nem-egyensúlyi szövetszerkezetük határozza meg. Ezt a szövetszerkezetet a hegesztési hőciklus irreverzibilis módon megváltoztatja, a hegesztést követő utóhőkezeléssel már nincs mód visszaállítani az eredeti anyagállapotot. Hegesztésnél az előmelegítésnek is fontos szerepe van. Az alapanyaggyártói leírás szerint erre nincs szükség a termomechanikusan kezelt acéloknál, vagy csak kismértékű előmelegítést igényelnek ($60...150\text{ }^{\circ}\text{C}$) nagyobb lemezvastagság esetén, és a diffúzióképes hidrogéntartalom csökkentése érdekében [10]. Ez mindenképp előnyös tulajdonság a nemesített nagyszilárdságú acélokkal szemben, ahol $150...200\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os előmelegítési hőmérséklet is szükséges a hidegrepedések elkerülése miatt [11, 12]. A hegesztési hőmérséklet-tartomány szempontjából fontos paraméter a maximális rétegeközi hőmérséklet többrétegű varratfelépítés esetén. Ennek a hőmérsékletnek a korlátozása a hőhatásövezet túlzott lágyulásának, továbbá szívósságcsökkenésének az elkerülését szolgálja. A gyártói ajánlás $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ban mérsékli a maximális rétegeközi hőmérsékletet abban az esetben, ha speciális követelményeket támasztanak a kötés szilárdsági tulajdonságaival szemben. Hegesztési kísérletek alapján a TM acéloknál ajánlott többrétegű varratfelépítés esetén a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os rétegeközi hőmérséklet betartása, a kötés megfelelő szívóssági tulajdonságainak eléréséhez [13].



2. ábra Graville diagram [13]

Az acélokat hidegrepedési hajlamuk alapján csoportosító Graville diagram szerint a vizsgált S960M acél olyan karbon- és ötvöztartalommal rendelkezik, hogy feltételezhetően a lágyacélokhhoz hasonlóan problémamentesen hegeszthető, semmilyen megkötéssel nem kell számolni (2. ábra). Ezek a megállapítások összhangban vannak a gyártói ajánlással is, amely szerint védőgázos fogyóelektrodás ívhegesztés esetén csak egy $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os, a lecsapódó párárt eltávolító előmelegítés szükséges hegesztés előtt. Mindazonáltal egy

minimális előmelegítési hőmérséklet előírása kedvező a hegesztett kötésben kialakuló maradó feszültségek csökkentése céljából.

1. táblázat Előmelegítési hőmérsékletek különböző hőbevitel mellett [13]

	S960M (számított)			S960QL (számított)	S960QL (tapasztalati)
E_v [J/mm]	750	1000	1400	1000/3000	1000/3000
$T_{elő}$ [°C]	116	112	106	157	190-200

Nagyszilárdságú acélok hegesztésekor különös figyelmet kell fordítani a vonalenergia szabályozott, szűk határok közötti tartására. Ahhoz, hogy a varrat és hőhatásövezet szilárdsági tulajdonságai megfeleljenek a követelményeknek (MSZ EN ISO 15614-1 [14]) alulról és felülről is korlátozni kell a vonalenergia értékét. Az alsó korlátot a kritikus $t_{8,5/5}$ hűlési idő megengedett legkisebb értékéhez kell igazítani, a felső korlátot pedig a $t_{8,5/5}$ hűlési idő maximumához. A fentebbi megállapításokból következik, hogy a vonalenergia és a kritikus $t_{8,5/5}$ hűlési idő szoros összefüggésben áll, és komplex paraméterként szolgál a hegesztési folyamat hűlési szakaszának jellemzésére. A $t_{8,5/5}$ hűlési időt befolyásoló paraméterek a hőáram, a hegesztési sebesség, az előmelegítési/rétegtközi hőmérséklet, az alapanyag hőfizikai jellemzői és vastagsága. Fizikai tartalma nem más, mint a varrat 850 °C-ról 500 °C-ra történő hűlése, mivel a kis karbontartalmú szerkezeti acélokból az austenit bomlása ebben a hőmérséklet tartományban megy végbe.

A termomechanikus acélok esetén a gyártó szerint a hűlési idő tágabb határok között változtatható a varrat és hőhatásövezet kisebb hidegrepedési és kilágylási hajlama miatt, azonban célszerű itt is a gyártói ajánlások betartása, amely az adott S960M acélminőségre 3 és 12 s között van [11].

3. A kísérleti program és a hőciklus modell

Ahhoz, hogy a valóságot hűen tükröző szimuláció jöjjön létre, a legfontosabb, hogy a hegesztendő anyag geometriájától függő hővezetési modell meghatározásra kerüljön. A hűlési sebesség mértékét számottevően befolyásolja a kötés kialakítása, a hővezetési folyamatban résztvevő elemek száma és mérete. Ez alapján megkülönböztethető kétdimenziós hővezetés vékony lemezek esetén, illetve háromdimenziós hővezetés vastag lemezek esetén.

A hőforrás kiterjedése, haladási sebessége, valamint a munkadarab geometriájától függően számos modell felállítható a hőciklus jellemzésére, azonban a jelen kísérleti munka szempontjából a 3D modellnek van létjogosultsága. Ennél a hőforrás lassan mozgó és pontszerűnek tekinthető. Ezt az esetet írja le a Rykalin-3D hővezetési modell:

$$T(R, x) = \frac{E_v}{2\pi\lambda R} e^{\frac{v}{2a}(x+R)}$$

ahol:

- $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ helyvektor,
- $a = \lambda c_p \rho$ hőmérsékletvezetési tényező,
- λ hővezetési tényező,
- c_p állandó nyomáson vett fajhő,
- ρ sűrűség,
- v hegesztési sebesség,
- E_v vonalenergia.

A fizikai szimuláció során a 2. táblázatban összefoglalt paraméterekkel állítottam elő a hőhatásövezet szívósság szempontjából kritikus sávjait.

2. táblázat Kísérleti paraméterek a vizsgált hőhatásövezeti sávokra

Hőhatásövezeti sáv	Csúshőmérséklet [°C]		$t_{8,5/5}$ hűlési idő [s]
	T_{max1}	T_{max2}	
DSZ	1350	-	5; 15; 30
IK	775	-	5; 15; 30
IK DSZ	1350	775	5; 15; 30

4. Anyagvizsgálati eredmények értékelése

A fizikai szimuláció segítségével előállított hőhatásövezeti sávokat Zeiss Axio Observer D1m típusú optikai mikroszkóp segítségével vizsgáltam meg. Az optikai mikroszkópos vizsgálatok igazolták, hogy az alkalmazott hőciklusok segítségével sikeresen elő lehetett állítani a kívánt hőhatásövezeti sávokat. Példaképp a 3. ábrán látható a 15 s hűlési időhöz tartozó interkritikusan megeresztett durvaszemcsés hőhatásövezeti sáv szövetszerkezet különböző nagyításban. Az eldurvult szemcsék határán megfigyelhetők a második hőciklus eredményeként kialakult, martensit-austenit tartalmú szigetek.



3. ábra $t_{8,5/5}=15$ s hűlési időhöz tartozó mikroszerkezeti szövetkép az IK-DSZ sávban (N=200x; 500x; 1000x; 2% HNO_3)

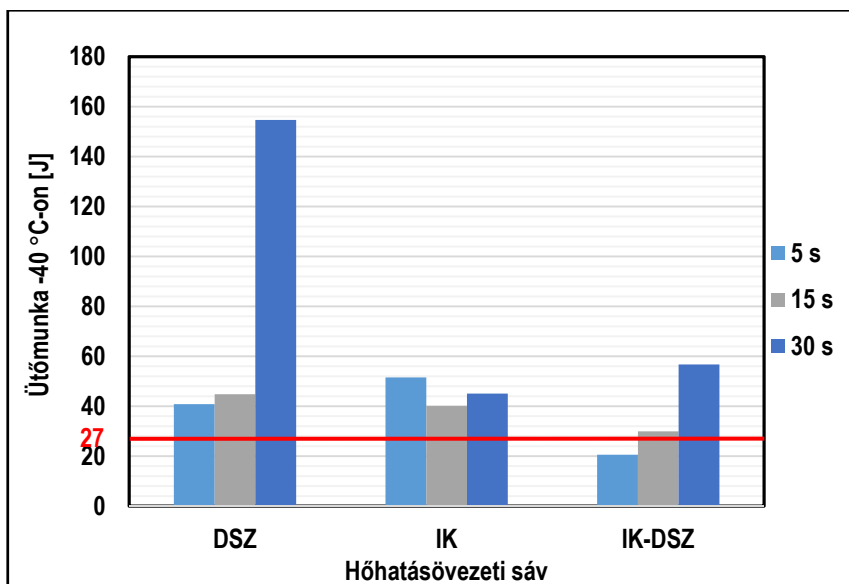
A keménységvizsgálatot Reicherter UH250 típusú univerzális keménységmérő berendezésen végeztem. A keménységvizsgálati eredményekből megállapítható, hogy a hőhatásövezet vizsgált részei teljesítik az MSZ EN ISO 15614-1 szabvány CR ISO 15608 szerinti 2-es anyagcsoportra vonatkozó követelményeit, azaz a mért keménység nem

haladja meg a 380 HV10 maximálisan megengedett keménységértéket, továbbá a hőhatásövezet kilágyulása sem következik be a vizsgált hőhatásövezeti sávok és paraméterek esetén

3. táblázat Makrokeménység vizsgálat mérési eredményei (átlag értékek)

Hőhatásövezeti sáv	$T_{\max}$ [°C]	Keménység [HV10]		
		$t_{8,5/5} = 5$ s	$t_{8,5/5} = 15$ s	$t_{8,5/5} = 30$ s
DSZ	1350	358	343	328
IK	775	339	345	332
IK-DSZ	1350-775	350	342	334
Alapanyag	-	330...340		

A fizikai szimulációs próbatestekből sorozatonként 3-3 Charpy-V bemetszésű ütőpróbatest is készült műszerezett ütővizsgálathoz. Mivel a termomechanikusan hengerelt alapanyagra vonatkozó MSZ EN ISO 10025-4 [15] szabvány nem tartalmazza a 960 MPa folyáshatárú szilárdsági kategóriát, így az értékeléskor a nemesített nagyszilárdságú acélokra vonatkozó MSZ EN ISO 10025-6 [16] szabvány előírásait vettem alapul, amely szerint az ütőpróbatesteknek -40 °C-os vizsgálati hőmérsékleten minimum 27 J ütőmunkát kell teljesítenie. Az eredményeket az 4. ábra mutatja.

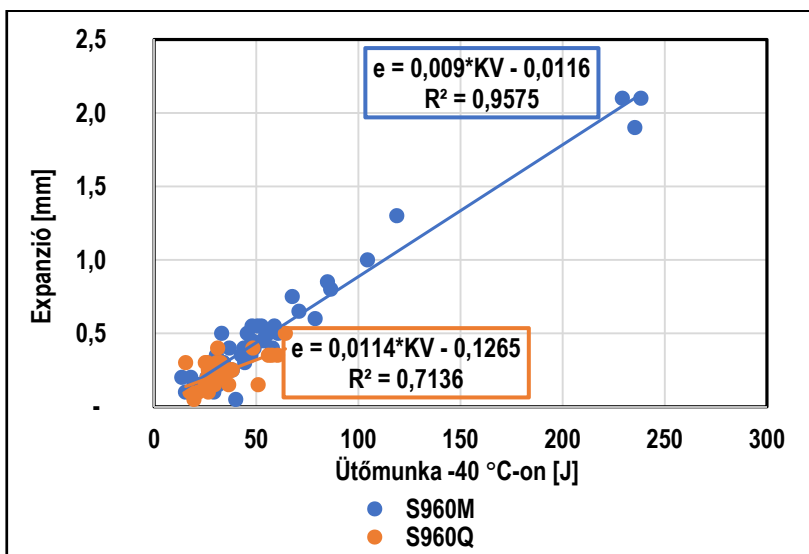


4. ábra A vizsgált hőhatásövezeti sávok -40 °C-on mért átlagos ütőmunkája

A hőhatásövezeti sávokon elvégzett ütővizsgálatok eredményeiből megállapítható, hogy az alapanyagon mért ütőmunkához képest (gyártói műbizonylat alapján 177 J -40 °C-on) jelentős szívósságcsökkenés megy végbe a hőhatásövezet kritikus részein. Azonban a mért ütőmunka értékek nagyobbak, mint az azonos szilárdsági kategóriájú, nemesített szerkezeti acél esetén [17, 18]. Ahhoz, hogy részletesebb képet kaphassak a különböző hőhatásövezeti sávok szívóssági tulajdonságairól a repedésindulásra és -terjedésre felhasznált energiák arányát is meghatároztam a műszerezett ütővizsgálat eredményeiből. Minél kisebb a repedésindulásra fordított energia százalékos aránya a teljes ütőmunkához képest, annál szívósabban viselkedik az adott hőhatásövezeti sáv. A 4. táblázatban szereplő eredmények alapján minden általam megvizsgált hőhatásövezeti sáv, hűlési időtől függetlenül, nagyobb szívóssággal rendelkezik, mint az S960QL nemesített nagyszilárdságú acél hőhatásövezete, ahol átlagban az ütőmunka 80-90%-a a repedésindulásra fordítódott.

4. táblázat A repedésindulásra fordított energia százalékos aránya (W_i) a teljes ütőmunkához képest

t _{8,5/5} [s]	5	15	30	Átlag
AA	-			51,0%
DSZ	80,5%	74,0%	38,0%	64,2%
IK	55,3%	65,0%	58,4%	59,6%
IK-DSZ	84,7%	54,3%	74,9%	71,3%



5. ábra Ütőmunka-expansió diagram S960M és S960Q acélminőségek esetén

Az ütvizsgálat elvégzése után a próbatesteken expanziót is mértem, amelyből további következtetéseket lehet levonni szívós-rideg viselkedés tekintetében. Az 5. ábrán együtt szerepel az S960QL és S960M acél expanziós értékei az ütmunka függvényében. A diagramból látható, hogy azonos ütmunka mellett nagyobb alakváltozást szenvedtek el a termomechanikus acélból kimunkált próbatestek az esetek többségében, mint a nemesített nagyszilárdságú acél, más szóval nagyobb képlékeny tartalékkal rendelkeznek a törésig elviselt alakváltozás során.

5. Következtetések

A S960M termomechanikusan kezelt nagyszilárdságú acélon végzett vizsgálatokra alapozva kijelenthető, hogy szívóssági tulajdonságai kevésbé érzékenyek a hegesztési hőciklus okozta szövetszerkezeti változásokra szemben a nemesített nagyszilárdságú acélokkal. A kedvezőtlen szemcseszerkezetű durvaszemcsés és interkritikus hőhatásövezeti sávok szívóssága mind teljesíti a vizsgált $t_{8,5/5}$ hűlési idők mellett a minimálisan megkövetelt 27 J ütmunkát. Az eredményekből látható azonban, hogy az IK-DSZ sáv szívóssága alul marad ezen értéknek rövid hűlési idő esetén. Ezt részben kompenzálja azonban, hogy ez a sáv nem terjed ki a hegesztett kötés teljes keresztmetszetére, hanem csak lokálisan jelenik meg a hőhatásövezetben.

Köszönetnyilvánítás

Az ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 és a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával támogatott projektek eredményeire alapozva valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Szunyogh, L.: Hegesztés és rokon technológiák. Kézikönyv, Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007. pp. 418-436.
- [2] Balogh A.; Prém L.; Gáspár M.: Hegesztett szerkezetek konvencionális és korszerű nagyszilárdságú acéljainak rendszerezése és hegesztési nehézségei, GÉP 64:(8), 2013. pp. 7-12.
- [3] ASM Handbook Vol. 1 Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys, ASM International, 1993. pp. 1009-1102.
- [4] Balogh A., Török I., Gáspár M., Juhász D.: Present state and future of advanced high strength steels, Production Processes and Systems, Volume 5. No. 1., 2012. pp. 79-90.
- [5] Gáspár M., Balogh A.: A hegesztéstechnológiai paraméterablak nagyszilárdságú acélok hegesztésénél, Miskolc, GÉP 63:(11), 2012. pp. 1-6.
- [6] DSI Dynamic Systems Inc.: <http://gleeble.com>

- [7] Gáspár M.: Nemesített nagyszilárdságú acélok hőhatásövezeti zónáinak előállítása szimulált hegesztési hőciklusok segítségével, Miskolc, 2013, Multidiszciplináris tudományok, 3. kötet, 2013. 1. sz., pp. 27-38.
- [8] Y. Adonyi: Heat-Affected Zone Characterization by Physical Simulations, Welding Journal, 2006. pp. 42-47.
- [9] ASM Handbook Vol. 6 Welding, Brazing and Soldering, ASM International, 1993. pp. 1059-1110.
- [10] VOESTALPINE Steel Division: Alform welding system <http://www.VOESTALPINE.com/grobblech>, 2015.
- [11] Balogh A., Lukács J., Török I.: Hegeszthetőség és a hegesztett kötések tulajdonságai, Kutatások járműipari acél és alumíniumötvözet anyagokon, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2015. pp. 11-41., 197-230.
- [12] Komócsin M.: Nagyszilárdságú acélok és hegeszthetőségük, Hegesztéstechnika XIII. évf. I. sz. 2002. pp. 1-9.
- [13] Dobosy Á., Lukács J.: A termomechanikus nagyszilárdságú acélok optimális hegesztési munkaablakának meghatározása, GÉP LXVII. évf. 1-2 sz., 2016., pp. 55-62.
- [14] MSZ EN ISO 15614-1: Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése. A hegesztéstechnológia vizsgálata. 1. rész: Acélok ív- és gázhegesztése, valamint nikkal és ötvözeiteinek ívhegesztése, 2004.
- [15] BS EN 10025-4:2004: Hot rolled products of structural steels 4. rész: Technical delivery conditions for termomechanical rolled weldable fine grain structural steels
- [16] MSZ EN 10025-6+A1: Melegen hengerelt termékek szerkezeti acélokból 6. rész: Nagy folyáshatárú szerkezeti acélokból készült, nemesített lapos termékek műszaki szállítási feltételei, 2009.
- [17] Gáspár M., Balogh A.: A hegesztési paraméterek hőhatásövezetre gyakorolt hatásának fizikai szimulációval történő vizsgálata S960QL acél esetén, Hegesztéstechnika I., 2014. pp. 21-28.
- [18] Gáspár M.: Nemesített nagyszilárdságú szerkezeti acélok hegesztéstechnológiájának fizikai szimulációra alapozott fejlesztése, PhD értekezés, Miskolc, 2016.

qineo

NexT 452 DC



QINEO NexT 452 DC

Új, kiváló technológia – a következő generáció

CLOOS

Weld your way.

www.cloos.hu

KIS HŐBEVITELŰ ROBOTOSÍTOTT HEGESZTÉS ALKALMAZÁSA BEVONATOS LEMEZEKEN CLOOS QUINEO ® CAMP ÁRAMFORRÁSSAL

Robotic welding of coated steels with reduced heat input by using CLOOS QUINEO ® CAMP welding power source

Bakos Levente

bakosle@gmail.com

A galvanizált (bevonattal rendelkező) nagyszilárdságú acéllemezek alkalmazása napjainkra általánossá vált a járműiparban. A bevonatos lemezek nagyobb korrózióállósággal rendelkeznek, mint a bevonat nélküli lemezek és kedvezőbb fizikai paraméterek (szakítószilárdság, folyáshatár) okán ezen anyagok alkalmasak az - ágazatban jelentkező - egyre szigorúbb biztonsági és minőségi előírások teljesítésére. A fő probléma a bevonatolt vékonylemezek feldolgozása során, hogy a hegesztéskor a varrat mellett, illetve az ellenoldalon a hegesztésből adódó hőhatás sérülést okoz a bevonaton, mely korrózióhoz, a termék élettartamának csökkenéséhez vezet. A megsérült réteget utólag javítani kell, ez többletmunkát igényel, az ún. „kikészítési” fázis (mely a hegesztési varrat felülettisztítását, fröcskölés-mentesítést jelent) mintegy 9,4%-os fajlagos idővesztést okoz a gyártás során, a projekt célja egy olyan technológiai eljárás készítése, ami során lehetővé válik a kikészítési fázis csökkentése. Így a projekt során olyan ívhegesztési technológiákat dolgozunk ki ívhegesztő robotokra, amelyekkel a bevonatos lemezeknél a varrattal ellentétes oldalán a bevonat nem sérül, illetve a sérülés minimális. Az alkalmazott alapanyagok: DP600, DP800, DP1000, CP800, CP1000; 0,8 mm; 1,0 mm; 1,5 mm.

The nowadays usage of galvanized (coated) high strength steels is common in the automotive industry. Coated steels have better resistance against corrosion than the non-coated steels and so these materials are more appropriate to fulfill the quality and safety requirements of the automotive industrial sector. Major challenge of the welding of coated steels is the damage on the coating material next to and on the opposite side of the welded joint, that can lead to corrosion and lifetime decrease of the product. The damaged surface must be repaired that leads to additional work in production, that is called finishing phase. The finishing phase can cause 9,4% specific time loss in production. Aim of the project is to reduce the time of the finishing phase by developing the welding technology of the coated thin steel plates, to reduce and minimize the damage next to and on the opposite side of the welded joint. By the project used materials were: DP600, DP800, DP1000, CP800, CP1000; 0,8 mm; 1,0 mm; 1,5 mm.



Gas control on a high level

Gases for laser cutting, welding and additive processes

www.messer.hu

MESSER 
Gases for Life

INNOVATÍV LÉZERSUGARAS MEGMUNKÁLÁSOK A JÁRMŰIPARBAN

INNOVATIVE LASER BEAM MACHINING IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Halász Gábor

Szabó Balázs

Messer Hungarogáz Kft

Trumpf Hungary Kft

Abstract

A járműgyártás területén kiemelten magas az innovatív új lézersugaras technológiák száma. A karosszéria és hajtáslánc anyagainak sokrétűsége, valamint a járművek fokozódó villamosítása és a súlycsökkentést célzó elvárások, fokozott kihívást jelent a jármű fejlesztőknek. A karosszéria-, a hajtáslánc gyártás, az elektromobilitás, a könnyűszerkezet kialakításánál fontos szerepet játszanak a lézersugaras vágás, hegesztés, additív technológiák. Az előadásban a karosszéria elemek, hajtóművek, elektromos hajtások, akkumulátorok gyártásánál, illetve a sorozattermelésben alkalmazott legújabb lézersugaras alkalmazásokból mutatunk be egy válogatást. Ezen kívül rövid betekintést adunk a piaci trendekről, a következő néhány évben várható technológia fejlesztés irányáról.

Kulcsszavak: Lézersugaras megmunkálás, -vágás, -hegesztés, additív technológiák, 3D fémnyomtatás.

Abstract

In the vehicle production the number of innovative new laser beam technologies is very high. The complexity of the bodywork and powertrain materials, as well as the increasing electrification of vehicles and the expectations of weight reduction, are a major challenge for vehicle developers. The laser beam cutting, welding, additive technologies play an important role in bodywork, drive chain manufacturing, electromobility and lightweight construction. In the presentation we can see a selection of bodywork, gearboxes, electric drives, batteries and the latest laser beam applications in serial production. In addition, we provide a brief insight into market trends and the expected technology development over the next few years.

Keywords: Laserbeam machining, -cutting, -welding, additive technologies, 3D metal printing

YASKAWA

Hegesztő robotrendszerek
minden méretben



ÚJDONSÁGOK

Új **7 tengelyes** ellenállás
ponthegeztő robot

Új **kompakt robotcellák:**
ARCWORLD I-II-II:
nagyobb munkatér, akár
ikerrobotos kialakítással



ARCWORLD III.



ARCWORLD I.



ARCWORLD II.

Magyarországi képviselő: **Flexman Robotics Kft.**
+3612590981 info@flexmanrobotics.hu

NYOMÁSOS ÖNTÉSSEL KÉSZÜLT AUTÓIPARI ALKATRÉSZEK ROBOTOS HEGESZTÉSE

Robotic welding of die casted automotive parts

Szalva Péter

Fémalk Zrt.

peter.szalva@femalk.hu

Somoskői Gábor

Froweld Kft.

somoskoi.gabor@froweld.hu

Farkas Attila

Flexman Robotics Kft.

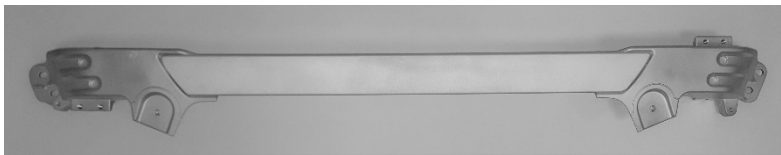
fa@flexmanrobotics.hu

Az alumínium nyomásos öntött alkatrészek autóipari felhasználása széleskörű, azonban a hagyományos alkatrészek nem tudnak minden igényt korlátlanul kielégíteni. Ezért összetettebb alkatrészek beépítésével lehet az új igényeknek megfelelni, melyek kialakításában a hegesztés a legelterjedtebb kötési mód. A megfelelő minőségű hegesztett kötés kialakítása viszont kihívást jelent a hegesztő szakemberek számára. Főbb problémák a megfelelő szilárdság biztosítása, a porozitás, a repedékenységi és időnként a fokozott esztétikai követelmények. Az autóiparban a technológia által megvalósított minőséget termelékenységi, reprodukálhatósági és termékugalmassági szempontból magas szinten a robottechnika biztosítja. Mind ezek figyelembe vételével a probléma megoldását komplexen szükséges kezelni.

Application of aluminum die castings in automotive industry is widespread, nevertheless conventional parts many times can't fulfil all demands. Due to this the new demands can only be met by building in more complex parts, where, in most cases, welding is used as the joining method during manufacturing. However, realization of proper quality welding is a challenge to the welding professionals. The main problems are: providing proper strength for the welded joint, porosity, sensitivity to cracking and at times the high expectations of aesthetic appearance. Nowadays high-quality welding technology in automotive industry with high productivity, reliable reproduction and product flexibility can be provided by industrial robots. Taking all the above-mentioned facts into consideration, a complex approach should be applied when addressing this issue.

1. Bevezetés

A technológia ismertetését és az általa elérhető előnyöket a Fémalk Zrt. sorozatban gyártott kereszt merevítőjén (1. ábra) keresztül mutatjuk be. A toronymerevítő funkciója, beszerelési környezete, elemeinek gyártástechnológiája, alapanyaga, geometriai kialakítása együttesen határozták meg a végterméket. Írásunkban az előbb felsorolt szempontokat elemezzük.



1. ábra

A hegesztett keresztmerevítő

A toronymerevítő funkcióját tekintve egy személygépkocsi első futómű felső bekötési pontjait merevíti (2. ábra) oly módon, hogy a lengéscsillapítók torony csapágait egy zárt keretbe

foglalja, mint egy trapéz felső párhuzamos oldala. A toronymerevítő nem aktív eleme a kormányzott futóműnek, de merevítő hatásával nagy sebességű kanyarvételnél pontosabb úttartáshoz segíti a kocsitestet.

A beszerelési környezetében a motorháztető alatt, a motor felett átívelve szabad szemmel is látható, egyben látványfunkciót is teljesítő alkatrész rögzítési pontjai a toronycsapágók felső bekötési pontjai. A keresztartót egy 2017 őszen bemutatott vadonatúj fejlesztésű gépkocsiba építik be. A Bentley Continental GT Supersport már a nevében is a sportosságot hordozza, de a jármű marketing adatai sem mutatnak más képet: 336 km/h végsebességű, 522 kW-os, 3,4 másodperc alatti 0-100 km/h sprintet teljesítő gépjármű.



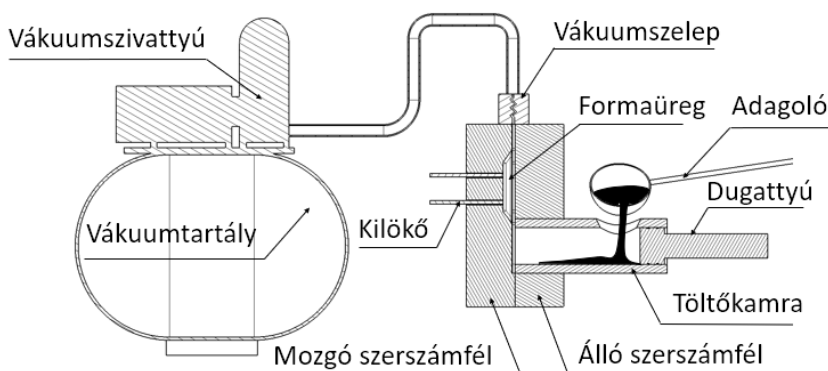
2. ábra.

A toronymerevítő beépítési környezete [1]

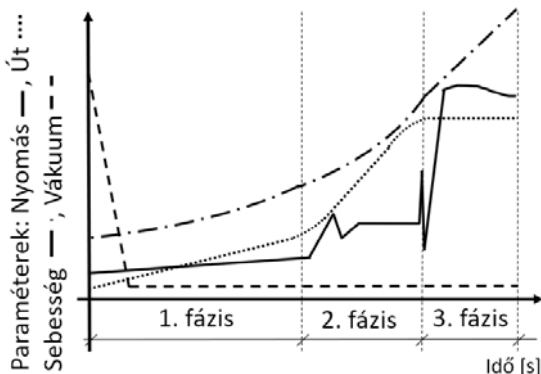
A termék gyártása összetett folyamat, a csatlakozót és egyben legbonyolultabb részeit vákuumos támogatással öntik. A vákuumtámogatás nem új technológia a nyomásos öntészetben, de sorozatgyártásban a megvalósítása sokáig váratott magára. A technológiafejlesztés igényét az öntéssel előállított termékek egyre növekvő mennyisége hozta magával. Már nem csak a funkcióintegritás és a tömeg, hanem az öntvényekkel szembeni egyre nagyobb és komolyabb szilárdsági és szívóssági elvárások, és az újgenerációs öntött termékek vékony falai is szükségessé tették. A vákuummal támogatott nyomásos öntés az oldott gáztartalom csökkentése révén a magnézium [3] nyomásos öntvények tulajdonságait is javítja [4]. Az előbb említett igények hagyományos eljárással történő kielégítése közben a legnagyobb darabszámú selejtet a gázporozitás adta. Ennek a porozitásnak a forrása a bonyolult formájú szerszámüregben ragadt levegő és egyéb gázok, amelyek a lefújó és dugattyúkenő adalékok párolgásának a következményei. A gázporozítások kialakulásában az olvadék oldott gáztartalma is meghatározó. A porozításra visszavezethető problémákat két csoportba lehet sorolni. Az első csoport a darabok bevonatolási problémája, mert festés, porfestés, lámpa fonsorozás közben a darab gáztartalma eltávozik, és a felületet borító vékony réteget felhólyagosítja. Ebben a csoportba sorolható az öntvények ragasztási problémája is. A második csoport az alumínium ötvözet mechanikai tulajdonságaira gyakorolt rontó hatása, mert a porozítás feszültségkoncentrációs helyként, anyag folytonossági hibaként és repedéskeletkezési helyként egyaránt gyengíti az öntvényt. További feldolgozásra, hőkezelésre vagy hegesztésre alkalmatlanná teszi az öntvényt, mert a felszabaduló gáz hólyagosodást, vagy a varrat porozítását eredményezheti.

2. Felhasznált anyagok és módszerek

A vákuummal támogatott öntéssel a bezáródott levegőt, az elpárolgó gázokat és az olvadék oldott gáztartalmát is csökkenteni lehet. A vákuum támogatás, azaz az elszívás, az öntés folyamata alatt (3. ábra) az üregtöltés lépéseivel (4. ábra) van szinkronban. Az elszívás vezérlését az öntőgép dugattyú útjeladójából kapja.



3. ábra.
Vákuummal támogatott öntés sematikus felépítése



4. ábra.
Az öntés fázisai

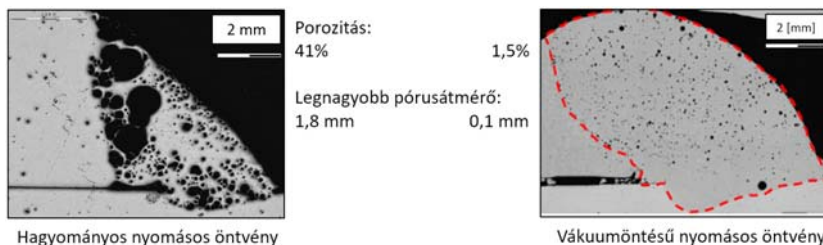
A levegő elszívása a szerszámfelek zárása után, a dugattyúnak az öntőkamra töltőnyílása előtti elhaladását követően kezdődik meg [5]. A levegő és egyéb gázok eltávolítása céljából a szerszámot ilyenkor egy speciális szelepen át olyan vákuumtartállyal kötjük össze, amelynek a bruttó térfogata a szerszámüreg, a rávágások, az elszívó rendszer és a töltőkamra levegővel telt résztérfogat-összegének 100–500 szorosa [6]. A vákuummal támogatott öntés a gyakorlatban azt jelenti, hogy a zárt szerszámüregben a vákuum értéke 80 millibar (0,08 bar) alatt marad az olvadék bejuttatása és megszilárdulása alatt. A dugattyú, előrehaladása közben, a korábban légtelenített szerszámot feltölti folyékony alumíniummal,

így a vak, zsebszerű mélyedések és a bonyolult szerszámüregek töltése közben az előrenyomuló olvadékfront nem oxidálódik, és nem képez hidegfolyásos terméket.

Az elszívás megvalósításához rugalmas, legalább 8 – 12 cm átmérőjű cső kell, mert csak így szavatolható a gyors és hatékony vákuum létesítése. A megfelelő nyomásértéket a teljes ciklus alatt fenn kell tartani, és az elpárolgó folyadék jelentős térfogatnövekedést okoz. Ez indokolja a nagyméretű vákuumtartályt és a nagy térfogatarányt. Az öntőszerszámra rögzített elszívó szelep sajátossága, hogy a fémhálós szűrő szerkezete szavatolja a folyamatos öntést, vagy legalábbis csak a nagy lövésszámok után szükséges karbantartást. Az így megvalósított vákuum öntés által szavatolt előnyök az alábbiak:

- kis, elméletileg nulla a porozitásra visszavezethető selejt;
- nagyobb az öntött termékek sűrűsége és szilárdsága;
- nagyobb, komplexebb és vékonyabb falú öntvények készíthetők;
- a 4. ábrán vázolt 3. fázis és a végnyomás kisebb lehet;
- nagyobb szerszámélettartam érhető el.

A teljes ráfordítás a szelepekre, a vezérlésre, a tartályra és a szigetelt szerszámházra valójában nem kiemelkedően nagy költség a teljes megvalósítás költségéhez mérve. Azonban az említett előnyök által szavatolt megtakarításoknak csak töredéke a többletköltség. Az üzemeltetés sikere a jól megválasztott és pontosan tartott paraméterekben rejlik. A vákuummal támogatott öntés sajátosságai miatt a minimális kenés a javasolt leválasztóanyag felviteli eljárás. A szerszámtervezésnél a szigetelt kilökő ház, a vákuumszelep kiépítésén és a szerszámfelek hőálló tömítésén kívül a szerszámhűtés okoz tervezési többletet. A rávágások és kilevegőzők alakja a gyors levegő eltávolítás miatt fésűs szerkezetű. Ezeket az elveket felhasználva valósult meg az öntött végek szerszámtervezése, mert csak így volt szavatolható a hegesztett varrat (5. ábra) előírás szerinti, maximum 10%-os porozitása.



5. ábra.
Öntvények hegesztett varratának keresztmetszete

A hegesztett kötést argon védőgázos huzalelektrodás ívhegesztéssel (131) valósítjuk meg, a hegesztőfejet robottal mozgatjuk, a darabokat pedig hegesztőkészülékben rögzítjük.

3. A feladat kihívásai a hegesztő berendezéssel szemben

A teljes projekt egyik kulcsfontosságú része volt, hogy már a legelső hegesztési próbákat is hegesztőrobottal tudtuk elvégezni a Froweld Kft telephelyén. A Fémalk Zrt., és a Flexman

Robotics Kft. szakembereivel szorosan együttműködve alakítottuk ki a végleges hegesztési paramétereket és a hegesztőfelszerelés konfigurációját.

A munkadarab pontos tájolásához szükséges megfogó készülékre már a próbák elkezdéséhez is szükség volt, így a Fémalk Zrt. már a robotrendszer megrendelése előtt jóval korábban megrendelte az erre szolgáló szerszámot, így a próbák is ebben a készülékben folytak (a robotrendszer beüzemelését követően a készülék szenzorokkal lett felszerelve a gyártás nagyobb üzembiztonsága miatt). A készülék korai megrendelése több szempontból is jó döntésnek bizonyult: egyrészt a hibái orvosolhatók voltak még a végleges leszállítás előtt, másrészt több olyan mérést is el lehetett előzetesen végezni, melyek a későbbi sorozatgyártás mielőbbi indíthatóságát segítették elő.

Az öntött darabok primer öntészeti AlSi10MnMg (EN AC-43500-F, öntött, lágyítás és egyéb hőkezelés nélküli állapotú) alumínium ötvözetből készülnek, a középelemet AlSi1MgMn (EN AW 6082 / T6, lágyított állapotú) alumíniumból extrudálással állítják elő, majd ezeket hegesztéssel kötik össze. A választott AlMg4,5MnZr (EN 573-3) hozaganyag az alapfémekhez képest nagy magnézium tartamú ötvözet, melyben a cirkónium a varrat szemcsefinomításáért felel. A választás oka a szilárdsági követelmények kielégítése, amelyet tisztán szilíciummal ötvözött hozaganyaggal nem lehetett elérni.

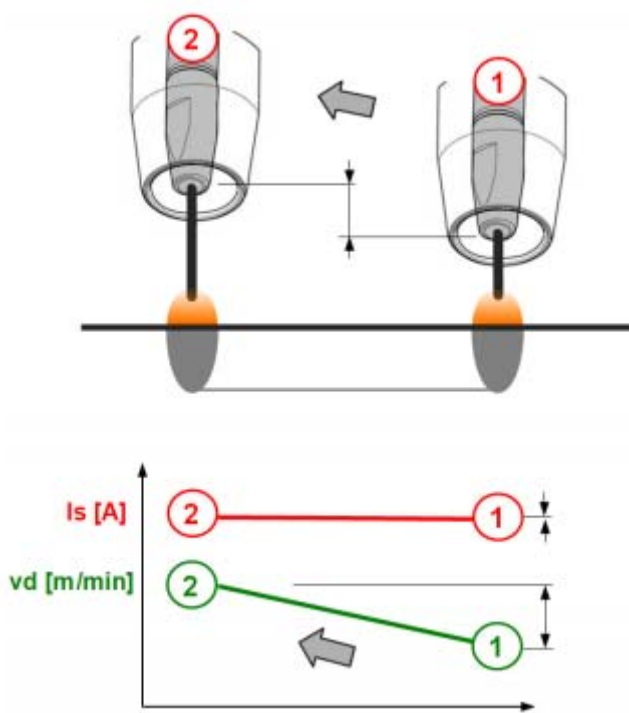
Az alumínium nyomásos öntvény hegesztésekor fellépő porozitás és ív zavaró hatás – az alapanyag gyártástechnológiájának tökéletes megválasztása miatt nem okozott nagyobb problémát. Számunkra a feladat nehézsége a megfelelő beolvadási mélység megvalósításában rejlett.

Az alumínium varratok huzalelektrodás védőgázos hegesztésének nehézsége abból fakad, hogy az alapanyag hővezetési tényezője ($237 \frac{W}{mK}$) és hőkapacitása ($0,897 \frac{kJ}{kgK}$) az acélhoz viszonyítva ($50 \frac{W}{mK}$ illetve $0,46 \frac{kJ}{kgK}$) nagy. Ezáltal a varrat kezdetekor nehéz megfelelő mennyiségű beolvadást elérni. Ez különösen igaz rövid varratok esetén, amiket a jelenlegi munkadarabon kellett végeznünk.

A hegesztéshez felhasznált berendezés Fronius gyártmányú, típusa TPS/i 500, 500 A maximális terhelhetőségű vízhűtéses hegesztő gép, Push-Pull huzal továbbító rendszerrel.

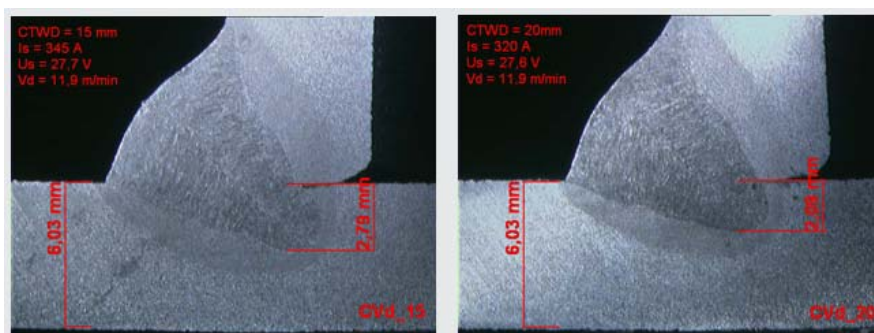
A probléma megoldására különféle módosított anyagátmenetet biztosító huzalelektrodás védőgázos eljárás változatot használtunk, ezek közül legfontosabb a PMC (Pulse Multi Control) volt. Az eljárás változat során a nagysebességű Speed Net kommunikáció lehetővé teszi a cseppátmenet közbeni beavatkozást az áramerősségbe és feszültségbe.

