

KUTATÁSI EREDMÉNYEK A NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK ÉS ALUMÍNIUMÖTVÖZETEK HEGESZTÉSE TERÜLETÉN

RESEARCH RESULTS IN THE WELDING OF HIGH STRENGTH STEELS AND ALUMINIUM ALLOYS

Gáspár Marcell^{*}, Balogh András^{**}, Bodorkós Gergely^{***}, Dobosy Ádám^{****}, Németh Alexandra^{*****}, Raghawendra P. S. Sisodia^{*****}, Török Imre^{**}

ABSTRACT

In the vehicle industry there is an increasing demand for the application of high strength steels and aluminium alloys in order to reduce the weight of the vehicles. The continuous development of these metals creates numerous challenges for the joining processes, especially for welding. During the welding of high strength steels, the limited availability of matching filler metals, the hardening and the toughness reduction in the weld and the heat-affected zone (HAZ) can cause difficulties during the application. On the contrary in the welded joints of heat-treatable aluminium alloys the significant weld and HAZ softening makes it difficult to fully utilize the high strength of the base material. In present paper an overview is given about the recent research results of the institute in the welding of Q+T and TMCP high strength steels, DP steels and the 5754-H22, 6082-T6, 7075-T6 aluminium alloys. Within the welding processes, technological developments are presented in gas metal arc welding, resistance spot welding and friction stir welding for the welding of the given alloys. Besides conventional materials tests, the behavior of the welded joints is investigated by different kind of fatigue testing (low cycle fatigue – LCF, high cycle fatigue – HCF, fatigue crack growth – FCG). At the end of the paper a brief introduction is given about the activities of recently established welding robot laboratory.

1. BEVEZETÉS

A szigorodó környezetvédelmi előírások miatt a járműipar egyre inkább igényli a nagyszilárdságú acél és alumínium ötvözetek alkalmazását. A folyamatos anyagfejlesztéseknek köszönhetően rendre új anyagminőségek válnak elérhetővé a felhasználók számára, azonban ezeknek az ötvözeteknek az alkalmazása kihívás elé állítja a kötéstechológiával, azon belül is a hegesztéstechológiával foglalkozó szakembereket [1],[2].

A nagyszilárdságú acélok mind a finom lemezvastagság tartományban ($s < 3$ mm) megtalálhatók autóiipari karosszériaelemekben, mind pedig elérhetők közepes- és vastaglemez tartományban is tehergépkocsik, földmunkagépek és vasúti kocsik különböző szerkezeti elemeiben. A nagyszilárdságú acélok hegesztési nehézségei között szerepel a varrat és a hőhatásövezet keményedése, a hidegrepedés érzékenység, a hőhatásövezetben bekövetkező szívósságcsökkenés, valamint a korlátozott hozaganyag-választék, különösen az 1000 MPa folyáshatárt meghaladó acélkategóriák esetén [3-7]. A nagyszilárdságú acélok egyhez közeli folyáshatár/szakítószilárdság viszonya, a (megeesztett) martenzit és bénit tartalmú szövetszerkezete és a fokozott hidegrepedési hajlam miatt felértékelődik az alapanyag és a hegesztett kötés törésmechanikai vizsgálatának a szerepe [8],[9]. A hegesztett kötésben bekövetkező mechanikai tulajdonságromlás csökkentésére lehetőség nyílik a hegesztéstechológia fejlesztésével (pl. szakaszos energiabevitel, hegesztési utóhőkezelések) és korszerű hegesztő eljárások (pl. sugártechnológiák) alkalmazásával. Tekintettel arra, hogy ezeket a kötéseket a járműipar területén történő felhasználásuknak megfelelően gyakran ismétlődő igénybevétel éri, ezért elengedhetetlen ismeretekkel rendelkezni a fáradással szembeni viselkedésükről. Miközben a nagy folyáshatárból származó előnyök statikus húzóterhelés esetén teljes mértékben kihasználhatók, addig ismétlődő igénybevételkor a nagyobb szilárdságból származó előnyök kevésbé használhatók ki. A tervezéssel foglalkozó előírások a nagyszilárdságú acélokra vonatkozó korlátozott ismeretek miatt napjainkig konzervatívan kezelik ezeknek az acéloknak az alkalmazását fáradásnak kitett szerkezeti elemekben. A hegesztett acélszerkezetek tervezésével foglalkozó Eurocode 3 csupán 460 MPa garantált folyáshatár értékig tartalmazza az információkat; kiegészítő korlátozások figyelembevételével a 12. fejezet már 700 MPa folyáshatár értékig alkalmazható, más határértékeket azonban a kiterjesztés nem módosít [5]. Ezzel szemben a nagyszilárdságú szerkezeti