A beolvadás stabilizálás egyenletessé teszi a beolvadást a szabad huzalhossz változástól függetlenül. A szabad huzalhossz változása miatt az állandó áramerősség tökéletesen csak a huzal előtolási sebesség változtatásával hozható létre. Itt szeretnénk megjegyezni, hogy a szabályozott anyagátviteli módokat alkalmazó eljárás változatotoknál olyan alapelvek dőlnek meg, mint például ebben az esetben a huzalelektrodás hegesztésnél az állandó huzal előtolási sebesség (6. ábra). A maximális huzal előtolási sebesség változása a hegesztőgép beállításában rögzíthető. A hagyományos eljárással szemben egyenletesebb beolvadás érhető el. (7., 8. ábra)



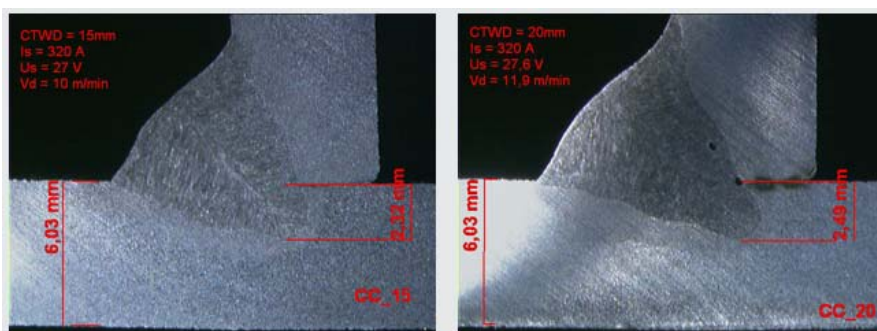
6. ábra

Az áramerősség azonos értéken tartása a beolvadás stabilizátorral



7 ábra

Változó szabad huzalhossz, állandó huzal előtolási sebesség



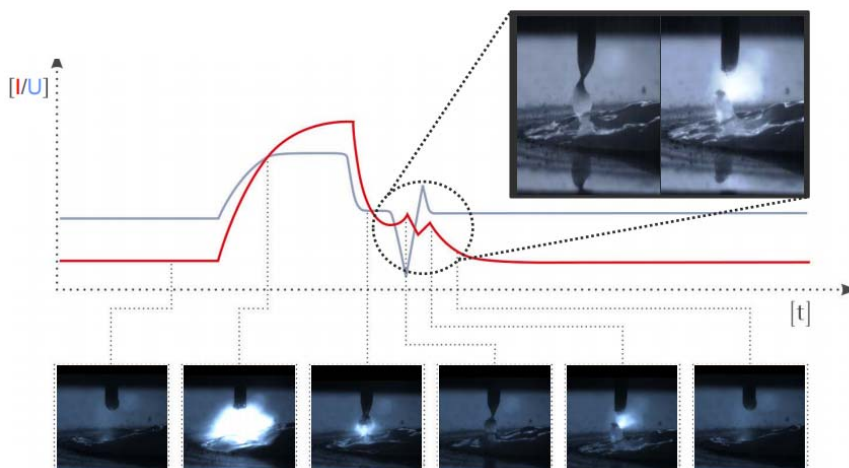
8. ábra

Változó szabad huzal hossz, állandó hegesztési áram

Az ívhossz stabilizálás lehetővé teszi a rövid, koncentrált ív létrehozását, amely segít a rövid varratok beolvadásának optimalizálásában és az öntvény esetleges porozitásának ívzavaró hatását csökkenti. (9. ábra)

A cseppleválás pillanatában – köszönhetően az áramforrás gyors szabályozásának – be tudunk avatkozni mind a hegesztési áram, mind a feszültség értékeibe.

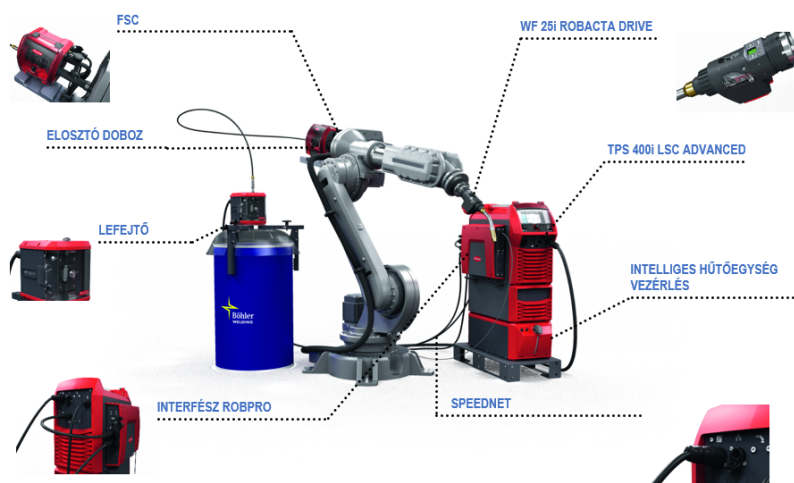
A másik elektronikus megoldás, amit alkalmaztunk, az ívgyújtást segítette. Az előző hegesztési varrat befejezésekor a huzalra adott teljesítmény, valamint az ív újra gyújtása közötti idő mért. Ezáltal az új varrat kezdetekor az ívgyújtási teljesítmény és a huzal munkadarab megközelítési sebessége a huzal valós állapotához (hőmérsékletéhez) mérten optimalizált. Ezen felül az ív gyújtásakor nem impulzus ívet, hanem nagyteljesítményű peremes ívet használtunk, ugyancsak a beolvadás miatt. Mivel a fent említett beolvadási problémák a varrat kezdetén jelentkeznek ezért kritikus, hogy az ívgyújtási folyamatot a mindenkor peremfeltételeknek legmegelőbbben hajtsuk végre.



9. ábra

A PMC eljárás rövid, koncentrált íve növeli a hegesztési sebességet, beolvadást és az ívstabilitást

„PUSH-PULL” rendszer



10. ábra

A alkalmazott Fronius berendezés konfigurációja

A 10. ábrán látható részegységek leírása:

- TPS/i 500 áramforrás: az alkalmazott PMC szoftver lehetővé teszi a biztonságos, reprodukálható beolvasás létrehozását
- WF 25i Robacta Drive előtoló: tökéletes huzal előtolás lágy huzalok esetén is. Támogatja az új nagy dinamikájú karakteristikákat, például a PMC MIX DRIVE-t.
- FSC csatlakozó: központi energia és kommunikációs csatlakozó. Egyszerűen és biztonságosan rögzíti a kábelköteget. Rövidebb karbantartási idő és gyorsabb kopóalkatrész csere jellemzi.
- Elosztó doboz: csatlakoztatja az összes energiát és a push-pull rendszer vezérlőjét.
- Lefejtő: segíti a huzal előtolást hosszabb huzalvezetés esetén.
- RobPro interfész: külső robot interfész extra intelligenciával lehetővé teszi vevő specifikus beállítások alkalmazását.
- SpeedNet: 100 Mbit/s adatbusz szolgál a részegységek közötti kommunikációra. A SpeedNet gyorsabb kommunikációt garantál, pontosabb vezérlést és minden rendszer egység valós időben elérhető.
- Intelligens hűtőegység vezérlés: pont annyi teljesítmény, amennyire szükség van. Olyan kicsi amilyen csak lehet. A vezérlés garantálja a maximális hatásfokot a hűtő rendszerben és a legkisebb energia fogyasztást.

A Push-Pull rendszerű huzalelőtolás létfontosságú volt az alumínium huzal lágyága miatt. Ugyancsak fontos, hogy a rendszer vízhűtéses legyen, hiszen így lehet minimalizálni a huzal további alkatrészek – leginkább az áramátadó – minél kisebb méretváltozását a hő hatására, ami elengedhetetlen a tökéletes előtolás és áramátadás megvalósítása szempontjából.

Tudomásunk szerint a cikk írásának pillanatában még csak a Fronius rendelkezik a legtöbb karba integrált kábelezésű robothoz (PAP) vízhűtéses Push-Pull rendszerű pisztollyal.

Megfigyelhető, hogy egy komplex autóiipari alkalmazásnál hogyan találkoznak a különböző – öntészeti, automatizálási, hegesztési – tudományterületek, és a feladat különböző kihívásokat támaszt velük szemben. A fenti technológiák korai szakaszban elkezdődött egyeztetése, együttműködése, kísérletezése nélkül a feladat nem lett volna megoldható.

4. Robotrendszer kialakítása

A robotrendszer kialakításánál figyelembe vettük a gyártandó éves mennyiséget, a rendelkezésre álló helyet, a darab egy tengely körüli forgatásának szükségességét, illetve az alumínium hegesztéséhez szükséges speciális hegesztőfelszerelést, így esett a választás a Yaskawa MA1440 típusú robotkarjára, valamint a Fronius TPS500i hegesztőáramforrására (11. ábra). A robotkar speciális kialakításának, valamint a Push-Pull rendszerű hegesztőfejnek az egyik nagy előnye, hogy rendkívül precíz ívgyújtást, s huzaltovábbítást biztosít.

A robotrendszer kis alapterületének biztosítása érdekében a berakodási oldalon felső sín nélküli tolóajtó van, ezzel a forgató és az ajtó közti védőtávolság minimálisra csökkent.

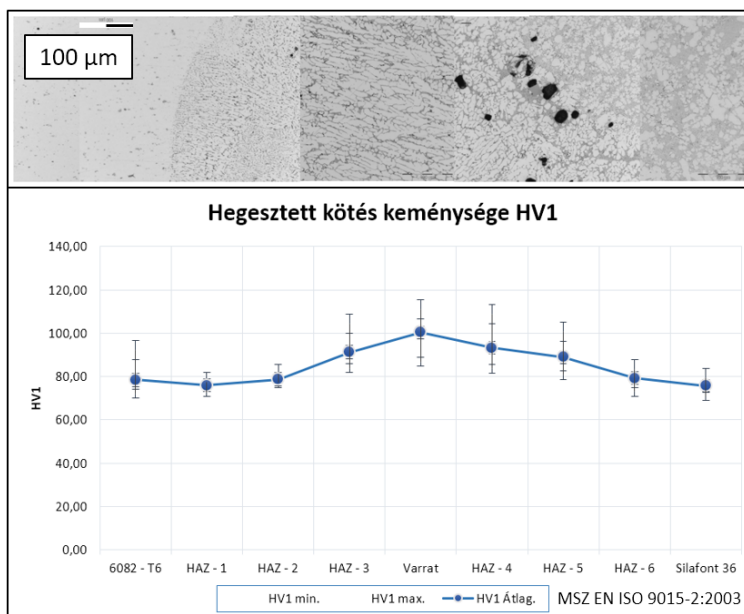


11. ábra.

Yaskawa robotrendszer Fronius TPSi hegesztőfelszereléssel

5. Eredmények és elemzésük

A vevői előírásokban rögzített kritériumok, és a szabványok kielégítése több követelményt támaszt. A legfontosabb kritérium a varrat porozitásának mértéke, amire az öntvény porozitása közvetlenül hat. A hegesztett varrat minőségi követelményei két csoportba sorolhatók. Az első csoport: a varrat mechanikai tulajdonságai, a varrat keresztmetszetének keménysége alapján. A második csoport: a varrat vizuális ellenőrzése, a varrat alakja és a keresztmetszeti csiszolatának mikroszkópi vizsgálata alapján.



12. ábra.

A hegesztett kötés keménysége

A mechanikai tulajdonságokat a hegesztett varrat mikrokeménység-mérése alapján, az MSZ EN ISO 9015-2:2016 [7] szerint vizsgálják. A cél az, hogy megbizonyosodjanak az alapfémek, a hegesztő hozaganyag és ezek hőhatásövezeteinek a keménységi értékeiről. Az értékeket (12. ábra) 0,3 mm-es lépésközzel méri, és a 95%-os konfidenciaintervallumon vett becslését jelenítik meg folyamatos vonallal. Jól látható, hogy a hőhatásövezet nem lágyult ki egyik átmenetben sem, és nincs jelentős szemcsedurulás sem az öntött elem szemcséfinomságához képest. Az öntött elem és a varrat hőhatásövezetében látható minimális porozitás, ennek oka az öntvény oldott gáztartalmának a felszabadulása, de a porozitás mérete és a koncentrációja nagyon kicsi.

A hegesztett varrat további ellenőrzési módja a szabad szemmel végzett vizuális ellenőrzés, ezzel az eljárással a varrat összes felületi porozitását viszonyítják a teljes látható varrat felülethez képest. Ez az érték nem haladhatja meg az 5%-ot. Továbbá, a legnagyobb látható porozitást kell a két legtávolabbi pontja közötti távolság alapján megítélni, ami legfeljebb 1 mm lehet. A varrat kezdésben nem lehet hidegkötés, a végkráterben nem lehet beszívódás,

a varrat teljes hosszának és a hőhatásövezetnek repedésmentesnek kell lennie. Ezeket a kritériumokat a varrat alak sajátosságai alapján ítélik meg, a repedésmentességet penetrációs vizsgálattal ellenőrzik. A varratkeresztmetszet mikroszkópi csiszolatvizsgálata az adott keresztmetszet összes porozitását vizsgálja. Az előírás összesen 10%-ot enged meg, a legnagyobb pórus méret 1 mm-es lehet. A hegesztett varratok vizuális ellenőrzése során a látható porozitás 1-3% körül mozgott. A felületi porozitás mértékét egy összehasonlító ábra segítségével ellenőrizték. A legnagyobb nyílt pórus 0,5 mm-es volt. A hidegkötés és a végkráter beszívódás nem jelentkezett, ezeket a varrat alakjával minősítették. Repedés sem a varratban, sem a végkráterben nem volt látható, valamint a penetrációs vizsgálat során sem tárt fel.

Összefoglalás

A nyomásos öntött alumínium alkatrészek a gyártás folyamán, az olvadék szerszámüregbe juttatása során, nagy mennyiségű levegőt és oldott gázt zárnak magukba, ami szilárd állapotban gázporozitásként jelentkezik. A gázporozitás az öntött darabok hegesztése során felszabadul és rontja az alapanyag mechanikai tulajdonságait. A vákuum támogatás nélkül hegesztett varrat 40%-os porozitása és 1,8 mm-es legnagyobb pórusa 80 mbar-os vákuum támogatással 1,5%-ra csökkent, és a pórusátmérő is legfeljebb 0,1 mm lett. A hegesztett kötés mechanikai tulajdonságait az alapfémek gáztartalma, a hegesztő hozaganyag tulajdonságai és a varrat alak geometriai sajátosságai egyaránt befolyásolják. A jól reprodukálható minőségi gyártást a hegesztés robotosítása biztosítja, mely természetesen a technológiai kísérletek hatékony végzését is nagyban segítette.

Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.autoevolution.com/news/2018-bentley-continental-gt-is-predictably-irresistible-in-the-flesh-120377.html> 2018.03.23.
- [2] Dobránszky J, Bernáth A, Orbulov I: Magnézium: a fém, mely nagyon könnyű, de fontosnak találtatott (1. rész) BKL-Kohászat, 2005. 5. sz., pp. 33-40.
- [3] Dobránszky J, Bernáth A, Orbulov I: Magnézium: a fém, mely nagyon könnyű, de fontosnak találtatott (2. rész) BKL-Kohászat, 2005. 6. sz., pp. 33-40.
- [4] Dr. Dúl Jenő: Nyomásos öntészeti ismeretek – Támop-4.1.2-08/1/A-2009-0001; Miskolc 2009. 2. fejezet
- [5] ÖGI: HPDC-technology, ACR - Austrian Cooperative Research, 2016., 2. fejezet
- [6] NADCA: Introduction to die casting, Arlington Heights, Illinois, 2007., Die Casting Dies, 5. fejezet
- [7] MSZ EN ISO 9015-2:2016: Fémek hegesztett kötéseinek roncsolásos vizsgálatai. Keménységvizsgálat. 2. rész: Hegesztett kötések mikrokeménység-vizsgálata (ISO 9015-2:2016); 2016.

- [8] Bernhard Wiesinger. (2017): Fundamentals of the PMC and LSC process. [Pamhlet]. Wels: Fronius International GmbH, Division Welding Technology
- [9] D.S. Nagesh, G.L. Datta: Prediction of weld bead geometry and penetration in shielded metal-arc welding using artificial neural networks. Journal of Material Processing Technology, Volume 123, Issue 2, 2002.04.30, pp. 303-312.
- [10] Stefan Höglinger. (2017): TPS/i welding improvement. [Power Point Presentation]. Wels. Fronius International GmbH, Division Welding Technology

TÍZ ÉV TAPASZTALATA ALUMÍNIUM NAGYVASÚTI KOCSSZEKRÉNYEK GYÁRTÁSÁBAN

10 YEARS EXPERIENCE WITH PRODUCING ALUMINIUM RAILWAY CAR BODIES

Koronczai László

Minőségbiztosítási és Hegesztésfelügyelet vezető/ vezető

Hegesztőmérnök IWE/IWE

STADLER Szolnok Kft

laszlo.koronczai@stadlerrail.com

Alkalmazott anyagminőségek és hegesztőanyagok. A megfelelő raktározás fontossága. Alkalmazott védőgáz és további védőgáz lehetőségek. Hegesztő létszám biztosításának nehézségei. A tervezés és a gyártás kapcsolata, a visszacsatolások fontossága. Néhány elkerülendő csapda a gyártásban: technológiai vizsgálatok, előmelegítés, hegesztési alakváltozások, profilok kialakítása, anyagvizsgálatok profilok esetében, küzdelem a porozitás ellen, javítási és egyengetési lehetőségek. A hegesztés automatizálása. A hegesztők egészségének védelme.

Applied material qualities and welding materials. The importance of proper storage. Applied protective gas and further protective gas possibilities. The difficulties of ensuring the number of welders. The connection of planning and production, the importance of feedback. Some traps to avoid in the production: technological tests, preheating, welding deformations, profiles shaping, material testing for profiles, struggling against porosity, repair and straightening possibilities. Welding automation. Protection of welders' health.



AVANTO™ – újszerű hegesztési menedzsment

A nyomonkövethetőség, a minőség és a hatékonyság
növelése minden hegesztésben.

Az AVANTO™ a Linde újszerű felhő alapú megoldása, amely lehetővé teszi a hegesztési folyamatok egyszerű kezelését és átláthatóságát. Biztosítja az adatok valós idejű rögzítését, monitorozását és elemzését.

Alkalmazásával a hegesztési munkafolyamat minden lépése ellenőrizhető, nyomon követhető, amely a minőségbiztosítás alapfeltétele. Az AVANTO segíti az ipari szabványoknak való megfelelést, miközben csökkenti a költségeket és egyszerűsíti a dokumentálási folyamatot.

Amennyiben további információkat szeretne az AVANTO-ról, kérjük keresse munkatársainkat, illetve látogasson el a www.linde-avanto.com weboldalra.

Linde Gáz Magyarország Zrt.
9653 Répcelak, Carl von Linde u.1.
www.lindegas.hu
www.linde-onlineshop.hu



TELJESÍTMÉNYNÖVEELÉS LEHETŐSÉGEI ALUMÍNÍUM ÖTVÖZETEK TIG-HEGESZTÉSE SORÁN

POSSIBILITIES TO INCREASE THE PERFORMANCE OF TIG WELDING OF ALUMINUM ALLOYS

Lakos Szabina

Schwarz Müller Járműgyártó és

Kereskedelmi Kft

szabina.lakos@schwarzmueller.com

Gyura László

Linde Gáz

Magyarország Zrt

laszlo.gyura@linde.com

Annak ellenére, hogy a váltakozó áramú TIG (AC) hegesztés gyakori hegesztéstechnológia alumínium szerkezetek gyártásánál, az eljárás relatív kis teljesítménye miatt vastagabb szelvényeknél, nagyobb teljesítményigényeknél alkalmazása már meglehetősen korlátozott. Az alábbi cikk röviden áttekinti az eljárás teljesítmény növelésének lehetőségeit (előmelegítés, gépesítés, védőgáz stb.). Kiemelten bemutat egy új speciális eljárás változatot, az ún. pozitív pólusú elektródával történő hegesztést – DC+ (egyenáramú hegesztés fordított polaritással), annak előnyeit, és alkalmazási korlátait. Mindemellett rövid áttekintést adunk az eljárással, a Schwarz Müller Járműgyártó és Kereskedelmi Kft-nél végzett kísérletek eredményeiről.

Even though the alternate current TIG (AC) welding is a frequent welding technology for the manufacture of aluminum structures, due to the relatively low performance of this process, the use of thicker materials and the application of higher power requirements is rather limited. The presentation briefly reviews the possibilities of increasing the process efficiency (preheating, mechanization, shielding gas, etc.). It introduces a new special process variant, a so called welding with positive pole electrodes - DC + (Direct current welding with reverse polarity), it shows the advantages and the limitations of application. Nevertheless, we provide a brief overview of the results of the experiment conducted at Schwarz Müller Ltd.

1. Bevezetés

Napjainkban az alumínium szerkezetek gyártási igénye folyamatosan nő, amelyben nagy szerepe van közlekedési eszközökkel, járművekkel (autóipar, vasút, hajó stb.) szemben támasztott fokozódó követelményeknek (súlycsökkentés, korrózióállóság növelés stb.). Ugyanakkor a növekedést valamelyest lassítja a szálerősítési műanyagok, valamint a növelt szilárdságú acélok mind gyakoribb alkalmazása. Az alumínium szerkezetek terjedésének további korlátja a jó minőséget biztosító, ugyanakkor nagy teljesítményű hegesztéstechnológiák hiánya. A létező nagy teljesítményű technológiák (pl. lineáris kaváró dörzshegesztés), alkalmazhatósága általában meglehetősen korlátozott. A hagyományos, gyakran alkalmazott védőgázos hegesztéseknél nehéz a jó minőséget és a nagy

teljesítményt együtt megvalósítani. Az alumínium ötvözetek TIG (AC) hegesztését a jó minőség mellett a nem túl magas termelékenység jellemzi, míg a MIG hegesztés elfogadható teljesítményéhez általában minőségi problémák járulnak. (MIG – huzalelektrodás semleges védőgázos ívhegesztés /131-es eljárás/, TIG (AC) – wolframelektrodás semleges védőgázos váltakozó polaritású árammal történő ívhegesztés /141-es eljárás/ [9]) Az alábbiakban a védőgázos technológiák (elsősorban a TIG-hegesztés) minőségi és teljesítmény növelési lehetőségeit foglaljuk össze.

2. Az alumínium hegesztésének kihívásai

Jellemzően az alumínium jó hővezetőképessége, nagy hőtágulása, a felületén keletkező oxidréteg, valamint az olvadt állapotban történő jó hidrogén-elnyelő képessége okozza azokat a problémákat, amely az alumínium ötvözetek hegeszthetőségénél gondot okoz. Az említett tulajdonságoknak köszönhetően a hegesztett szerkezetek nagy deformációra hajlamosak, a vastagabb szelvényméretek áthegesztése nehéz, valamint a kötés hajlamos a porozitási hibákra. Ez utóbbi hibák elkerülése érdekében nagyon fontos a tiszta, huzatmentes környezet, a száraz, zsír- és olajmentes alap- és hegesztőanyag, a védőgáz és annak ellátó rendszerének megfelelő minősége.

Természetesen az alkalmazott eljárásokkal szemben is van kihívások, hiszen nem mindegyik technológiánál jelentkeznek ugyanazok a problémák, sőt sok esetben az egyik eljárásra jellemző előnyös tulajdonság egy másik eljárás hátrányaként jelenik meg. Az 1. táblázatban a teljesség igénye nélkül összefoglaltuk a két „klasszikus” védőgázos ívhegesztési technológia (MIG ill. TIG (AC)) alumínium ötvözetek hegesztésekor jellemző előnyeit, valamint hátrányait (kevésbé előnyös tulajdonságait)

Jellemzők	MIG	TIG (AC)
Termelékenység	+	-
Automatizálhatóság	+	-
Hegesztőanyag felhasználás	-	+
Munkadarab előkészítési igény	-	+
Porozitás/repedés érzékenység	-	+
Leolvastási teljesítmény	+	-
Felületi minőség/esztétika	-	+
Füst/gáz képződés	-	+
Hangemisszió	+	-
Utómunkák (tisztítás)	-	+
Zárványok kialakulási veszélye	-	-

1. táblázat.

A védőgázos technológiák jellemző tulajdonságai alumínium ötvözetek hegesztésekor
(+: jellemzően előnyös, -: jellemzően hátrányos, problémát okozó tulajdonság)

A táblázat alapján is látható, hogy a két gyakran alkalmazott technológia több szempontból történő összehasonlításának eredménye sok esetben éppen ellentétben áll egymással.

Felmerülhet a kérdés, elképzelhető-e olyan védőgázos eljárásváltozat, amely a két hagyományos technológia előnyeit ötvözi anélkül, hogy további problémák jönnének létre? A következőkben ennek egy lehetséges megoldását is bemutatjuk.

3. A termelékenység növelés lehetséges módszerei

Az alumínium ötvözetek hegesztésének legnagyobb kihívása általában a termelékenység növelése, értelemszerűen a minőség romlása nélkül. Termelékenység növelésen természetesen több mindent érthetünk, de a legfontosabbak a nagyobb elérhető hegesztési sebesség, a nagyobb áthegeszthető lemezvastagság (beolvadási mélység növelés), a nagyobb leolvastási teljesítmény, de ide sorolhatjuk a kötéshiba- és porozitás mentes varrat létrehozásának igényét is.

A termelékenység növelésének lehetséges ismertebb módszerei a következők:

- előmelegítés
- speciális összetételű védőgáz használata (He- tartalmú)
- hegesztési paraméterek változtatása, (pl. áramerősség növelése stb.)
- gépesítés (ide tartozik pl. TIG hegesztés esetén a hegesztőanyag adagolása)
- speciális eljárás változat alkalmazása (pl. „controlled wave” eljárások)

A fent említett technikák legtöbbje a hegesztők körében jól, vagy részben ismert, amelyek közül néhány módszer hatékonyságának bizonyítására az alábbiakban mutatunk be TIG (AC) eljárás változattal készített kísérleti eredményt. A kísérletek lényege, hogy 5 mm vastagságú alumínium lemezen „hernyóvarratok” készültek hegesztőanyag felhasználása nélkül (142-es eljárás [9]), gépi pisztoly vezetéssel és a vizsgálatok a beolvadási viszonyok elemzésére koncentráálódtak.

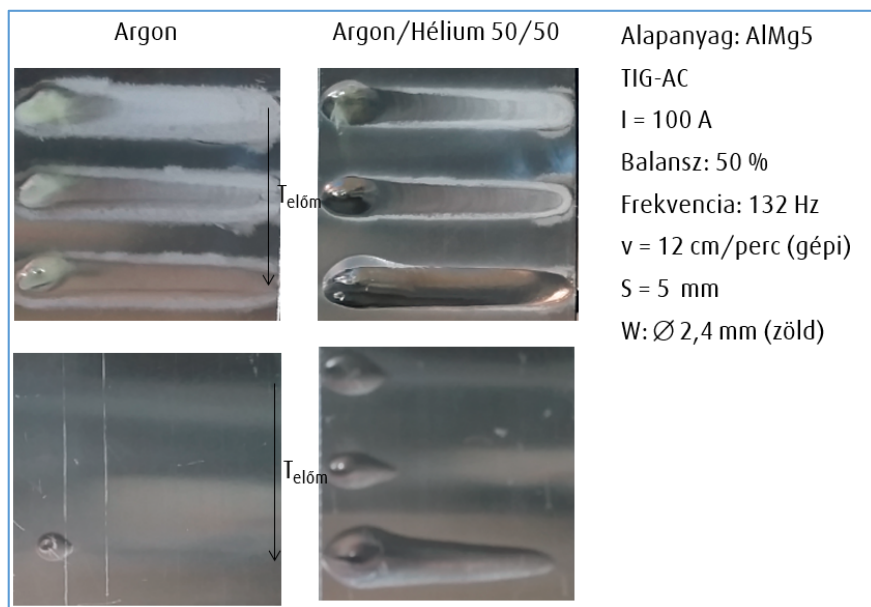
Az 1. ábrán az előmelegítés jótékony hatása látható, melynek növelésével az áthegeszthető lemezvastagság, a beolvadási mélység jelentősen növelhető.

Általában szintén ismert a hegesztők körében a He-tartalmú védőgázok hegesztési sebességre, beolvadási mélységre gyakorolt hatása. A 2. ábrán mindemellett az is megfigyelhető, hogy a héliumos keverékkel készült „varratok” felülete tisztább, fényesebb.

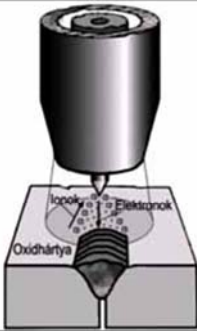
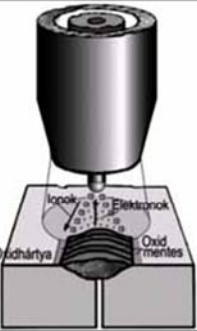
A hegesztési paraméterek hatását a TIG (AC) eljárásra jellemző pozitív és negatív félperiódusok aránya (balansz /B/) és a váltakozó polaritású áram frekvenciája (f) esetében vizsgáltuk. Az eljárással foglalkozó tankönyvek, alapismeretek szerint többé kevésbé elfogadott tény, hogy a balansz változtatásának egyenes polaritás fele történő elmozdulásával a beolvadási mélység, ezáltal az elérhető teljesítmény növekszik (3. ábra). Sokkal kevesebb ismerettel rendelkezünk azonban a váltakozó polaritású áram frekvenciájának hatásáról. Korábbi tapasztalataink, valamint a vizsgálati eredmények alapján is azt mondhatjuk, hogy ez utóbbi paraméternek (f) szignifikáns hatása a beolvadási viszonyokra, így a teljesítményre nincs (4. ábra, jobb oldali két próbadarab).



1. ábra
Az előmelegítés hatása az áthegezhető lemezvastagságra

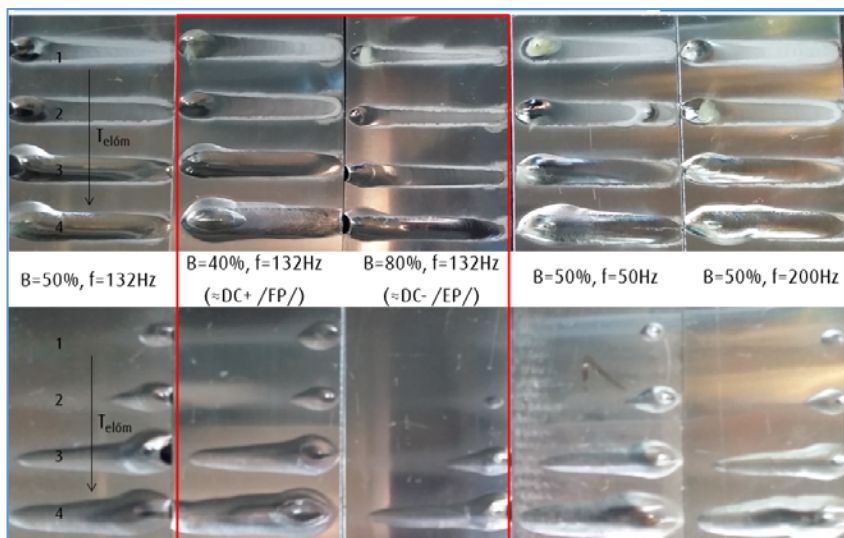


2. ábra
A He-tartalmú védőgáz hatása az „áthegezhető” lemezvastagságra
(a felső képek a korona oldalt, míg az alsók a gyökoldalt mutatják)

Áram ne- me/polaritása	Egyenáram egyenes	Egyenáram fordított	Váltakozó áram
Elektróda polaritása	negatív	pozitív	váltakozó
Elektron- és ion- áramlás Beolvadási alak			
Oxidtisztítás	nincs	van	van minden félciklusban
Energia megoszlás	70% munkadarab 30% elektróda	30% munkadarab 70% elektróda	50% munkadarab 50% elektróda
Beolvadási alak	mély, keskeny	széles, sekély	átlagos
Elektróda áramter- helhetősége	kiváló	kicsi	közepes

3. ábra

A polaritás megválasztásának hatása TIG hegesztés során a beolvadási, oxidbontási, és elektróda terhelhetőségi szempontból [1]



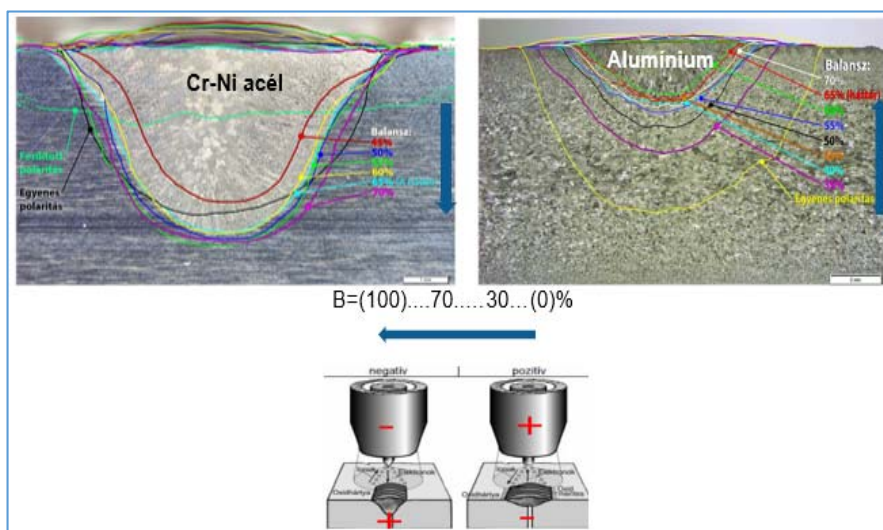
4. ábra

A hegesztési paraméterek hatása az „áthegeszthető” lemezvastagságra
(B: balansz, f: frekvencia: FP: fordított polaritás, EP: egyenes polaritás)
(a fő paraméterek azonosok az 1. ábrán jelöltekkel)
(a felső képek a korona oldalt, míg az alsók a gyökoldalt mutatják)

A balansz hatásának további részletesebb vizsgálata előtt, megjegyezzük, hogy e paraméternek számos szakirodalom és elmélet szerint nemcsak a beolvadási viszonyokra, hanem - egyéb szempontok szerint is jelentős - az alumínium ötvözetek hegesztésére is jelentős hatással van. Az alapelv szerint (3. ábra), amennyiben a szimmetrikus váltakozó polaritású áramot ($B=50\%$) „eltoljuk” az egyenes polaritás felé (az elektróda szempontjából a negatív félperiódus arány növekszik, $B>50\%$), az oxid bontás hatásfoka romlik, az elektróda áramterhelhetősége nő, a beolvadási viszonyok javulnak. A $B<50\%$ beállítás az említett jellemzőkre értelemszerűen ellentétes hatást gyakorol.

A beolvadási profil változására irányuló balansz hatás vizsgálatok pl. az [2]-es szakirodalom szerint, erősen ötvözött Cr-Ni acélok esetén a fent leírtak megfelelően igazolhatók (5. ábra, baloldal).

Ezt az elméletet alumínium ötvözetek TIG (AC) hegesztése során azonban több gyakorlati hazai tapasztalat is cáfolja (lásd pl. [2], [3]) (5. ábra, jobb oldal), és mindezt az általunk végzett kísérletek sem támasztják alá teljes mértékben. A 4. ábrán piros négyszögben látható $B=80\%$ balanszhoz (egyeses polaritáshoz „közelítve”) tartozó vizsgálatok az elméletnek megfelelően keskenyebb ugyanakkor jellemzően nem mélyebb (sőt kevésbé mély) beolvadást eredményeztek. A fordított polaritáshoz „közelítő” $B=40\%$ beállításnál a beolvadási profil szélesebb (elméletnek megfelelően), mindemellett a beolvadási mélység nemhogy csökken, hanem inkább szignifikánsan nő, ugyanakkor sajnos az elektróda hőterhelése egyértelműen növekszik.



5. ábra

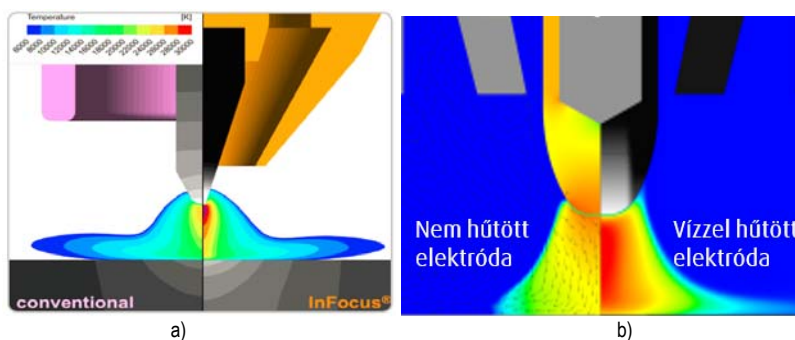
A polaritás, valamint a balansz beállításának hatása TIG hegesztés során erősen ötvözött Cr-Ni acél, valamint alumínium alapanyag esetén [2]

A balansz hatásának alapanyagfüggő különbsége (5. ábra) valószínű az elektromos ív által létrehozott anód és katód folt „milyenségéből”, annak anyagfüggőségéből (pl. meleg-, hideg katód jellegű anyagok) adódik. A termikus elektronemisszió, a hőszugárzás, a hővezetés jellege vagyis az ívben történő anyagáramlás és az energia mérleg az egyes anyagoknál nem egyformán alakul [4].

Az említett irodalmak és a bemutatott kísérleteink alapján megállapítható tehát, hogy alumínium ötvözetek TIG hegesztésére jellemzően a fordított polaritás a kiváló oxidbontás mellett a beolvadási mélységre is pozitív hatással lehet. A probléma az alkalmazhatóság szempontjából az elektróda túlzott hőterhelése. Kézenfekvőnek tűnhet, ha az elektróda hűtése intenzív módon, hatékonyan megoldható lenne, a TIG DC+ eljárás változat alumínium hegesztése során a jelenleg alkalmazott eljárásváltozatokkal szemben számos előnyt eredményezne.

4. Egy speciális TIG DC+ eljárás változat

A TIG eljárás teljesítményének növelését elsősorban a hozaganyag gépesített adagolásával (hideg-, meleg huzal adagolás) igyekeznek megoldani. Léteznek azonban olyan eljárás változatok is, amikor speciális pisztoly (elektróda, gázterelő) kialakítással az ív koncentráálásával igyekeznek a teljesítményt fokozni (6. ábra baloldal) [5].



6. ábra

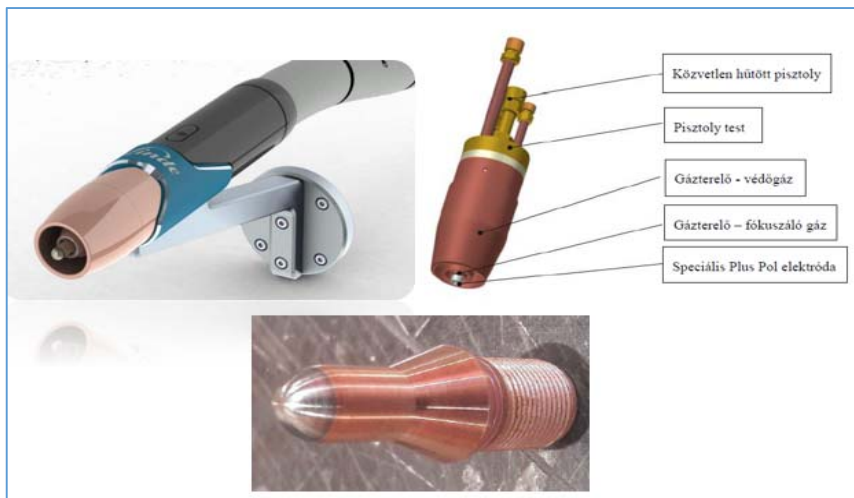
Hőmérséklet eloszlás speciális kialakítású TIG pisztolyoknál

(a.: hagyományos, ill. Infocus kialakítás [5])

b.: fókuszáló gázos kialakítás nem hűtött, ill. hűtött változat [6])

A közelmúltban a LINDE AG, valamint a KJELLBERG Finsterwalde GmbH közös fejlesztésének eredményeként kidolgozásra került egy olyan TIG DC+ eljáráshoz használható hegesztőpisztoly (Plus Pole welding torch) – ezzel egy eljárás változat -, amely kialakításának köszönhetően az előző fejezetben bemutatott előnyöket realizálni tudja anélkül, hogy az elektróda túlhevülése bekövetkezne [7]. Az elektróda, a hűtéséhez szükséges „üreges” kialakítása miatti, relatíve nagy mérete (átmérő), és a fordított polarításra jellemző széles beolvadási profilt eredményező szélesebb ív miatt (lásd korábban) az ívet „szűkíteni”, koncentrálni kell (6. ábra, jobboldal). Az ív szűkítését a finomsugaras plazma pisztolyokhoz hasonlóan, az eljáráshoz használt védőgáz mellett, egy speciális összetételű

külön fókuszáló gáz alkalmazásával érhetjük el (7. ábra). A pisztoly, ill. az elektróda a speciális kialakításnak köszönhetően nagy árammal (akár 450 A) terhelhető, viszont robosztus mérete miatt egyelőre csak gépi úton mozgatható.



7. ábra

A TIG DC+ eljáráshoz tervezett hegesztőpisztoly felépítése, valamint a hozzá alkalmazott speciális, vízzel hűtött elektróda [6]

A Linde AG-nál történt laboratóriumi kísérletek alapján a 8. ábra jól mutatja a hagyományos TIG (AC), valamint MIG eljárással történő összehasonlítást. Megállapítható, hogy a technológia képes elérni, sőt meghaladni a MIG eljárás teljesítményét (hegesztési sebességét) mindemellett biztosítja a TIG (AC)-re jellemző hibamentes varratminőséget.

	TIG-AC	MIG	Plus Pole
	v_w 25 cm/min	40 cm/min	200 cm/min
2mm	Korona		
	Gyök		
	v_w 18 cm/min	29 cm/min	38 cm/min
6mm	Korona		
	Gyök		

8. ábra

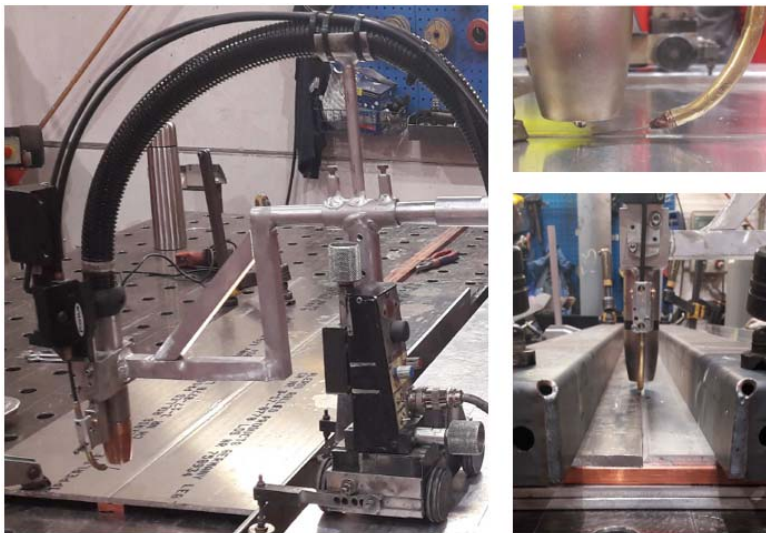
A TIG (AC), a MIG és a TIG DC+ (Plus Pole) eljárással készített varratok, ill. a hegesztési sebesség összehasonlítása [7]

5. Hegesztési kísérletek a Schwarzmüller Kft-nél

A bemutatott TIG DC+ eljárással a Schwarzmüller Járműgyártó és Kereskedelmi Kft termékein előkísérleteket végezhetünk 7-8 mm vastagságú HOGAL5558-H14 típusú alumínium ötvözetek tompakötéseinek elkészítésére („1/2V”, „V” leélezéssel, ill. leélezés nélkül) [8]. A kísérletek a cikk írásakor még folynak, így jelenleg néhány előkísérleti eredmény bemutatására van lehetőségünk. A technológiához egy Fronius Magic wave hegesztőgépet, és egy relatíve nagy teljesítményű hűtőegységet alkalmaztunk. A hegesztés körülményeit, beállításait a 9. ábra szemlélteti.