^{*} egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

^{**} c. egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

^{***} ügyvezető igazgató, Rechen Hegesztőház Kft.

^{****} adjunktus, Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

^{*****} PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

acélok között napjainkban már az 1300-as szilárdsági kategória is megjelenik. A hegesztett kötések fáradással szembeni viselkedésére vonatkozó új ismeretek, beleértve a hozaganyag-választás, a kötés kialakítás és a hegesztési paraméterek kérdéskörét, hozzájárulhatnak a tervezésre vonatkozó nemzetközi előírás-rendszerek megújításához [7],[10].

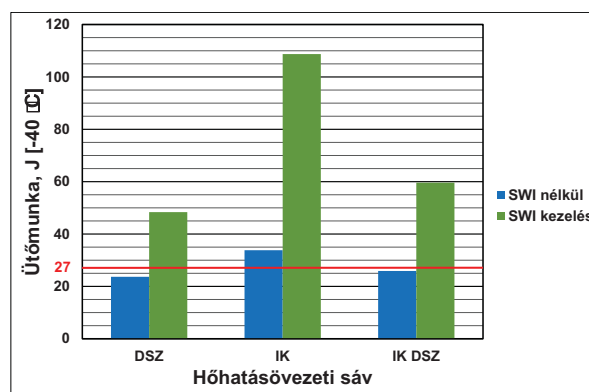
A személygépkocsikban a könnyűszerkezetes tervezési koncepciónak megfelelően egyre inkább törekszenek az alakítható 5xxxx, illetve a nemesíthető 6xxx és 7xxx családba tartozó alumínium ötvözetek alkalmazására. A viszonylag magas alapanyagárak és a költséges gyártástechnológia miatt napjainkban elsősorban még csak a prémiumkategóriás autókban jelennek meg ezek az ötvözetek, ugyanakkor nemzetközi szintű kutatások folynak az alakítás- és a hegesztéstechnológia fejlesztésére, amelynek köszönhetően az alumínium karosszéria-elemek a közép kategóriás személygépkocsikban is nagyobb arányban megjelenhetnek [10]. Alumínium-ötvözetek hegesztésekor számos nehézség mellett a nagy olvadáspontú oxidhártya és a varrat, valamint a hőhatásövezet kilágyulási hajlama jelenti a legnagyobb problémát. Miközben egyes nemesíthető alumínium ötvözetek alapanyag szilárdsága eléri egy közepes szilárdságú acél folyáshatárát, addig a varrat és a hőhatásövezet szilárdsága alig haladja meg egy alapállapotú (hőkezelés nélküli) alumínium folyáshatárát. Az alakítástechnológiához kapcsolódó hőkezelési lépések közbeiktatásával az ellenállás ponthegesztett kötések szilárdsága javítható, a lineáris dörzshegesztés alkalmazásával pedig a kilágyulást eredményező hőbevitel értéke csökkenthető jelentősen a klasszikus ömlesztő hegesztő eljárásokhoz képest [11-13].