Példaként az éllelkészítés nélküli „I” varratok készítését a 2. táblázatban látható paraméterek beállítása mellett végeztük el. Az ismertetett paraméterekkel a 8 mm vastagságú lemez egy lépésben áthegezhethető (10. ábra), és lényegesen kevesebb hegesztőanyag felhasználására kerül sor, mint a jelenleg használt MIG hegesztés („1/2 V” előkészítéssel) során. Hasonló eredményeket értünk el az leélezett lemezek esetén is.

Mindenképpen meg kell azonban jegyeznünk, hogy jelenleg alkalmazott MIG hegesztéshez képest (jellemző áramerősség 230-260 A) a TIG DC+ (jellemző áramerősség 340-370 A) eljárással lényegesen nagyobb a bevitt hő értéke. Ez a többlet hőbevitel a szerkezeten nagyobb deformációt, és eseténként melegrepedés jellegű hibát okozhat, így a TIG DC+ eljárás gyártásba történő bevezetése ennél a termékénél (varrat típusnál) jelenleg még nem lehetséges.



9. ábra

Kísérleti elrendezés a Schwarzmüller Járműgyártó és Kereskedelmi Kft termékének TIG DC+ eljárással történő hegesztéséhez [8]

S. sz.	Áramerősség [A]	Ívfeszültség [V]	Huzaladagolás [m/min]	Heg. sebesség [cm/min]
1.	340	25-26	5	22
2.	340	25-26	5,5	25
3.	370	26-27	5,5	28
4.	370	26-27	7	28
5.	370	26-27	7,5	28

2. táblázat.

A TIG DC+ kísérlethez alkalmazott paraméterek „I” varrathoz
(védőgáz I1-Ar 18-20 l/min, fókuszáló gáz: Z-Ar00,05 8-10 l/min, huzal méret 1,2 mm) [8]



10. ábra

Egy 8 mm lemezvastagságú TIG DC+ eljárással, 2. táblázat 3. sora szerinti paraméterekkel készített „I”-varrat képe (korona oldal, gyök oldal, makroszkópikus csiszolat) [8]

6. Összefoglalás

A cikkben röviden ismertettük az alumínium ötvözetek védőgázos hegesztésének problémáit, a hegesztési teljesítmény növelésének lehetséges módjait. Elemeztük a TIG hegesztés polaritásának, valamint a váltakozópolaritású eljárás változatok technológiára, valamint a hegesztési teljesítményre gyakorolt hatásait. Röviden bemutattunk egy TIG új eljárás változatot (TIG DC+), melyről még nagyon kevés gyakorlati tapasztalattal rendelkezünk. Nevezett eljárással végzett kísérletekbe rövid betekintést adtunk. Kísérleteink alapján egyértelműen bebizonyosodott, hogy az eredetileg a 7-8 mm vastagságú lemezek tompavarrataihoz az új eljárás változat maradéktalanul nem alkalmazható. Az előkísérletek alapján vékonyabb lemezek/profilok hegesztésére a bemutatott technológia valószínűleg eredményesebben alkalmazható lesz. A kísérletek a járműgyártás területéhez kapcsolódva mind az eredeti célkitűzés szerinti „vastag” lemezek, mind kisebb falvastagságú profilokon jelenleg is folynak. Bízunk abban, hogy ezen kísérletek pozitív eredménnyel végződnek, amelyekről a közeljövőben valamilyen szakmai fórumon beszámolhatunk.

Irodalomjegyzék

- [1] Szunyogh L.: Hegesztés és rokon technológiák Kézikönyv – Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007.
- [2] Parrag P.: A polaritás hatása a varratképzésre védőgázos ívhegesztéseknél – MsC diplomamunka 2016, (DT-A_ATT/09) (Konz.:Dobránszky J., Gyura L.)
- [3] Mohácsi G.: Az inverteres áramforrású, váltakozó áramú AVI hegesztés balansz változtatásának hatása a varrat beolvadására és a hegesztési sebességre - Hegesztéstechnika XXVI. évf. 2015/2
- [4] Kristóf Cs.: Az ívhegesztés hőforrása – BME, szóbeli előadás, 2017
- [5] InFocus — High-Performance-TIG, Kjellberg Finsterwalde Schweißtechnik und Verschleißschutzsysteme GmbH, 2013
- [6] Plus Pole Aluminium Welding, TIG quality @ more than MIG speed- internal training Linde AG, 2016
- [7] E. Siewerta, N. Hussary, M. Schnick, M. Dreher, H. Schuster - New GTAW variant for high throughput aluminium welding, IIW Doc.XII-2328-17
- [8] Lakos Sz. - Alumínium alapanyagú közúti haszonjármű padlólemez tompán illesztett kötésének hegesztéstechnológiai fejlesztése termelékenység növelés céljából – diplomamunka (LG MSC 11/2017), Óbudai Egyetem (Konz.: Kovács T., Vajas A.)
- [9] MSZ EN ISO 4063:2016 – Hegesztés és rokon eljárások. A hegesztési eljárások megnevezése és azonosító számuk

ALUMÍNÍUM LEMEZEK ULTRAHANGOS HEGESZTÉSE SORÁN LÉTREJÖVŐ REPEDÉSEK ELEMZÉSE

ANALYZATION OF THE ULTRASONIC WELDED ALUMINIUM SHEET CRACKING

Kovács Tünde

Gáti József

Óbudai Egyetem

kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

gati@uni-obuda.hu

Az ultrahangos hegesztés során a hegesztett kötést a darabok között a nagy frekvenciás rezgés hatására létrejövő súrlódás és az összeszorító erő hozza létre. A technológiai paraméterektől függően a hegesztés során különböző fémtani folyamatok mennek végbe. A súrlódásból keletkező hőmennyiség a beállított amplitúdó és a hegesztési idő függvénye. Acél anyagok esetén a kifáradási határ értelmezett. Ezzel szemben az alumínium ötvözetekre nézve a vélemények megoszlanak. Az ultrahangos hegesztés felfogható a hegesztési idő függvényében egy nagy vagy kisciklusú fárasztó igénybevételként is, mely a hegesztés során károsodást, repedések keletkezését és rideg törést eredményezhet. Alumínium vékony lemezek hegesztési kísérletei során tapasztaltuk, hogy bizonyos paraméterek hatására a varratban, illetve a varrat közelében repedések indulnak el. Ennek a jelenségnek a felismerése indított arra, hogy összefüggést keressünk az alkalmazott paraméterek és a repedési károsodási jelenség létrejötte között.

The ultrasonic welded joint establish by pressure, high frequency vibration and it's caused friction. As function of the technological parameters during this process some metallurgical feature is changing. The nascent heat temperature depends on the used amplitude and welding time. In case of steels the fatigue limit is well understand and known. In case of the aluminium alloys this conception is not uniformly accepted in the material science. The ultrasound welding because of the high frequency sound can show same effect like high-cycle or low-cycle fatigue load what can cause damage process cracks and breaking. We detected in case of the thin aluminium sheets welding process that in the joint or in the heat affected zone these parameters effected crack propagation. The identification of this phenomenon based our experiments and we wanted to find relationship between the used parameters and the crack propagation.

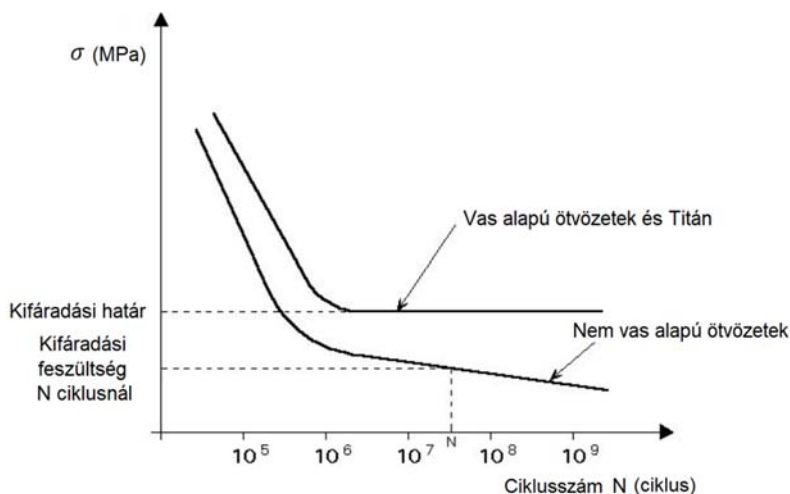
1. Bevezetés

Az ultrahangos hegesztés vékony lemezek kötési technológiájához alkalmazható eljárás.[1]. A tiszta alumínium és ötvözeinek hegesztése a felületén képződő magas olvadási hőmérsékletű oxid réteg miatt az ömlesztő hegesztő eljárások során is nagy figyelmet követel. A sajtoló hegesztő eljárásoknál más problémákkal találkozunk. Mivel az ultrahangos hegesztés során képlékeny alakváltozás is történik, ezért az alkalmazott lemezek alakváltozó képessége befolyásolhatja a hegesztett kötés szilárdságát. A hidegen hengerelt

félkemény vagy kemény darabok esetében előfordulhat, hogy hegesztés előtt lágyítás szükséges az alakváltozó képesség növelésére.

A tiszta alumínium és ötvözetek esetében a kifáradási határ értelmezése nem egységes. Vannak olyan elméletek, melyek szerint az alumínium és ötvözeteknél a kifáradási határ nem vagy korlátozottan értelmezhető (1. ábra) [2]. A kifáradási határ feszültséget a folyáshatár alatti nagyszámú ismétlődő terheléssel végzett vizsgálat eredményeként határozzák meg

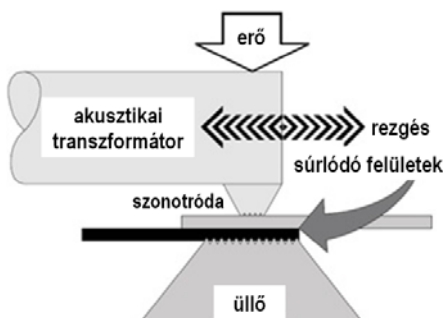
σ .



1. ábra

Kifáradási határ értelmezése különböző fémötvözeteknél [2]

Az ultrahangos hegesztésnél a nagy frekvenciás ultrahang diszlokációkra gyakorolt alakváltozást elősegítő hatását használjuk ki [3], mivel ez a hegesztési technológia sajtoló hegesztésnek tekinthető, így a kötés létrejöttét a képlékeny alakváltozás okozza. A 2. ábra az ultrahangos fémhegesztés egyik jellegzetes elrendezését mutatja, míg a 3. ábrán a kész kötés szonotróda felőli alakváltozott felületének nagyított képe látható.



2. ábra Ultrahangos hegesztés, mint nagyfrekvenciás rezgő dörzshegesztés [1]



3. ábra A kötés felületén látható képlékeny alakváltozás

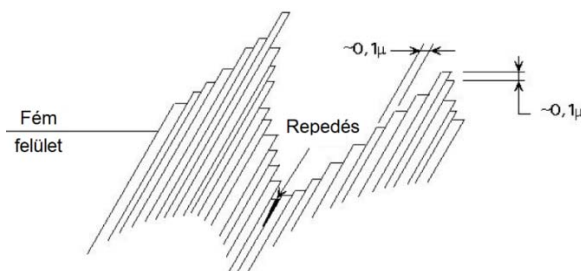
2. Kifáradás

Mivel az ultrahangos hegesztés vibrációs hatáson alapul, amely ismétlődő igénybevételnek tekinthető, ezért számolni kell a kifáradás jelenségével.

A fáradásos törés folyamata három részre osztható:

1. Repedésképződés,
2. Repedés terjedés,
3. Törés.

A fémek fáradásos törési káreseményei összekapcsolhatók a képlékeny alakváltozást okozó feszültségekkel. Jellemzően képlékeny hidegalakított repedések keletkeznek. A folyáshatár alatti nagyciklusú igénybevétel hatására törés keletkezik. Az ismétlődő igénybevétel vonalhibát eredményez a kristályszerkezetben, ez a diszlokáció mozog és így repedés majd törés következik be. A repedés képződés mechanizmusát a 2. ábra mutatja be. Az ultrahangos hegesztés során a ciklusszám az alkalmazott frekvenciából meghatározható (az alkalmazott eljárás esetén 20 000 ciklus/s).



4. ábra

Repedés képződés egy lehetséges képződési mechanizmusa [2]

3. Hegesztési paraméterek és a kifáradás kapcsolata

Az ultrahangos hegesztési technológia alkalmazása során tapasztaltuk, hogy a kötéstől azonos távolságban a hegesztett lemez elvékonyodik, majd rajta repedés indul el. A megfigyelések során az alkalmazott paraméterek közül kerestük azt a paramétert, ami a repedés kialakulásának elméleti okaival összhangban hatással lehet a károsodásra. Mivel a repedések keletkezését kis-, vagy nagyciklusú fárasztó igénybevétel okozhatja, ezt kívántuk vizsgálni.

A hegesztés során az alkalmazott frekvencia a berendezés által meghatározott $f=20\,000\text{ Hz} \pm 50\text{ Hz}$. A kísérletekhez alkalmazott berendezés a Branson Ultraweld L20 hegesztő készülék. A további paraméterek a rezgés időtartama t (s), rezgés amplitúdója A (μm), összeszorító normál erő F (N), teljesítmény P (W) mely az (1) összefüggésből:

$$P = F \cdot A \cdot f \text{ [W]} \quad (1)$$

Az ismétlési ciklusok számát N (ciklus) az alkalmazott frekvenciából f (Hz) és a hegesztési időből t (s) határozhatjuk meg a (2) összefüggés szerint:

$$N = t \cdot f \text{ [ciklus]} \quad (2)$$

Mivel a hegesztés során a frekvencia állandó a ciklusszámot a hegesztési idő határozza meg.

4. Kísérletek

Kísérleteinkhez 1 mm vastag alumínium (EN AW 1050A H24) lemezeket használtunk. A lemezeket a hegesztést megelőzően, mivel félkemény állapotúak voltak, a darabolást követően kilágyítottuk. A próbatestek mérete 15x60 mm.

A lágyítást 580 °C-on labor kemencében, levegő atmoszférán 3 órán keresztül hőn tartással, majd kemencében hűtve végeztük. A hegesztési technológia során minden paraméter állandó értéken tartottunk az 1. táblázat szerint.

Paraméterek	
Amplitúdó	40 μm
Frekvencia	20000 Hz
Energia	580 J
Teljesítmény	1180 W
Hegesztési idő	0,76 s
Összeszorító nyomás	0,18 MPa

1. táblázat.

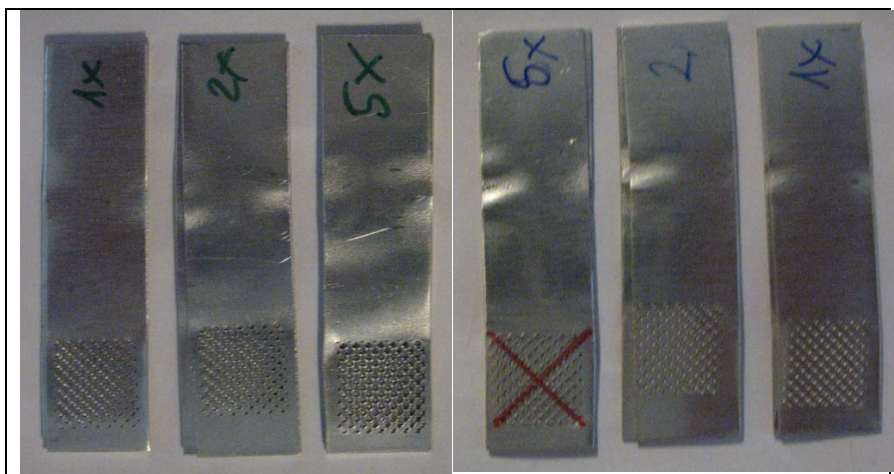
Az alkalmazott hegesztési paraméterek

Mivel a ciklusszámot az alkalmazott paraméterek közül a hegesztési idő határozza meg, mivel a frekvencia konstans, ezért különböző hegesztési idő változtatása mellett végeztük a kísérleteket. A három kísérleti darabon a 2. táblázat szerinti hegesztési időket alkalmaztuk.

Jelölés	Hegesztési idő (s)	Ciklusok száma (db)
1x	0,76 s	15 200
2x	1,52 s	30 400
5x	3,8 s	76 000

2. táblázat.

Az alkalmazott hegesztési idők és számított ciklusok száma



5. ábra

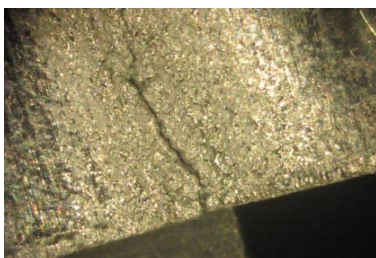
Repedés képződés a hegesztett lemezek a kötés szonotróda (zöld jelölés) és üllő (kék jelölés) felőli oldalán

Az 5. ábrán látható a három különböző ideig hegesztett darab. Már az első kísérletnél is látható, hogy a lemez szélén mindkét oldalon maradó alakváltozás keletkezett. Az 5x jelű próbatesten a lemez végétől 38 mm távolságban repedés látható (6-8. ábra). A 2x jelű próbatesten már a repedés is megjelent és a lemez elvékonyodott, kontrakciós jelenség következett be (5. Ábra). A lemez szélén az alakváltozás és a repedés jól látható a 6-8. ábrákon.



6. ábra

Repedés képződés az 5x jelű darab üllő felőli oldalán



7. ábra

Repedés képződés az 5x jelű darab oldalán



8. ábra

Repedés képződés az 5x jelű darab oldalán

Következtetések

1. A tapasztalt repedés keletkezése és megindulása a 2. táblázat ciklusszámai alapján a nagyciklusú fáradással nem magyarázható.
2. A terhelés mértéke nem haladta meg a folyáshatárt, tehát kisciklusú fáradásnak sem tekinthető.
3. Az alkalmazott paraméterek mellett bekövetkezett károsodási folyamat alapján következtethetünk arra, hogy az alkalmazott alumínium lemez kifáradási határa nem értelmezhető ezért minél rövidebb hegesztési idő alkalmazása javasolható.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet kívánnak mondani a Magyar Államnak valamint az Európai Uniónak az EFOP-3.6.1-16-2016-00010 számú projekt keretében nyújtott támogatásért.

The authors acknowledge the financial support of this work by the Hungarian State and the European Union under the EFOP-3.6.1-16-2016-00010 project.

Irodalomjegyzék

- [1] Bagyinszky, Gyula; Bitay, Enikő: Ultrahangos hegesztés alkalmazástechnikai jellemzői XXIII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülősszaka, 2018. Kolozsvár, p. 31–34. <http://eda.eme.ro/handle/10598/30312>
- [2] <http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/~pmoze/esdep/master/wg12/I0200.htm> (2018.03.22.)
- [3] Tisza M.: Az ultrahang hatása a képlékeny alakváltozás mechanizmusára és a mélyhúzás technológiai paramétereire, Kandidátusi értekezés 1979. Miskolc
- [4] Branson product manual of Ultraweld L20, Branson Ultrasonics Corporation, USA 2017.
- [5] Gy. Bagyinszki, E. Bitay: *Welding technologies II. Setups and measuring*. Vol.2. Műszaki Tudományos Füzetek 10., EME, Kolozsvár/Cluj, 2010. ISSN 2068 – 3081, ISBN 978-606-8178-06-6, ISBN 978-606-8178-05-9, p. 286 <http://eda.eme.ro/handle/10598/15438>
- [6] Gy. Bagyinszki, E. Bitay: *Welding technologies I. Processes and machines*. Vol.1. Műszaki Tudományos Füzetek 9., EME Kolozsvár/Cluj, 2010. ISSN 2068 – 3081, ISBN 978-606-8178-06-6, ISBN 978-606-8178-04-2, p. 288 <http://eda.eme.ro/handle/10598/15437>
- [7] M. Szilágyi, T. Kovács: *Thin aluminium sheets ultrasonic welding*, Hegesztéstechnika, Budapest, 2016
- [8] M. Szilágyi, T. Kovács: *Ultrasonic Welding process in case of aluminium sheets*, Proceedings of 8th International Engineering Symposium at Bánki, Budapest, 2016. paper 55. (<http://bkg.uni-obuda.hu/iesb/2016/publication/55.pdf>)

VÉDŐGÁZOK HATÁSA AUSZTENITES ACÉL MIG/MAG HEGESZTÉSÉNÉL

EFFECT OF SHIELDING GASES ON AUSTENITIC STAINLESS STEEL MIG/MAG WELDING

Balogh Dániel

Linde Gáz Mo. Zrt

daniel.balogh@linde.com

Szabó Richárd

Robert Bosch Kft. Budapest

A huzalelektródás védőgázos ívhegesztések napjaink leggyakrabban alkalmazott hegesztési eljárásai közé tartoznak, amelyek elmúlt évtizedekbeni elterjedésének legfőbb oka a termelékenységevel hozható összefüggésbe. Az ipar, a vevői igény, a rendelkezésre álló idő sok esetben megköveteli, hogy az ausztenites acélok hegesztése huzalelektródás hegesztéssel történjen. Bemutatásra és összehasonlításra kerül a napjainkban a piacon előforduló hegesztési védőgázok, azok összetétele és hatását a hegesztett kötésre és annak minőségére. Az elméleti összefoglaló mellett gyakorlati tapasztalatok alapján kerülnek értékelésre az elérhető védőgázok hatásai. A kiértékelés során megismerhetjük a különböző anyagátviteli módok alkalmazása mellett szerzett tapasztalatokat, az ívsatibilitásra, az áramerősség és feszültség időbeni lefutására, a fröcskölésre, a füstképződésekre gyakorolt hatásokat.

Nowadays, the gas metal arc welding is one of the most commonly used welding process. Over the past decades the main reason of spreading can be related to its productivity. In many cases the industry, the customer demand and the available time require to use MIG/MAG welding for austenitic stainless steels from the welding processes. We present and compare the available welding gases from the industrial gas market, their compounds and their effects to welded joints and quality. In addition to the theoretical summary we evaluate the effects of welding gases by the help of our practical experience. During the evaluation we can learn about the experiences gained with different metal transfer methods about the gases effect to the arc stability, the current and voltage, spatter and smoke generation.

1. Bevezetés

Általánosságban elmondható, hogy a szerkezeti acélok MAG hegesztéséhez alkalmazható védőgáz típusokat illetően a felhasználók meglehetősen kifarrott ismeretekkel rendelkeznek. Szerkezeti acélok hegesztéséhez döntően - a komponensek arányát nézve - 80-90 % argon bázisú, 10-20 % szén-dioxid tartalmú keverékeket használnak. Tapasztalataink szerint a CrNi korrozíóálló acélok huzalelektródás védőgázos hegesztésénél sokkal nagyobbak mondható a bizonytalanság a gáz kiválasztását illetően. Tapasztalt hegesztő kollégák is sok esetben a magyar szakzsargonban elterjedt AFI hegesztésről beszélnek az ilyen anyagoknál, ami védőgázként tiszta argonra utal. Az aktív komponenset nem tartalmazó

technológia az anyag szempontjából előnyös választás ugyan, de ugyanakkor az ív instabilitását okozza, amely egyenetlen varratot, fröcskölést stb. okoz. Anyagszerkezettani szempontból még nem zavaró, ha a védőgáz néhány % -ban aktív komponenst (O_2 , CO_2) tartalmaz, továbbá az ív instabilitásból adódó problémák elkerülhetőek. Sajnos azonban a szakirodalomban sem találunk arra komoly utalást, hogy mikor érdemes oxigénes, illetve mikor érdemes szén-dioxidos keveréket használni. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy milyen használjunk különböző (kis/nagy) teljesítmények esetén vagy például impulzusos technológiáknál. Munkánk során a Linde Gáz Magyarország Zrt. telephelyén található hegesztőrobot segítségével megvizsgáltuk ausztenites alapanyag esetén a különböző összetételű védőgázok hatásait, kísérleteinket tiszta argon gáztól (AFI hegesztés) a különböző oxigénes, illetve szén-dioxidos keverékeken át, a jobb beolvadási tulajdonságokat eredményező hélium tartalmú gázokkal is elvégeztük. Az alábbi cikkben, előadásban röviden áttekintjük a védőgázok hatását - elsősorban az erősen ötvözött anyagok hegesztése szempontjából - és bemutatjuk azokat az eredményeket, amiket méréseink során tapasztaltunk.

2. Ausztenites korrózióállóacélok huzalelektrodás védőgázos hegesztése és a piacon előforduló védőgázok

A huzalelektrodás védőgázos ívhegesztéssel készült varratok esztétikailag kevésbé megfelelőek, mint a volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztéssel készült hegesztési varratok, azonban sokkal termelékenyebb technológia, így az iparban nagyon széles körben alkalmazzák ötvözetlen, illetve erősen ötvözött anyagok acélok hegesztéséhez is.

Eredendően kétféle védőgázt különböztetünk meg: aktív és inert (semleges) védőgázokat. Alapvetően elmondható, hogy a semleges védőgázok nem lépnek kémiai reakcióba a megömlesztett fémmel, míg az aktív védőgázok részt vesznek a hegesztőívben és a megömlesztett anyagokban lejátszódó folyamatokban.

Az ausztenites acélok hegesztése során használható inertgázok [3]:

- argon (Ar) Semleges gáz, nincs kémiai reakció a varratfémmel, alacsony ionizációs potenciál, könnyű ivgyújtás, nehezebb a levegőnél, ömledék hatékony védelme, rossz hővezetőképesség, csekély beolvadás, porozításveszély, pisztoly túlhevülés jellemzi
- hélium (He) Semleges gáz, nincs kémiai reakció a varratfémmel, magas ionizációs potenciál, nagyobb feszültségigény, könnyebb a levegőnél, nagyobb mennyiség szükséges, szélesebb ív, beolvadási hiba elkerülhető, jó hővezetőképesség, nagyobb beolvadás jellemzi
- nitrogén (N_2) Semleges gáz, kémiai reakcióba a varratanyaggal csak nagy hőmérsékleten lép, ausztenitképző, ívstabilitást segítő, önálló védőgázként nem alkalmazható, csak komponensként

Az ausztenites acélok hegesztése során használható aktív gázok [3]:

- szén-dioxid (CO_2) Oxidáló aktív gáz, nagy ionizációs potenciál, nagyobb feszültségigény, ívstabilizálás a fénoxidok képződésén keresztül, jó beolvadási

tulajdonságok, fröcskölést okozhat, főleg szóró- és impulzus ívnél, ezért nem ajánlott a keverékben nagy mennyiségben alkalmazni

- oxigén (O_2) Oxidáló aktív gáz, alacsony ionizációs potenciál, könnyű ivgyújtás, nehezebb a levegőnél, ömledék hatékony védelme, csökkenti a felületi feszültséget, fröcskölés szegény, nagyon jó ívstabilitás, fémoxidok képződésén keresztül, közepes hővezető képesség, csekély beolvadás, pisztoly túlhevülés, önálló védőgázként nem alkalmazható, csak komponensként néhány százalékban alkalmazzák
- hidrogén (H_2) aktív gáz, kémiai redukáló hatás, nagy ionizációs potenciál, nehezebb ivgyújtás, porozitás veszély, anyagfüggő, erősen ötvözött acéloknál, kitűnő hővezető képesség, mély beolvadás, önálló védőgázként nem alkalmazható, csak komponensként

A hegesztendő alapanyagtól, eljárástól függően az alkalmazható védőgáz komponensek típusa és százalékos mennyisége eltérő.

Auszténites acélok TIG hegesztés viszonylag gyakori, ezen eljárás védőgázai így általában ismertebbek, mint a huzalelektrodás hegesztésé. Ezen anyagok TIG hegesztésénél általában tiszta argont, argont + 3-5 % hidrogént, illetve argon helyett 15-50 % mennyiségben héliumot is alkalmazhatunk. A hidrogén segítségével növelhető a hegesztési sebesség vagy a beolvadás mélysége. A hélium az argonnál jobb hővezető képessége miatt szélesebb ívet, biztosabb beolvadást eredményez. A duplex acéloknál nitrogén tartalmú védőgáz keveréket lehet alkalmazni a nitrogén erős auszténitképző hatása miatt a szövetelem arány beállításához. A korrózióálló acélok hegesztéséhez legtöbb esetben használnak úgynevezett gyökvédő, formáló gázt, mely lehet tiszta argon, tiszta nitrogén, argon-hidrogén, nitrogén-hidrogén keverék. Kiválasztásánál figyelni kell a hegesztési pozícióra az eltérő gáz sűrűségek miatt, továbbá bizonyos korrózióálló acélok (pl.: ferrites) hegesztésénél minimalizálni kell a hidrogént a repedés érzékenység miatt. Egyes korrózióálló acélok titánnal stabilizáltak, amelyek hegesztésénél nitrogén gyökvédő gáz alkalmazása mellett aranyárga színű titán-nitrid keletkezik, mely bizonyos alkalmazások mellett nem megengedett [3] [5].

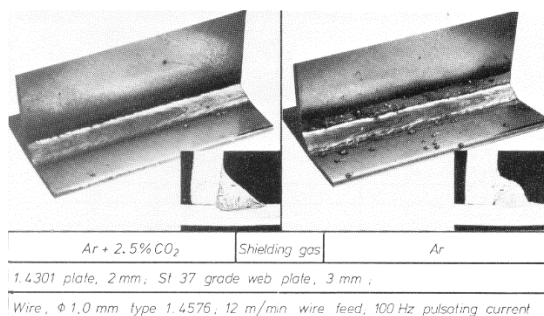
A termelékenység érdekében, ahol a hegesztési varrat minősége kevésbé fontos, huzalelektrodás védőgázos ívhegesztést alkalmaznak. Semleges védőgázos esetben legtöbbször tiszta argont használnak, egyes esetekben az argon tartalom egy része héliummal is helyettesíthető. Ezt a típusú MIG hegesztést gyakran AFI hegesztésnek is szokták nevezni. Korrózióálló acélok hegesztését az MSZ EN ISO 14175:2008 szabvány szerint akkor sorolhatjuk MAG hegesztések közé, amennyiben a védőgáz legalább 0,5% aktív komponenst tartalmaz [4].

Az 1. ábra foglalja össze a különböző, a világpiacon jelenlevő 10, ismertebb gázforgalmazók által a korrózióálló acélok hegesztéséhez ajánlott védőgáz keverékeket [6] [7]. Jól látható, hogy a vizsgált gázforgalmazók számos keveréket kínálnak, melyek fő összetevőként argont, szén-dioxidot, oxigént, héliumot, illetve esetenként hidrogént, nitrogént és nitrogén-monoxidot tartalmazhatnak. A hegesztés akár végrehajtható tiszta argonban is (kisebb beolvadás, több fröcskölés jellemzi, lásd 2. ábra), de sokkal jobb eredmény érhető el a különböző gázkeverékek használatával.

Ssz	Gyártók száma	Ar %	CO2 %	O2 %	He %	H2 %	N %	NO %	Ssz	Gyártók száma	Ar %	CO2 %	O2 %	He %	H2 %	N %	NO %
1	6	98	2						24	1	67,88	0,12		30	2		
2	4	97,5	2,5						25	1	69,5	0,5		30			
3	1	97	3						26	1	68	2		30			
4	2	96	3			1			27	1	66	3		30	1		
5	1	96	4						28	1	66,1	0,9		33			
6	2	95	5			0,01 - 5			29	1	64,1	0,9		35			
7	1	97,97	2				0,03		30	1	63	2		35			
8	1	96,2	2,8			1			31	2	62,2	2,8		35			
9	4	99		1					32	1	62	3		35			
10	2	98,5		1,5					33	1	61	1		38			
11	4	98		2					34	1	60	2		38			
12	2	97		3					35	1	60	1		39			
13	1	95		5					36	1	56,5	2		40	1,5		
14	1	92		8					37	1	49	1		50			
15	1	97	2	1					38	1	48	2		50			
16	1	96	2	2					39	1	44	1		55			
17	2	96	3	1					40	1	43	2		55			
18	1	90	5	5					41	1	24	1,5		74,5			
19	2	83	2		15				42	1	13,5	1,5		85			
20	1	82	3		15				43	1	13	2		85			
21	1	81	1		18				44	1	10			88		2	
22	2	78	2		20				45	1	7,5	2,5		90			
23	1	68			30		2										

1. ábra

10 ismert gázforgalmazó által javasolt védőgáz keverékek korrózióálló acélok MAG hegesztéséhez [1] [6] [7]



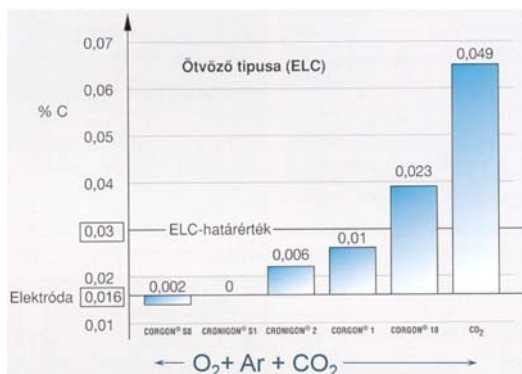
2. ábra

Aktív gázkomponens jótékony hatása a beolvadásra, az ívstabilitásra és a fröcskölésre [2]

Az argon, mint semleges tulajdonságú gáz jól alkalmazható korrózióálló acélok MAG hegesztésénél is bázisgázként. Jellemzője, hogy sűrűsége nagyobb a levegő sűrűségénél, ezáltal normál hegesztési pozíció mellett, megfelelő mennyiségben alkalmazva „ráül” a varratra, biztosítva annak védelmét és segíti az ívgyújtást. Az argon hővezető képessége kisebbnek mondható, mely például nagyobb teljesítmények alkalmazásakor a pisztoly túlhevülésének egyik okozója is lehet, emellett a beolvadás is csekélyebb. A biztosabb beolvadás érdekében aktív gázkomponensek, illetve héliumos keverék alkalmazása előnyös. A hélium az argonhoz hasonlóan semleges gáz, azaz nem létesít kémiai kapcsolatot a varratfémmel. Az argonhoz képest jobb hővezetőképességgel rendelkezik, a keverékben történő alkalmazásával szélesebb ívet, biztosabb beolvadást kaphatunk. Sűrűsége kisebb a levegő sűrűségénél, így például pozícióhegesztéseknél is jól

alkalmazható. Kis mennyiségben hatása nem érződik, legalább 15-20% mennyiségben szükséges bármilyen eljárásnál a védőgázban alkalmazni, hogy használata értelmet nyerjen. A fő inertgáz (argon, hélium) komponensek mellett a többi gázkomponens láthatóan maximum néhány százalékos mennyiségben van jelen a keverékben. Ez a néhány százalékos korlátozás szükséges a korrózióálló acélokra értelemszerűen jellemző jó korróziós tulajdonságok megőrzése érdekében. Hiszen például a védőgáz nagy szén-dioxid tartalma esetén a korrózióálló acél alapanyag alacsony szén tartalma megnövekedhet, elősegítve például a króm-karbid képződést, mely bizonyos helyeken ronthatja a korróziós tulajdonságokat. Általánosságban elmondható, hogy a védőgáz szerepe többek között a környezeti levegőtől, az oxigéntől elszigetelni, védeni a varratot. Ebből következően hasonlóan a nagy szén-dioxid tartalmú gázok alkalmazásakor tapasztalttal a magas oxigén tartalmú védőgáz használata sem lehet előnyös, hiszen ilyen esetben a jelentősebb mennyiségű oxigén hatására egy erősebben ötvözött alapanyagból ötvözőket égethetünk ki, illetve a varratfelület is erősebben oxidálódhat.

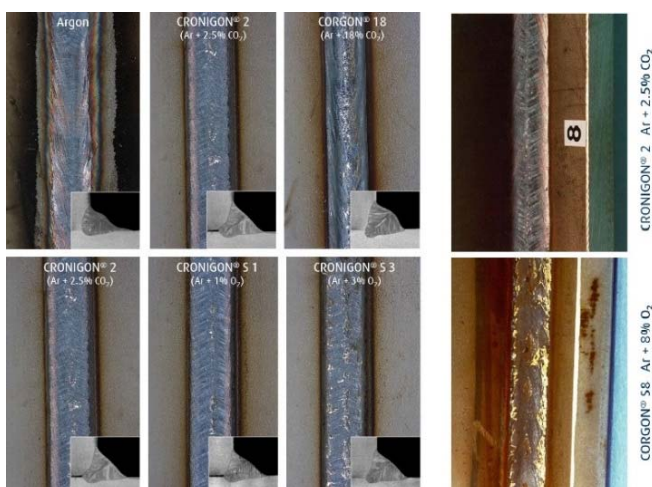
A 3. ábra egy alacsony karbon tartalmú (ELC) szuperausztenites korrózióálló acél hegesztési varratának széntartalmát (C) mutatja százalékos mennyiségben a védőgáz oxigén és szén-dioxid tartalmának függvényében. A hegesztőhuzal 0,016 % széntartalommal rendelkezik, továbbá semleges védőgáz esetén valószínűsíthető, hogy a varrat széntartalma megegyezik az őt létrehozó huzal összetételével. (Ez nagyobb méretű varratok esetén igaz, ahol az alapanyag bekeveredése elhanyagolható.) Az ábrán jól látható, hogy a védőgáz szén-dioxid tartalmának növelésével a diffúziós folyamatoknak köszönhetően a varrat karbon tartalma is nő, ezáltal a korróziós tulajdonságokat is ronthatjuk. Az oxigén tartalom növelésével a varrat széntartalma csökken, egy magas oxigén tartalmú gázzal könnyen égethetünk ki szén és más fontos ötvözőt az a varratunkból, annak környezetéből.



3. ábra

Az oxigén és a szén-dioxid hatása a varrat vegyi összetételére [2]

Hasonlóan megfigyelhetők az eddig leírt jelenségek a 4. ábrán is. Tiszta argon védőgáz esetén a varrat széle kevésbé egyenletes, beolvadása csekély. Néhány százalék oxigén vagy szén-dioxid a védőgázban a folyamatot stabilizálja, a mélyebb beolvadást megkönnyíti. Nagyobb oxigén vagy szén-dioxid tartalom esetén a varrat felszínén több fénoxid (salak) jelenik meg az erősebb oxidációs folyamat miatt, mellette láthatóan több a fröcskölés.



4. ábra

Aktív komponens hatása a varrat felszínére, külalakjára, valamint a beolvadási viszonyokra [2]

MAG hegesztéseknél nitrogén védőgázt általában önálló gázként, védőgázként nem alkalmaznak, esetenként komponensként használható, kihasználva az erős ausztenitképző tulajdonságát például főleg duplex szövetszerkezetű acélok hegesztésénél. Azonban ilyen esetekben is a nitrogén mennyiségét néhány százalékban maximalizálni kell a szövetelem arány megtartása érdekében. Néhány keverékben megjelenik a hidrogén 1-2 %-ban, mint aktivgáz komponens, mely a gyártók leírása szerint esetenként biztosabb beolvadást, nagyobb hegesztési sebességet eredményezhet. A ferrites és duplex korrózióálló acélok hidrogénre érzékenyebbek, így ezek hegesztéséhez a gáz hidrogéntartalmát minimalizálni kell. Általánosságban megfogalmazható, hogy hidrogénes keverékeket inkább ausztenites korrózióálló acél TIG hegesztésénél szokás alkalmazni.

A nitrogén-monoxid, mint védőgáz komponens alkalmazása viszonylag ritka. Néhány 100 ppm mennyiségben a keverékhez hozzákeverve a gyártó elmondása alapján növeli az ívstabilitást, illetve a hegesztés közben keletkező ózon képződését tudja befolyásolni. [7]

Mint a fentiek alapján is látható, hogy nem javasolt magas aktív gáz tartalmú védőgáz használata, melyet a korábban bemutatott 1. táblázat is alátámaszt. Az argon + 1-3 % oxigén és az argon + 2-3 % szén-dioxid tartalmú gázkeverékek a legelterjedtebbek, a legtöbb gázgyártó által kínáltak a korrózióálló acélok hegesztéséhez használt védőgáz keverékek közül.

3. Hegesztési kísérletek bemutatása

A korrózióálló acélok huzalelektrodás védőgázos hegesztéséhez használható védőgázok és azok hatásainak pontosabb megismeréséhez gyakorlati méréseket végeztünk a Linde Gáz Magyarország Zrt. budapesti alkalmazástechnikai laboratóriumában. A reprodukálhatóság érdekében a kísérleteket a laborban rendelkezés álló hegesztőrobot cella segítségével

végeztük, mely egy Yaskawa Motoman MA 1400 típusú 6+1 tengelyes hegesztőrobotot és forgatót, valamint egy Lincoln Electric Power Wave i400 típusú hegesztő áramforrást foglal magába. Ez a korszerűnek mondható hegesztőáramforrás számos szinergikus hegesztőprogrammal rendelkezik. Munkánkhoz ezekből válogattunk, leszűkítve a választékot a korrózióálló acélok alapanyagra és az 1 mm átmérőjű hegesztőhuzalokhoz ajánlott hegesztőprogramokra. Ezekhez a paraméterekhez a hegesztőgép 4 különböző szinergikus programot kínál fel (1.táblázat).

Hegesztőprogram megnevezése	Hegesztőhuzal megnevezése	Huzal átmérője (mm)	Védőgáz megnevezése	Anyagátmenet jelölése
CV/ArCO ₂	Stainless Steel (Korrózióálló acél)	1	Ar+CO ₂	CV
CV/ArHeCO ₂			Ar+He+CO ₂	CV
PULSE/ArCO ₂			Ar+CO ₂	PULSE
PULSE/ArHeCO ₂			Ar+He+CO ₂	PULSE

1. táblázat.

Hegesztőáramforrás szinergikus programjai

A programok neve utal az anyagátvitel módjára, CV (Constans Voltage – Feszültséggenerátor jellegű karakterisztika) hagyományos anyagátviteli módokat, míg a PULSE normál impulzusos anyagátviteli módot jelöli.

A robotcellát a csarnokban található központi gázellátó rendszer látja el, a kísérletek során a 2. táblázatban látható védőgázokat használtuk. Cikkünkbenben többek között ezen gázok használata során szerzett tapasztalatok alapján kerültek összehasonlításra és kiértékelésre a védőgázok hatásai korrózióálló acélok MIG/MAG hegesztésénél.

Védőgáz megnevezése	MSZ EN ISO 14175	Védőgáz összetétele			
		Ar	CO ₂	O ₂	He
Argon 4.6	I1	100			
Varigon S	Z	99,97		0,03	
Cronigon S1	M13	99		1	
Cronigon 2	M12	97,5	2,5		
Cronigon 2 He 20	M12 (1)	78	2		20
Varigon He 30	I3	70			30

2. táblázat

Kísérletek során alkalmazott védőgázok

A gázok kiválasztásánál figyelembe vettük a szakirodalmak, illetve a gázgyártók ajánlásait, ezek segítségével igyekeztünk a minimális és a maximális aktív komponens tartalomra következtetni különböző anyagátviteli módoknál, teljesítményeknél, sarok és tompavarratok esetében. A hegesztési paraméterek kiválasztása a német Linde AG szakemberei által az ötvözetlen és a korrózióálló acélok hegesztéséhez publikált paraméter táblázatok, segédletek alapján történt [8]. Ezen táblázatok ajánlást tesznek a különböző

lemezvastagságok és hegesztési pozíciókhoz használható paraméterekre, mint például a huzalelektroda átmérő, a szükséges varratsorok száma, a gázátfolyási mennyiség értéke, a huzalelektroda előtolási sebessége, a hegesztési sebesség, az ívfeszültség átlagos értéke stb. A hegesztések során minden esetben toló pisztoly pozíciót alkalmaztunk, melyet a függőlegestől 15°-ban döntöttünk meg. Ennek oka a hőtorlódás elkerülése. Ahogy a szakirodalomból is tudjuk, a korrózióálló acélok hővezető képessége nem jó, így különösen figyelni kell a hőtorlódás, a nagy hőbevitel elkerülésére. A gázeltvételi helyek minden esetben rotaméteres, lebegőtestes, liter/perces jelzésű átfolyásmérőkkel szereltek, a védőgáz áramlást minden esetben a pisztoly végén is ellenőrizve lett. A gáz átfolyási mennyiségét 12 liter/percben határoztuk meg. A pisztoly-darab távolság a robotos alkalmazásoknak köszönhetően stabilan 14 mm volt, így a védőgázok hatása jobban összehasonlíthatóvá válik.

A hegesztett lemezek alapanyaga ausztenites korrózióálló acél volt (az anyagcsoport szerinti jellemző összetétele a 3. táblázatban látható), a lemezek lézervágottak, anyagvastagságuk 2 mm és 5 mm volt. A 2 mm anyagvastagságú lemezek 80 x 200 mm, míg az 5 mm anyagvastagságú lemezek 50 x 150 mm nagyságúak voltak, a kísérleteket hernyó- és sarokvarratokkal végeztük.

Acél megnevezése (AISI/DIN/ISO)	Összetétele tömegszázalékban (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
316/ 1.4401/ X 5 CrNiMo 17 12 2	<0,07	<1,00	<2,00	<0,045	<0,015	16,5-18,5	2,00-2,50	10,0-13,0

3. táblázat.

Alapanyag vegyi összetétele

A hegesztési kísérletek hegesztőanyagaként a Böhler-Uddeholm huzalgyártó 1 mm átmérőjű Thermanit GE-316L Si típusú ausztenites korrózióálló huzalja állt rendelkezésre (4. táblázat).

Huzal megnevezése			Szabványos jelölése					
Thermanit GE-316L Si 1mm			EN ISO 14343-A: G 19 12 L Si					
			AWS A5.9: ER316LSi					
Összetétele tömegszázalékban (%)								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
0,01	0,87	1,6	0,02	<0,01	18,2	2,5	11,2	0,1

4. táblázat.

Hegesztőhuzal vegyi összetétele a huzal műbizonylata alapján

A kísérletek során rövid ívű, szóró ívű, átmeneti ívű és normál impulzus ívű ívtípusokat alkalmaztunk, valamint az áramforrás szoftverének segítségével mindvégig regisztráltuk áramerősség és az ívfeszültség időbeli lefutását és a huzalelőtolási sebesség értékeit.

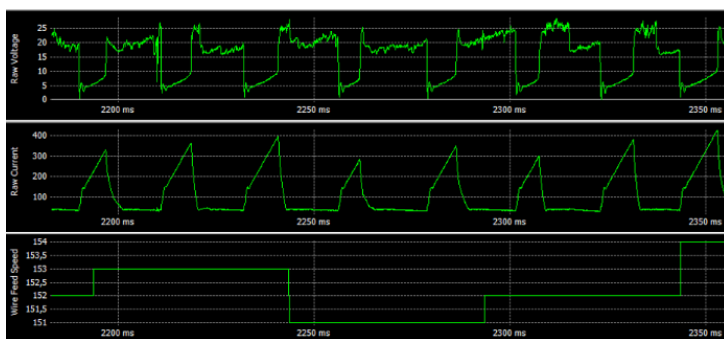
Hely hiányában a sok kísérlet összes paraméterét nincs lehetőségünk bemutatni. Az 5. táblázatban összefoglaltuk a különböző lemezvastagságokhoz, anyagátviteli módokhoz tartozó átlagos hőbevitel (E) értékeket.

Átlagos hővitel E (KJ/mm)	Normál üzemmód	Lemezvastagság 2 mm		Lemezvastagság 5 mm		
		hernyó- varrat	sarok- varrat	hernyó- varrat	sarok- varrat	sarok- varrat
	Impulzus üzemmód	0,25	0,41	0,59	0,7	0,8
		0,34	0,52	0,81	0,99	0,9

5. táblázat.

Kísérletek során alkalmazott hőbevitel E (KJ/mm)

A 4. ábrán egy, a szoftver által lementett diagram részlet található. A felső diagramon látható a hegesztési feszültség pillanatnyi értéke, a középső diagramon az áramerősség pillanatnyi értéke, illetve az alsó diagramon a huzalelőtolási sebesség értéke látható. A feszültség értéke Volt-ban (V), az áramerősség Amper-ben (A), a huzalelőtolási sebesség pedig Inch/perc-ben van megadva, a vízszintes tengelyen minden esetben az idő olvasható le.



5. ábra

A Power Wave szoftver regisztrált paraméterei: hegesztési feszültség (Raw Voltage), áramerősség (Raw Current) és huzalelőtolási sebesség (Wire Feed Speed) alakulása az idő függvényében [1]

A szoftver segítségével jól megjeleníthető a hegesztési folyamat különböző szakaszai az ívgyújtás, a hegesztési főciklus, a kráterfeltöltés és a huzal visszaégést szabályzó szakasz, valamint vizsgálható a hegesztési folyamat anyagátviteli jellemzői, például a rövidzárlatos vagy az impulzusos anyagátvitel, frekvencia paraméterei, jellemző áramerősség értékei stb. Hagyományos technológiával a rendelkezésre álló összes gázzal, míg impulzusos technológiával Varigon S és Varigon H30 védőgázokat kivéve végeztük a kísérleteket. Impulzusos technológiánál - a későbbiekben ismertetett - a hagyományos eljárásnál szerzett tapasztalatok alapján kijelenthetjük, hogy a tiszta argonhoz képest a Varigon S és Varigon H30 nem nyújt különösebb előnyt.

A hegesztés sarokvarrat esetén PB pozícióban, míg hernyóvarrat esetén PA pozícióban történt. A meghegesztett darabokon különböző vizsgálatokat végeztünk, többek között

vizsgáltuk a füstképződést, a hegesztés közbeni fröcskölést, az ívstabilitást és csiszolatok segítségével a beolvadási profil.

4. Vizsgálati eredmények bemutatása

Az ausztenites korrózióálló acélokhoz leggyakrabban használt gázkeverék a 2-3 % szén-dioxid tartalmú argon bázisú keverék, ilyen a Linde standard keveréke, a Cronigon 2, ami 2,5 % szén-dioxidot tartalmaz argon gázban. A szakirodalmak és tapasztalataink alapján ezt a gázkeveréket vettük alapgázként és ehhez képest vizsgáltuk, hasonlítottuk össze a különböző keverékek hatását.

Tiszta argon inertgázzal történő hegesztések esetén általánosságban elmondható, hogy rövidzárlatos anyagátviteli mód esetén a rövidzárlatok kialakulása egyenletlenebb, a csúcsáram értékek sokkal inkább „elszaladnak”, az átlagáramerősség értékek magasabbak, valamint hegesztés közben érzékelhető a kisebb ívstabilitás, illetve fröcskölés jelentkezése. Ugyanakkor ezek a jelenségek egy impulzusos technológia esetén kevésbé figyelhetőek meg, nem jelentkezik ekkora stabilitásbeli különbség egy rövidzárlatos folyamathoz képest, viszont ezen esetben is valamilyen aktív gázkomponens jelenléte a folyamatokat pozitívan befolyásolhatja. A kérdés, hogy mennyi legyen a védőgázunk aktív gázkomponens tartalma. Megvizsgálva egy 300 ppm, aktív komponensként oxigént tartalmazó argon bázisú gázkeveréket (Varigon S) elmondható, hogy egy tiszta argon védőgázhoz képest sem különböző teljesítménytartományokban, sem különböző pozíciókban nem mutatható ki számottevő javulás, egy ilyen keverék nem ad egyértelműen kimutathatóan jobb eredményt egy inertgázhoz képest, gyakran nehézkes egy egybefüggő varrat létrehozása is. Növelve az oxigén mennyiségét 1 %-ra (Cronigon S1) láthatóvá válik az aktív komponens hatása, minden esetben hallható és látható az egyenletesebb anyagátviteli hegesztés közben, mely többek között a fröcskölés képződésére is pozitív hatással van. Valamint a tapasztaltak alapján a nagyobb anyagvastagságoknál, illetve nagyobb teljesítménytartományoknál, szóró ívnél a nagyobb oxigéntartalmú gáz nagyobb ívstabilizáló hatással bír. Az eddigiek alapján elmondható, hogy legalább egy százalék oxigén tartalom szükséges korrózióálló acél MAG hegesztéséhez, azonban néhány százalék (maximum 3-5%) oxigén tartalom fölötti keverék alkalmazása nem célszerű, 3 % oxigéntartalom felett már a varrat megéghet, felülete jóval kormosabb lesz és az alapanyagból ötvözőket „égethetünk” ki, a porozitás veszély nőhet. Ezeket el kell kerülni, hogy megőrizzük korrózióálló alapanyagunk tulajdonságait, a legtöbb gázgyártó keverék ajánlata ezt igyekszik biztosítani.

Aktív komponensként szén-dioxid alkalmazása gyakori. Méréseink alapján is elmondható, hogy a 2-3 százalék argon bázisú szén-dioxid keverékek „jól kitalált” keverékeknek mondhatók, azonban olyan esetekben, ahol például nagyobb a lemezek között a gyökhézag vagy csak szélesebb varrat kialakítása szükséges, hélium hozzáadása a keverékbe előnyös lehet. A szén-dioxid tartalom felső korlátja körülbelül 4 %, efelett az alacsony széntartalmú korrózióálló alapanyagunkba a védőgázból szén, mint ötvöző kerülhet a varratba, mely ronthatja a korrózióállóságot.

Egy 20 % hélium, 2 % szén-dioxid tartalmú argon bázisú keveréket (Cronigon 2 He 20) összehasonlítva egy 2,5 % szén-dioxid tartalmú keverékkel (Cronigon 2) az áramerősség, ívfeszültség jelalakok alapján tapasztalható például, hogy a hélium alkalmazása aktív gázkomponens mellett előnyös, a rövidzárlatok kialakulása még egyenletesebb, a

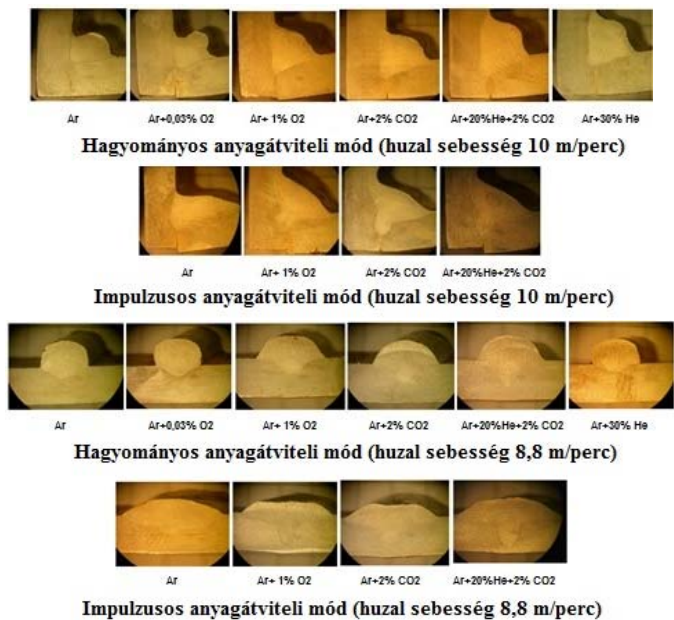
feszültségigénye nagyobb, a hegesztés közben hallható hang- és fényhatás erősebb, a fröcskölés minimális. Csiszolatok képeken egyértelműen látszik, hogy alkalmazása szélesebb ívet eredményez, a beolvadás biztosabb. Azonban, ha a hélium mellett nem használunk egyéb aktív gázkomponenst az argon bázisú gázkeverékben, a tiszta argonhoz hasonlóan nem észrevehető a hatása az ívstabilitás javítására, illetve a beolvadási profil szintén nem mondható sokkal mélyebb beolvadásúnak. A hélium alkalmazásának - hasonlóan például az oxigénének – is van minimum, maximum határa. Általánosan is megfogalmazható, hogy bármilyen hegesztési eljárásnál, ha a héliumot kis mennyiségben alkalmazzuk (15-20 % alatt argon bázisú keverékben) annak hatása nem érződik, csak a védőgázunk árát növeli. Tisztán héliumot, mint védőgázt a sűrűsége, illetve ebből adódóan nagyobb mennyiségi igénye és az ára miatt ritkán alkalmaznak hazánkban. A jobb ívstabilitás érdekében legalább 10-20% argon hozzákeverése a héliumhoz mindenképpen előnyös lehet.

A különböző teljesítménytartományokat vizsgálva elmondható, hogy például az átmeneti ív tartományában, durva cseppes anyagátmenet esetén a védőgázok összetétele meghatározó lehet. Vizsgálataink során azt tapasztaltuk, hogy hasonlóan a rövidzárlatos tartományban tapasztaltakkal legalább 1 százalék oxigén vagy 2-3 százalék szén-dioxid alkalmazása az ívet stabilizálja, az anyagátmenetet egyenletesebbé teszi, viszont az ebben a teljesítmény tartományban tapasztalható fröcskölést kevésbé csökkenti.

A szóró ív alkalmazása esetén a finomcseppes anyagátmenet az általam használt minden védőgáz esetén megvalósult, aktív komponens nélkül és minimális aktív komponenssel rövidzárlat egyáltalán nem volt tapasztalható. Összességében elmondható, hogy inert védőgáz alkalmazásához képest aktív komponenssel a hegesztési folyamat sokkal jobban stabilizálható, oxigénes keveréknek szóró ív esetén nagyobb ívstabilizáló hatása van, mint amit a rövidzárlatos tartományban tapasztalhatunk. Hélium alkalmazása szóró ívnél nagyon jó eredményt ad, amennyiben a hélium mellett aktív komponens is megfelelő mennyiségben jelen van.

A hegesztés közben és utána igyekeztünk megfigyelni a keletkező füst, illetve korom mennyiségét. Tapasztalataink szerint hagyományos anyagátviteli módok mellett átmeneti ív tartományában végzett hegesztéseknél a felületen található korom mennyisége és hegesztés közben a füst mennyisége mondhatni gáztól függetlenül több volt, mint rövidzárlatos és finomcseppes anyagátvitel esetén. A minimális, néhány százalék aktív komponens hatására a füst mennyisége minimálisan több lett. Impulzus ívű hegesztés esetén tapasztalataink szerint a varratok felületén minimálisan több füst, korom rakódott le például egy rövid ívű hegesztéshez képest. Érdekes jelenség, hogy a füst által érintett lemezfelület szélesebbnek adódott, mint hagyományos anyagátviteli módok esetén.

A beolvadási tulajdonságok pontosabb megismeréséhez makroszerkezeti csiszolatokat készítettünk (5. ábra). A csiszolatok kiértékelése után egyértelműen megállapítható, hogy a védőgáz aktív komponens tartalmának növekedésével a beolvadás és a varrat szélessége is növekszik. Tiszta argon és ppm mennyiségű aktív komponens keverékek esetén a beolvadás csekély, szinte alig jelentkezik. Cronigon S1 gázkeveréknél már nagyobb beolvadás jellemző, köszönhetően az 1 % oxigén tartalomnak. Cronigon 2 védőgáznál a 2,5 % szén-dioxid hatására szélesebb varratot és mélyebb beolvadást tapasztalhatunk a szén-dioxid nagyobb hővezetőképessége és ívfeszültségigénye miatt. Tompa- és sarokvarratok hegesztésénél is, amennyiben a védőgázba szén-dioxid mellé 20 % héliumot keverünk a varratkép jelentősen szélesebbnek a beolvadás biztosabbnak mutatkozik, megfelelő mennyiségű aktív komponens nélkül viszont a beolvadás csekély.



6. ábra

A hegesztett darabok makroszkópi képei sarok- és hernyóvarrat, illetve hagyományos és impulzusos anyagátmenetek esetén [1]

5. Összefoglalás

Összeségében az látható, hogy az aktív komponens megfelelő mennyisége nélkül a beolvadásunk csekély, oxigén vagy szén-dioxid jelenléte a védőgázban néhány százalékban szükséges. Speciális feladatoknál, nagyobb hézagoknál, szélesebb varratoknál, a biztosabb beolvadás vagy a nagyobb hegesztési sebesség érdekében a hélium alkalmazása a védőgázunkban jó eredményét ad, használata megfelelő mennyiségben (minimum 15-20 %) mindenképp előnyös. A kísérleti eredményeink alapján ausztenites korrózióálló acél MAG hegesztéséhez javasolt védőgázok a 6.ábrán láthatóak.

		Javasolt	MAG hegesztés javasolt védőgázai					
			Tompavarrat			Sarokvarrat		
			Rövid ív	Szóró ív	Impulzus ív	Rövid ív	Szóró ív	Impulzus ív
Ausztenites korrózióálló acél	<3mm	***	A	B A	B	A	A B	B A
		**	B		A	B	C	C
		*	D			D E		
	>3mm	***	A	A C	B C	A	A C	B C
		**	C B			C B	B	A
		*	E			D E		
A	Ar + 2-3% CO ₂	C	Ar + 20-30% He + 2-3% CO ₂			E	Ar + He	
B	Ar + 1-2% O ₂	D	Ar					
*semleges védőgázok (argon és hélium keverékek), továbbá néhány %-nál nagyobb aktív gáz tartalmú keverékek, illetve aktív gáz mellett kevesebb, mint 15% héliumtartalmú héliumos keverékek alkalmazása nem javasolt								

7. ábra

A kísérletek alapján javasolt védőgázok

Irodalomjegyzék

- [1] Szabó R.: Ausztenites acél MAG hegeszthetőségének vizsgálata robotos alkalmazás esetén, Szakdolgozat, Konzulens: Varga L., Balogh D., Széchenyi István Egyetem, Győr, 2017
 - [2] The Linde Applications Academy, Manufacturing Industries, Arc Welding of Stainless Steels oktatási anyag, München, 2013
 - [3] Gyura L.: A védőgázok hatása a fogyóelektródás hegesztések technológiájára, Hegesztéstechnika, vol. 9, no. 3, 1998, pp. 15
 - [4] MSZ EN ISO 14175:2008: Hegesztőanyagok. Gázok és gázkeverékek ömlesztőhegesztéshez és rokon eljárásokhoz (ISO 14175:2008), 2008
 - [5] Fehérvári G., Gyura L., Siebel L.: Növelt korróziós ellenállású ausztenites és duplex acélok védőgázos hegesztésének szabályai, Hegesztéstechnika, vol. 20, no. 3, 2009, pp. 23-28
 - [6] The Linde Group, A Linde hegesztési védőgázai, Katalógus, 2017
http://www.lindegas.hu/internet.lg.lg.hun/hu/images/A%20Linde%20hegesztési%20vedogazai_201171_129742.pdf?v=1.0
 - [7] <http://www.linde.com/en/index.html>
<http://www.linde.hu/hu/index.html>
<https://www.boconline.co.uk/en/index.html>
<http://www.praxair.com/>
<http://www.airproducts.com/>
<http://www.solgroup.com/en/business/technical-gases>
<http://coregas.com.au/>
<https://www.messergroup.com/>
<http://www.sapio.it/>
<https://www.siad.com>
<https://www.airliquide.com/>
 - [8] The Linde Group, Lindata-CrNi steels, Hegesztési paraméter tanácsadó, 2017
- A cikkben szereplő internetes hivatkozások letöltésének ideje 2018.02.01.



A csaphegesztés technológia területén, már közel 50 éve foglalkozunk minőségi csaphegesztők és kötőelemek saját fejlesztésével, gyártásával, értékesítésével és szervizével. Meggyőződésünk, hogy az évek során szerzett széleskörű tudás és tapasztalat lehet az alapja a jövő generációjának. Specializálódunk a csaphegesztés-technológia területére, minden befektetett energiánk megmutatkozik egyedülálló szakértelmünkben.

A Soyer Vállalatot, a DIN EN ISO 9001:2000 minőségi és DIN EN ISO14001 környezeti tanúsítványon túl, munkájának elismeréseként, számos nivós díjjal jutalmazták. Kiváló munkájukat bizonyítja, a nemrégiben 15. alkalommal elnyert 2018-as Állami Díj is, a kimagasló innovatív teljesítményért.



Vállalkozó szellemmel és körütekintően felépítettünk egy termelési centrumot, így napjainkra kiemelkedő minőségű csaphegesztő berendezéseinket és hegesztőcsapjainkat hihetetlenül kedvező áron kínálhatjuk. Teljes körű minőségi felelősséget vállalunk termékeinkre. Reméljük, olyan mértékben sikerül elnyernünk Vállalatuk bizalmát, amennyire mi megbízunk saját termékeinkben és képességeinkben.

Mindent egy kézből – közvetlenül a gyártótól – kínálni tudunk.

- ✓ SOYER berendezések minden csaphegesztési módhoz
- ✓ SOYER hegesztőcsapok Ø1-30
- ✓ Bértmunka, kölcsönzés
- ✓ Garancia, szerviz és alkatrészellátás
- ✓ Ingyenes szaktanácsadás, betanítás, oktatás



SOYER MAGYARORSZÁG KFT.

SOYER Csaphegesztés Vezérképviselet
8000 Székesfehérvár Babér u. 14. Alba Ipari Zóna
Tel.: (06) 22/504-427

info@soyer.hu

www.soyer.hu

A HEGESZTÉS ROBOTOSÍTÁSÁNAK 10 ÉVE A BOGNÁR ÉS TÁRSA KFT-NÉL

10 YEARS IN ROBOTISATION OF WELDING AT BOGNÁR ÉS TÁRSA KFT.

ifj. Bognár Miklós
Bognár és Társa Kft.
bognarm@bognar-kft.hu

és Társa Kft-nél. Ez a 10 év a hegesztés robotosítása iránti elkötelezett fejlesztésekről szólt, mely időszak alatt sok tapasztalat gyűlt össze a cégnél. Követve a technika fejlődésének lehetőségeit a rugalmasan használható kialakítás és lehető legjobb helykihasználás voltak a legfőbb szempontok a robotosításból származó szokásos előnyök, úgymint a minőség és termelékenység javulása, a gyártási költségek csökkentése mellett. A robottechnika gyártásba integrálásának megfelelő folyamata és a cég fejlődésével történő együtt fejlesztése csak a teljes gyártási folyamatot átfogó rendszerszemléletű gondolkozással volt megvalósítható.

The very first arc welding robot cell was installed at Bognár és Társa Kft. just 10 years ago. This last decade was about developments committed to the robotisation of welding and during this time plenty of experience was gathered at the company. Keeping pace with the possibilities of technical progress, besides the more common benefits of robotisation—like cutbacks in production expenses and improvement in quality and production— the main aspects were a design providing flexible use and the best possible use of place. The due process of integrating robotisation into production and developing it together with the company was only achievable with a system-based approach comprising the entire production process.

ÍVHEGESZTÉS ROBOTIZÁLÁSA SPECIÁLIS MEGOLDÁSOKKAL AZ AUTOPRESS KFT-NÉL

THE ROBOTISATION OF ARC WELDING APPLYING SPECIAL SOLUTIONS AT AUTOPRESS KFT

Demeter Gábor

Autopress Kft.

rudi.janos@t-online.hu

Az Autopress Kft. fő profilja szerint lemezmegmunkálással foglalkozik. A hegesztésben tapasztalt munkaerőhiány, a magas minőségi elvárások, valamint a szükséges gyártási volumen problémáinak megoldására a cég többek között a hegesztés robotosításával igyekezett megtenni a szükséges lépéseket a közelmúltban. A hegesztett gyártmányok robotosítása több szempontból kihívást jelentett, melyeknek a speciális technikai megoldásokkal lehetett megfelelni. Mind a kis- mind a nagyméretű alkatrészek gazdaságos, jó minőségű hegesztésére alkalmas, és a gyártási tűréseket is tolerálni képes hegesztő robotcellák jöhetnek szóba, melyeknél valóban ki lehetett használni a Yaskawa-Motoman robottechnikai fejlesztésének legújabb eredményeit.

The main business activity of Autopress Kft. is sheet metal processing. The company recently sought to solve the problems resulting from labour shortage in welding, high quality requirements, and the required production volume by taking the necessary measures, such as introducing the robotisation of welding. In many respects, the robotisation of welded products proved to be a challenge, which could only be met by applying special technical solutions. Robot cells tolerating manufacturing tolerance as well as suitable for high-quality, economical welding of both small and large-sized parts could only be considered as an option; with such robot cells it was possible to actually utilize Yaskawa-Motoman's brand new developments in robotics

AZ IC+ TÍPUSÚ 200 KM/H SEBESSÉGŰ VASÚTI KOCSI- CSALÁD FEJLESZTÉSÉNEK AKTUALITÁSAI

UPDATES TO THE DEVELOPMENT PROCESS OF THE IC + TYPE PASSENGER COACH FAMILY

Erdei Attila

Jármű főkonstruktor, EWE / IWE

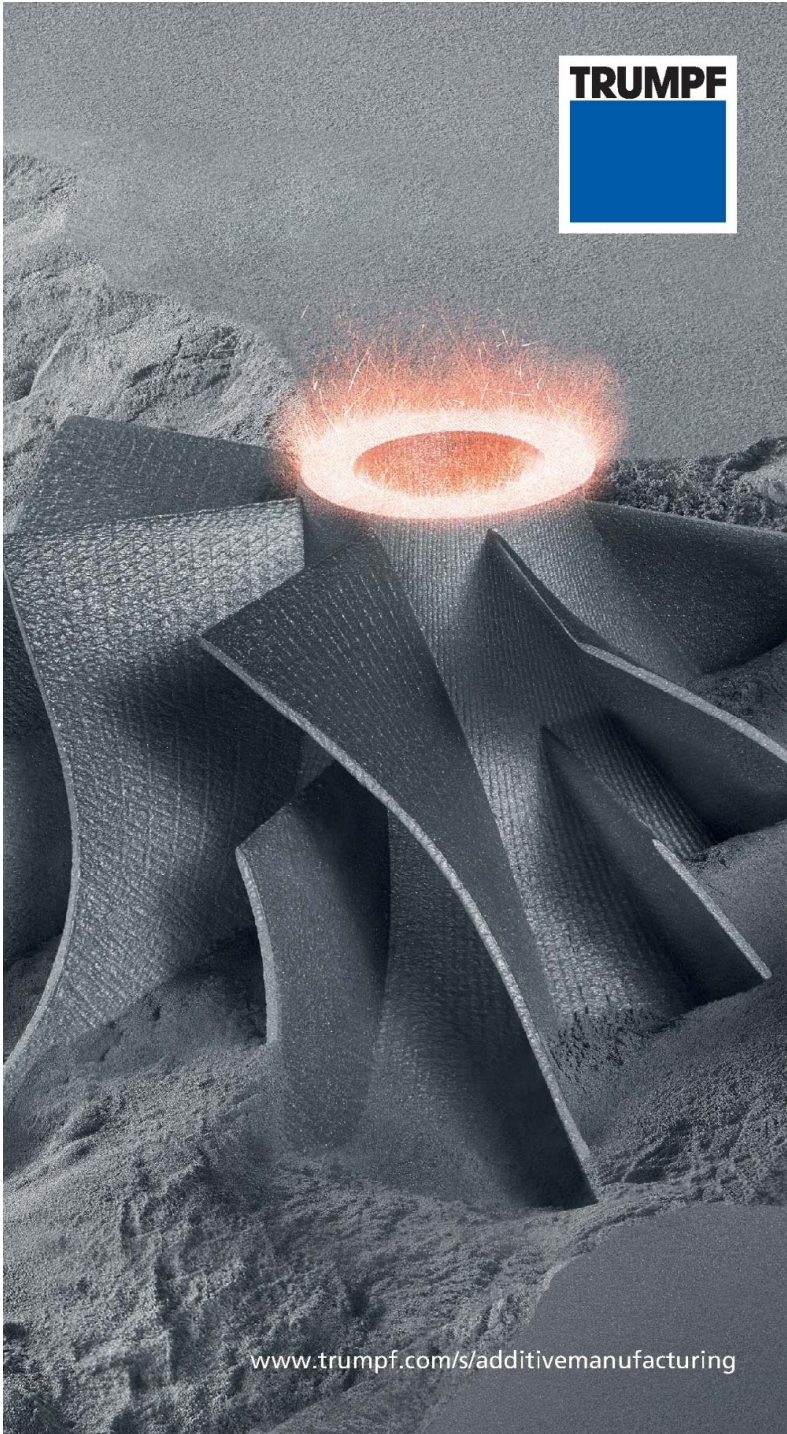
MÁV-START Zrt. Műszaki Fejlesztési Igazgatóság –

Járműkonstrukció

erdei.attila2@mav-start.hu

A MÁV csoportnál évtizedek óta elmaradó járműfejlesztés nehéz helyzetet idézett elő. Egyrészt a több évtizedes technikai megoldások fenntartása drága és egyre nehezebben megoldható feladat, másrészt a járművek utas-komfortjának és szolgáltatásainak színvonala messze elmarad a mai kor igényeitől. Ezen felismerést 2011-ben tett is követte, amikor a MÁV-Gépészet Zrt. elhatározta egy saját fejlesztésű, 200 km/h sebességre alkalmas személykocsi család kifejlesztését. A járműsorozat első két tagja 2014 óta rója Európa és Magyarország pályáit az utazóközönség nagy meglegedésére. A prototípusok gyártása során összegyűjtött tapasztalatokat figyelembe véve a sorozatgyártás során konstrukciós és technológiai változtatásokat hajtottunk végre. Ezek egy része a nemzetközi előírásoknak (átjárhatósági előírások, TSI-k) való megfelelést, más részük az ésszerűbb, rentábilisabb gyártást szolgálja. Ezek közé a feladatok közé tartozik az oldalfalak gyártásának optimalizációja is, amelyet egyrészt a 3D modell szilárdsági elemzésével, másrészt a gyártási rendszer átalakításával valósítunk meg. Cikkemben szeretném bemutatni a projekt jelenlegi állapotát, a kocsik tervezési, gyártási állapotát, és az eddig elért eredményeket.

The vehicle development has been missing for decades at the MÁV Group, which resulted a difficult situation. On the one hand, maintenance of decades old technical solutions is an expensive and increasingly difficult task; on the other hand, the quality of passenger comfort and services of vehicles is far below the requirements of today's age. This recognition was also followed in 2011 when MÁV-Gépészet Zrt. decided to develop a self-developed family of passenger cars with a speed of 200 km / h. The first two members of the vehicle series have been pushing the routes of Europe and Hungary since 2014 to the satisfaction of the traveling public. Taking into account the experiences gathered in the production of prototypes, we have carried out structural and technological changes during the series production. Some of these are in line with international standards (interoperability specifications, TSIs), others serve a more reasonable, more profitable production. These tasks include the optimization of the side walls, which is achieved by the strength analysis of the 3D model and by the transformation of the production system. In this article I would like to present the current state of the project, the design, manufacturing status of the wagons and the results achieved so far.



www.trumpf.com/s/additivemanufacturing

KIEMELTEN NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉL VÉKONYLEMEZEK ELLENÁLLÁS-PONTHEGESZTETT KÖTÉSEINEK OPTIMALIZÁLÁSA KÍSÉRLETTERVEZÉSI MÓDSZERREL

OPTIMIZATION OF RESISTANCE SPOT WELDED ADVANCED HIGH STRENGTH STEEL SHEET JOINTS WITH EXPERIMENTAL DESIGN

Tóth Tamás

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Anyagtudomány és Technológia Tanszék

toth.tomi94@gmail.com

Májlínger Kornél

welding@att.bme.hu

A kutatásunk során DP 800-as vékonylemezek ellenállás-ponthegeztett kötéseinek tulajdonságait optimalizáltuk Box-Wilson kísérlettervezési módszer segítségével. Az elsődleges célfüggvény a legnagyobb elérhető nyíró-szakítóerő volt. A kapott eredményekre matematikai válaszfelület alapú függvényt illesztettünk. A nyíró-szakítóerőre való optimalás eredményeképp az AWS D8.1M szabvány által előírt elfogadható nyíró-szakítóerő érték háromszorosát kaptuk. A többszemponútú optimum esetén a nyíró-szakítóerő csak kismértékben, a benyomódás nagymértékben csökkent.

In our research, the features of resistance spot welded thin DP 800 steel joints were optimized with Box-Wilson Design of Experiment method. The primary goal was to optimize the joints on the highest achievable shear tensile strength. A response based function was fitted on the results. In case of optimization on the highest achievable tensile strength, the tensile strength was three times higher than the minimum value given by the AWS D8.1M standard. In the case of combined optimum (max. shear tensile strength and min. indentation depth), the shear tensile strength was slightly reduced, however, the decrease of indentation was significant.

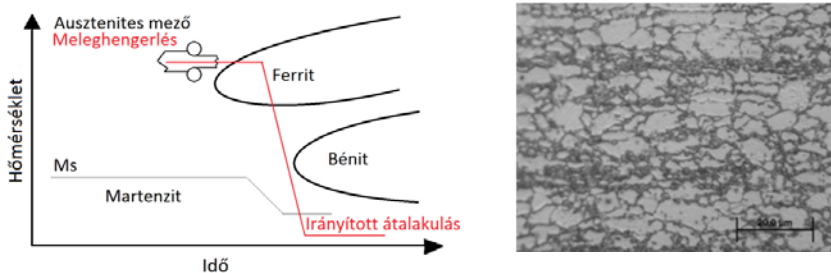
1.Bevezetés

Napjainkban a járműipar egyik kiemelt fejlesztési iránya az üzemanyag fogyasztás csökkentése és a fajlagos teljesítmény növelése egyre szigorodó műszaki és gazdaságossági követelmények mellett. A tömegcsökkentés és mindemellett a szilárdsági és törésmechanikai tulajdonságok növelésére az új korszerű nagyszilárdságú acélok alkalmazása javasolt. A korszerű nagyszilárdságú acélok mechanikai tulajdonságai számos faktortól függenek: például a fázisarányoktól, illetve azok mikroszerkezetbeli elrendeződésétől, térfogatarányától, méretétől és morfológiájától, továbbá a metastabil összetevők stabilitásától [1]. A járműiparban többféle nagyszilárdságú acélt használnak [2], például ferrit-martenzites kettős fázisút (továbbiakban: DP), zömmel martenzites összetételűt (MS), vagy fázisátalakulással kiváltott képlékenységgel rendelkezőt (TRIP).

A korszerű nagyszilárdságú acélokat jellemzően, szakítószilárdság szerint, 3 generációba sorolják [3]. A DP acélokban ferrit mátrixba ágyazott kemény martenzit szigetek találhatóak. A kémiai összetétel és hűtési sebesség változtatásával a martenzit részaránya körülbelül 10-40 % között mozog [4]. A korszerű nagyszilárdságú acélok rendszerint két csoportba vannak osztva. Azon típusok, amelyeknek a folyáshatára meghaladja az 550 MPa-t, de nem éri el a 780 MPa-t, jellemzően a kiemelten nagyszilárdságú acélok (AHSS) kategóriájába vannak sorolva, a 780 MPa fölötti folyáshatárú anyagok pedig az ultra-nagyszilárdságú acélok (UHSS) kategóriájába tartoznak [5]. A korszerű nagyszilárdságú acélok jellemző felhasználási területe az autóipar, ahol ezen anyagok jellemzően anyaggal záró kötéssel, például hegesztéssel, forrasztással vagy ragasztással vannak egymáshoz rögzítve. A járműszerkezetekben található kötések minősége statikus és dinamikus terhelés szempontjából kritikus [6]. A hegesztési eljárások közül, főleg a karosszériagyártásban, az ellenállás-ponthegesztés a legelterjedtebb. A folyamat során a pontszerű hegesztési varrat a munkadarabban a ponthegeztető elektródák között jön létre, amelyek egyidejűleg külső erőhatást is kifejtenek, ezért ezt az ömlesztve sajtoló hegesztési eljárások közé soroljuk [7]. Az eljárás jól automatizálható, termelékeny. Legfontosabb vizsgálati módszere a nyíró-szakítóvizsgálat, az így kapott mérőszám a nyíró-szakítóerő (STS), amelynek minimális értéke szabványban rögzített [8]. A korszerű nagyszilárdságú acélok ellenállás-ponthegeztése, és a kötések optimalizálása jelenleg is intenzíven kutatott tématerület. Prém László és Balogh András a kutatásuk során a nagyszilárdságú, ferrit-martenzites mátrixú DP acélok hegeszthetőségét vizsgálták szakaszos energiabevitellel [9]. Megállapították, hogy a szakaszos energiabevitellel készített DP acélból készült kötések nyíró-szakítóereje (STS; shear tensile strength) 3-5 %-kal elmarad a folyamatos energiabevitellel készített kötésekétől, de az impulzusüzemmel készített varratok kereszt szakító ereje körülbelül 20 %-kal, felszakító ereje pedig körülbelül 10-30 %-kal kedvezőbb, mint a folyamatos energiabevitel esetében. A második áramimpulzus segítségével egy jóval finomabb és kedvezőbb keménységeloszlású kötést lehet létrehozni. P. R. Spena és társai a kutatásukban zömmel martenzites jellegű acélok heterogén kötéseivel foglalkoztak [10]. Statisztikai elemzés segítségével megállapították, hogy a folyamatot befolyásoló technológiai változók közül az áramerősség volt a legfontosabb, amit az elektródaerő és a hegesztési idő követett. A kísérleteket ortogonális elrendezésű, faktoriális kísérlettervezés segítségével hajtották végre. A kísérlettervezés célja a lehető legkevesebb elvégzett kísérlet segítségével az optimális tartomány gyors és hatékony megtalálása. A faktoriális kísérlettervezés mellett elterjedt a válaszfelület alapú módszer is. X. Wan és társai a kutatásuk [11] során DP600 acélok homogén kötéseit vizsgálták. Megállapításuk szerint az áramerősségnek igen erős befolyása van a varratlencse méretére és alakjára, de kis hatása van a varrat mikroszerkezetére. A varratfém jellemzően martenzites szerkezetű, a hőhatásövezetben keménységcsúcsok figyelhetők meg, melyeknek értéke meghaladják a 370 HV-t. Megfelelő áramerősség, hegesztési idő és elektródanyomás esetén a tönkremenetel jellemző módja a kigombolódás. A mechanikai tulajdonságokon kívül az ellenállás-ponthegeztett kötés minősége kihatással van a lemezek korrozív viselkedésére is, amely kiemelten fontos szempont a járműiparban [12]. Az általános nagyszilárdságú acélok [26] [27] és az autóiparban alkalmazott DP600 – DP1000 alapanyagok ponthegeztetésének optimalizálásával sokan foglalkoztak még [9][11] [13-23] melyek STS eredményit összehasonlítottuk sajátunkkal.

2. Anyagok és módszerek

A hegesztési kísérletek során 1,2 mm vastag, DP800 lemezek lettek átlapolttal kötással összehegesztve. A DP acélok gyártására jellemző hőciklus, illetve az általunk alkalmazott DP800 acél szövetszerkezete az 1. ábrán látható.



1. ábra

A DP800 acél folyamatos hengerlése során alkalmazott sematikus hűtési ciklus (bal oldal) és az ennek eredményeképpen kialakuló szövetszerkezet (jobb oldal)

Az általunk alkalmazott DP800 kémiai összetételét optikai emissziós spektroszkópia segítségével mértük, a mérés eredménye az 1. táblázatban található. A szakítószilárdságot közvetett módon, keménységmérési eredményekre alapozva számítottuk ki.

Alapanyag	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Al	CEV	R _m (MPa)
DP800	0,13	0,2	1,5	0,009	0,03	0,01	0,048	0,39	800-820

1. táblázat.

Az alapanyag kémiai összetétele (tömegszázalékban kifejezve), illetve szakítószilárdsága

Az ellenállás-ponthegesztés kivitelezéséhez egy P.E.I.-POINT PN25 típusú berendezést használtunk, P.E.I.-POINT PX 1500P áramforrással. A vezérlés frekvenciája 50 Hz. Az alkalmazott sapkaelektrodák 10 mm-es rádiusszal lekerekített csomakúpok (G típus) voltak. A ponthegesztő berendezés kárelrendezése X-típusú volt. A pneumatikához szükséges sűrített levegő nyomás minden esetben 6,5 bar volt (maximális tápnomás), amivel 1,9 kN elektroda-nyomóerőt lehetett kifejteni. A kísérletek során az áramerősség és a hegesztési idő került megváltoztatásra. A gép által maximálisan létrehozható hegesztőáram nagysága 13,2 kA, a névleges teljesítmény pedig 25 kVA. Az előtartási időt egységesen 25 periódusra, azaz fél másodpercre állítottuk be, áram fel- és lefutást nem alkalmaztunk. A kísérletek során végig egyszerű munkarenddel, folyamatos energiabevitelrel hegesztettünk.