2. HEGESZTÉSTECHNOLÓGIAI FEJLESZTÉSEK NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOKNÁL

2.1. A hőhatásövezet tulajdonságainak javítása utóhőkezeléssel nemesített nagyszilárdságú acéloknál

Az ipari gyakorlatban a nemesített nagyszilárdságú szerkezeti acélok csoportjába tartozó S960QL a legnagyobb szilárdságú kategória, amelyet szélesebb körben alkalmaznak. Fizikai szimulációs kísérletsorozattal sikerült igazolni, hogy a nemesített nagyszilárdságú acélok hőhatásövezeti sávjaiban bekövetkező helyi szintű, kritikus mértékű szívósságcsökkenést nem lehet elkerülni, és mértékét a $t_{8,5/5}$ hűlési idővel érdemben nem lehet befolyásolni, azaz a hűlési idő hatása elsősorban a kritikus hőhatásövezeti sávok szélesség irányú kiterjedésének változásában jelenik meg. Az elvégzett műszerezett ütővizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy az ütőmunkára vonatkozó követelmény teljesítése ezeknél az acéloknál nem garantálja a ridegtöréssel

szembeni biztonságot, mivel a 27 J teljesítés esetén is rendszerint a hasadásos törés jelei figyelhetők meg a hőhatásövezetből kimunkált ütőpróbatetek töretfelületén. A hőhatásövezeti tulajdonságok javítására ebből adódóan alapvetően két út áll rendelkezésre. Az egyik a hőhatásövezet méretének csökkentése a $t_{8,5/5}$ hűlési idő minimalizálásával, a másik lehetőség pedig a hőhatásövezet utóhőkezelése. Az 1. ábrán egy S960QL acél fizikai szimulációval előállított kritikus hőhatásövezeti sávjainak ütőmunka értékei szerepelnek közepes hőbevitellel járó huzalelektrodás védőgázos ívhegesztés ($t_{8,5/5} = 15$ s) és 650 °C-os utóhőkezelés esetén. Az eredmények alapján látható, hogy mindegyik sáv esetén jelentős mértékben lehetett növelni a szívósságot, amely az ütőpróbatetek töretfelületének elemzése is igazolt [4].



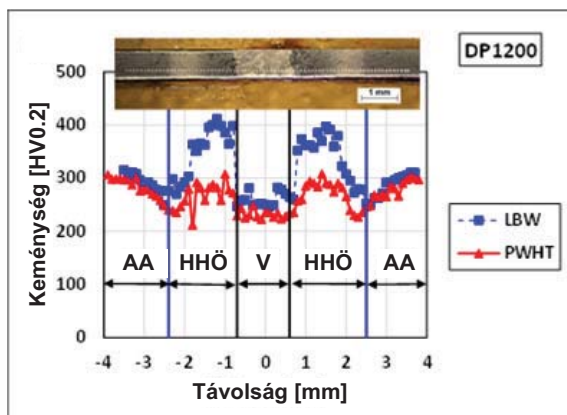
1. ábra. A hőhatásövezet szívósságának javítása utókezeléssel S960QL acélnál (DSZ: durvaszemcsés sáv, IK: interkritikus sáv, IK DSZ: interkritikus durvaszemcsés sáv) [4]

2.2. Sugártechnológiák alkalmazási lehetőségei

A lézersugaras hegesztés és az elektronsugaras hegesztés alkalmazása több szempontból is előnyösnek bizonyul nagyszilárdságú acélok hegesztésekor. Egyrészt a sugártechnológiák koncentrált hőforrásuknak köszönhetően kis méretű hőhatásövezetet eredményeznek, másrészt ugyanazzal a hőforrással lehetőség nyílik a varrat hegesztésére és utóhőkezelésére. Bizonyos esetekben lehetőség van a sugárnyaláb három részre bontására, így akár a hegesztési élek mentén az előmelegítés, a hegesztés és az utóhőkezelés is egy lépésben megvalósulhat.

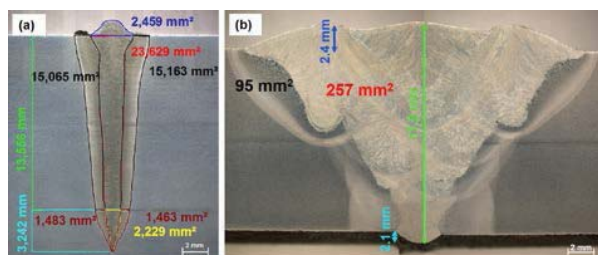
A 2. ábrán 1 mm lemezvastagságú DP1200 ferrit-martenzites acél hozaganyag nélküli lézersugaras hegesztett kötésének csiszolatán végzett keménységmérési eredmények láthatók utóhőkezelés nélkül, és utóhőkezeléssel (hegesztés: $P=1000$ W, $v_h=8$ mm/s, hőfolt méret: 2×2 mm; utóhőkezelés: $P=275$ W, $v_h=4$ mm/s, hőfolt méret: 15×6 mm). Dióda lézer alkalmazásával ugyanazzal a hőforrással elvégezhető a hegesztés (LBW) és az utóhőkezelés (PWHT), amelynek eredményeként a hő-

hatásövezetben (HHÖ) mért keménységcsúcsok az alapanyag (AA) keménységének szintjére csökkennek, miközben a varratban (V) kis mértékű kilágyulás figyelhető meg, amely megfelelő hozaganyagválasztással kompenzálható. Az utóhőkezelés eredményeként bekövetkező keménységcsökkenés hozzájárul a hidegrepedési veszély csökkentéséhez [14].



2. ábra. DP1200 acél lézersugaras hegesztése és utóhőkezelése diódlézerrel – a hegesztett kötés keménységeloszlása

A 3. ábrán 15 mm lemezvastagságú S960QL acélból elektronsugaras hegesztéssel és huzalelektrodás védőgázos ívhegesztéssel készült kötések makrosziszolata szerepel. Elektronsugaras hegesztés esetén a varratot a fűzővarratok kivételével hozaganyag nélkül, saját anyagával készült alátétlemez alkalmazásával hegesztették, az ívhegesztés esetén a hegesztett kötés pedig fémportöltetű „matching” típusú hozaganyaggal készült. A felvételeken látható, hogy az elektronsugaras hegesztett kötés hőhatásövezetének mérete harmada, varratának mérete pedig tizede az ívhegesztéssel készült kötésének. Tekintettel a vizsgált acélkategória varratának és hőhatásövezetének rideg viselkedésére, a hegesztett kötés két kritikus részének ilyen mértékű méretcsökkenése érdemben hozzájárul az egész hegesztett kötés tulajdonságainak javulásához. Az elektronsugaras hegesztés pedig egyúttal megteremti az utóhőkezelés lehetőségét is.



3. ábra. S960QL acél elektronsugaras hegesztéssel (a) és huzalelektrodás védőgázos ívhegesztéssel (b) készített kötése

2.3. A hegesztéstechnológia és a hozaganyagválasztás hatása a fáradással szembeni ellenállásra

A különböző kategóriájú nagyszilárdságú acélok hegesztett kötésein elvégzett kisciklusú és nagyciklusú fárasztóvizsgálatok, valamint fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatok igazolták, hogy acélkategóriától függően a vonalenergia, a rétegek közti hőmérséklet és a hozaganyag az alapanyaghoz viszonyított szilárdsági illeszkedése (illetve eltérése), az ún. matching hatással van a fáradással szembeni ellenállásra [4-7]. A vizsgálatok alapján a 690 MPa szilárdsági kategóriának kiemelt szerepe van [6, 7]. Eddig a szilárdsági szintig elsősorban a matching/overmatching típusú kötések nagyciklusú fáradással szembeni ellenállása kedvezőbb, miközben a 960 MPa kategória esetén az undermatching elven történő hozaganyagválasztás lehet célravezetőbb ismétlődő igénybevétel esetén.