A hegesztési kísérletek megtervezéséhez válaszfelület alapú, Box-Wilson módszer alkalmaztunk. Alapvetően a kísérlettervezés lényege, hogy meghatározzuk, a bemenő paraméterek (input faktorok) milyen mértékben befolyásolják a célváltozót, vagy célfüggvényt [24]. Jelen esetben a célváltozó a STS, és a benyomódás, az input paraméterek pedig az áramerősség és a hegesztési idő, tehát egy kétváltozós függvény került felállításra. A hagyományos, faktoriális módszerrel ellentétben esetünkben a függvényben szerepelnek lineáris, négyzetes, illetve kereszthatást leíró tagok. A Box-Wilson kísérlettervezési módszer alapja, hogy az általunk felvett tervközépponthoz képest az optimális tartomány a legnagyobb gradiens irányába található [25].

A legnagyobb meredekséggel bíró irány meghatározásához alapvetően a második deriváltakból képzett gradiensvektor szolgáltat információt, de ezek kiszámítása nélkül, grafikusan is jól látszik az eredmény. Amennyiben a mérések pontosak, a módszer kettő, maximum három iteráció segítségével a kívánt tartományhoz konvergál.

A kísérletterv létrehozásához a Minitab 17 szoftvert alkalmaztuk, ami jó lehetőséget biztosított a válaszfelület alapú modellezéséhez és az eredmények statisztikai kiértékeléséhez. Az optimalizálás során az elsődleges célváltozó a nyíró-szakítóerő volt. A STS-re történő optimalizálás (individual desirability) mellett egy úgynevezett összetett jósági fok (composite desirability) került definiálásra, annak érdekében, hogy meghatározzuk azt a tartományt, ahol egyszerre viszonylag jó szakítószilárdságú, és kis benyomódású kötés készíthető. Ennek értéke akkor a legmagasabb, ha az általunk kitűzött két, vagy több célfüggvény kívánt értékét egyidejűleg sikerül kielégíteni. Ha a célváltozók súlyozása egyenlő (azaz egyenlően fontos számunkra mindkét érték), akkor az összetett jósági fok az egyes egyéni jósági fokok geometriai átlagaként számolandó. A kapott eredmények kiértékeléséhez az úgynevezett ANOVA (Analysis of Variances) módszert alkalmaztuk, melyet szintén a Minitab 17 segítségével végeztünk el. Az ANOVA a szórásnégyzetek mértékét elemzi, segítségével meghatározható az egyes input paraméterek súlya, illetve a modell pontossága.

A próbatestek készre hegesztése után a mintákon EN ISO 14273:2016 szerint nyíró-szakítóvizsgálatot végeztünk. Az STS szempontjából vett és a többszemponútú optimum meghatározása után az optimális beállításokkal hegesztett kötésekéről makro- és mikroszerkezeti felvételeket készítettünk. Több száz keménységmérési (HV1) pont felvételével a mintákról keménységtérképet készítettünk. A nyíró-szakítóerő - elmozdulás görbék segítségével a görbe alatti területet integráltuk, hogy az elnyelt munkát kiszámítsuk. A hegesztés során a fröcskölés és az elektródafelragadás mértéke dokumentálásra került, majd mikrométer segítségével a varratlencse benyomódását mértük.

A próbatestek megnevezésekor úgy jártunk el, hogy az alapanyag megnevezése utáni első szám a teljesítmény értékét mutatja géposztásban, utána pedig a hegesztési idő értéke következik periódusban. Erre azért volt szükség, mert az áramerősség értéke közvetlen módon nem állítható, csak a rendszerbe bevezetett teljesítmény. A teljesítményt 0-99-ig tartó skálán lehet állítani, ami a tirisztor osztás százalékos mértékét jelenti. Az időt szintén 0 és 99 között lehet állítani, ami jelen esetben a periódusszámot jelenti (50 periódus jelent egy másodpercet). Tehát a DP800-DP800 45-25 megnevezés azt jelenti, hogy DP800 homogén kötésről van szó, amely 45 tirisztor osztásnyi teljesítménnyel, és 25 periódusnyi (azaz fél másodperces) idővel lett hegesztve. Ez a jelölésrendszer áll fenn a beállítások leírásánál is. A konkrét áramerősség a hegesztés során műszer segítségével lett mérve.

3.Eredmények és kiértékelésük

Az optimális tartomány meghatározásához két iterációra volt szükségünk. Az első iteráció során lehetőség volt az optimális tartomány helyzetének körülbelüli megbecsülésére egy szélesebb tartományon, a második iteráció során pedig az optimum helyzete egy szélesebb tartományon lett feltérképezve. Jelen dokumentumban csak a második iteráció során kapott ábrák, illetve az ahhoz tartozó statisztikai kiértékelések kerülnek elemzésre.

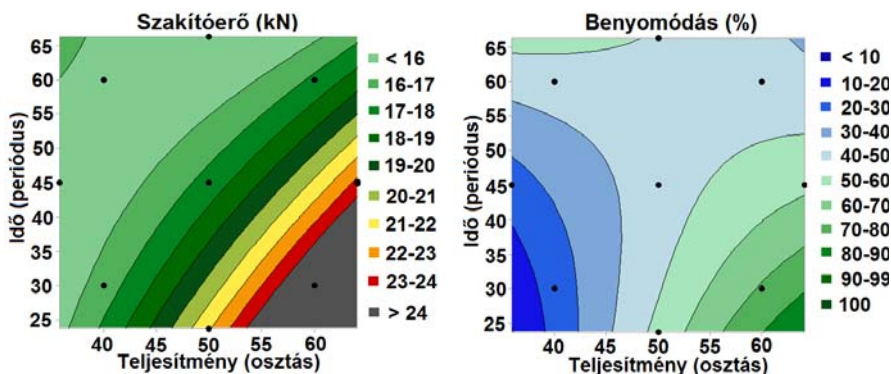
A 2. táblázatban láthatók a második kísérlettervhez tartozó technológiai változók illetve a feljegyzések. A fröcskölés és a felragadást bináris rendszerben rögzítettük, az 1-es szám ezen események megtörténtét jelzi. A százalékosan vett benyomódás mértékét a kettő lemezből álló teljes anyagvastagsághoz viszonyítottuk.

Sorszám	Telj. (osztás)	Idő (per.)	Fröcskölés (1/0)	Felragadás (1/0)	STS (kN)	Tönkre- menetel	Benyom. (%)
1	50	66	1	1	16,9	PO	47
2	64	45	1	1	25,2	PO	55
3	50	45	1	1	18,9	PO	41
4	50	24	1	1	22,7	PO	53
5	36	45	1	1	16,2	PO	27
6	40	30	1	1	15,8	PO	23
7	60	60	1	1	15	PO	48
8	50	45	1	1	16	PO	51
9	50	45	1	1	20	PO	34
10	60	30	1	1	24,7	PO	73
11	50	45	1	1	19,7	PO	58
12	50	45	1	1	12,5	PO	42
13	40	60	1	1	13,9	PO	46

2. táblázat.

A második kísérlettervhez tartozó paraméterek és értékeik

A 2. táblázatból jól látszik, hogy a fröcskölés és elektródafelragadás jelenségével mindegyik beállítás mellett számolni kellett. A tönkremenetel minden esetben kigombolódás (PO; pull out) volt. A 2. ábrán a második kísérlettervhez tartozó várható szakítóerő (STS) és benyomódás értékek láthatóak a hegesztési teljesítmény és az idő függvényében. Fontos megemlíteni, hogy ezek az értékek, és a hozzájuk tartozó statisztikai kiértékelés csak az adott tartományon érvényes, ezekből extrapolálni nem lehetséges. Jól látható, hogy az adott tartományon a legnagyobb elérhető szakítóerő a 60-30 beállításnál adódik. A teljesítmény növelésével és az idő csökkentésével (tehát kemény munkarenddel) akár 24 kN nagyságú szakítóerő is elérhető, amely a szabványban előírt háromszorosa.



2. ábra

A második kísérletterv tartományán érvényes szakítóerő (bal oldal) és benyomódás értékek (jobb oldal) a hegesztési idő függvényében

Jól látható azonban továbbá, hogy a benyomódás értéke nem változik lineárisan a teljesítménnyel, illetve az idővel. Általánosságban kijelenthető, hogy a teljesítmény (és ezáltal az áramerősség) növelésével, illetve a hegesztési idő növelésével a benyomódás nő, azonban ez csak külön-külön elemezve igaz. Nagy teljesítmények és hegesztési idők esetén az elektróda képlékeny alakváltozása figyelhető meg, ez pedig a próbatest benyomódását csökkenti. A nyíró-szakítóerő szerinti optimum a 60-30-as beállításnál található. A teljesítményt ennél jobban nem lehet növelni, mivel ez az elektródák idő előtti tönkremeneteléhez vezet, illetve a munkarend további keményítése sem vezetett már nagyobb szakítószilárdsághoz. A 3. táblázat bal oldalán a második kísérlettervhez tartozó statisztikai mérőszámok láthatóak a nyíró-szakítóerő szempontjából. A szabadsági fokok száma (DoF) az egymástól független változók számát jelenti, a p-érték pedig a modell pontosságát. Minél kisebb a p-érték, annál nagyobb biztonsággal lehet kijelenteni, hogy a modellünk pontosan írja le a jelenségeket és a faktorok hatását. Jól látszik, hogy nyíró-szakítóerő szempontjából a lineáris tagoknak jelentős a szerepe, az áramerősség és a hegesztési idő befolyása közel azonos. A modell p-értéke kicsi, 92 %-os biztonsággal kijelenthető, hogy a faktorok a modell szerint befolyásolják a célfüggvényt.

Tag	Nyíró-szakítóerő			Benyomódás		
	DoF	p-érték	Befolyás (%)	DoF	p-érték	Befolyás (%)
Modell	5	0,081	70	5	0,017	82
Lineáris	2	0,024	58	2	0,010	51
Teljesítmény	1	0,028	33	1	0,003	50
Idő	1	0,047	25	1	0,638	1
Négyzetes	2	0,689	4	2	0,492	5
Teljesítmény ²	1	0,435	3	1	0,602	1
Idő ²	1	0,687	1	1	0,330	4
Kereszthatás	1	0,223	8	1	0,016	26
Teljesítmény*Idő	1	0,223	8	1	0,016	26
Hiba	7	-	30	7	-	18
Illesztési hiba	3	0,63	10	3	0,928	1
Tiszta hiba	4	-	20	4	-	17

3. táblázat.

A második kísérlettervhez tartozó statisztikai mérőszámok a nyíró-szakítóerő és a benyomódás szempontjából

A 3. táblázat jobb oldala a második kísérlettervhez tartozó statisztikai mérőszámokat tartalmazza a benyomódás szempontjából. A modell p-értéke kicsi, 98 %-os valószínűséggel kijelenthető, hogy a benyomódást az áramerősség és az idő ténylegesen befolyásolja. Gyakorlatilag csak lineáris és kereszthatást leíró tagok szerepelnek a modellben. A lineáris tagokból jól látszik, hogy gyakorlatilag csak a teljesítménynek (tehát közvetve az áramerősségnek) van szerepe a benyomódás szempontjából. A kereszthatást leíró tagból az derül ki, hogy az áramerősség és a hegesztési idő egymás benyomódást növelő hatását gyengítik (a már említett elektródák képlékeny deformációja miatt), ahogyan az a 2. ábrán is látható. A kapott nyíró-szakító erő és benyomódás értékeket elemezve meghatároztuk a többszempontú optimum helyzetét. A modell által szolgáltatott adatok alapján az STS optimum a 60-30 beállításnál, a többszempontú optimum a 40-24-es beállításnál található. Az optimális beállításokkal rendre 5 db hegesztést végeztünk, ahol 1 db kötést metallográfiai vizsgálatra készítettünk elő, a maradék 4 darabot pedig ellenőrző nyíró-szakítóvizsgálatnak

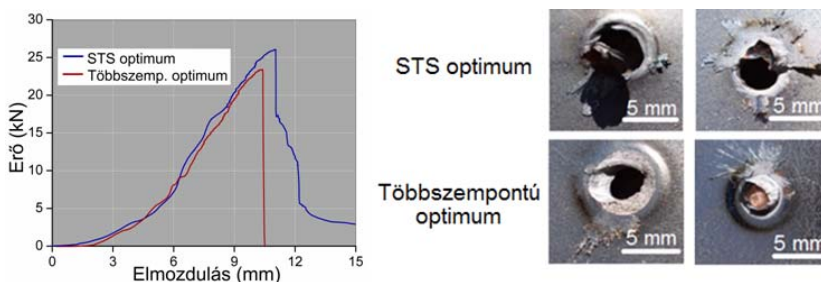
vetettük alá. A nyíró-szakítóvizsgálatok eredményeképpen kiszámítottuk az elérhető maximális STS értéket, illetve a szabvány által előírt értékhez képesti arányát. A szakítógörbék alatt lévő területet integráltuk, és kiszámítottuk a tönkremenetelhez szükséges külső erők munkáját. Az 4. táblázatból jól látható, hogy az STS-re optimalizált kötések nyíró-szakítóereje több mint háromszor meghaladja a szabvány által előírt értéket. A többszempontú optimum esetében a benyomódás jelentősen, gyakorlatilag a felére csökkent, miközben a nyíró-szakítóerő csak minimális mértékben mérséklődött. Így tehát, amennyiben a benyomódás és a nyíró-szakítóerő egyforma mértékben fontos, érdemes a többszempontú optimumhoz tartozó beállításokkal hegeszteni. Ugyan az STS-re optimalizált varratok nyíró-szakítóereje igen nagy, de ez jelentős mértékű benyomódással és elektródaerózióval jár, amely az esetek többségében nem megengedhető. A törési munkánál (W_t) látható, hogy az iterálás során folyamatosan nő, és maximum értékét ott veszi fel, ahol a nyíró-szakítóerő a legnagyobb. Tehát kijelenthető, hogy a DP800 acélok homogén kötéseiben a maximális nyíró-szakítóerő elérése jelentős elnyelt munkával párosul, a kötés nem ridegedik el.

Megnevezés	I (kA)	t (s)	Benyom. (%)	STS (kN)	STS/STS _{min} (-)	W _t (kN×mm)
DP800-DP800 40-50 (első tervközéppont)	7,0	1	37±2	19,0±1,5	2,6	47±8
DP800-DP800 50-45 (második tervközéppont)	8,7	0,9	48±8	18,7±1,8	2,5	68±14
DP800-DP800 60-30 (nyíró-szak. optimum)	10,4	0,6	62±3	23,4±2,0	3,2	78±18
DP800-DP800 40-24 (többszemp. optimum)	7,0	0,48	28±4	21,3±1,5	2,9	65±17

4. táblázat.

Az első és a második tervközépponthez, illetve az optimalizált kötésekhez tartozó gyártási paraméterek, benyomódás és nyíró-szakítóerő értékek, továbbá a tönkremenetelig elnyelt energiaértékek

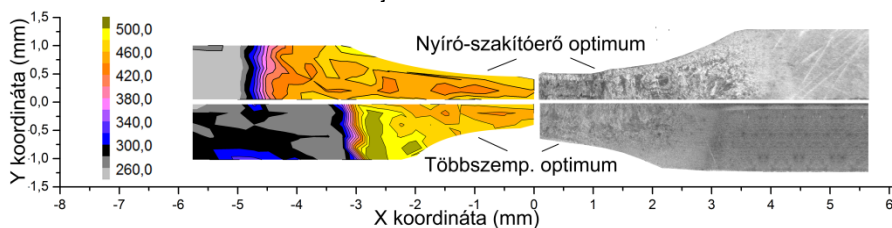
Az optimalizált kötések minden esetben kigombolódással, vagy részleges kigombolódással mentek tönkre. A 3. ábra bal oldalán láthatóak a nyíró-szakítóerő optimumhoz és a többszempontú optimumhoz tartozó erő-elmozdulás értékek. A nyíró-szakítóerő optimum esetében nagyobb az elnyelt munka, és az alakváltozás a tönkremenetel után is folytatódik, amely szívós tönkremenetelre utal. A 3. ábra jobb oldalán látszik, hogy a nyíró-szakítóerőre optimalizált varratoknál a tönkremenetel szívósabb, a varratlencse átmérője nagyobb.



3. ábra

A nyíró-szakítóerő optimumhoz és a többszempontú optimumhoz tartozó erő-elmozdulás diagramok (bal oldal) és makrofotók (jobb oldal) a varratlencse kigombolódásáról

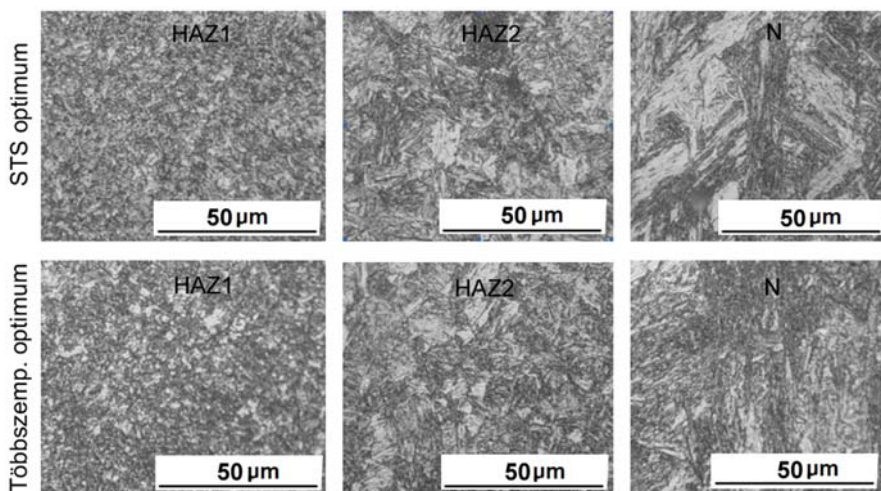
Az optimalizált kötések kézi fűrésszel elvágtuk, és makro- illetve mikroszerkezeti felvételeket készítettünk, majd a keménységtérkép felvételére került sor. A keménységmérés során Vickers-módszert alkalmaztunk, 1 kg-os terheléssel. Az 4. ábrán látható a keménységtérkép a varratlencse makrofelveleivel együtt. A nyíró-szakítóerő optimum esetében a varratlencse és a hőhatásövezet szélesebb. A többszemponút optimum esetében varratlencse és a durvaszemcsés hőhatásövezet határán jelentős keménységcsúcsok fedezhetőek fel, amelyek meghaladják az 500-520 HV értéket. Általánosságban kijelenthető, hogy a többszemponút optimum a kisebb hőbevitel miatt a varratlencsén és a hőhatásövezeten belül nagyobb keménységértékeket eredményez. Ennek oka a DP800 acél edződésre hajlamos viselkedése.



4. ábra

A nyíró-szakítóerő optimumhoz (felül) és a többszemponút optimumhoz (alul) tartozó keménységtérképek és keresztmetszeti makrofelveleik

A makrofelveleken kívül a kötés különböző részeiről mikrofelveleket is készítettünk, amelyek a 5. ábrán láthatóak. A felvételek a hőhatásövezet külső (HAZ1: finomszemcsés) és belső (HAZ2: durvaszemcsés) részéről és a varratfémről (N) készültek.



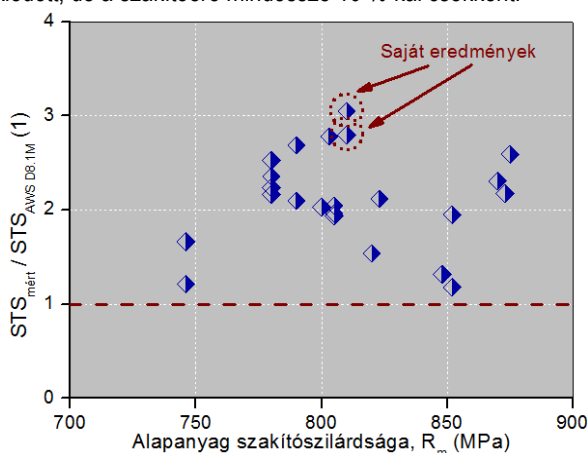
5. ábra

A nyíró-szakítóerő optimumhoz és a többszemponút optimumhoz tartozó mikrofelveleik

A mikroszerkezet szempontjából nem vehető észre jelentős különbség a nyíró-szakítóerőre optimalizált és a többszemponút optimumhoz tartozó kötések között. Az alapanyag felől indulva mindkét esetben a szövetszerkezet ferrit-martenzites és finomszemcsés, majd ez fokozatosan durvul. A varratfémrre öntött szerkezetű, dendrites struktúra jellemző.

Összefoglalás

A kutatás során DP800 vékonylemezek ellenállás-ponthegesztett kötéseit optimalizáltuk válaszfelület alapú, Box-Wilson kísérlettervezési módszerrel. Kijelenthető, hogy az illesztett matematikai modell során gyorsan és kevés kísérletből sikerült eljutni az optimális tartományig, és az illesztett modell jól jellemzi a folyamatot. A nyíró-szakítóerőre optimalizált varratok szakítóereje (STS) több, mint háromszorosan meghaladja az AWS D8.1M:2013 szabvány által előírt értéket és a többi szakirodalmi eredményekhez viszonyítva fajlagosan a legjobb eredményt értük el, ahogyan az a 6. ábrán is látszik. A benyomódás az STS-re optimalizált varratok esetében jelentős. A többszempontú optimum esetében a benyomódás a felére mérséklődött, de a szakítóerő mindössze 10 %-kal csökkent.



6. ábra

Az általunk hegesztett és a szakirodalomban elérhető kötések nyíró-szakítóereinek aránya az AWS D8.1M:2003 által előírt minimum értékhez képest [9] [11] [13-23]

Az STS és a benyomódás szempontjából a legfontosabb technológiai változó az áramerősség. A benyomódás szempontjából a hegesztési idő szerepe minimális. A maximális STS-hez tartozó munkarend közepes, a többszempontú optimumhoz ezzel szemben keményebb munkarend tartozik. A többszempontú optimumhoz tartozó beállítás jóval kisebb hőbevitelt eredményez, emiatt a varratlencse és a hőhatásövezet szélessége kisebb, mint az STS-re optimalizált varratok esetében. A többszempontú optimumhoz tartozó kötések esetében a varratlencse keménysége átlagosan nagyobb, mint a maximális STS-re optimalizált varratok esetében, illetve a durvaszemcsés hőhatásövezetben jelentős, akár 500 HV-t is meghaladó keménységsúcsok alakultak ki. A tönkremenetel mindkét esetben kigombolódás volt, jelentős mértékű elnyelt energiával. A maximális STS-hez tartozó beállításokkal maximalizálható az elnyelt munka. A mikroszerkezetre a technológiai változóknak csak kis hatása van. A további kísérletek során tervben van külsőleg bevezetett gáz használata (pl.: argon) a hálózati sűrített levegő helyett, mivel az 1,9 kN elektródaerő kevésnek bizonyult, emiatt intenzív fröcskölés lépett fel. Ezáltal az elektródanyomás szerepe, mint harmadik faktor, jobban feltérképezhetővé válik majd.

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). Szeretnénk továbbá megköszönni Fábíán Enikő Rékának a metallográfiai laboratóriumban, illetve az SSAB magyarországi képviseletének az acélkiválasztásban nyújtott segítségét. Ezen kívül szeretném megköszönni a Rehm Kft.-nek a mérés technikában és a technológia beállításában nyújtott segítségét.

Irodalomjegyzék

- [1] Balogh A., Lukács J., Török I., Hegeszthetőség és a hegesztett kötések tul., 2015.
- [2] Oliver S., Jones T.B., Fourlais, G., Mat. Char., 2007. 58(4): p. 390-400.
- [3] Eren Billur, T.A., Stamping Journal, 2013.
- [4] Kuziak, R., R. Kawalla, and S. Waengler, Archives of Civil and Mech. Eng., 2008
- [5] Automotive Steel Definitions. <http://www.worldautosteel.org>, 2018.01.18.
- [6] Borhy I., K.L., 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, 2010, Budapest.
- [7] Gáti J., Béres L., Gremperger G., Komócsin M., Kovács M., Hegesztési Zsebkönyv
- [8] AWS D8.1M:2013 - Spec. for Autom. Weld Qual. - Res. Spot Welding of Steel. 2013.
- [9] Prém L., Balogh A., Hegesztéstechnika, 2015.
- [10] P. R. Spena, M.D.Maddis, G. D'Antonio, F. Lombardi, Metals, 2016.
- [11] Wan, X., Y. Wang, P. Zhang, Journal of Mat. Proc. Tech., 2014. p. 2723-2729.
- [12] Katula L., F.M., Lublóy É., MAGÉSZ ACÉLSZERKEZETEK, 2015: p. 76-84.
- [13] Zhao, D.W., et al., Materials & Design, 2013. 50: p. 72-77.
- [14] Zhao, Y., Y.S. Zhang, P.-C. Wang, Vol. 96. 2017. 71s-82s.
- [15] Pal, T.K., K. Bhowmick, Journal of Mat. Eng. and Perf., 2012. 21(2): p. 280-285.
- [16] Sevim, I., F. Hayat, M.K. Kulekci, Bulletin of Mat. Sci., 2013. 36(6): p. 1049-1055.
- [17] Khan, M.I., et al., Materials Transactions, 2008. 49(7): p. 1629-1637.
- [18] E. Emre, R. Kaçar, Metals, Vol. 6. 2016. 299.
- [19] Pouranvari, M., S.P.H. Marashi, Mat. Sci. and Eng., 2011. 528(29-30): p. 8337-8343.
- [20] Rossillon, F., et al., Welding in the World, 2008. 52(11): p. 30-41.
- [21] Tolf, E., J. Hedegård, Welding in the World, 2008. 52(3): p. 43-53.
- [22] Den Uijl, N., et al., Welding in the World, 2012. 56(7): p. 51-63.
- [23] Radakovic, D.J., M. Tumuluru, Welding Research, Vol. 87. 2008. 96-s.
- [24] Márkus L., Az ipari kísérlettervezés statisztikai módszerei
- [25] Box, G.E., Wilson, K.G., On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. Journal of the Royal Statistical Society, 1951. 13: p. 1-41.
- [26] Dobossy Á. Lukács J., Hegesztéstechnika 1 (2015) 51-59.
- [27] Meilinger Á., Lukács J., Kuzsella L., Koncsik Zs., Gáspár M., Mat. Sci. F.; 812, p. 516.

SZAKASZOS ENERGIABEVITEL HATÁSA NAGYSZILÁRDSÁGÚ AUTÓIPARI VÉKONYLEMEZEK ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSEKOR

EFFECT OF THE IMPULSE WELDING BY THE RESISTANCE SPOT WELDING OF THE HIGH-STRENGTH STEEL IN THE VEHICLE INDUSTRY

Hareancz Ferenc

Kiss Norbert

Neumann János Egyetem

[hareancz.ferenc@gamf.uni-
neumann.hu](mailto:hareancz.ferenc@gamf.uni-neumann.hu)

kiss.norbert321@gmail.com

Az utóbbi pár évtizedben megjelentek a karosszériagyártásban az új szerkezeti anyagok az új tervezési és gyártási filozófiának köszönhetően. Ebben a tanulmányban a szakaszos energiabevittel ellenállás-ponthegeztett ferrit-martenzites szövetszerkezetű DP800 és DP1000 anyagpárosítással készített kötések mechanikai tulajdonságait és szövetszerkezetét vizsgáltuk. Az eddigi tapasztalatok alapján több impulzussal létesített kötéseknek a folyamatos energiabevitelhez képest kedvezőbb teherbírása és a tönkremeneteli módja. Az első impulzus által létrehozott ömledék zóna külső részében a további impulzusok egy részben átkristályosodott zónát hoznak létre. Ennek a zónának a mikroszerkezetének változásai befolyásolják a kötések tönkremeneteli módját.

In the last couple of decades, new structural materials have emerged in bodywork because of the new design and manufacturing philosophy. This study is about the disquisition of the mechanical properties and structure of the welds, what constructed with coupling (resistance spot welding) of the DP800 and DP1000 - dispose of ferrite-martensite structure - with impulse welding. Based on previous experiences, the joints, what built with several impulses, have a better capacity and a way of ruination for the continuous energy consumption. In the outer part of the melt zone, what created by the first pulse, the additional pulses generate a partially recrystallized zone. The changes of the microstructure of this zone affect the failure of the joints.

1. Bevezetés

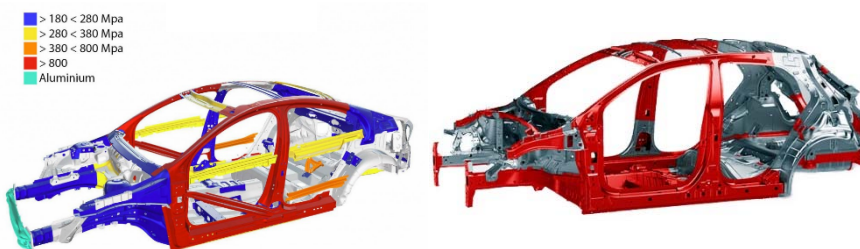
A közúti járművek folyamatosan növekedő mennyisége különböző társadalmi és környezetvédelmi problémákhoz vezet. A korszerű nagyszilárdságú acéllemezek iránti igény egyre inkább nő az autóiparban, napjainkban nagy szerepet kap a járművek tömegének csökkentése a káros anyag kibocsátás minimalizálása érdekében. A járműgyártó cégekre folyamatos nyomás nehezedik a fogyasztás és a károsanyag kibocsátás minimalizálása miatt. A korszerű nagyszilárdságú acéloknak (AHSS) kiváló szilárdsági és alakíthatósági tulajdonságokkal rendelkeznek. A járművek az ütközések során keletkező energiát nagy mértékben elnyelik, ezáltal növelve az utasok biztonságát anélkül, hogy extra súlygyarapodást jelentenének. A legújabb kutatások szerint 57 kg tömegcsökkentéssel 0,09-

0,21 liter üzemanyag spórolható meg kilométerenként. Ennek eléréséhez tehát egy fontos eszköz a karosszéria tömegének csökkentése, mely a jármű teljes súlyának jelentős részét teszi ki. Ezen cél eléréséhez a gyártók olyan technológiai módszereket, alapanyagokat használnak fel, melyekkel a karosszéria elemek gyártása során elérhető a kívánt tömegcsökkentés a szilárdság megtartása mellett [1, 2].

Az ellenállás-ponthegesztés a legelterjedtebb eljárás az acélok kötésére az autóiparban. Figyelembe véve a korszerű nagyszilárdságú acélok fejlesztését és felhasználást a gépjárművekben meg kell vizsgálni ezen anyagoknak a ponthegeztési viselkedését, mert részletes ismeretük nélkül a járművekben alkalmazott felhasználásuk és hasznuk korlátozott lesz.

2. Korszerű nagyszilárdságú acélok és felhasználásuk az autóiparban

Napjainkban az egyik leggyakrabban használt korszerű nagyszilárdságú acél a karosszéria gyártásban a kétfázisú (DP) acél. Az autóipar számára ezen acélok a nagy szilárdsági értékek mellett jó alakíthatósággal és jó törésmechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezáltal a kívánt szilárdsági értékeket a karosszériáknál kevesebb anyag felhasználásával is el tudják érni, így csökkentve a jármű össztömegét, a kedvezőbb üzemanyagfogyasztási értékeket elérve és kevesebb üvegházhatást okozó káros gázt kibocsátva. Az 1. ábrán látható két karosszéria közül a bal oldali egy 2012-es modell, a jobb oldali pedig 2018-as modell, melyeknél a nagyszilárdságú acélok felhasználását vörös, illetve narancssárga színek jelzik. Az utasok védelme érdekében az utascellának nem csak az A, B oszlopok és a küszöb készül ezekből az anyagokból, hanem a padló lemez, a tűzfal és az első és hátsó gyűrődési zónába tartozó elemek is [1, 2].



1. ábra

Korszerű nagyszilárdságú acélok a járműkarosszériában. [3]

A kétfázisú acéloknál a kiváló szilárdsági értékeket és alakíthatóságot a kétkomponensű végső mikrostruktúrával érik el. A DP acélok különleges tulajdonságai a szövetszerkezetben rejlenek, mely ferrit-mátrixban ágyazott martenzit szigeteket tartalmaznak. Ez a szerkezet gyártás során alkalmazott interkritikus lágyításnak és az azt követő gyors hűtésnek köszönhető. A ferrit határozza meg az alakíthatóságot, a martenzit pedig a szilárdságot [4].

3. A kétfázisú acélok ponthegeesztetősége

Mint minden hegesztési eljárásnak, így az ellenállás-ponthegeztésnek is megvannak a maga hegesztési feltételei. A kötés létesítésekor az ellenálláson gyorsan fejlődő hő által kisméretű heglencse keletkezik, az összehegesztendő darabokat elektródok tartják fixen nyomás alatt, ezalatt a megömlött rész az intenzív hőelvonás miatt gyorsan kikristályosodik. A ponthegeesztetőség vizsgálati kritériumaként a kötések maximális keménységét és a vizsgáló eljáráshoz kötött kedvezőtlen törési módját szokás megadni [5, 6, 7].

Az alapanyag kémiai összetételének hatását a ponthegeesztetőség vizsgálata során is karbonegyenértékkel fejezzük ki. Ezt a japán kutatók vezették be az autópári AHSS acélok hegeesztetőségének minősítésére. A 0,24 %-os határértéken túl kedvezőtlen törési mód jelenik meg, illetve csökkenni kezd a kereszt szakító és nyíró szakító erő hányadosa. A kísérleti anyagok vegyi összetételéből (1. táblázat) az (1) összefüggés segítségével kiszámítottuk a karbonegyenértékeket [8].

$$CE_{RSW} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + 2 \cdot P + 4 \cdot S \leq 0,24\% \quad (1)$$

A karbonegyenérték a DP800 alapanyag esetén 0,255%, amíg DP1000 esetén 0,269% mindkettő tehát meghaladja a határt. Ez azt jelenti, hogy a kötéseknel számolnunk kell azzal, hogy a hőhatásövezetben, illetve a heglencsében is keletkezhet repedés, majd ridegtörés következhet be. Ezt a kedvezőtlen helyzetet elkerülendő, a szövetszerkezet változást a hűlési sebesség lassításával tudjuk elkerülni. Ezért a hegesztéshez praktikus a szakaszos energiabevitel alkalmazása. Tapasztalatok alapján az első impulzus által létrehozott pontátmérőt a második impulzus már nem növeli, hanem a meglévő kötést olvasztja újra és kristályosítja át. Az impulzusok közti szünetidő hatására az eredetileg dentrites heglencse külső része gyűrű alakban átkristályosodik. A szünetidő növelésével ez a zóna kívülről befelé haladva növekszik. A finomabb szövetszerkezetnek köszönhetően a zóna keménysége némileg csökken és alakváltozó képessége javul [5, 6].

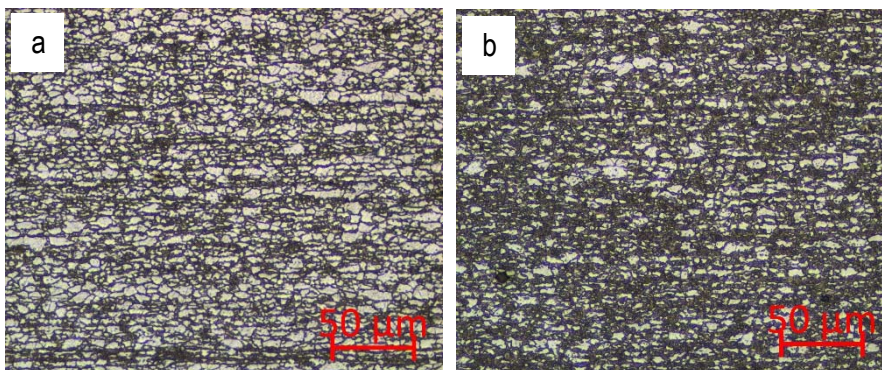
4. Kísérleti részletek

Jelen vizsgálatokban a korszerű nagyszilárdságú acélok közül két DP jelölésű (dual phase) acélt elemeztünk (DP800 és DP1000) 1 mm-es anyagvastagságban. Vizsgáltuk a mikrostruktúra és a mechanikai tulajdonságok változását folyamatos és impulzus üzemi energiabevittel létesített ellenállás-ponthegeesztett kötéseknel. Az alapanyagokra vonatkozó kémiai összetétel az 1. táblázatban, a szövetszerkezeti képek pedig a 2. ábrán láthatóak. A ferrit és a martenzit aránya DP800-as anyag esetén 0.579-0.421 és DP1000-es anyag esetén 0.350-0.650 alakul [8].

Megnevezés	C	Si	Mn	P	S
DP800	0.139	0.187	1.52	0.012	0.003
DP1000	0.148	0.181	1.50	0.012	0.004

1. táblázat.

A vizsgált acélok kémiai összetétele tömegszázalékban



2. ábra
Szövetszerkezeti kép a) DP800, b) DP1000

A mintákat 105 mm x 35 mm-es darabokra vágtuk és 35 mm x 35 mm-es átfedéssel alakítottuk ki. A felületről a szennyeződéseket alkohollal átítatott textíliával eltávolítottuk. A ponthegeztéseket egy 140 kVA teljesítményű hegesztőberendezéssel készítettük el, amely 50 Hz-en működik és 0 kA-tól 14 kA-ig állítható a hegesztési áramerősség. Az elektróda anyaga Cu-Cr-Zr összetételű ötvözet, az elektróda csúcsátmérőjének mérete 6 mm. Az előkísérleteknél a hegesztési áramot változtattuk 7 kA-tól 11,5 kA-ig 0,5 kA-es lépcsőkkel, állandó hegesztési idő és elektród erő mellett. A hegesztési ciklusra vonatkozó további értékeket a 2. táblázat tartalmazza.

A kötések nyíró erejének és tönkremeneteli módjának megállapítására egy Instron 4482 univerzális anyagvizsgáló berendezést használtunk. A legkedvezőbb eredményekkel rendelkező kötés paramétereit vettük a további összehasonlítások alapjaként. Több impulzus alkalmazásakor az állandó hegesztési időt osztottuk szimmetrikusan ketté, a két impulzus között pedig 15 és 30 periódusidőnyi szünetet hagytunk, a többi paramétert változatlanul hagytuk. Így a két impulzussal készített kötések esetén egy impulzus hegesztési ideje 8 periódusra adódott.

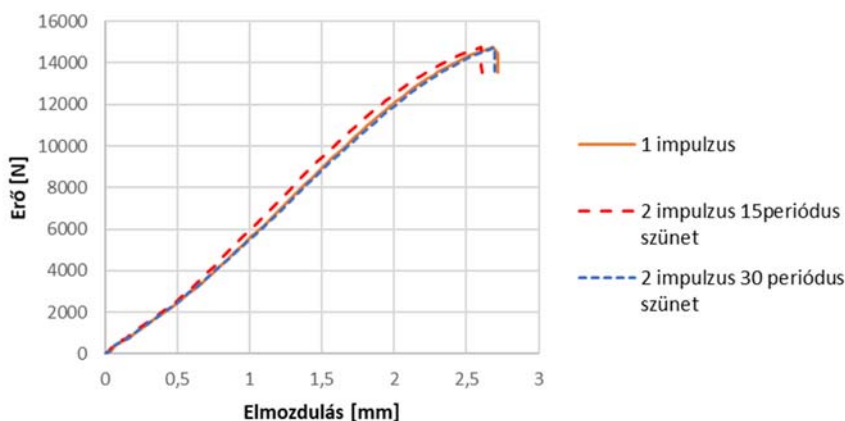
Hegesztési idő (per)	Előnyomási idő (per)	Utántartási idő (per)	Elektród erő (kN)	Elektród átmérő (mm)
16	45	40	3	6

2. táblázat.
Hegesztési ciklus állandó paramétere (1 periódus 0,02 másodperc)

A hegesztett kötések a metallográfia és mikrokeménység vizsgálatokhoz hűtött precíziós vágóberendezéssel ketté vágtuk úgy, hogy a bakelitbe beágyazott kötésnek a csiszolási és polírozási folyamatok után a középső keresztmetszetét vizsgálhassuk. A szövetszerkezet láthatóvá tételéhez 2 %-os Nitalt alkalmaztunk 12 másodpercig. A mikroszerkezeti változásokat egy Zeiss Imager M2m optikai fémmikroszkóp és a hozzá tartozó szoftver segítségével vizsgáltuk. A Vickers mikrokeménység lefutást Wilson Wolpert 401 MVD keménységmérő gép segítségével 1 kp terhelő erővel, 10 másodperces várakozási idővel és 0,2 mm lenyomattávolsággal mértük.

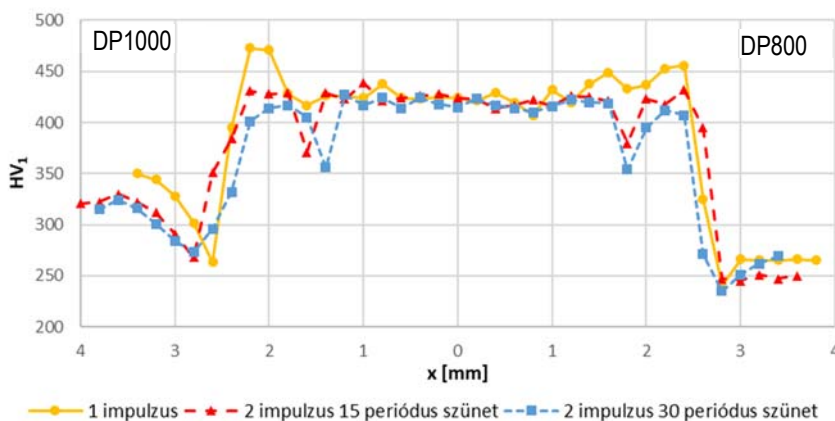
5. Eredmények

A DP800-as és DP1000-es anyagok átlapolt kombinált kötéseit ellenállás ponthegeztéssel, a fenti paraméterek alapján sikeresen végrehajtottuk. Az előkísérletek során 9 kA-es áramerősség felett már erős fröcskölést tapasztaltunk, ezért számunkra megfelelőnek tűnt 8 kA áramerősséggel készített kötés, ahol az előbb leírt jelenség már nem volt tapasztalható. A próbatest magas nyíró-szakító erővel rendelkezett és a tönkremenetel során kigombolódott a DP800-as anyag felől. A két impulzussal készített kötések esetében a nyíró-szakító erő nagyságában nem tapasztaltunk változást, azonban a tönkremeteli módja megváltozott azoknak. Minden esetben teljes kigombolódás történt, szemben az egy impulzussal történő hegesztéskor, ahol két esetben a kötés síkjában ment tönkre a darab. A szakítóvizsgálat erő-elmozdulás diagramja a 3. ábrán láthatóak. Beállításonként 11 darab próbatestet vizsgáltunk és a mért eredmények középértékei lettek megjelenítve.