1. táblázat. Nagyciklusú fárasztóvizsgálatok eredményei alapanyagokon és hegesztett kötésekben [6]

Alapanyag	Hozaganyag, orientáció, vonalenergia	m	log(a)	N _k	Δσ _D	Δσ _{1E87}
		(-)	(-)	(ciklus)	(MPa)	(MPa)
Optim 700QL	BM-h/v	51.282	150.186	–	–	620
	WJ/M-k/3W	4.826	16.762	9.893 E05	170	–
	WJ/M-k/1W	50.251	138.732	–	–	418
Weldox 700E	BM-h/k	12.453	38.557	1.677 E06	395	–
	WJ/M-k/1W	9.960	31.739	–	–	–
	WJ/OM-k/1W	31.250	88.311	–	–	400
	BWJ/M-k/1W	3.831	13.752	2.660 E06	82	–
	BWJ/M/OM-k/1W	4.207	15.822	–	–	126
Weldox 960E	BM-h/k	10.288	33.473	1.014 E06	467	–
	WJ/M-k/3W	16.722	49.063	8.535 E06	331	–
	WJ/UM-k/1W	12.594	39.173	4.944 E06	379	–
Alform 960M	BM-h/k	11.494	37.207	5.122 E06	450	–
	WJ/M-k/1W lhi	8.130	26.723	4.270 E06	296	–
	WJ/M-k/1W	16.129	48.012	2.681 E06	379	–
	WJ/M-k/1W hhi	15.385	47.226	9.693 E05	479	–
	WJ/UM-k/1W	41.667	116.389	–	–	422
	BWJ/M-k/1W	1.984	9.175	1.099 E06	38	–
	BWJ/M-k/1W	2.392	11.103	2.336 E06	95	–
	BWJ/M-k/1W hhi	2.123	9.107	9.307 E05	30	–
BWJ/UM-k/1W	3.891	13.957	8.701 E05	115	–	

Az 1. táblázatban a vizsgált nagyszilárdságú acélok alapanyagára és különböző technológiai paraméterekkel és hozaganyagválasztási koncepcióval készült hegesztett kötéseire meghatározott nagyciklusú fáradási szilárdsági görbék paraméterei szerepelnek.

2.4. A lánggyengítés lehetőségei és korlátai nagyszilárdságú acélokon

A lánggyengítés technológiája acélszerkezetek gyártásánál, így a nagyszilárdságú acélból készült szerkezeteknél is gyakran alkalmazott eljárás. Leggyakrabban acetilén-oxigén gázkeverékkel történik a láng előállítása, ugyanakkor ipari igény van az ún. slow-burning gázok (pl. PB) alkalmazására is. A hegesztést követő

maradó alakváltozás csökkentése érdekében sok esetben többször is (akár 4 alkalommal) hevítik a szerkezeti elemek egyes részeit, a folyamat gyorsítása érdekében pedig a levegő hűtés mellett, fűjt levegős hűtés és víz-hűtés is előfordul. Tekintettel arra, hogy a lángegyengetés hevítési és hűtési viszonyai jelentősen eltérnek a hegesztéshez képest ($t_{8,5/5} = 30 \dots 120$ s), ezért nagyszilárdságú acélok esetén különösen is fontos a lángegyengetési hőciklusok szövetszerkezetre gyakorolt hatásának ismerete [15]. Nem megfelelő lángegyengetési technológia alkalmazása a szilárdsági és szívóssági tulajdonságok romlását okozhatja. Fizikai szimulációs és valós lángegyengetési kísérletekkel sikerült igazolni, hogy a lángegyengetésnek jelentős hatása van az alapanyag eredeti tulajdonságaira. A nagy keménységű, kopásálló anyagok esetén (pl. XAR400) még egy helyesen, a paraméterek betartása mellett végrehajtott technológia is a lokális kopásállóság csökkenéséhez vezethet. Az S960QL acélnál a technológia paramétereinek betartása az anyag keménységében levegőhűtés esetén jelentős változást nem okoz, ugyanakkor a túlhevítés és a hirtelen hűtés kritikus keményedést és lokális rideg részét kialakulását okozhatja (különösen interkritikus túlhevítés esetén), amely a szívóssági tulajdonságok romlására utal.