3. ábra
Szakítóvizsgálatok eredményei

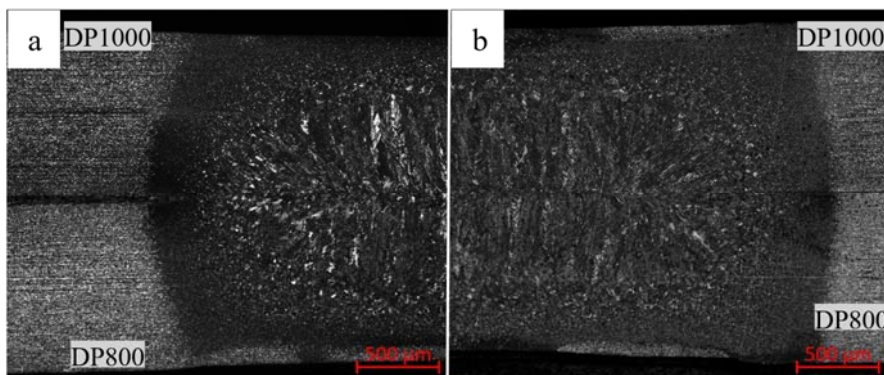
A varratok keménységeloszlását vizsgálva a folyamatos energiabevitelrel készített kötésnél a keménység értéke 470 HV-t is eléri a DP1000-es oldal hőhatásövezetének közepén. Ezzel szemben a szakaszos energiabevitel esetén a keménység maximális értéke 430 HV környékén alakult és csak a hőhatásövezet határainál tapasztalunk kilengéseket. Továbbá látható, hogy a hőhatásövezet belső részén kb. 60 HV-val csökkent a keménység; a külső határán pedig az alapanyagnál is puhább szövetszerkezet alakult ki. A DP1000-es oldalon a magasabb martenzit arány miatt nagyobb mértékű kilágyulás tapasztalható, mint a DP800-as oldalon. A hőhatásövezet közepének és a kötés közepének keménysége között nincs szignifikáns különbség. Azonban ez a rész finomabb szövetszerkezettel rendelkezik, mint a kötés durva dentrites szövetszerkezete.



4. ábra

Ponthegeztett kötések keménység eloszlása

A mikroszkópi képeket elemezve a 5. ábrán látható, hogy az 1 impulzussal, folyamatos energiabevittel készített kötésnél durva dentrites szerkezet rendelkezik, amíg az impulzussal készített kötés esetében a mag körül kialakul egy finomabb szemcseszerkezettel rendelkező zóna. A hőhatásövezet belső részén megindult a dentrites szerkezet poligonálissá alakulása, mely kedvezőbb mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik.



5. ábra

A folyamatos energiabevittel készített kötés a) és 30 periódus impulzusközi szünetidejű szimmetrikus kétimpulzussal készített kötés b) szövetszerkezeti képe Nagyítás: 50x

6. Összegzés

Az autógyártóknak egyre inkább meg kell felelniük a szigorodó környezetvédelmi szabályozásoknak és biztonságtechnikai előírásoknak. Ezek betartásához és eléréséhez hozzá járulnak a korszerű nagyszilárdságú acélból készített karosszéria elemek. Ezen

acélok tulajdonságait a jól szabályozott gyártási technológiával érik el. Azonban hegesztés folyamán az intenzív hőbevitel hatására szilárdságvesztés következik be és az előállított szövetszerkezet megváltozik. Ennek kiküszöbölésre megfelelő módszer az ellenállásponthegesztésnél az impulzus technika alkalmazása, mellyel javíthatóak a kötések szilárdsági tulajdonságai és tönkremeneteli módjai. Kísérleteinkről összegzőképpen elmondható, hogy ezen beállítási paraméterekkel készített kötéseknel a hőhatásövezet szövetszerkezeti változását elértük. A kötés középső része viszont továbbra is dentrites szerkezetű maradt. Ennek megváltoztatására, finomítására többféle mód lehetséges, pl. egy lágyabb munkarend alkalmazása, az impulzusok közti szünetidő növelése, esetleg utóhőkezelés. A ferrit-martenzites acélokra jellemző kialakuló keménységcsúcsokat sikerült csökkentenünk, az edződést mérsékelnünk. Azonban a kötés szilárdságát ezen beállítási paraméterek mellett nem tudtuk tovább növelni, viszont javítani tudtunk a tönkremeneteli módon azáltal, hogy szövetszerkezeti változást értünk el és javítottunk a keménységeloszláson. A szakaszos energiabevitel alkalmazása ezért ezen autóipari lemezek esetén is javítja a kötés mechanikai jellemzőit.

Irodalomjegyzék

- [1] Han HN, Clark JP. Lifetime costing of the body-in-white: steel vs.aluminium, JOM 1995;47(5):22–8.
- [2] Miklós Berczeli, Zoltán Weltsch: Experimental Studies of Different Strength Steels MIG Brazed Joints, PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 1:(1) pp. 1-6. (2018)
- [3] 2018 Kia Rio Body Structure, <https://www.boronextrication.com/2018/01/04/2018-kia-rio-body-structure>, Megtekintés dátuma: 2018.02.04.
- [4] A. Chabok, E. van der Aa, J.T.M. De Hosson, Y.T. Pei: Mechanical behavior and failure mechanism of resistance spot welded DP1000 dual phase steel, Materials and Design 124, 2017, pp.: 171–182
- [5] Prém L., Balogh A.,: A szakaszos energiabevitelben rejlő lehetőségek kiaknázása nagyszilárdságú , ferrit-martensites duplex szövetű autóipari acélok ellenállásponthegesztésekor, Hegesztéstechnika, XXIV. évfolyam 4. szám, pp.: 47-56.
- [6] Prém L., Balogh A.,: Ferrit-martensites (DP) acél vékonylemezek ellenállásponthegesztetősége, GÉP LXIV. évf., 2013, pp.: 13-17.
- [7] Hakan Aydin: The mechanical properties of dissimilar resistance spot-welded DP600–DP1000 steel joints for automotive applications, J Automobile Engineering, 2015, Vol. 229(5), pp.: 599–610
- [8] Gábor Béres, Zoltán Weltsch: Effect of the martensite volume fraction and indentation load on hardness profiles of automotive dual phase steels, 34th International Colloquium on Advanced Manufacturing and Repairing Technologies in Vehicle Industry. 190 p., University of Technology and Economics, 2017. pp. 33-36.



KOMPLEX MEGOLDÁSOK HEGESZTÉSI ALKALMAZÁSOKHOZ

Az igm-Csoport több mint 50 éve szereli fel a piacvezetőket hegesztőrobot technológiával.

Vevőspecifikus megoldásokkal biztosítja a legmagasabbfokú pontosságot és extrém terhelhetőséget garántál.

igm

SST
STEIGERWALD STRAHLTECHNIK

PTR
STRAHLTECHNIK

igm Robotersysteme AG
2355 Wiener Neudorf, Österreich
www.igm.at

igm Robotrendszer Kft
9027 Győr, Magyarország
www.igm-group.com/hu



TERMOMECHANIKUSAN HENGERELT NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK ELLENÁLLÁS-PONTHEGESZTÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI A VASÚTI JÁRMŰSZERKEZET GYÁRTÁSBAN

RESISTANCE SPOT WELDING OF THERMOMECHANICALLY ROLLED HIGH STRENGTH STEELS AND IT'S OPPORTUNITIES IN THE RAILWAY VEHICLE MANUFACTURING

Borhy István

TÜV Rheinland InterCert Kft.

iborhy@hu.tuv.com

A vasúti járművek szekrényvázát bordákkal merevített lemezsházazat jellemzi, amely a járműre ható összes terhelést az alvázal közösen viseli. Az egyes szerkezeti elemek lemezburkolatai maguk is részt vesznek a szerkezet merevségének kialakításában valamint a jármű hossztengetyével párhuzamos erők felvételében. A differenciált építési módú acélszerkezetek az elmúlt évtizedekben jellemzően kis szilárdságú, jól alakítható lágyacél ötvözetekből készültek. Az elmúlt évek anyagfejlesztései azonban lehetőséget biztosítanak a nagyszilárdságú termomechanikusan hengerelt acélok vasúti járműgyártásban történő alkalmazására. A VoestAlpine által fejlesztett Alform® 700 típusú nagyszilárdságú acél felhasználásával készült magas oldalfalú vasúti teherkocsik sorozatgyártása 2017. évben megkezdődött. Jelen cikkünkben ezen acélból készült vékonylemezeken ellenállás-ponthegeeszthetőségével összefüggő kutatási eredményeket ismertetjük, különös tekintettel az anyagszerkezeti változások figyelemmel kísérésére alapozott összetett hegesztéstechnológia kidolgozására.

The body structure of railway vehicles generally made by ribs-stiffened shell structures, this structure bear the load together with chassis. Each structural element of shell structure participates in insurance of the structure's stiffness, and they helps to presences the forces parallel to the longitudinal axis of the railway vehicle. The differential designed vehicle structures generally made of mild steel alloys, these alloys have smaller strength but have better ductility. The results of material development of the last years ensures to use thermomechanically rolled high strength steels in manufacturing of railway vehicles. The serial production of Eaos type (ordinary open, high-sided) freight wagons made of height strength steel type Alform® 700, developed by VoestAlpine, started in 2017. We present in this lecture the results of our research in the field of resistance spot weldability of thin-walled high strength steel structures. The main scope of the research is to elaborate a complex resistance welding process for railway industry.

1. Bevezetés

A vasúti járművek egyik legjelentősebb szerkezeti eleme a futóművekkel (forgóvázakkal) alátámasztott vázszerkezet, melynek feladata a jármű szilárdságának és merevségének biztosítása a külső statikus és dinamikus igénybevételekkel szemben, valamint a belső tér megbízható védelme balesetek bekövetkezése esetén is. A vasúti járművek szekrényvázát bordákkal merevített lemezhéjazat jellemzi, amely a járműre ható összes terhelést az alvázal közösen viseli. Az egyes szerkezeti elemek lemezbukkolatai maguk is részt vesznek a szerkezet merevségének kialakításában valamint a jármű hossztengetyével párhuzamos erők felvételében [1].

Napjainkban a kocsiszekrények az un. nagyelemes építési elv szerint kerülnek kialakításra, melynek során az előre elkészített fő szerkezeti elemeket (alváz, oldalfal, homlok, tető, stb...) a szekrény-összeállító készülékbe helyezve hegesztik össze. A szekrényváz – mint teherviselő szerkezeti elem – kialakítása a könnyűszerkezetes építési mód alapján történik. A könnyűszerkezetes építési mód a jármű saját tömegének csökkentése révén kedvezően befolyásolja az üzemelési költségeket, valamint mérsékli a futóművek igénybevételét [2].

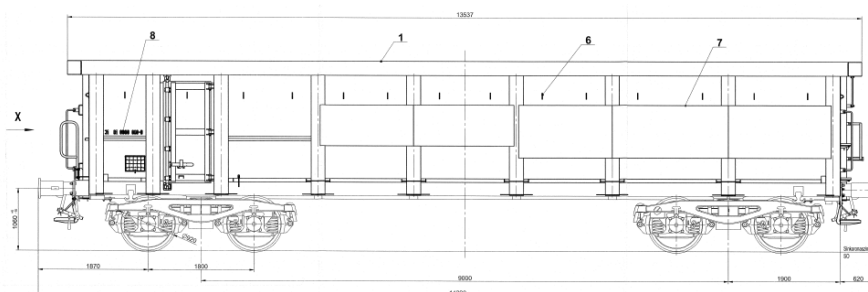
A járműszerkezetekkel szembeni követelmények a kellő merevségű és a fárasztó igénybevétel szempontjából is megfelelő, ám ugyanakkor a lehető legalacsonyabb tömegű, gazdaságosan gyártható, valamint egyszerűen ill. alacsony költséggel karbantartható szerkezetek kialakítását igénylik. A differenciált építési módú acélszerkezetek az elmúlt évtizedekben jellemzően kis szilárdságú, jól alakítható lágyacél ötvözetekből készültek [3].

Napjainkban a jármű saját csökkentése iránti igény a vasúti járműszerkezetek esetén is a nagyszilárdságú acélok alkalmazását helyezte előtérbe. Az elmúlt évek anyagfejlesztései lehetőséget biztosítanak a nagyszilárdságú termomechanikusan hengerelt acélok vasúti járműgyártásban történő alkalmazására.

2. A Rail Cargo Group – Voestalpine project bemutatása

Az ÖBB teherfuvarozási üzletága (Rail Cargo Group) 2017. I. negyedévében meghosszabbította és kibővítette együttműködését a linzi székhelyű Voestalpine-vel. Az együttműködés keretében az RCG tőkét investál a szállítási rendszer egyes részeinek, például a teherkocsiknak az optimalizálásába. A megállapodás részeként a felek elhatározták, hogy szakértőik együttműködésével új, innovatív tehervagonok tervezését és sorozatgyártását kezdik meg. A járművek tervezésével, a prototípusok legyártásával és a sorozatgyártásra történő felkészüléssel az ÖBB TS 100%-os tulajdonában álló, miskolci székhelyű TS Hungaria Kft.-t bízták meg.

Az együttműködés első elemeként E-sorozatú, négytengetyes, magas oldalfalú, nyitott teherkocsi korszerűsítésére került sor. A korszerűsítés elsődleges célja a járművek saját tömegének (önsúlyának) csökkentése révén a szállítható hasznos árú tömegének (mennységének) a megnövelése. E cél elérése érdekében a járművek eredeti felépítményét – az oldal- és homlokfalak elemeit, valamint a felső keretet – a Voestalpine által gyártott Alform® 700 M típusú termomechanikusan kezelt nagyszilárdságú acélból készült elemekre cserélik (1.-2. ábra).



1. ábra
Eaos tip. Alform® 700 teherkocsi jellegrajza



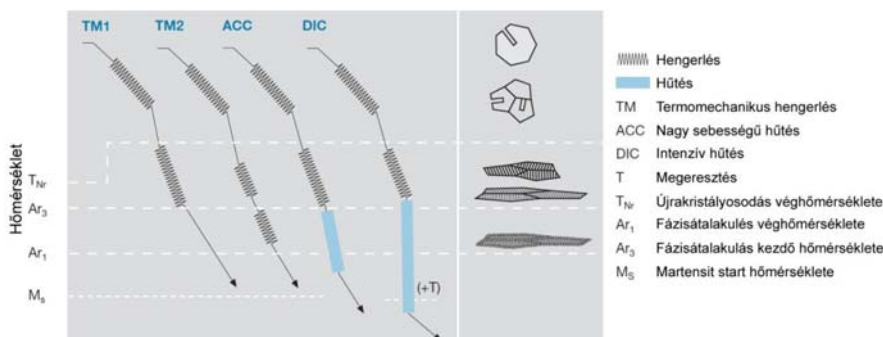
2. ábra
Eaos tip. Alform® 700 teherkocsi prototípusa

A projekt keretében elérni tervezett cél – az áru fuvarozásra rendelkezésre álló hasznos térfogat csökkentése nélkül – az eredeti 22.000 kg saját tömeg legalább 10%-al történő csökkentése. A prototípus gyártás tapasztalatai alapján a sorozatgyártást megelőzően – a hőbevitel korlátozása, a deformációk mérséklése, valamint a gyártási költségek csökkentése érdekében – felmerült az alkalmazott hegesztési technológia (MSZ EN ISO 4063 szabvány szerinti 135-ös eljárás) módosításának igénye, az ellenállás-ponthegesztés alkalmazásának a lehetősége. Tekintettel arra, hogy az Alform® 700 M típusú termomechanikusan kezelt nagyszilárdságú acélok ellenállás-ponthegesztetőségével kapcsolatosan nem áll rendelkezésre kellő tapasztalat, ezért a döntést megelőzően technológiai kísérletekkel kívántuk meghatározni az adott járműszerkezethez illeszkedő optimális hegesztéstechnológiai paramétereket.

3. A termomechanikusan kezelt (TM) acélok

A korszerű, nagy folyáshatárú, jól hegeszthető, termomechanikusan kezelt acélok esetén az alapanyag kiváló szilárdsági és szívóssági tulajdonságait két szilárdságnövelő mechanizmus együttes alkalmazásával érhetjük el. Ennek lényege, hogy összekapcsolják az alakítás és a hőkezelés tulajdonságjavító mechanizmusait, azaz a különlegesen finom szemcseméretet szabályozott véghőmérsékletű hengerléssel, termomechanikus kezeléssel érik el. A nagy szilárdság és a finom szemcseszerkezet nagyobb hőmérsékletű stabilitását karbid- és nitridképző ötvözők hozzáadásával segítik elő [4, 5].

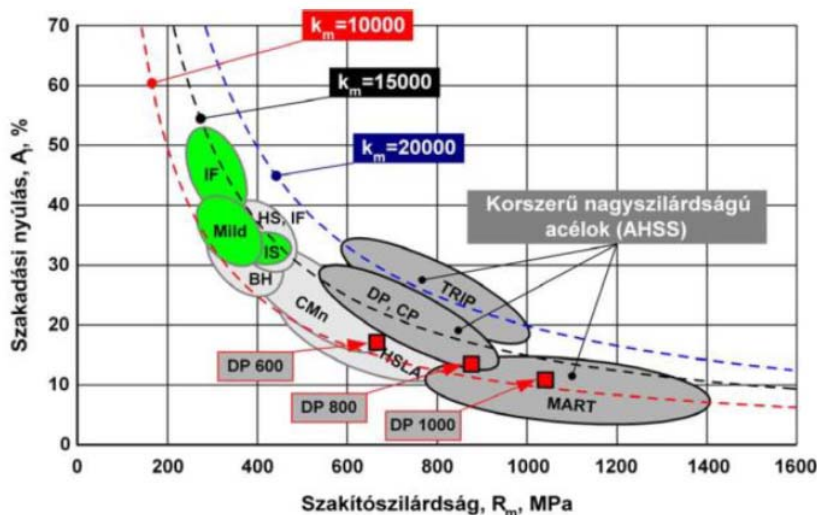
A termomechanikus kezelés során a hengerlés hőmérsékletét 1100-1200 °C-os hőmérsékletre 850-900 °C-ra csökkentik, ami jelentősen megnöveli a hengerléshez szükséges nyomást. A hengerek közül kilépő anyagban az ausztenit jelentősen túlhűtött, ezért rendkívül sok csírán indul meg a kristályosodás, miáltal extra finom szövetszerkezet érhető el. Az ezt követő szabályozott hűtés a kis szemcsenagyság megőrzését és az alacsony hőmérsékleten is nagy szívósságot biztosítja (3. ábra).



3. ábra
A termomechanikus kezelés különböző változatai [6]

Az egyes eljárásváltozatok a hengerlések számában és hőmérsékletében, valamint hengerlést követő intenzív hűtés mértékében térnek el egymástól. A változatos gyártástechnológia a különböző acélgyártók eltérő technikájának köszönhetően nagyobb gyártói szabadságot enged meg. Fontos kiemelni, hogy a termomechanikus kezelés a gyártás szempontjából költségesebb, hiszen a hengerléshez szükséges nagyobb nyomás nagyobb teherbírású hengerekkel követel, ami nagyobb beruházási költséget is jelent.

A nagyszilárdságú acélok besorolása a szakirodalomban nem egységes. Az MSZ EN 10025-6 szabvány [7] alapján nagyszilárdságúnak nevezzük a 460 MPa és 960 MPa garantált folyáshatár között az acélokat. Ez alatt hagyományos, e fölött pedig ultra-nagyszilárdságú acélokról beszélhetünk. Ezen csoportosítást mutatja be a 4. ábra [8]. A diagram a szakítószilárdság és a százalékos szakadási nyúlás függvényében ábrázolja az egyes kategóriákat. Megfigyelhető, hogy az egyes kategóriák csak átfedésekkel választhatók el egymástól. Az egyes csoportok három jellegzetes görbe mentén helyezkednek el, az azokra jellemző értékeket k_m anyag-konstansnak nevezzük.



4. ábra

A nagyszilárdságú acélok csoportjainak elhelyezkedése az $R_m - A_1$ síkon [8]

A k_m anyag-konstansra jellemző hiperbolikus függvényt a (1) összefüggés írja le:

$$k_m = A_{80} \cdot R_m \quad (1)$$

ahol: A_{80} [%] az acél 80 mm jeltávon mért szakadási nyúlása,
 R_m [MPa] az acél szakítószilárdsága.

4. Az Alform® 700 M termomechanikusan kezelt acél

Az Alform® 700 M márkanévvel ellátott termomechanikusan hengerelt nagyszilárdságú acél az osztrák Voestalpine cég terméke [6], melynek kémiai összetétele és mechanikai tulajdonságai megfelelnek az EN 10149-2 szabvány [9] szerinti S700 MC acél paramétereinek (1. és 2. táblázat).

Megnevezés	C (%) (max)	Si (%) (max)	Mn (%) (max)	P (%) (max)	S (%) (max)	Al (%) (min)	Nb (%) (max)	V (%) (max)	Ti (%) (max)	Mo (%) (max)
Alform® 700 M *	0,12	0,30	2,00	0,020	0,008	0,020	0,07	0,15	0,15	0,30
S700 MC	0,12	0,60	2,10	0,025	0,010	0,015	0,09	0,20	0,22	0,50

* alkalmazástól függően tartalmazhat még: $Cr_{\max}=0,3\%$, $Ni_{\max}=0,8\%$

1. táblázat

Kémiai összetétel (tömegszázalékban kifejezve) összehasonlítása

Az alapanyag kémiai összetételének hatását – az ömlesztőhegesztéshez hasonlóan – a ponthegeeszthetőség vizsgálata során is a karbon egyenértékkel fejezzük ki [10].

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

Megnevezés	R _{eH} (min) [Mpa]	R _m (min-max) [Mpa]	A ₅ (min) [%]	KV _{min} (-20 °C) [J]
Alform® 700 M	700	750-930	14	40
S700 MC	700	750-950	12	40

2. táblázat
Mechanikai tulajdonságok összehasonlítása

Az (2) összefüggést japán kutatók vezették be AHSS acélok hegeszthetőségének minősítésére [11]. A 0,24%-os határérték jelöli, hogy a ponthegeesztett kötés a nyíró-szakító vizsgálat során előreláthatólag ki fog-e gombolódni.

A kísérleteink során alkalmazott t=3 mm-es lemezek (Schmelze: 863307 / Blech-Nr.: 592257) bizonyított vegyi összetételét a 3. táblázat részletezi.

Megnevezés	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Nb (%)	V (%)	Ti (%)	Mo (%)
Alform® 700 M	0,068	0,025	1,88	0,007	0,001	0,064	0,048	0,007	0,138	0,006

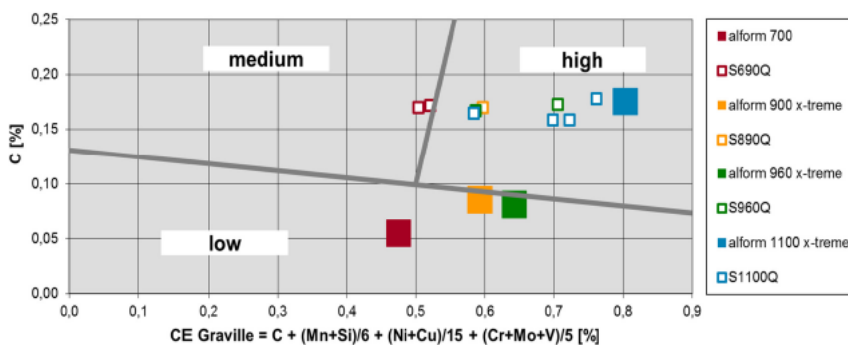
3. táblázat
A technológiai kísérletek során alkalmazott alapanyag kémiai összetétele (tömegszázalékban kifejezve)

Mindezek alapján a karbon egyenérték számított értéke:

$$CE_{RSW} = 0,068 + \frac{0,025}{30} + \frac{1,88}{20} + 2 \cdot 0,007 + 4 \cdot 0,001 = 0,181\% \quad (3)$$

A (3) összefüggés alapján megállapíthatjuk, hogy az alapanyag tényleges karbon egyenértéke 25%-kal alatta van a határértéknek, azaz a kémiai összetételből adódóan hegesztési nehézségekkel és a kötés romló mechanikai jellemzőivel nem kell számolnunk.

Ugyanerre az eredményre jutunk, ha az ún. Graille-diagram szerinti besorolást vesszük alapul [12]. A diagramm a szilícium tartalmat is figyelembe vevő Graille-féle karbon egyenérték és a karbontartalom függvényében az egyes acélokat hegeszthetőségük szempontjából három kategóriába sorolja (5. ábra). Az I. kategóriába tartozó anyagok – így az Alform 700 M termomechanikusan hengerelt nagyszilárdságú acél is – gyakorlatilag problémamentesen hegeszthetők.



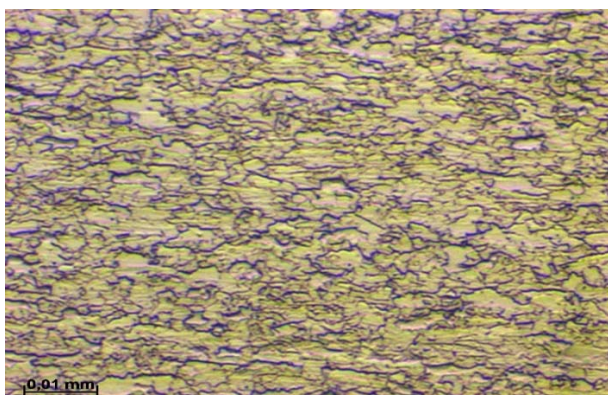
4. ábra
A Graville-diagramm [12]

Az alapanyag szakítóvizsgálatának (három vizsgálat átlagának) eredményeit a 4. táblázat összegzi:

Megnevezés	R_{eH} [Mpa]	R_m [Mpa]	R_{eH} / R_m [-]	A_{80} [%]	k_m [MPa%]
Alform® 700 M	804	874	0,92	15,2	13 284

4. táblázat
A technológiai kísérletek során alkalmazott alapanyag mechanikai tulajdonságai

Bár az Alform® 700 M acél pontos gyártástechnológiájának menete szakmai titkot képez, azonban a Voestalpine leírása [6] alapján két hengerlési, majd egy irányított hűtési folyamatot alkalmaznak. Ezek célja az extrém finom szövetszerkezetet biztosítása. Az 5. ábrán a kísérletekhez alkalmazott Alform® 700 M típusú termomechanikusan kezelt nagyszilárdságú acél szövetszerkezete látható:

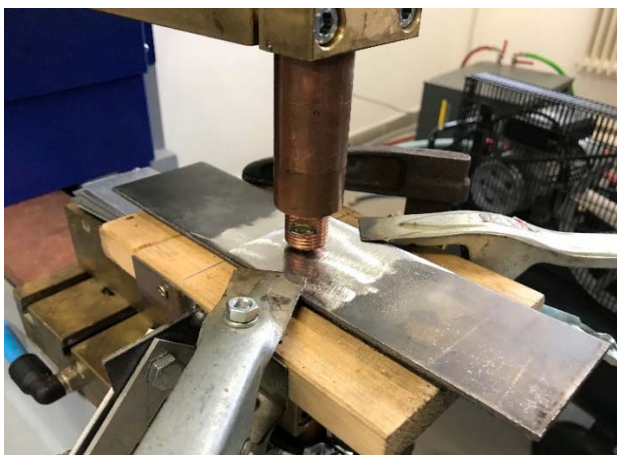


5. ábra
Alform® 700 M alapanyag szövetszerkezeti képe (Nagyítás: 500x, Maratószer: Nital)

A szövetszerkezeti képen megeresztett bainit mátrixba ágyazott martensit és cementit szigetek figyelhetők meg. Az átlagos szemcseméret 5-10 μm közötti tartományba esik. A ferrit és perlit jelenléte elhanyagolhatónak tekinthető. Az Alform® 700 M acél nagy szilárdsága és kiváló szívóssági jellemzői ezen összetett szövetszerkezetnek köszönhetők. Tekintettel arra, hogy az alapanyag nem egyensúlyi szövetszerkezete – a hőbevitelből adódó mikroszerkezeti változások következtében – alapvetően befolyásolja a hegeszthetőséget, ezért az anyagszerkezeti változások figyelemmel kísérésére alapozott összetett hegesztéstechnológia alkalmazása jelentheti a probléma megoldását.

5. Ponthegeztési kísérletek

A célkitűzésekhez illeszkedő hegesztési kísérletek végrehajtására a Dunaújvárosi Egyetem Hegesztő Laboratóriumában, P.E.I.-Point PFP 281 típusú inverteres, középfrekvenciás, háromfázisú ellenállás-hegesztő berendezésen került sor. A kísérleti elrendezés a 6. ábrán látható.



6. ábra
A kísérleti elrendezés

A próbatestek méretei megfelelnek az MSZ EN ISO 14273:2016 szabvány [13] követelményeinek. A kísérlettervezés során – a szakirodalmi adatok kiindulva – folyamatos energiabevitel mellett az elsődleges paraméterek (hegesztési idő, hegesztőáram, elektróderő) hatását vizsgáltuk. A tervközpont kiválasztásánál az előkísérletek adataiból indultunk ki (5. táblázat).

Faktor	Mértékegység	Érték
Hegesztési idő (t_h)	ms	600
Áramerősség (I_h)	kA	15
Elektróderő (F_e)	daN	900

5. táblázat

A kísérleti tervközpont értékei

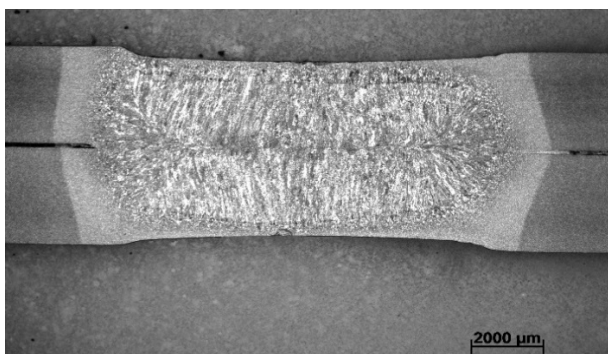
A Box-Wilson módszer szerinti standardizált változókat és a variációs intervallumok szélességét a 6. táblázat részletezi. A kiválasztott faktorokat a berendezés kalibrációs görbéinek segítségével állítottuk be.

Mennyiség	Standardizált változók	Mértékegység	Tervközpont (0)	Delta	+1	-1
Hegesztési idő (t_h)	X_1	periódus	30	10	40	20
Áramerősség (I_h)	X_2	kA	15	3	18	12
Elektróderő (F_e)	X_3	daN	900	100	1000	800

6. táblázat

Standardizált változók és variációs intervallumok

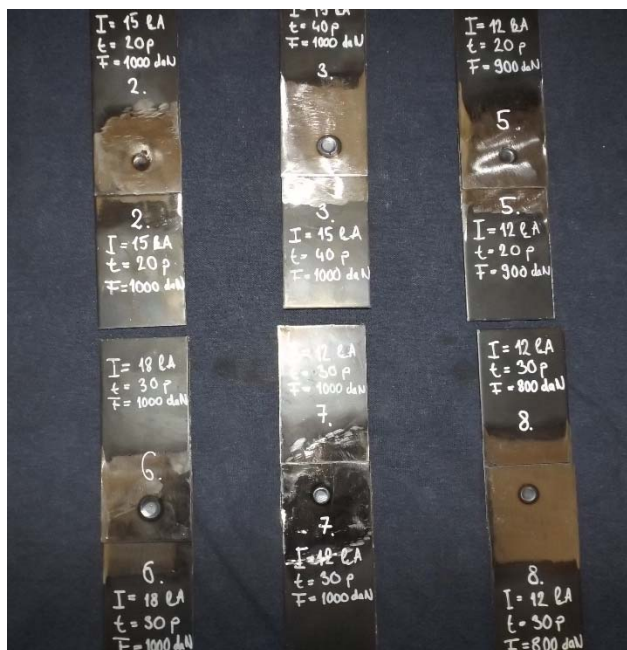
Az egyes hegesztett kötések megfelelőségét a nyíró-szakító erő, a benyomódási mélység és a pontátmérő alapján értékeltük és táblázatos formában rögzítettük. A kapott eredmények alapján megállapítottuk, hogy az MSZ EN 15085-3 szabvány F mellékletének 3. táblázatában [14] rögzített max. 25%-os elektróda benyomódás az áramerősség szempontjából korlátot jelent. A hegesztéstechnológiai paraméterek pontosítása, valamint a szakaszos hőbevitel lehetőségeinek vizsgálata érdekében a kapott eredmények figyelembevételével további vizsgálatok szükségesek. A 7. ábrán a tervközponti hegesztési paraméterekkel készült hegesztett kötés makrocsiszolati képe látható (pontátmérő: 10,6 mm).



7. ábra

Alform® 700 alapanyag pontheesztett kötésének makrocsiszolati képe ($t_h=20$ per, $I_h=11$ kA, $F_e=1000$ daN)

Tekintettel arra, hogy a termomechanikusan kezelt acélok a gyártástechnológiájának sajátosságai nem egyensúlyi szövetszerkezetet eredményeznek, ezért ezen acélok hegesztése esetén – a szilárdsági tulajdonságok nemkívánatos csökkenésének elkerülése érdekében – a hőbevitel mértékét korlátozni szükséges. Az elvégzett kísérletek eredményei alapján megállapítottuk, hogy a termomechanikusan kezelt acélokra jellemző komplex (extra finom) szövetszerkezet megőrzése a rövid ideig tartó, intenzív hőbevitel esetén biztosítható, következésképpen a kemény munkarend alkalmazása indokolt. A 8. ábrán az elkészült próbatestek egy csoportja látható.



8. ábra
Próbatestek a hegesztést követően

6. Összefoglalás

A kutatási feladat keretében az Alform® 700 M típusú termomechanikusan kezelt nagyszilárdságú acélból készült vasúti járműszerkezetek (teherkocsi oldal- és homlokfalak lemezburkolatainak) ellenállás-ponthegesztési technológiájának kidolgozását tűztük ki elsődleges célként. Elvárás, hogy a meghatározott technológiai paraméterekkel elkészített hegesztett kötés teherbírása a lehető legjobban közelítse meg a kiinduló alapanyag teherbírását, ugyanakkor tegyen eleget a vasúti járműszerkezetekre vonatkozó szabványok követelményeinek.

Megállapítottuk, hogy az alapanyag nem-egyensúlyi szövetszerkezete nagyfokú gyártási fegyelmet igényel, ami költségnövelő tényező a gyártás során. Megállapítottuk, hogy a termomechanikusan kezelt acélokra jellemző komplex (extra finom) szövetszerkezet kilágyulása rövid ideig tartó, intenzív hőbevitel esetén (kemény munkarend alkalmazásával) kerülhető el. Az elvárásoknak megfelelő hegesztett kötések megvalósítása érdekében a hőbevitel minimalizálására kell törekedni.

Az elvégzett kísérletsorozat eredményei alapján meghatároztuk a lehetséges hegesztéstechnológiai paramétereket, azonban a hegesztéstechnológiai paraméterek pontosítása, valamint a szakaszos hőbevitel lehetőségeinek vizsgálata érdekében további kísérletek és vizsgálatok (pl.: a keménységeloszlás jellegének meghatározása) szükségesek. A kapott eredmények igazolták az előzetes várakozásokat, ezért a járműszerkezet ponthegeesztett kivitelre történő áttervezésére teszünk javaslatot.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka a TS Hungaria Kft. támogatásával valósult meg. Ez úton is köszönetemet fejezem ki dr. Palotás Bélának (Dunaújvárosi Egyetem), Tóth Lászlónak (Rehm Hegesztéstechnika Kft.), Pogonyi Tibornak (Dunaújvárosi Egyetem) és Tóth Tamásnak (Budapesti Műszaki Egyetem) a ponthegeztési kísérletek előkészítésében és lefolytatásában, valamint Holecz Péternek (TÜV Rheinland InterCert Kft.) a kapcsolódó anyagvizsgálatok végrehajtásában nyújtott segítségért.

Irodalomjegyzék

- [1] Szerk.: Zobory István: Vasúttechnikai kézikönyv (ISBN 963 204 127 5), Magyar Államvasutak Zrt., Budapest, 2006.;
- [2] Szerk.: Radnai Guido: Könnyűszerkezetek a jármű- és gépiparban (ISBN 963 17 0765 2), Tankönyvkiadó, Budapest, 1976.;
- [3] Borhy I., Kovács L.: A lightweight design approach for welded railway vehicle structures of modern passenger coach, Jármai K. and Bolló B. ed.: Lecture Notes in Mechanical Engineering, Springer International Publishing AG., 2017 (ISBN 978-3-319-51188-7) pp. 425.-437. (DOI: 10.1007/978-3-319-51189-4_37);
- [4] Gáspár M.: Nemesített nagyszilárdságú szerkezeti acélok hegesztéstechnológiájának fizikai szimulációra alapozott fejlesztése, PhD értekezés, Miskolci Egyetem, 2016.;
- [5] Dobosy Á.: Tervezési határgörbék nagyszilárdságú acélokból készült, ismétlődő igénybevételű szerkezeti elemekhez, PhD értekezés, Miskolci Egyetem, 2017.;
- [6] Voestalpine: High-strength and ultra-high-strength thermomechanically rolled fine-grained steels, Alform® high-strength tájékoztató, 2014.;

- [7] MSZ EN ISO 10025-6:2004+A1:2009, Melegen hengerelt termékek szerkezeti acélokból. 6. rész: Nagy folyáshatárú szerkezeti acélokból készült, nemesített lapos termékek műszaki szállítási feltételei, 2009;
- [8] Chung, J., Kwon, O.: Development of high performance auto steels at POSCO steels, Proc. of the 9th ICTP Conference, Gyeongju-Korea, September 7-11. 2008. pp. 3-8.
- [9] MSZ EN 10149-2:2014, Nagy folyáshatárú acélokból melegen hengerelt lapos termékek hidegalakításra. 2. rész: A termomechanikusan hengerelt acélok általános műszaki szállítási feltételei, 2014;
- [10] Prém L., Bézi Z., Balogh A.: Az autóipari ferrit-martensites DP acélok ellenállás-ponthegeztési technológiájának fejlesztése a végeselemes modellezés és a kísérletes kutatás együttes alkalmazásával, Gép, (67) 2016/1-2, p. 45-53.;
- [11] Oikawa H., Sakiyama T., Ishikawa T., Murayama G., Takahashi Y.: Resistance Spot Weldability of High Strength Steel (HSS) Sheets for Automobiles, Nippon Steel Technical Report, No. 95, 2007;
- [12] Metals Handbook, Volume 6.: Welding, Brazing and Soldering, ASM International, USA, 1995;
- [13] MSZ EN ISO 14273:2016, Ellenállás-hegeztés. Hegesztett kötések roncsolásos vizsgálata. Ellenállás-ponthegeztéssel és zömítő ellenállás-dudorhegeztéssel készített varratok ütve-nyíró vizsgálata és a próbatest méretei, 2016;
- [14] MSZ EN 15085:2007, Vasúti alkalmazások. Vasúti járművek és részegységeik hegeztése. 3. rész: Tervezési követelmények, 2007;

ROBOTIZÁLT VÉDŐGÁZAS FOGYÓELEKTRÓDÁS ÍVHEGESZTÉS ALKALMAZÁSA KÜLÖNBÖZŐ SZILÁRDSÁGÚ SZERKEZETI ACÉLOK ESETÉN

ROBOTIZED, GMAW APPLICATION IN CASE OF STRUCTURAL STEELS WITH DIFFERENT STRENGTH

Kelemen Zoltán

Miskolci Egyetem

kz0911@gmail.com

Jelen közlemény szakdolgozatom egyes fejezeteinek kivonatát tartalmazza. Ismertetem, hogy az alapvető hegesztéstechnológia robotizálásának milyen feltételei vannak, miként működik egy valós hegesztő robotcella. Kitérek a megfelelő szabvány szerinti védőgázos fogyóelektródás ívhegesztés technológiájának eljárásvizsgálatára, a vizsgálat eredményeire. Röviden bemutatom, hogy a hegesztéshez használt meglévő hegesztőkészülék működését milyen átalakítások mellett lehet javítani.

This paper contains an extract of some chapters of my dissertation. I'm going to tell the conditions of the robotization of basic welding technology, how a real welder robot cell works. I will go through the testing of the technology of GMAW according to the corresponding standard and the results of the test. In brief, I will show you how to improve the operation of the existing welding equipment used for welding.

1. Bevezetés [1]

A XXI. század iparának jellemzése az ember számára nehéz feladat, ugyanis nemcsak a múlt oly sikeres és bevált, ma már hagyományos jelzővel illetett gyártó eljárásai, hanem a műszaki tudomány fejlődésével megjelenő új, a korábbiaktól eltérő, de a jelenben fellelhető vevői, felhasználói elvárásokat kielégítő eljárási is megtalálhatóak. Utóbbiakra általánosságban elmondható, hogy a számítógép vezérelt jelleg alkalmazására nagy a törekvés. A gyártástechnológiák közül a kötéstehnológiák jelentős részt tesznek ki, ugyanis nagyon kevés olyan termék van, amely a vevő számára felhasználható állapotban nem tartalmaz valamilyen kötést. Ennek az oka abban keresendő, hogy egy adott terméket egy anyagból – részegységek történő felbontás utáni kötések nélkül – elkészíteni nem gazdaságos, vagy nem lehetséges. Ugyanakkor a vevői elvárások növekedése egyre szigorúbb minőségi előírások alkalmazását okozták, amelyet már csak egy jól gépesített, logikusan felépített és vezetett gyártórendszer használatával lehet kivitelezni.

A mechatronika folyamatos fejlődése és egyre nagyobb térnyerése lehetővé tette, hogy a gépesített gyártás a kötéstechológiák esetében is nemcsak a csúcstechnológiát képező hadászati, valamint úripari cégeknél legyen tetten érhető, hanem a tőlük kisebb méretű és költségvetésű cégeknél is. Ily módon a konstruktőrök számára lehetőség nyílt, olyan új, korábban még nem alkalmazott termék-konstrukciók létrehozására, amelyek a technológiai fejlődés mellett a vevői kényelmet növelését is szolgálták.

2. A gépesítés bevezetésének alapvető okai és előnyei [1][2]

A XX. században a technológia, információtudomány hatalmas fejlődésen ment keresztül, mely jelentős hatással volt az ipar egész területére. Olyan új, korábban nem látott, vagy régebben megvalósíthatatlan eljárások jelentek meg, melyek révén az egész világon, globálisan megváltozott a termelés, gyártás. A vevői elvárások egyre nagyobb elvárással vannak a termékek iránt, ugyanakkor a gyártók szoros határidőkkel, ütemezéssel dolgoznak, hogy minden, a felhasználói piacról érkező igényt lehetőleg minél hamarabb és az előírások szerinti legjobb minőségben teljesítsenek. Ez az igény leginkább a sorozatgyártású termékeket érintette.