2.5. DP acélok ellenállás ponthegesztése szakaszos energiabevittel

Egy személygépkocsi karosszériában több ezer ponthegesztett kötés található, az alapanyagok tekintetében pedig egyre nagyobb arányban alkalmaznak nagyszilárdságú acélokat, azon belül is DP acélokat.



4. ábra. DP acél folyamatos és szakaszos energiabevittel készült ellenállás-ponthegesztett kötésének heglencséje [16]

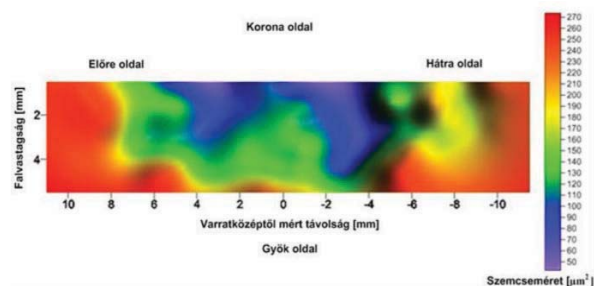
Az ívhegesztéseknél jelentősen gyorsabb hevítési és hűtési ciklus eredményeként a durva dendrites mikroszerkezetű heglencse és a hőhatásövezet jelentős keményedésére kell számítani ezeknek az acéloknak a ponthegesztésekor. Szakaszos energiabevitel alkalmazásával,

az egyes ciklusok közötti szünetidő anyag-specifikus megválasztásával, a megfelelő sajtolóerő biztosítása mellett finomszemcsés szövetszerkezet érhető el a heglencsében, amely a nyíró-szakítóerő minimális csökkenése mellett ezeknek a kötéseknek a dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállását jelentősen növeli [16].

3. ALUMÍNIUM ÖTVÖZETEK HEGESZTÉSÉNEK KORSZERŰ TECHNOLÓGIÁI

3.1. Lineáris dörzshegesztés

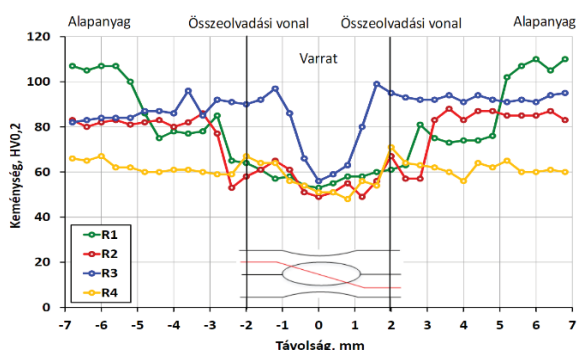
Lineáris dörzshegesztéskor a hegesztett kötés kialakulása szilárd halmazállapotban megy végbe, az ebből következő kisebb hőbevitelből adódóan pedig kisebb a kilágyulás mértéke nagyszilárdságú alumínium ötvözeteknél. A 6082-T6 alapanyag lineáris dörzshegesztésénél a gyors gyökoldali hőciklus alkalmazásával, valamint a technológiai paraméterek célszerű megválasztásával finomszemcsés szövetszerkezetet érhető el a gyökoldalon. A finomszemcsés szövetszerkezet kialakulás szempontjából releváns dinamikus újrakristályosodás lejátszódása jelentősen függ az alapanyag tulajdonságaitól, a hőmérséklettől, az alakváltozási sebességtől és az alakváltozás mértékétől. A 6082-T6 alumíniumötvözet lineáris dörzshegesztésénél a dinamikus újrakristályosodás kis alakváltozási sebességnél és kis alakváltozási mértéknél – a hegesztési hőciklustól függetlenül – mindenképpen bekövetkezik, amelynek szerepe van a finom szemcseszerkezet elérésben. Vizsgálatokkal sikerült igazolni, hogy a lineáris dörzshegesztő szerszám kialakítása befolyásolja a kötésbe bekevert oxidréteg eloszlását és méreteit, amelyeknek jelentős hatása van a kisciklusú fárasztó igénybevétellel szembeni ellenállásra. Nagyobb anyagáramlást eredményező szerszám használatával növekszik a hegesztett kötés kisciklusú fárasztó igénybevétellel szembeni ellenállása [12].