Ahhoz, hogy a minőség javuljon, a szubjektív hibák száma csökkenjen, valamint a sorozatgyártás alapos és átgondolt alapokon, mindez gazdaságilag is megfelelően működjön az informatika és így a számítástechnika minél nagyobb méretű spektrumának kihasználására van szükség mind hardveres, mind szoftveres oldalon. A folyamatot gépesítésnek nevezzük, noha több eljárás is létezik, melyben valamilyen adott célra kifejlesztett gép dolgozik, viszont a gépesítés tulajdonképpen a manuális – emberi erővel végzett – végzett munka egy részének, vagy akár teljes egészének géppel történő megvalósítása. A gyorsabb, pontosabb és reprodukálhatóbb munkavégzés érdekében készülékeket kell alkalmazni, valamint a mozgásokat géppel kell elvégeztetni. Ez a hegesztés szemszögéből olyan mozgások gép által történő elvégzését jelenti, amellyel a hegesztéstechnológia könnyebben reprodukálható, gyorsabbá, pontosabbá tehető. Ilyen példa a munkadarabok, szerszámok mozgatása, manipulálása. A gépesítés szintje lehet csak néhány technológiai, de akár a teljes technológiai folyamatra kiterjedő. Lehetőség nyílik automatizálásra is, ebben az esetben a gépesítés teljes szintű, valamint a munkadarabok adagolását végezheti a berendezés, illetve az egyes részfolyamatok a gép vezérlő- és szabályozó rendszerével van összehangolva. Ahhoz, hogy a gépesítés elvégezhető legyen a gyártó vállalatnak rendelkeznie kell készülékekkel, segédberendezésekkel, amelyek kereskedelmi forgalomban kaphatóak, vagy adott célra készültek. Ezekből származnak a gépesítés további előnyei is: A hegesztők fizikai megterhelése, és a hegesztési mellékidők csökkennek, a minőségi fok javul. Fontos megjegyezni, hogy az előbb felsorolt igények

kielégítése az egyre szélesebb körben alkalmazott célberendezésekkel javítható, viszont ezek felhasználása egy új, az előzőtől eltérő szériára történő ráálláskor korlátozott. Mind a manipulátorok, mind a rugalmas működésre alkalmas ipari robotok a gépesítés tényleges technológiai megvalósításához tartoznak. Használatukkal a gyártó vállalat számos előnyhöz juthat: Növelhető a termelékenység, a minőség foka, a reprodukálhatóság, a gyártás rugalmassága, ugyanakkor csökkenthető a darabidő, a monoton, megerőltető fizikai munkából származó hatás, valamint kiváltható velük az egészségre ártalmas helyen végzett munka.

2.1. Robotok generációi [1][2]

Intelligencia szempontjából a robotok három generációba csoportosíthatók.

- 1. generáció: Merev mozgáspálya, csak ismétlésre alkalmasak, a munkafeltételek változása nem befolyásolja a vezérlésük lépéseit.
- 2. generáció: Rendelkeznek szenzorokkal, melyek révén az egyes geometriai eltérések azonosíthatók, meglévő algoritmusok használatával módosítani tudják optimális irányban a vezérlőprogramot.
- 3. generáció: A második generáció „képességein” túl érzékelni képesek a technológiai eltéréseket, adaptív szabályozásuk révén alkalmasak alak- és szituáció-felismerésre.

A felsorolás alapján, a legtöbb funkcióval a harmadik generáció rendelkezik, ezek a robotkar helyzetének észlelésén kívül, a megfogó, befogó felől érkező jelek, valamint a nyomás, szín, hőmérséklet és egyéb környezeti feltételek állapota alapján a vezérlőprogram változtatására is alkalmasak.

3. Hegesztő robotcella bemutatása [1]

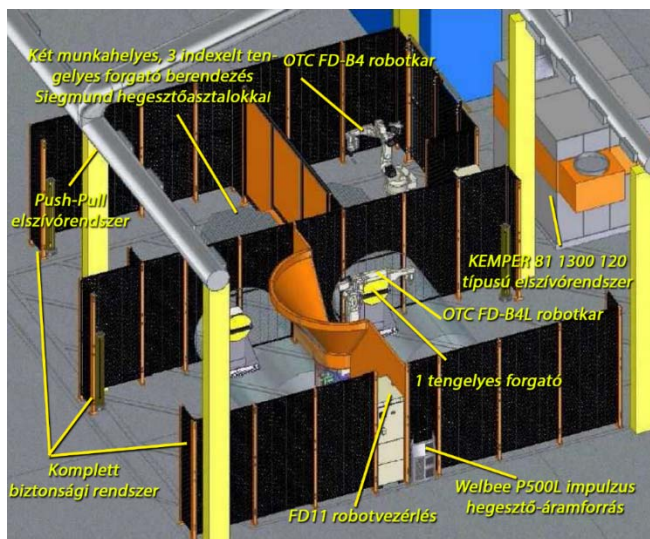
A nyári gyakorlatos tevékenységemet a debreceni BUMET Hungary Kft-nél végeztem. A cég holland tulajdonban áll és elsősorban gépjármű ipari cégek beszállítója. Termékpalettája igen széles, hiszen a teljesség igénye nélkül a DAF Trucks-nak, a Daimler AG-nek, mint gépjárműipari vállalatoknak, valamint az Agrifac és Agco AG mint mezőgazdasági gépeket gyártó cégeknek, illetve számos más járművekkal foglalkozó vállalatnak a beszállítója. A vevői megrendelések jó része olyan termék gyártását és szállítását írja elő a cég számára, amelyek gyártása a lemezmegmunkálással kapcsolatos. Ennek megfelelően a debreceni cég ilyen munkák elvégzésére specializálódott. A termelő rendszer felépítése a szokásos termelési folyamatnak megfelelő, hiszen elkülöníthető, a lézervágó, a daraboló, a prés, az élhajlító, a forgácsoló a hegesztő, a szerelő, valamint a raktár részleg. Természetesen a cég az MSZ ISO/TS 16949:2009 és az MSZ EN ISO

14001:2005 minőségirányítási és környezetközpontú irányítási szabványok követelményeinek megfelelő integrált irányítási rendszert működtet és fejleszt. [3][4][5]

A vezetés 2016-ban úgy döntött, hogy hegesztéstechnológiájának javítása érdekében robotcellára ruház be. A kínálatból az OTC cég megoldását választotta. A beszerzésnél fontos szempont volt, hogy a cella olyan kialakítású legyen, amely lehetővé teszi, hogy egy munkahelyen nemcsak egy, hanem több termék is gyártható legyen. A vállalatnál egy FD-B4 és egy FD-B4L típusú robotkarral és a technológiának megfelelő eszközökkel, berendezésekkel felszerelt robotcella telepítése történt. A két robotkar munkatartománya egymástól alapvetően méreteiben tér el, a bejárható tér jellege nem. Erre azért volt szükség, mivel a két cellában egymástól térbeli kiterjedéseiben eltérő termékek gyártását ütemezték elő. Így módon a termékpalletta nagyobb részét tudják lefedni.

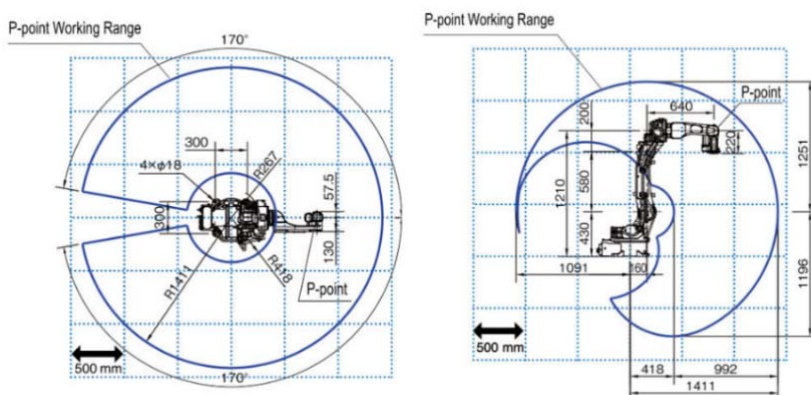
3.1. A robotcella felépítése [1]

A 1. ábra egy palettacserélős két munkahelyes robotcella elemei és felépítése látható axonometrikus nézetben.



1. ábra. A robotcella kialakítása [6]

Az FD-B4L robotkar mozgástartományát ábrázolja a 2. ábra.



2. ábra. FD-B4 mozgástartománya [7]

3.2. Robotrendszerrel történő hegesztés folyamata [1]

A robottal történő munkavégzésnek az alapja az, hogy meg kell adni a térben azokat a pontokat, illetve mozgás típusokat, amelyeket a robotnak be kell járnia. A nagyszámú varratot tartalmazó termékek esetében időigényes feladat minden egyes varrat pozicionálási és hegesztési programját egyenként rögzíteni a vezérlőben, így a gyártási átfutási idő növelése érdekében a cég rendelkezik az offline, tehát a robot kezelőpanelje nélküli programozáshoz szükséges szoftverrel. Ehhez be kell tölteni a szoftverbe a hegesztő készülék és a munkadarab 3 dimenziós geometriai modelljét, és adott módszerrel meg kell adni a korábban ismertetett bejárando pontokat és a bejárás módját. A szoftver a rendelkezésre álló információk alapján létrehozza a mozgáspályát, amely több dimenziós lehet. Minden esetben el kell végezni az ütközésvizsgálatot annak érdekében, hogy a nagy értékű berendezésekben ne keletkezzen kár. Amennyiben ez a vizsgálat biztonságosnak bizonyult a létrehozott programot át kell tölteni a robotvezérlőbe. A vezérlő először ellenőrzi, hogy a program megfelel saját szintaktikai felépítésének, addig nem engedélyezi annak futtatását. Ezt követően a lehető legnagyobb biztonságra törekedve a program éles futtatása előtt a gépkezelőnek – a termék alkatrészeinek készülékbe szerelését követően hegesztett kötés létrehozása - le kell futtatnia a programot lépésről lépésre, annak érdekében, hogy megbizonyosodjon róla, hogy valóban nem történik gyártás közben ütközés. Természetesen, ha ez áll fenn, akkor módosítani kell a programot. A gyártás ezen fázisában ellenőrizni kell, hogy a technológiai paraméterek, mint a hegesztési áramerősség, sebesség, áramnem – egyenáram, vagy impulzus – végkráter feltöltés ideje, áramerőssége megfelelőek-e. Amennyiben mindent helyesnek ítélt meg elkészíti a termék alkatrészeinek első hegesztett kötéseit. Nagyon fontos, hogy bármilyen igyekezet ellenére is az első

hegesztésnél történhetnek problémák, így ekkor folyamatosan kell figyelni a robot mozgását, a hegesztést, ha pedig szükséges akkor azonnal beavatkozni.

4. Hegesztési kísérletek elvégzése [1]

A szakdolgozatom témájának megfelelően, mind a kézi, mind a robotizált változat esetén történt próbavarratok hegesztése. A védőgáz az összes esetben 85% Ar és 15% CO₂ (M20 jelzet) keverék volt. A kézi eljárások esetében a hegesztő berendezés az EWM Phoenix 355 Progress Puls HP MM TKM kompakt inverteres hegesztőgép volt [8], míg a robotizált változat esetében az áramforrás Welbee P500L impulzus hegesztő-áramforrás volt, a robot vezérlését pedig az FD 11 típusú robotvezérlő látta el. Mind a kézi, mind a robotos kötések esetén az alkalmazott hozaganyag a Lincoln Electric Arcweld SG3 jelű terméke, mely az ISO 14341-A-G4Si1 osztályba sorolandó. Az összes változat esetében a felhasznált lemezek mérete: 350x150x4. Minden esetben az egyoldali V varrat kialakításhoz szükséges egyoldali 30°-os élelmunkálás történt a lemezeken. A próbatetek kimunkálása fiber-lézervágógépen történt.

4.1. A hegesztési kísérletek technológiai adatai [1]

Próbatest száma	Eljárás	Anyag	Áramerősség [A]	Ívfeszültség [V]	Végkráter feltöltés árama [A]	Megjegyzés
1	Kézi	S235JR+AR	140	21	n.a.	Impulzus
2	Kézi	S355MC	140	21	n.a.	Impulzus
3	Kézi	S700MC	140	21	n.a.	Impulzus
4	Robot	S355MC	220	25	160	
5	Robot	S235JR+AR	220	25	160	
6	Robot	S355MC	220	25	160	
7	Robot	S700MC	220	25	160	
8	Robot	S700MC	180	23	130	Impulzus

1. táblázat. Technológiai adatok [1]

Az áramnem minden esetben DCEP volt. A kézi változatoknál a végkráter feltöltés ideje nem ismert, míg a robot által hegesztett kötésekénél 0,5 s volt. A kézi változatoknál nem ismert a hegesztési sebesség, a 4. jelű kötésnél 35 cm/min, míg az 5-8 esetben 45 cm/min.

4.2. Az elvégzett anyagvizsgálatok eredményei [1]

4.2.1. Szemrevételezés

A vizsgálat vonatkozó szabványa az MSZ EN ISO 17637 jelű szabvány, amely alapján nem volt eltérés a hegesztett kötésekben [8].

4.2.2. Folyadékbehatolásos vizsgálat

A vizsgálatot a Metaflux vállalat termékével végeztem el, amely a vizsgálatot rögzítő – DIN EN ISO 3452-2 – szabványnak felel meg [9]. A vizsgálatot mind a korona, mind a gyök oldalon elvégeztem. Az elvégzett vizsgálatok eredményei a változatosak. Az „1-4” jelű esetben gyök oldalon nem teljes az átolvadás, korona oldalon nincs hiba. A „2-3” esetben a végkráternél szivódási üteg figyelhető meg. Az „5-6” esetben a korona oldal problémamentes, a gyök oldalon a tűzési varratoknál, valamint a végkráternél szivódási üreg probléma jelenik meg, valamint az „5” jelű kötésnél a varrat nem teljes mértékben lemezhozósságú. A „7-8” jelű kötésekben a végkráternél szivódási üreg vehető észre, ugyanakkor a „7” jelű kötésnél nem teljes az átolvadás. Kézi hegesztés esetében a lemez rögzítéséhez szolgáló tűzővarratok korona oldalon lel lettek köszörülve. A robot által hegesztett varratoknál az előzetes fűzővarratok kézi eljárással történtek.

4.2.3. A roncsolásos anyagvizsgálatok eredményei

Az MSZ EN ISO 15614-1:2017 szabvány szerint, amennyiben nincs más rendelkezés akkor a próbatestek szakítószilárdságának teljesítenie kell az alapanyagra megadott legkisebb értéket [10]. Az eredményeket a 2. táblázat tartalmazza.

A keménység vizsgálat eredményeit a 3. táblázat adatai tartalmazzák, a legnagyobb keménységű lenyomatok kiemelésre kerültek. A keresztirányú hajlítóvizsgálat eredményeit a 4. táblázat tartalmazza.

<i>Próbatest jel</i>	<i>Szakítószilárdság [MPa]</i>	<i>Szabvány szerinti min. szakító szilárdság [MPa]</i>	<i>Szakadás helye</i>	<i>Megfelel?</i>
1#1	355	360	VARRAT	NEM
1#2	331	360	VARRAT	NEM
2#1	312	430	VARRAT	NEM
2#2	355	430	VARRAT	NEM
3#1	700	750	VARRAT	NEM
3#2	450	750	VARRAT	NEM
4#1	532	430	AA	igen
4#2	510	430	AA	igen
5#1	422	360	AA	igen
5#2	422	360	AA	igen
6#1	511	430	AA	igen
6#2	520	430	AA	igen
7#1	728	750	VARRAT	NEM
7#2	696	750	VARRAT	NEM
8#1	705	750	HHÓ/AA	NEM
8#2	683	750	VARRAT	NEM

2. táblázat. Szakítóvizsgálat eredményei [1]

<i>Lenyomatok sorszáma</i>	<i>HV10 keménységek balról jobbra haladva</i>							
1	146	168	268	161	150	158	274	266
2	147	167	272	162	153	159	274	270
3	149	168	274	160	153	163	281	268
4	150	173	279	161	152	165	281	266
5	160	162	279	163	154	166	283	270
6	150	171	254	145	155	154	233	225
7	152	183	235	161	153	160	235	231
8	174	216	230	165	162	166	238	228
9	210	222	240	169	205	187	252	240
10	209	214	217	199	203	212	287	233
11	209	214	227	203	206	212	268	235
12	212	214	228	205	194	190	254	231
13	187	176	224	190	159	164	247	233
14	163	170	225	166	154	160	236	233
15	153	170	235	163	150	155	231	235
16	154	169	231	149	150	155	252	230
17	151	170	231	159	145	155	272	227
18	155	169	266	164	-	161	270	260
19	155	170	274	163	-	160	274	268
20	152	-	276	166	-	-	270	266
21	-	-	276	-	-	-	266	270
22	-	-	-	-	-	-	-	268
Kötés azonosító	1	2	3	4	5	6	7	8

3. táblázat. Keménység vizsgálat eredményei [1]

Próbatest jel	Elviselte a 180°-os hajlítást	Hajlítási szög	Húzott oldal
1#1	NEM	20	GYÖK
1#2	NEM	23	GYÖK
1#3	IGEN	180	KORONA
1#4	IGEN	180	KORONA
2#1	NEM	31	GYÖK
2#2	NEM	37,5	GYÖK
2#3	IGEN	180	KORONA
2#4	IGEN	180	KORONA
3#1	IGEN	180	GYÖK
3#2	NEM	33	GYÖK
3#3	NEM	37	KORONA
3#4	IGEN	180	KORONA
4#1	IGEN	180	GYÖK
4#2	IGEN	180	GYÖK
4#3	NEM	23	KORONA
4#4	NEM	53	KORONA
5#1	IGEN	180	GYÖK
5#2	IGEN	180	GYÖK
5#3	IGEN	180	KORONA
5#4	IGEN	180	KORONA
6#1	IGEN	180	GYÖK
6#2	IGEN	180	GYÖK
6#3	IGEN	180	KORONA
6#4	IGEN	180	KORONA
7#1	IGEN	180	GYÖK
7#2	IGEN	180	GYÖK
7#3	IGEN	180	KORONA
7#4	IGEN	180	KORONA
8#1	IGEN	180	GYÖK
8#2	IGEN	180	GYÖK
8#3	IGEN	180	KORONA
8#4	IGEN	180	KORONA

4. táblázat. Keménység vizsgálat eredményei [1]

4.2.4. Makro- és mikro vizsgálat eredményei

Makrovizsgálatnál repedés csak az 1. jelű kötésnél volt a varrat alján és az összeolvadási vonalban. A varratdudor csak a 4. és 6. próbatestnél volt túlzott, szélkiolvadás pedig az 5. és 7. próbatestnél volt megfigyelhető. Egyéb eltérés sehol sem volt észrevehető. A korona oldalon kiválások csak az 1, 4 és 7 próbatestnél nincsenek, a többi esetben a varratdudornál megfigyelhetők. Az 1-4 kötésnél az átolvadás nem teljes. A gyök oldalon az összes esetben megfigyelhetők az összeolvadási vonal menti hibák.

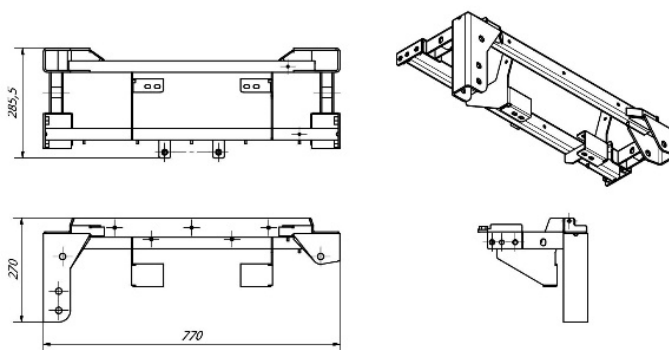
Mikrovizsgálat esetén hibának számító eltérés nem található egyik próbadarab esetén sem. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy az összes esetben minimális felületi korrózió nyomai találhatók, ezek azonban nem befolyásolják a vizsgálat eredményét. A jelenség azzal magyarázható, hogy a makro- és mikrovizsgálati próbatestek előírt felülete a vállalatnál

köszörülve lett és ezt követően a köszörült felület érintkezett korróziós közeggel és ennek hatását, már az anyagvizsgáló laboratóriumban történő polírozás, majd azt követő maratás nem tudta megszüntetni.

5. Hegesztőkészüléknél fellépő probléma [1]

5.1. A gyártandó termék [1]

A gyártandó termék kialakítását a 3. ábra mutatja.

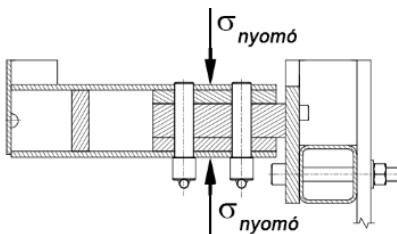


3. ábra. A 3996 jelű termék [1]

5.2. A probléma ismertetése [1]

A 3996-os termék hegesztési folyamatának tanulmányozása során egyfajta tendenciát véltem felfedezni. Ez a tendencia pedig a hegesztőkészülékkel kapcsolatos. Mint, ahogy az előző ábrákon is látszik a termék hegesztőkészüléke merev, az egyedüli mozgó elemei a szorítócsavarok. A tendencia pedig a készülék műszaki állapotának romlása volt. Ez azt jelenti, hogy a hegesztést követően a hegesztési folyamat szempontjából készterméket nehéz volt kivenni a készülékből. A nehézség azt jelentette, hogy védőfelszerelésben – hőálló kesztyűben – emberi izomerővel nem lehetett eltávolítani a terméket. A kivétel megkönnyítésére egy kézi célszerszám készült. Ez a célszerszám tulajdonképpen egy köracélból és egy ráhegesztett fogókarból állt. Ezt a szerszámot a határoló ülékek fölött elhelyezkedő termékelemek alá helyezték és feszítővassal megemelték ezekben a pozíciókban a terméket, amely ezután már eltávolítható volt. Ez azzal járt együtt hogy az emeléssel szemkötti oldalon a termék nekifeszült a támasznak, majd ugyanez a jelenség állt elő a másik oldali emelésnél is. A jelenség minden hegesztést követően ismétlődött, tehát a hegesztőkészüléket ismételt deformáció érte a kopás mellett természetesen. Nyilvánvaló, hogy egyik készüléknél sem megengedhető a készülékelemek folyamatos deformációja.

Mivel a problémát az jelenti, hogy nem lehet kézi erővel eltávolítani a készülékből a terméket hegesztés után, joggal feltételezhető, hogy a nagyszámú varrat létesítése során olyan mértékű hő kerül be a vizsgált elemekbe, hogy a munkadarab egyfajta nyomófeszültséggel hat rájuk. A fellépő nyomófeszültséget és megnövekedett sűrűdást pedig kézi erővel nem lehet legyőzni. A problémát fizikailag a szemlélteti.



4. ábra. A probléma fizikai szemléltetése [1]

6. A hegesztőkészülék problémáját megoldó eszköz [1]

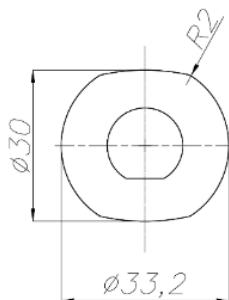
6.1. A megoldás elvi háttere

A megadott méretek közül az 53,2 mm az, amelyet biztosítani kell, a többi az ülékek magasságát, támaszelemektől mért távolságát hivatott megadni. Mint látható, nem egy nagy kiterjedésű szerkezetről van szó, kevés helyen kell megoldani, hogy a kezelő személy biztonságosan el tudja végezni a munkáját, valamint az ülékklapok is képesek legyenek mozogni. Kézenfekvő, hogy ezt valamilyen kényszerpályás, vagy kényszerrelemes kivittel kell megoldani. Ezeknek a konstrukcióknak a nagy előnyük, hogy a kényszerpályába és/vagy a kényszerrelembe tulajdonképpen „bele van programozva” a mozgás pályája, jellege tulajdonsága. Ily módon az ilyen konstrukciók csak egy előre meghatározott, merev pályán való mozgást tesznek lehetővé. A korszerű irányítástechnológia elterjedése előtt széles körben alkalmazták ezeket a megoldásokat, hiszen a mechanikus automatákon lehetővé tették a tömeggyártást. Ezen szerkezeteknek van egy nyilvánvaló problémája, a kopás. Ez a jelenség az egymással érintkező és elmozduló elemek miatt lép fel, ily módon ezzel a ténnyel számolni kell a tervezés során.

6.2. A megoldás kivitelezése

A készülék működésének alapját a kényszerpályás szorítóegységek adták. Ezeknél a készülékeknél a kényszerrelem kialakítása olyan, hogy annak mozgatása – egyes változatoknál forgatása – szorítóerőt tud biztosítani. Működésük egyszerű, ugyanis ha a közepén található kényszerrelemet bizonyos pozícióba forgatjuk el, akkor méretéből adódóan

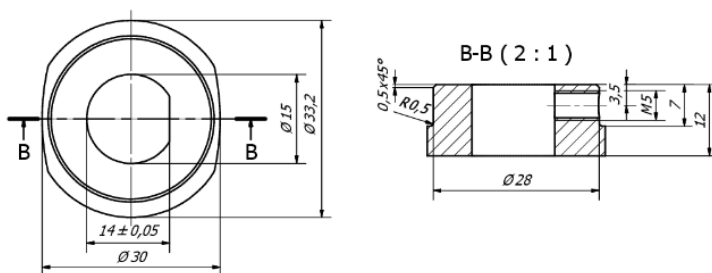
a szorítóelemek a forgáspont szerepet betöltő csapok körül elfordulnak és a munkadarabra szorítóerőt fejtenek ki. Ezen alapelveket alkalmazva a jelen probléma megoldására, a kényszerelem egy bizonyos pozíciójában az ülék-lapok közötti távolság az előírt 53,2 mm, elfordításával pedig a lapok egymáshoz közelednek, tehát az 53,2 mm-nél a távolság kevesebb lesz, így módon el lehet távolítani a lehegesztett készterméket az ülékekről. Ezt az új követelményt alkalmazva a kényszerelem geometriai kialakítását az 5. ábra ábrázolja.



5. ábra. Kényszerelem kialakítása [1]

A kényszerelem kialakításának számos további, az előzőekben fel nem sorolt követelményt kell teljesítenie. A vállalat nem rendelkezik CNC maró megmunkálóközponttal, csupán CNC lézervágó géppel speciális sík profil geometria kialakítására ez pedig lekorlátozza az alkalmazandó anyagvastagságot. Ez azt vonja magával, hogy csakis a standard lemez méreteknek megfelelő vastagságot lehet felhasználni. Ugyanakkor a vállalati profilnak megfelelően a lemeztermékeknél nem kell kialakítani olyan hornyokat amelyeket véső gépen lehet elkészíteni, így a tengelyen való rögzítési módszernek is speciálisnak kell lennie. A kényszerelem agyfurata egy összetett geometriájú görbe ugyanis rendelkezik hengeres és egyenes résszel. Ennek a következő megfontolásai vannak. A hengeres rész átmérője meghatározza, hogy a tengelyt mekkora átmérőre kell esztergálni. Az egyenes rész, ami a valóságban lapos, legyártható, az előzőleg méretre esztergált tengelyen történő marással. A speciális kialakítású görbe lehetővé teszi, hogy a kényszerelemet axiális irányban csak egyetlen pozícióban lehessen felszerelni a tengelyre.

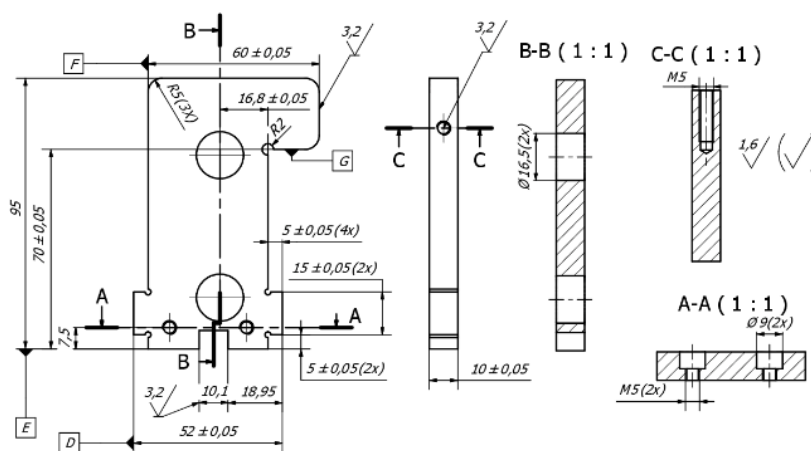
A kényszerelem agyfurata megakadályozza az alkatrész radiális irányú elmozdulását, viszont axiális irányban nem rögzíti. A probléma megoldására kézenfekvő a csapos hernyócsavar használata. Ez azt jelenti, hogy a lézervágó géppel kivágott előgyártmány vastagságának nagyobbnak kell lennie, mint a működő anyagvastagság. Így lehetőség adódik, hogy az előgyártmányból egy bizonyos anyagvastagságot leesztergálva, majd az így létrehozott gyártmányon tengelyirányra merőlegesen menetes furatot fúrva, a csapos hernyócsavar becsavarható. Ezeket a további követelményeket figyelembe véve a kényszerelem tényleges megvalósítása a 6. ábra látható.



6. ábra. Kényszerelem megvalósítása [1]

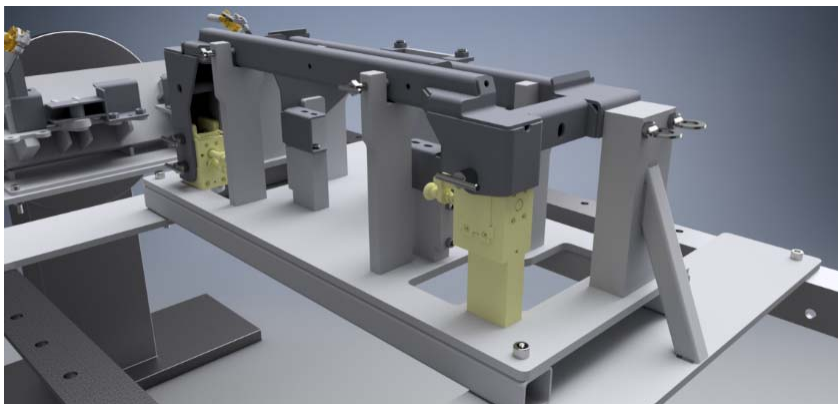
A 6. ábra rajzán látható az agyfurat $14 \pm 0,05$ mm-es tűrése, ami azért szükséges, mert pontosan kell illeszkednie a kényszerelemnek a tengelyen, ugyanakkor gyárthatónak is kell lennie lézervágó gépen. Valamint a hegesztés során fellépő hőhatásból adódó hőtágulás miatt sem szabad ennél szűkebb tűrést előírni. A metszeti ábrából kiderül, hogy az alkatrész teljes anyagvastagsága 12 mm, míg működő anyagvastagsága 5 mm, ahol szorítást végzi, ami önmagában kevés, hogy szorító feladatot ellásson, így a kényszerelemből két darab történt felhasználásra.

A mozgó ülék másik központi eleme, a mozgó határoló ülék-lapok. Az üléknek olyan kialakításúnak kell lennie, hogy az alap hegesztőkészülék ne kerüljön átalakításra, így az ülék-lapoknak ezt az elvet követniük kell, így a pozíció biztosító tüskék számára furatokkal kell rendelkezniük. Ezen kívül kialakításuk legyen olyan, hogy az tegye lehetővé a tisztán oldalirányban történő mozgást a furatok kollinearitása miatt, akadályozza meg az előírt 53,2 mm-nél nagyobb külső ülék-lap távolságot, valamint hőtágulás miatt befeszülés ne lépjen fel. Ezen követelményeket figyelembe véve a megvalósítást a 7. ábra ábrázolja.



7. ábra. A határoló ülék-lap kialakítása [1]

Két ülék problémás a hegesztőkészülékben, ezek kialakításukat és működésüket tekintve megegyeznek, csupán a készüléket előlnézetből nézve a jobb oldali szerkezet magasabban helyezkedik el, mint a bal oldali. Ezt egyszerűen magasító talp alkalmazásával lehet kivitelezni, hogy az alap talp alá egy magasító hasáb van helyezve. A hegesztőkészülékbe szerelt ülékek a 8. ábra láthatóak. Az ábrát magam készítettem Autodesk Inventor Professional 2016 programmal.



8. ábra. A hegesztőkészülékbe szerelt mozgó ülékek [1]

A hegesztési kísérletek eredményei azt mutatják, hogy a nyolc próbavarratból csupán kettő minősült megfelelőnek. Az általam tervezett mozgó ülék bár nem került legyártásra, a műszaki dokumentáció átadásának pillanatában megoldást adott a hegesztőkészülék fennálló problémájára.

Köszönetnyilvánítás.

Köszönöttem tartozok a debreceni BUMET Hungary Kft. operatív vezetője, Karádi Csaba és minőségügyi vezetője, Menyhért Barna felé. Számomra ők biztosították, hogy nyári szakmai gyakorlatomat a vállalatnál eltölthettem, bekapcsolódhattam a termelési rendszerbe, valamint lehetőséget adtak, hogy a szakdolgozatomat az újonnan telepített robotcellához kapcsolódóan írjam meg.

Köszönöttem tartozok témavezetőm, Dr. Dobosy Ádám adjunktus, és konzulensem Dr. Gáspár Marcell Gyula adjunktus, az Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet Szerkezetintegritási Intézeti Tanszék kollégái felé, akik mindvégig felügyelték a dolgozat tartalmát mind szakmailag, mind formailag. Tanácsaik segítettek, hogy a dolgozat minden követelménynek megfeleljen.

Köszönöttem tartozok a debreceni BUMET Hungary Kft. mérnök-, lézervágó-, hegesztő- és szerszámkészítő munkatársai felé, akik az eljárásvizsgálathoz szükséges próbatetek elkészítéséhez járultak hozzá.

Irodalomjegyzék

- [1] K. Zoltán, "Robotizált, védőgázos fogyóelektródás ívhegesztés alkalmazása különböző szilárdságú szerkezeti acélok esetén," 2018.
- [2] B. Gyula and B. Enikő, Hegesztéstechnika I. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület, 2010.
- [3] Bumet B.V., "Bumet Kft Quality Policy.JPG," 2014.
[https://www.bumet.com/images/Bumet Kft Quality Policy.JPG](https://www.bumet.com/images/Bumet%20Kft%20Quality%20Policy.JPG). Megtekintve: 2018.03.29.
- [4] "Minőségirányítási rendszerek. Külön követelmények az ISO 9001:2008 szabvány alkalmazásához gépjárműipari termékeket és ilyen rendeltetésű alkatrészeket gyártó szervezetek részére - MSZ ISO/TS 16949:2010."
- [5] "Környezetközpontú irányítási rendszerek. Követelmények és alkalmazási irányelvek (ISO 14001:2004) - MSZ EN ISO 14001:2005."
- [6] REHM Kft., "Árajánlat," 2017.
- [7] L. OTC DAIHEN Asia Co., "Products - Arc welding, Handling robot, Spot machine in Thailand - OTC DAIHEN Asia Co., Ltd. - FD-B4."
http://www.otcdaihenasia.com/product-detail.asp?product_id=61. Megtekintve: 2018.03.29.
- [8] "Ömlesztőhegesztéssel készített kötések roncsolásmentes vizsgálata. Szemrevételezéses vizsgálat - MSZ EN 970:1999."
- [9] W. poier. d. METAFLUX, "METAFLUX | 70-98 Rissprüfer-Set."
http://www.metaflux.de/produkte/p01/70_98.html. Megtekintve: 2018.03.29.
- [10] "Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése. A hegesztéstechnológia vizsgálata. 1. rész: Acélok ív- és gázhegesztése, valamint nikkel és ötvözetek ívhegesztése (ISO 15614-1:2017) - MSZ EN ISO 15614-1:2017."



INDUPRO®

HÁROM DIMENZIÓBAN ALKOTUNK!



3D lézeres vágás



Lézeres hegesztés



Megfogó és pozicionáló
készülékek tervezése
és gyártása



Plasmo rendszer



Lézeres szaktanácsadás



Lézeres fúrás

2051 Biatorbágy, Rozália park 11.
e-mail: info@indupro.hu
web: www.indupro.hu

+36 23 530 064

VÉDŐGÁZOK, HEGESZTÉSI PARAMÉTEREK HATÁSA LÉZERSUGARASON HEGESZTETT VARRATOK MINŐSÉGÉRE

WELDING PARAMETERS AND SHIELDING GAS EFFECT ON LASER WELDED JOINTS

Fábián Enikő Réka¹, Takács Sándor²

¹Óbudai Egyetem, [Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar](#),
Anyag-és Gyártástudományi Intézet, [Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék](#),
Budapest, Népszínház utca 8.

² INDUPRO, 2051 Biatorbágy, Rozália Park 11.

A lézersugaras hegesztés, a legdinamikusabban fejlődő eljárás a hegesztési technológiák között, mely egyre szélesebb körben terjed el az ipar számos területén. Elsősorban a repülőgép és autóipar használja, hiszen a hegesztőgép beruházási költsége jelentős, viszont használata számos előnnyel jár úgymint a nagy hegesztési sebesség, kis hőhatásövezet miatt a hegesztendő alkatrészek kevésbé károsodnak, nincs vetemedés, esztétikus hegesztési varrat, így nem igényel utómunkálást, jó a varrat reprodukálhatósága, minimális karbantartási igény, jól automatizálható.

Az ívhegesztésekhez hasonlóan a lézersugaras hegesztés is rendelkezik néhány olyan elsőrendű paraméterrel, amelyek nagymértékben befolyásolják a hegesztés menetét és a létrehozott varrat méreteit, tulajdonságait és minőségi jellemzőit. A lézersugaras hegesztő berendezések fejlődése ma már egyre nagyobb mélységű varratok létrehozását teszi lehetővé. Kísérletsorozatunkban 10 mm vastagságú ferrites szövetszerkezetű acéllemez hegesztéséhez szükséges hegesztési paramétereinek (teljesítmény, előtolási sebesség, védőgáz) hatását vizsgáltuk a varrat alakra, szövetszerkezetre, keménységre.

Korábbi kísérleteink során azt tapasztaltuk, hogy lézersugaras hegesztés során, főleg záróvarratoknál jelentkeznek varrathibák (CT vizsgálatokkal igazolt mikroüregek, zárványok, repedések), különösen így van ez védőgáz használata nélkül hegesztő szilárdtest lézerrel készült varratoknál. Nyomáspróbának kitett alkatrészeknél a felhasadás jellemzően a zárási szakaszon kezdődik. Vizsgálataink azt igazolták, hogy lézersugaras hegesztés során mangán és szilícium tartalmú oxid jön létre a varrat felületén, mely védőgáz nélkülihegesztés során relatív vastkos, esetenként töredező, miközben CO₂ lézersugaras berendezés esetén vékony, az előbbihez képest jelentéktelen. Jelen kísérleteink során Trumpf TLF 5000, 5KW-os CO₂ gázlézer alkalmazásakor azt tapasztaltuk hogyha nincs védőgáz, a varrat alakja módosul, ezen kívül gázzárványok jelennek meg a varratban, a varrat mélysége csökken, korona kidudorodik, a varrat felületén mikroszkóppal megkülönböztethető oxid képződik. A fedővarrat alkalmazásával a gázzárványok mérete nő, a varratok keménysége kiegyenlítődik

The laser beam welding process is one of the most dynamically developing processes among the welding processes in recent years. There are many studies about the further possibilities in laser technology with the incursion of this process and the expansion of experiences. The industrial use of this technology and the forward-thinking ideas provide us a more efficient manufacturing technology and also open up new opportunities where it is difficult or impossible to apply traditional welding processes. The laser beam welding process effectiveness comes with numerous advantages, including high welding speed, its limited heat impacted zone maintains the parts in good order, it is warp free, welds an esthetic seam which doesn't require improvement. It has excellent stitch reproduction effectiveness, minimal maintenance, and is easily automated. The largest users of laser beam welding are still the aviation industry, space technology and the premium segment of automotive industry.

Due to the latest developments of lasers equipment's nowadays the welding seams highness can be higher than 10 mm. In our experiments the laser parameters effects were studied on laser joints properties at ferritic low carbon unalloyed steels, with 10 mm thickness.

Earlier studies of laser beam welded automotive parts were observed by light microscope and by CT study some gases and oxides inclusions more or less at seam's overlapping part. These defects appear denser at fiber laser welding seams, than in case of CO₂ laser. After electron microscope seam analysis the impurity was found that through non-protective gas solidity testing the final locking seam's overlapping welding triggered the surface oxides into the seam.

During present experiments gas inclusions and oxide on the seam surface were observed by microscope in absence of shielding gas, and the profile of the welded joint changed. Overlapping welding increased the gas inclusions sizes, microhardness of weld metal reached the parent materials hardness.

GYÉMÁNTSZEMCSÉS FÚRÓSZEGMENSEK RÖGZÍTÉSTECHNOLÓGIÁINAK VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF JOINING TECHNOLOGIES OF DIAMOND DRILLING SEGMENTS

Kenéz Attila Zsolt

Hilti Szerszám Kft.,
Anyagtudományok és Technológiák
Doktori Iskola, Óbudai Egyetem
attila.kenez@hilti.com
kenez.attila@phd.uni-obuda.hu

Bagyinszki Gyula

Bánki Donát Gépész és
Biztonságtechnikai Mérnöki Kar,
Óbudai Egyetem
bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu

A beton helyszínen történő megmunkálásához szükséges szerszámokra egyre nagyobb az igény. Az ilyen szerszámok jellemző alkalmazási területei a vésés, fúrás, csatorna-készítés, felület érdesítés, faláttörés, amely megmunkálásokat hatékonyan porkohászati úton gyártott gyémánt szemcsés szerszámokkal végeznek. A gyémánt szemcséket tartalmazó szegmenseket többnyire oldhatatlan kötással rögzítik az acél szerszámtestekre. Az alkalmazott kötéstechológiának meg kell felelnie a fokozott műszaki követelményeknek, hiszen a kötési zónát használat közben nagy mechanikai és jelentős hőterhelések is érik. Hibás kötés esetén a szegmensek leválhatnak az alaptestről. A gyémánt szegmensek rögzítésére a hegesztés vagy a forrasztás különböző eljárásait alkalmazzák. A szegmensek összetételének és geometriájának fejlődése megköveteli a kötéstechológiák fejlesztését is. A szegmensek rögzítésének lehetséges technológiái közül a lézersugaras, illetve a lángforrasztási technológiát választottuk. Optikai és pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk a kötések szövetszerkezetét, a kötésekben kialakuló átvivődés meghatározására elemtérképeket is készítettünk. A kötések töréstesztnek és keménységvizsgálatnak vetettük alá. A különböző kötéstechológiákkal készült kötések mechanikai tulajdonságait és összetételbeli változásait értékeltük, összehasonlítottuk.

There is an increasing demand for tools for improvised concrete on site machining. The typical areas of application are chiselling, drilling, channel preparation, surface roughening and wall breaking. Such machining can be performed effectively with tools made of diamond particles manufactured by powder metallurgy. Segments containing diamond particles are attached to steel tool bodies mainly by insoluble bonding. The applied joining technology must meet technical requirements because the joining zone must bear high mechanical and significant thermal load during usage. In the case of improper joint, the segments may detach from the base and fly away. Nowadays, many methods of welding or soldering technics are used to attach diamond segments. The development of the segments composition and geometry requires the development of joining technologies, as well. We investigated the possible technologies of the segment fixing, e.g. laser beam fusion welding and flame soldering technologies. The micro structure of the joints has been examined by optical and scanning electron microscopy, and also chemical element maps have been recorded to define the formed alloying. Joints have been subjected to fracture and to hardness testing. The mechanical properties and composition changes of the joints with the different joining technologies have been evaluated and compared.

1. Bevezetés

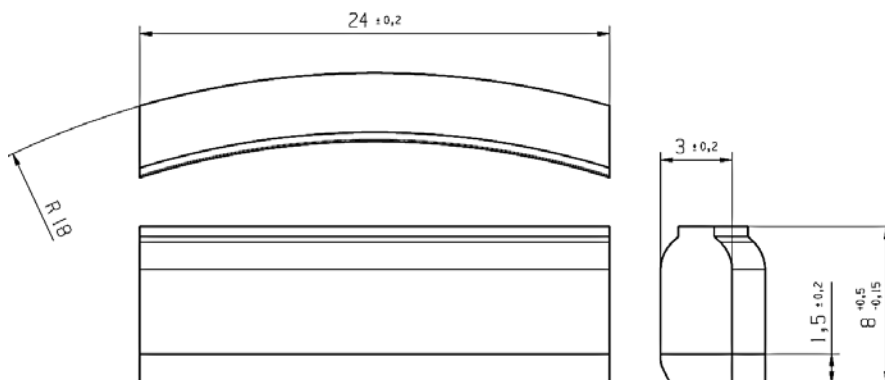
Az építőipar részéről egyre nagyobb az igény olyan – a beton helyszínen történő tervezett vagy rögzített megmunkálásához szükséges – szerszámokra, melyek jellemző alkalmazási területei: vésés, fúrás, faláttörés, csatornakészítés, felületérdesítés. Ezeket a műveleteket hatékonyan gyémánt élű szerszámokkal végzik [1].



1. ábra

Ø102 mm-es fúrókorona katalógusképe

A Hilti Szerszám Kft.-nél gyémánt szegmenses fúrókoronákat gyártunk az alkalmazások széles köréhez, sokféle alapanyaghoz és különböző teljesítményű szerszámokhoz [2]. A szegmenseket a vékonyfalú fúrókorona csőre kötéstehnológiával rögzítjük. A magfúrók esetén – melyek az Ø8...37 mm átmérőtartományt fedik le – CO₂ lézerforrást, míg fúrókoronák (1. ábra) esetén – melyek az Ø40...202 mm átmérőtartományt fedik le – szilárdtest lézerforrást használunk a hegesztéshez. Kiválasztottuk az Ø37 mm-es termékünket – melynek hegesztéséhez a szériagyártásban a CO₂ lézerforrást használjuk – és legyártottuk szilárdtest lézerforrással (paraméterek az 1. táblázatban) és lángforrasztással is. Ez utóbbi technológia azért került szóba, mert járatos javítási módszer az építkezéseken, ha egy szegmens mégis beletörne a furatba használat közben.



2. ábra

A kiválasztott „P-line” szegmens geometriája és méretei

Megnevezés	CO ₂ lézer (P _{max} =3,5kW)	Szilárdtest lézer (P _{max} =4,0kW)
teljesítmény (%)	66	75
eltolás (mm/sec)	20	50
fókusz távolság surágirányban (mm) *	0	0,25
fókusz távolság tengelyirányban (mm) **	-0,1	-0,1
hegesztési szög (fok)	3	3

1. táblázat.

Hegesztési paraméterek összehasonlítása

*: a pozitív érték az anyag belseje felé mutatja az eltolást;

**: a negatív érték a cső felé mutatja az eltolást.

A kiválasztott termék 3 szegmenst tartalmaz, melyek a cső homlokfelületén egyenlő távolságban vannak elosztva. A szegmens típusa ún. P-line (egyszerű geometriájú élezett) szegmens (2. ábra), amit a fűrés könnyű elkezdéséhez, üreges- és tömör téglákhoz, aszfalthoz, márványhoz, B25...B35 nyomószilárdságú betonhoz alkalmaznak. Ez a szegmens-típus két részből van összeszinterelve. A felső rész tartalmazza a gyémánt szemcséket, míg az alsó 1,5 mm-es rész – az ún. neutral vagy bonding zóna érdekes számunkra kötéstechológiai szempontból. Ez a Fe = 88...92% és Ni = 8...12% összetételű sáv teszi lehetővé a hegeszthetőséget az E235 (1.0308) anyagú, az EN 10305-1 szabvány szerinti (C ≤ 0,17%, Si ≤ 0,35%, Mn ≤ 1,2%, P ≤ 0,025%, S ≤ 0,025%,) acélcsőhöz, melynek falvastagsága 2±0,15 mm.

2. Választott kötési eljárások

Lézersugaras hegesztéskor a kis átmérőjű fókuszoltban igen nagy teljesítménysűrűség érhető el, és megfelelő abszorpció révén az elektromágneses sugárzás hővé alakul a hegesztendő anyagokban. A fellépő hőmérséklet keskeny sávban megolvasztja az összeillesztett munkadarabok határát és az elhaladó sugárzás mögött keskeny hőhatásövezetű, csekély torzulást okozó varrat képződik [3].

A gázlézeres hegesztés jellemzően a 10,6 µm-es hullámhosszúságú (távoli infravörös) sugárzást adó CO₂+N₂+He-gázkeverékkel (4.6 tisztaságú CO₂ = 4...8%, 5.0 tisztaságú N₂ = 12...30%, 4.6 tisztaságú He = 62...84%) történik. Ebben az esetben a CO₂ gáz a lézer „névadója”, ugyanis a CO₂-molekulák a felső energiaszintről az alsó energiaszintre történő átmenet közben adják le a 10600 nm hullámhosszúságú sugárzást. N₂ alkalmazásával egyszerűbben lehet a CO₂-molekulákat a felső energiaszintre juttatni, ill. a N₂-adagolás nagyobb teljesítményt eredményez. A He-atomok a CO₂-molekulákkal való ütközés során átveszik azok energiáját, amelyet leadnak a környezetnek, ezzel meggyorsítják a CO₂ „relaxálását”, ami szintén a teljesítmény növekedését eredményezi. A nagyon jó hővezető képességű He – segítve a kisülés következtében keletkező hő elvezetését – sokkal stabilabb kisülést eredményez [4, 5].

A szilárdtest lézerek a CO₂-lézerekhez képest jobb hatásfokkal rendelkeznek. Azonban az utóbbi időkből lényegesen megváltozott a geometriai elrendezés. A hosszú lézerekristály rúd vékony koronggá „alakult”. A gerjesztő sugárzás így nem a henger palástján, hanem a korong homloksíkján lép be a kristályba. Ezen elrendezés célja, hogy a kristály hűtése az össztérfogatához képest lényegesen nagyobb fajlagos felületen valósuljon meg. Ezt úgy érik el, hogy a korong egyik lapjára kb. 1 µm vastag tükröző réteget gőzölnek, majd vízzel intenzíven hűtött tömbre rögzítik. A lézerrezonátor zárótükre tehát egy intenzív hőelvonó felület. A diszk- vagy koronglézerek médiuma továbbra is lehet a Nd³⁺:YAG, ahol a YAG rövidítés ittrium-alumínium-gránát (Y₃Al₅O₁₂) szilárdtest kristályra utal. Az ilyen lézerek hatásfok növelése érdekében a lézermédiumok anyagválasztéka gyarapodott. A neodímiumot lehet például ittrium-vanadát kristályba is ötvözni (Nd³⁺:YVO₄ lézerek esetében), vagy a neodímium kiváltható itterbiummal (Yb³⁺:YAG, Yb³⁺:YVO₄ lézereknél). A rezonátorból kilépő lézersugár hullámhossza ezek hatására alig változik. Az eredeti 1,064 nm-es (közeli infravörös) hullámhossz az 1,000 és 1,100 nm közötti tartományba kerül (pl. 1,03 nm) a médium anyagától függően [4, 6].

Eltérő minőségű fémek anyagok (ötvözetek) lézeres hegeszthetőségének két alapvető feltétele:

- A két fém képes legyen egyidejűleg megőmleni és közös ömledéket képezni. Ez a feltétel nehezen teljesül, ha a két fém olvadáspontja messze esik egymástól, vagy a hővezető képességük nagyon különbözik. Ezért, ha szükséges, a lézersugarat aszimmetrikusan irányítják a nehezebben megőmlő fém felé.
- A két fém metallurgiai 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 [7].

Lézeres hegesztési eljárásoknál nincs szükség sem a cső, sem a szegmens felületének hegesztés előtti (előkészítő) megmunkálására és nincs szükség hozaganyagra sem a kötés kialakításához.

A forrasztást a forrasztandó anyagok olvadáspontjánál kisebb olvadáspontú, olvadék állapotba hozott forrasztanyaggal végzik. Forrasztáskor a kölcsönös diffúzió révén alakul ki a kapcsolat, melynek feltétele, hogy a forrasztanyag és az egyesítendő anyagok szilárd állapotban oldják egymást. Ha nem teljesül a kölcsönös oldódás feltétele, akkor a megolvasztott forrasztanyag a ragasztáshoz hasonló adhéziós jellegű kötést hoz létre. A forrasztanyagok olvadási hőmérséklete, illetve az ennek megfelelő forrasztási hőmérséklet, továbbá a kötés várható szilárdságának mértéke alapján megkülönböztetnek:

- lágyforrasztást, 450°C -nál kisebb hőmérsékletekkel és max. 50 MPa kötési szilárdsággal;
- keményforrasztást, 450°C -nál nagyobb (rendszerint 900°C-nál kisebb) hőmérsékletekkel és max. 300 MPa kötési szilárdsággal [3].

Beszélhetünk még ún. hegesztőforrasztásról is, ami olyan keményforrasztási eljárás, amelynek során olyan kötés állítható elő fokozatosan, a forrasztanyaggal végzett ömlesztő hegesztési eljáráshoz hasonló technológiával, ahol a forraszt olvadási hőmérséklete kisebb az alapféménél, de nagyobb 450 °C-nál és nem érvényesül a keményforrasztáskor szokásos kapilláris hatás, sem az alapfém megolvasztása. Elsősorban kapilláris hatással nem

kialakítható kötésekhez, valamint hagyományos hegesztési eljárásokkal nem hegeszthető pl. (egymástól eltérő, fémes bevonatú, 1 mm-nél vékonyabb) anyagokhoz alkalmazzák.

A kísérleteinkhez láng keményforrasztást választottuk, melyhez Fontargen A324 jelű (Ag = 49%, Zn = 23%, Cu = 16%, Mn = 7,5%, Ni = 4,5%) EN ISO 3677 szabványnak megfelelő forrasztóanyagot használtunk, míg folyasztószerként Easy-flo™ 100 Flux Paste-t. A forrasztóanyaghoz ajánlott forrasztási munkahőmérséklet 690 °C. Nem szükséges sem a cső, sem a szegmens felületének forrasztás előtti (előkészítő) megmunkálása.

3. Vizsgálati módszerek

A hegesztett magfúróknak ill. fúrókoronáknak meg kell felelniük a rájuk vonatkozó műszaki előírásoknak. Először a szériagyártásban alkalmazott roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálatokat végeztük el, majd a hegesztett kötést és a hőhatásövezetet vizsgáltuk.

A szériagyártásban alkalmazott roncsolásmentes vizsgálatok és mérések:

- optikai vizsgálat: varratkép ellenőrzése szemrevételezéssel, fényképes hibakatalógusban meghatározott követelmények alapján;
- szegmens kiállás kifelé (mérőeszköz: mérőóra): a szegmensek külső oldalának nagyobb átmérőn kell elhelyezkedniük, mint a cső külső átmérője, a cső kopásának csökkentése érdekében;
- szegmens kiállás befelé (mérőeszköz: mérőóra): a szegmensek belső oldalának kisebb átmérőn kell elhelyezkedniük, mint a cső belső átmérője, hogy meggátolják a cső belső falának érintkezését a kifűrt (cső belsejébe jutó) anyaggal;
- szegmens dőlés (mérőeszköz: mérőóra): a szegmensek párhuzamossága (ívének koncentrikussága) a cső külső palástjával;
- szegmens csavarodás (mérőeszköz: mérőóra): a szegmens rádiusza mennyire követi a cső rádiuszt;
- minimum-próba (mérőeszköz: nyomatékhatárolóval ellátott nyomatékkulcs a szegmens geometriájához illeszkedő fejjel): a hegesztett kötés minőségét tesztelve, az előírt minimum forgatónyomatékkal terhelik a szegmenst;
- radiális ütés (mérőeszköz: mérőóra): a fúrókoronát körbe forgatva a szegmensek felületén mért radiális ütés.

A szériagyártásban alkalmazott roncsolásos vizsgálat:

- törésteszt (mérőeszköz: digitális kijelzésű nyomatékkulcs): a vizsgálandó termék szegmensére (a formájához illeszkedő) betétet helyeznek, ami nyomatékkulcshoz csatlakozik. A kulcs nullázása után a szegmenst letörik és leolvassák a kijelzett – törés helyére átszámított – értéket. A törés kifelé irányuló mozgulattal történik, a leolvasott érték összehasonlításra kerül az előírt minimális törésértékkel.

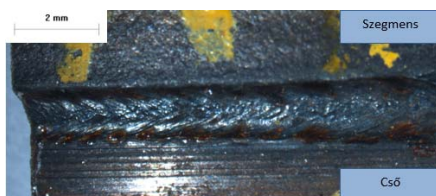
A hegesztett kötést és környezetét az alábbi módszerekkel vizsgáltuk:

- optikai fénymikroszkópos vizsgálat;
- pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálat;
- energiadisperzív spektroszkópiai (EDS) vizsgálat;
- Vickers-eljárással keménységvizsgálat.

4. Vizsgálati eredmények

A gyémántszemcsés szegmensek alsó „bonding” zónája ($\text{Fe} = 88...92\%$ és $\text{Ni} = 8...12\%$) és az E235 ($\text{C} \leq 0,17\%$, $\text{Si} \leq 0,35\%$, $\text{Mn} \leq 1,2\%$, $\text{P} \leq 0,025\%$, $\text{S} \leq 0,025\%$,) anyagú acélcső lézeres hegesztéssel és lángforrasztással készített kötésein elvégzett optikai mikroszkópos vizsgálatok alapján megállapítható, hogy:

- a vizsgált minták hegesztési varratainak geometriája (3...6. ábra) hasonló, varratpikkelyezettségben és varratszélességben van némi eltérés a gáz- és a szilárdtest-lézeres hegesztés eredménye között;
- megtűrhető mennyiségben fordulnak elő gázzárványok (5. és 6. ábra) a hegesztési varratokban, minkét eljárás esetében;
- a vizsgált lángforrasztott minta jó réskitöltést, egyenletes forrasztóanyag-vastagságot mutat (átlagosan $200\ \mu\text{m}$) (7...9. ábra);
- a forrasztás lényegében hibamentes, csak apróbb, zárványnak tűnő képi elemek figyelhetők meg a metszetén (8. és 9. ábra).



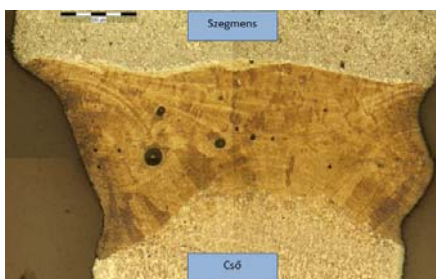
3. ábra

A CO_2 lézerrel készített varrat
sztereomikroszkópos felvétele (koronaoldal)



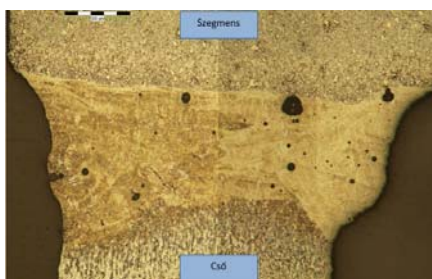
4. ábra

A szilárdtest lézerrel készített varrat
sztereomikroszkópos felvétele (koronaoldal)



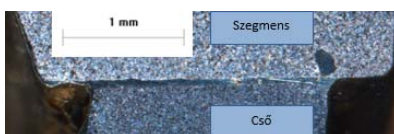
5. ábra

A CO_2 lézerrel készített varrat
mikroszkópos felvétele



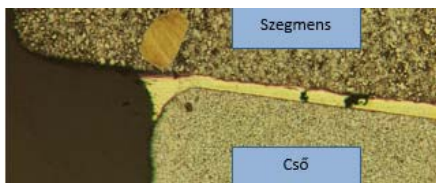
6. ábra

A szilárdtest lézerrel készített varrat
mikroszkópos felvétele



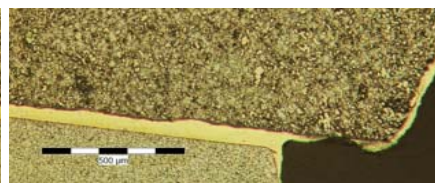
7. ábra

A forrasztott minta sztereomikroszkópos felvétele



8. ábra

A forrasztott minta optikai mikroszkópos felvétele
(belső oldal)



9. ábra

A forrasztott minta optikai mikroszkópos felvétele
(külső oldal)

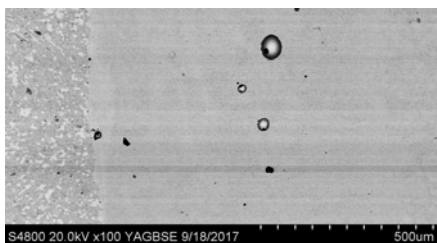
Az elvégzett törésteeszt alapján a minták megfelelnek a rajzi előírásoknak.

Megnevezés	min. törésérték Nm	átlag Nm	szórás
CO ₂ lézer	11,5	33,2	3,94
szilárdtest lézer	11,5	36,9	2,04
lángforrasztás	11,5	13,3	0,85

2. táblázat.
Törésértékek összehasonlítása

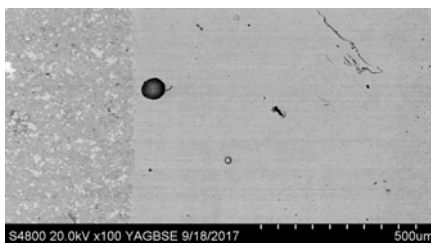
Az elvégzett SEM vizsgálatok alapján:

- a szilárdtest lézerrel hegesztett varratban (11. ábra) mikropedés-szerű képi elemek is észlelhetők a gázlézerrel hegesztetthez (10. ábra) képest;
- készült varrat-elemtérképeken a C, Mn, Si tekintetében nem figyelhető meg számottevő különbség az egyes zónák között (12. és 13. ábra);
- mindkét varrat szegmens felőli határán egy keskeny homogén képződmény figyelhető meg, ami arra utal, hogy a neutrális zónából nikkel ötvöződött be a varratba, növelve annak nikkel tartalmát.



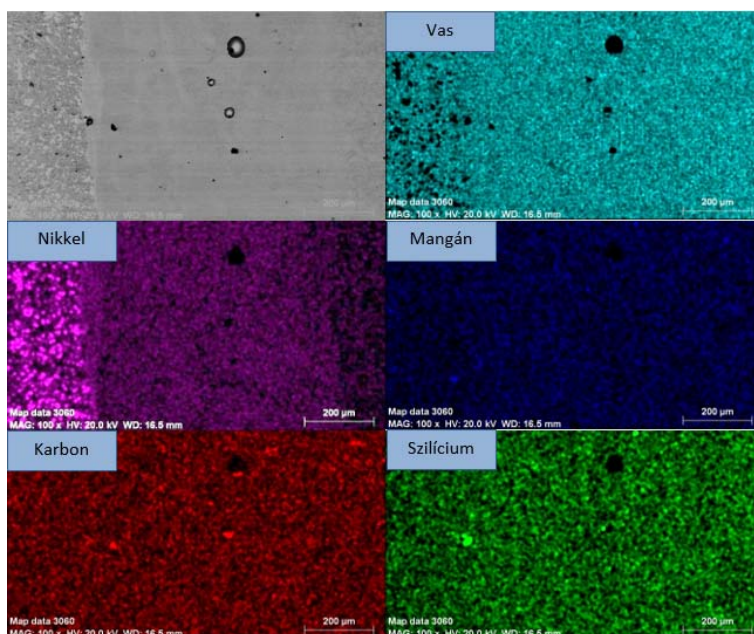
10. ábra

A CO₂ lézerrel készített varrat SEM felvétele
(belső oldal)



11. ábra

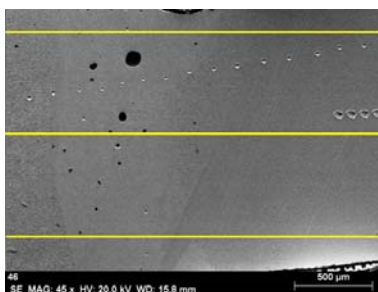
A szilárdtest lézerrel készített varrat SEM felvétele
(külső oldal)



12. ábra

A CO2 lézerrel készített varrat elemtérképe

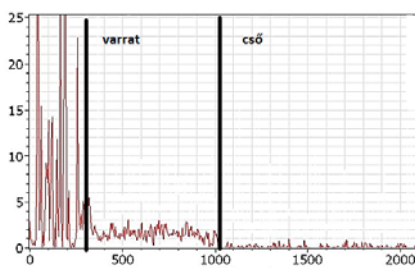
Hogy megtudjuk, milyen mélyen ötvöződik be a nikkel a varratba, vonalmenti elemzést végeztünk a kötés korona oldalán (13. ábra felső vonal), a középvonalában (13. ábra középső vonal) és a gyökoldalán (13. ábra alsó vonal)



13. ábra

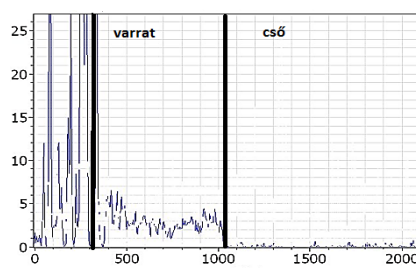
Vonal menti elemzések helye sárga színű vonalakkal jelölve

A 14. és 15. ábrán csak a nikkel eloszlása látható, ahol a vízszintes tengelyeken a μm -ben értendő távolság, a függőleges tengelyeken a tömeg%-os arány szerepel. A vonalmenti elemzés eleje mindig a porkohászati alapanyagból indul, ahol nikkel szemcsék is találhatók, így az elemzés elején 100% közelébe ugró csúcsok vannak (a csúcsok teteje nem látható), de a függőleges skála maximumát azért állítottuk 25 tömeg%-ra, hogy a varratban lévő alacsony koncentrációjú nikkel is leolvasható legyen a diagramról.



14. ábra

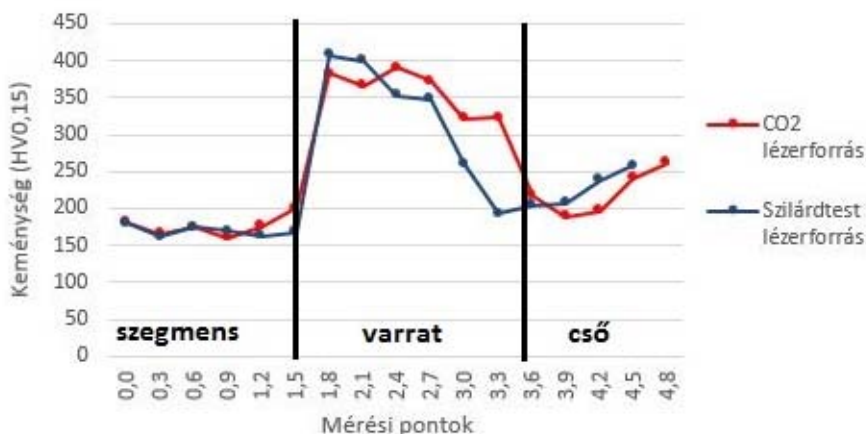
A CO₂ lézerrel készített varrat nikkell koncentrációja a varratra merőleges vonal mentén (a varrat közepén)



15. ábra

A szilárdtest lézerrel készített varrat nikkell koncentrációja a varratra merőleges vonal mentén (a varrat közepén)

Mindhárom helyen elvégzett elemzés eredménye azt mutatta, hogy 0,7 mm mélységben ötvöződik be a nikkell a varratba mindkét lézerforrás esetén. A beötvöződés mértéke átlagosan kb. 2 ... 2,5%.

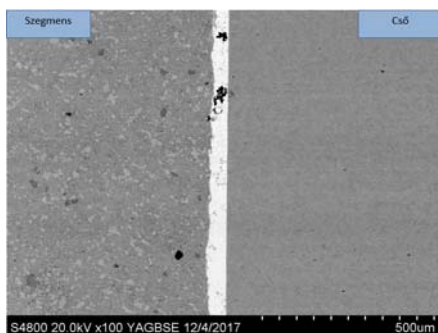


16. ábra

Keménységlefutás a varrat közepén

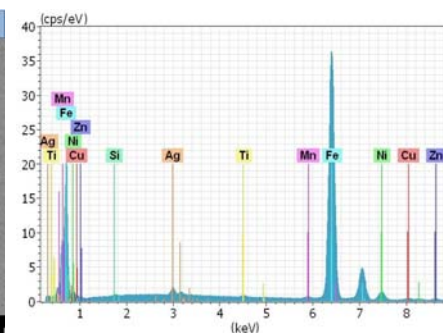
A keménységmérésekből kitűnik az a nagy energiasűrűségű eljárásokra jellemző kép (16. ábra), miszerint a legnagyobb értékek a varratban fordulnak elő.

A forrasztott minta SEM vizsgálata (17. ábra) alapján megállapítható, hogy sem a neutrális zónában (porkohászati anyag) sem a cső alapanyagban szövetszerkezeti változás nem figyelhető meg. A forrasztás utáni állapot egyenletes forrasztóanyag vastagságot mutat, (átlagosan 200 μ m). Az EDX spektrumból (18. ábra), melyet a 17. ábrán látható területről gyűjtöttünk, kiválasztottuk a komponensek (szegmens, cső, forrasztóanyag) összetételére jellemző elemeket és elemtérképen ábrázoltuk (19. ábra) őket. Megállapítható, hogy nem történt beötvöződés.



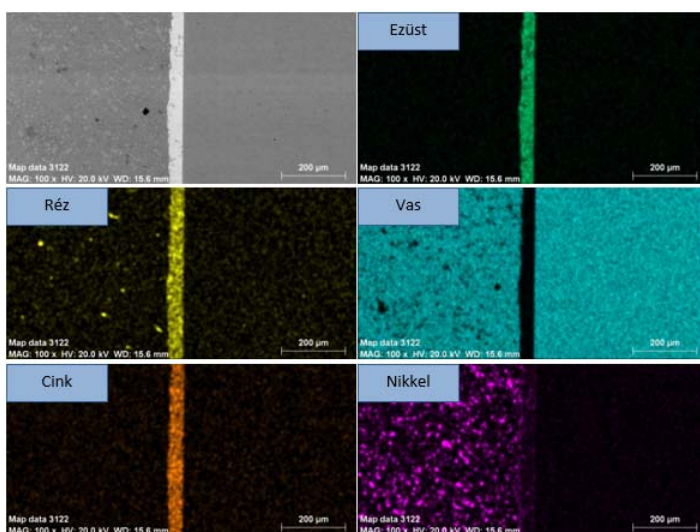
17. ábra

A forrasztott mintáról készült SEM felvétel



18. ábra

A forrasztott mintából gyűjtött EDX spektrum



19. ábra

A forrasztott mintáról készült elem térképek

5. Következtetések

A mintagyártásnál ugyanazokat a komponenseket használtuk (szegmens és cső), mint a szériagyártásban, így a geometriai méréseknél nem volt eltérés a legyártott minták között. A szériagyártásban alkalmazott törésteszt eredményei alapján a minták megfelelnek a jelenlegi rajzi előírásoknak, mivel az előírt minimális törésérték feletti értékeket mértünk. Ezek a vizsgálatok a szériagyártásban használt CO₂ lézerhegesztés minősítéséhez elegendőek. Új kötéstechológia alkalmazása esetén a szériagyártásban alkalmazott vizsgálatok szükséges, de nem elegendő feltételei a minősítésnek.

Az optikai mikroszkópos felvételek megmutatták, hogy a kötésekből lehetnek gázzárványok, néhol mikrorepedések is. Az elemtérképek kimutatták, hogy milyen mértékű átötvöződéssel kell számolni.

A szilárdtest lézerforrással hegesztett kötés további javítására paraméterkísérlet-sorozatot tervezünk a hegesztési teljesítmény, hegesztési sebesség, fókuszpozíció változtatásával. Amennyiben ez nem vezetne hosszú távú megoldásra, akkor kiegészítjük a hegesztést megelőző felülettisztítási módszerek hatásának vizsgálatával is.

A lángforrasztott minta kötésének további javítására olyan indukciós forrasztási kísérletsorozatot tervezünk, ahol biztosítható az állandó hőmérséklet és az állandó forrasztóanyag-mennyiség. Érdekes megfigyelés a réz elemtérképén, hogy a szegmensben is mutat réz jelenlétet (aminek a kémiai összetételében nincs jelen ez az elem).

A hegesztett kötések elemtérképét is ki fogjuk egészíteni a réz vizsgálatával. Amennyiben ott is jelen van, ez további vizsgálatokra ad indokot a szegmens gyártásával összefüggésben.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetet mondani a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. kollégáinak a laborvizsgálatok elvégzésében nyújtott segítségükért.

Irodalomjegyzék

- [1] Vincent Corica: *Apparatus and Method for Securing Diamond Segment to Rotating Tool*, Patent Application Publication US 2005/0279533 A1, Dec. 22, 2005
- [2] <https://www.hilti.com/diamond-coring-%26-sawing/diamond-drilling-consumables>
- [3] Bagyinszki Gyula - Bitay Enikő: *Hegesztéstechnika I. - Eljárások és gépesítés*, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2010
- [4] Szerkesztette: Seiji Katayama: *Handbook of laser welding technologies*, Woodhead Publishing Limited, 2013
- [5] Halász Gábor: *Ipari gázok a lézertechnikában*, Edutus Főiskola, 2012, http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_22_ipari_gazok/adatok.html
- [6] Buza Gábor: *Lézersugaras technológiák I.*, Edutus Főiskola, 2012, http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_50_lezersugaras_technologiak_l/adatok.html
- [7] Bagyinszki Gyula - Bitay Enikő: *Nagy energiasűrűségű eljárások hegeszthetőségi szempontjai*, XVII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2012. március 22-23.; Műszaki Tudományos Füzetek - Erdélyi Múzeum-Egyesület kiadványa (ISSN 2067 - 6 808) 13-18. o.

ADDITÍV TECHNOLOGIÁVAL KÉSZÜLŐ EGYÉNI IMPLANTÁTUMOK LÉZERES MIKRO HEGESZTÉSE

LASER MICRO WELDING OF ADDITIVELY MANUFACTURED INDIVIDUAL IMPLANTS

Kónya János

Kulcsár Klaudia

Dent-Art-Technik Kft.

janos@dentarttechnik.hu

kulcsar.klaudia@dentarttechnik.hu

A digitális termékfeldolgozás és a 3D-s technikák előretörése, új, korszerű, szövetbarát anyagok alkalmazása, egyszerűbb műtéti eljárás lehetővé teszi a páciensek számára a rögzített fogmű használatát. Az alapja a pontosan helyére illeszthető, előre megtervezett csavarozási pontokon a kortikális csontfelszínhez rögzített titán lemez. Az általunk készített titán subperiostealis implantátum anyagát, felületkezelését, szerkezeti felépítését és műtéti eljárását egyaránt újdonság övezi. A Subperiostealis implantátumot a 30-as években dolgozták ki és alkalmazták először. Steril lenyomat alapján készült gipszmintára viaszalapú öntvény technikával elkészítették a csontfelszínre illeszkedő fémszerkezetet. Néhány függőleges pillér nyúlt ki a fémvázból az ingyen keresztül, ami a fogpótlás rögzítésére szolgált. Hátránya, hogy alapanyaga nem volt osseointegratív, csak a kötőszövet tartotta, nem volt rögzítve a csontszerkezethez. A többszöri műtéti eljárás és a bizonytalan sikeressége miatt elhagyták ezt a módszert. Teljes egészében újragondolva, gyökeresen megváltoztattuk a módszert. Digitálisan képzünk lenyomatot a csontfelszíről, virtuális térben modellezünk és végezzük el a szükséges statikai analíziseket. Az így készülő egyedi implantátumot kétfázisú kúpos pozicionált, csavaros rögzítésű felépítményekkel látjuk el. A szerelhetőség a zárt sebvarrattal izolált műtéti gyógyulást segíti elő. A végeredményt additív módon titánból gyártjuk, amely beépül a csontba. A termék szerkezet vizsgálatára a legmodernebb technológiákat használjuk. A tervezés számítógéppel történik, amelyhez szükséges kiinduló geometriai adatokat a páciensről készített Digitális Volume Tomográfia módszerrel állítjuk elő. A számítógépes tervezés eredményeként létrejön az a geometria, a bázis lemez, amely orvosi és protetikai szempontból is teljes mértékben kielégíti a vele szemben támasztott követelményeket. A rögzítő pontok tervezésénél felhasználjuk a páciens számára virtuálisan megalkotott, idealizált fogművet. Ezen fogmű komplex geometriája és a terven szereplő fogak pozíciója, iránya valamint artikulációs helyzete határozza meg a fogpótlás csavaros rögzítésére szolgáló pillér elemek számát illetve elhelyezkedését a bázis lemezen. Ezután a fizikai kivitelezés történik, 3D nyomtatással létrehozott csontfelszínre viaszmodell alapú precíziós vákumnyomásos öntés technikával vagy fémporos LMF technológiájú nyomtatóval titánból. Ezt követően a megvalósított tervet a rajta elhelyezett illesztő gyűrűknél az előre forgácsolással létrehozott kúpos kialakítású menetes perselyeket pozíció helyesen helyükre illesztjük. A kialakult pozícióban lézeres mikro hegesztővel rögzítjük az elemeket, kétoldalas körkörös zárt varrattal. Utoljára a menetes perselyek fenéklemezének felhegesztése történik illeszkedés vizsgálattal. A hegesztés során kialakuló feszültségek homogenizálására hőkezelést végzünk. Az így kapott konstrukciót roncsolás menetes anyagvizsgálati módszerrel vizsgáljuk. A mikro CT segítségével elemzésre kerül a hegesztési varratok mellett a gyártmány fém szerkezetének homogenitása is, mely befolyásolja a szerkezet mechanikai szilárdságát, tartós használati értékét. A gyártás befejező fázisként a felület manuális átdolgozása történik, mely a dorzális felület aktív felületkezelését és a nyálkahártyával érintkező felületek polírozását jelenti. Az egyéni implantátum sterilizálás után kész a beültetésre. Az újragondolt megvalósítási módszernek köszönhetően csökken a műtéti idő, mellette a szövödmények lehetősége, valamint a posztoperatív probléma.

The development of 3D-techniques together with digital product processing, the utilization of novel, tissue-friendly materials, and the appearance of less complicated surgical methods allow the use of fixed dentures for patients. Its basis is a precise-fit titanium plate fixed to the cortical bone surface at previously-designed screw positions. The material, surface-treatment, construction, and surgical procedure for our titanium subperiosteal implant are all surrounded with novelty. Subperiosteal implants were created and first used in the 1930s. The metal frame structure fitting to the bone surface was fabricated with a wax-casting technique onto the gypsum cast, which had been created based on a sterile impression. A number of vertical pillars emerged from the metal structure through the gum tissue to fix dentures. Its disadvantage was its non-osteoconductive material. Only connective tissue was keeping it in place, there was no fixation to the bone tissue. This technique was abandoned due to the necessity of numerous surgical procedures and its uncertain success-rate. We completely reconsidered and radically revised this method. Bone surface impression is created digitally, product design and the required static analyses are both carried out in a virtual environment. Hereby, the created individual implant is fitted with positioned conical dual-phase screw-fixed dentures. Attachability facilitates isolated wound healing with closed surgical stitches. Our product is manufactured with additive technology from titanium material, which integrates into the bone tissue. Structural analysis of the product is carried out with the most recent technologies. Necessary geometric data of the patient's anatomy for virtual design is provided using Digital Volume Tomography. The result of computer-aided design is the geometry, the basis plate, which fully satisfies all requirements both from a medical and prosthetic point of view. An idealized denture, which is created for the patient in a virtual environment, is utilized during the design of fixation points. The complex geometry of this denture, the location, direction, and articulation position of teeth present at the design site determine the number and positions of the denture-fixing pillars on the basis plate. Afterwards, physical implementation takes place, which can be either precision vacuum casting based a wax model on the 3D-printed bone surface, or additive printing of titanium powder with LMF technology. Subsequently, the conical and threaded sleeves, manufactured previously with subtractive metal cutting technology, are fitted to their places in the right position to the nesting sites of the created part. The conical sleeves are fixed at their proper position with laser micro welding, using closed, double-side circular joints. Finally, the base plate is welded to the threaded sleeves after proper insertion testing. For the homogenization of internal stresses emerging from the welding process, the manufactured part is subjected to heat treatment. This construction then goes through non-destructive testing. Internal homogeneity of the metal structure nearby weld joints are evaluated with the help of micro CT as it has a major influence on the mechanical strength and durability of the product. As the final manufacturing step, manual surface processing takes place, which stands for the active surface treatment of dorsal implant regions, and the polishing of surfaces in contact with mucosal tissue. After sterilizing, the individual implant is ready for use. With this reconsidered method of implementation, surgical procedure time decreases together with the reduction of the possibility of complications and other post-surgical problems.

HEGESZTÉSI VARRAT HŐTERJEDÉSÉNEK MODELLEZÉSE TOMPA VARRAT ESETÉN

Halász G.

Óbudai Egyetem

gerryhalasz@gmail.com

Kuti J.

Óbudai Egyetem

janos.kuti@gmail.com

Kutatásunk célja, hogy összehasonlítsuk a virtuális modellben kapott szimulált értékeket a valódi, hegesztés közben mért hőterjedési értékekkel. Elsődleges cél, az egyes időpillanatokban mért hőmérsékleti értékek összehasonlítása a programban szimulált értékekkel. A virtuális modell pontos mása a kész terméknek (akárcsak a prototípus, csak ez valójában nem létezik). A próbamérések alkalmával kiválasztott helyen mértük a hőmérséklet változását, majd a virtuális modell ugyan ezen pontján mért hőmérsékleti értékekkel összehasonlítottuk. Még mielőtt bármit gyártanának, előtte ezt a virtuális modellt vizsgálják, tesztelik és igénybevételeknek teszik ki. Ezen modellek vizsgálatának egy igen fontos részét képezi a kötéstechológia. A hőbevitel az egyik legfontosabb paraméter a kialakuló varrat szempontjából. Sok alkatrész elkészítésénél kulcsfontosságú a hegesztés, és tudnunk kell, hogy ez milyen hatásokkal jár az alapanyagunk belső szerkezetében, a hőhatásövezetben, és a kialakuló varratban.

Kulcsszavak: hegesztés, modell, hőterjedés, modell validálás

Aim of our work to compare the results of the virtual model with the measured heat transfer data. The primary goal to compare the real time measured with the program simulated data. The copy of the virtual model is the real product (like a prototyping process this sample also exists). Before beginning of any production process this model is tested and experimented under loads. It can be useful to predict the welding process heat input and the size of the heat effected zone before welding. One of the testing procedures is the joining. In case of many parts the joining process is a key technology, it needs to know the welding heat effect for the microstructure in the heat affected zone and the joint.

Keywords: welding, heat affected zone, model validation

Authors' Index

Alois Plozner	43	Kajjalainen A.	57, 67
Gáspár Marcell	65, 67, 83	Kalácska Eszter	63, 64
Kiss Norbert	161	Kelemen Zoltán	181
Kulcsár Klaudia	211	Kenéz Attila Zsolt	199
Szabó Richárd	131	Kónya János	211
Bagyinszki Gyula	199	Koronczai László	111
Ivan Mika	56	Kovács Tünde	69, 71, 125
Májlínger Kornél	65, 75, 151	Kömi J.	57
Varbai Balázs	64, 75	Kristóf Csaba	33, 41
Wolfgang Scherleitner	43	Kuti János	213
Adonyi János	29	Lakos Szabina	113
Bakos Levente	73, 95	Lukács János	59, 61, 83
Balogh Dániel	131	Michael Fiedler	43
Bernd Rutzinger	43	Mourujärvi J.	57
Borhy István	169	Palotás Béla	12, 73
Csuhaj Péter	77	Pogonyi Tibor	73
Demeter Gábor	147	Raghawendra P. S. Sisodia	83
Dobosy Ádám	62, 65, 79	Sas Illés	77
Erdei Attila	149	Somosköi Gábor	99
Fábián Enikő Réka	197	Szabó Balázs	97
Farkas Attila	11, 99	Szalacsi Áron	81
Gáti József	125	Szalva Péter	99
Gyura László	113	Takács Sándor	197
Haidar Faisal Helal Mobark	61, 62	Tervo Henri	57, 67
Halász Gábor	213	Tomas Britnik	55
Halász Gergely	213	Tóth László	27
Hareancz Ferenc	161	Tóth Tamás	151
Ifj. Bognár Miklós	145	Török Imre	65, 67
Jaber Hassanen	71	Wilhelm Gerald	31
Jámbor Péter	85		

A konferencia kiállítói:

CLOOS

Weld your way.

Cloos

YASKAWA

Flexman Robotics Kft.



Hegpont



igm



IGM robotrendszerek kft

Indupro



Lorch



MESSER Hungarogáz Kft.



Soyer

Trumpf