5. ábra. Szemcseméret térkép a 6082-T6 ötvözet lineáris dörzshegesztéssel készült hegesztett kötésének keresztmetszetén [12]

3.2. Ellenállás-ponthegesztés és kombinált kötéstehnológiák alkalmazása

Az elmúlt években a LoCoMaTech elnevezésű nemzetközi kutatási projektnek köszönhetően az autópárhazban leggyakrabban alkalmazott 5754-H22, 6082-T6 és az 7075-T6 ötvözetek hegeszthetőségét elemeztük az ellenállásponthegesztés és a kombinált (ragasztott és ponthegesztett) kötéstehnológiák szempontjából. Jelen ötvözetek alakíthatósága az előzetes feldolgozás (hidegalakítás, kiválásos keményítés) okán szobahőmérsékleten korlátozott, erre ad megoldást egy új gyártástehnológia, az alakítással egybekötött hőkezelés (HFQ, solution heat treatment, forming, and in-die quenching) [10]. Ez a tehnológia azonban hatással van az alapanyagok hegeszthetőségére is, és megteremti annak lehetőségét, hogy a hegesztett kötések tulajdonságait a gyártástehnológiába illesztett elő- és utóöregítés alkalmazásával javítani lehessen. Munkánk során ennek a tehnológiának a hatását vizsgálatuk, részben fizikai szimulációra alapozva, a különböző alumíniumötvözetek ponthegesztett kötéseinek tulajdonságaira, valamint elemeztük a mechanikai és a kémiai úton történő oxideltávolítás kötéstulajdonságokra gyakorolt hatását [17]. A különböző kategóriájú alumíniumötvözeteken elvégzett ponthegesztési kísérletek során megállapítottuk, hogy a miközben jelentős szilárdságbeli különbség van a vizsgált alumíniumötvözetek között, addig a nyíró-szakítóerőben csak kis mértékű növekedés tapasztalható [11],[18]. A kötések teherviselőképesége kombinált kötéstehnológia (ragasztás és ponthegesztés) alkalmazásával jelentősen növelhető a kialakuló nagyobb kötési felületek miatt. A 6. ábrán különböző hőkezelési utak (elő- és utóöregítés, gyorsított öregítés) keménységeloszlásra gyakorolt hatása látható a 6082-T6 ötvözet esetén. Az egyes tehnológiai lehetőségek közül a ponthegesztést követő hagyományos mesterséges öregítés bizonyult a leghatékonyabbnak (R3), amellyel hatékonyan lehetett növelni a hőhatásövezet és a heglencse bizonyos részeinek keménységét, ugyanakkor így is jelentős kilágyult rész maradt a heglencsében.



6. ábra. Különböző hőkezelési utak (R1...R4) hatása a 6082-T6 ötvözet ellenállásponthegesztett kötésének keménységeloszlására [17]

A HFQ tehnológia bevezetése miatt szükséges hőkezelési utak tanulmányozása mellett a kutatási projekt keretében egy kétlépcsős maratósi módszer (első lépcső: NaOH, 10 s, 80-90 °C; második lépcső: 10-30 s, 30 °C, 50% HNO₃+2% HF) is kifejlesztésre került, amely hatékonyan bizonyult a 7075-T6 ötvözet felületén lévő alumíniumoxid hegesztést megelőző eltávolítására, amely a nyíró-szakítóvizsgálatoknál mért maximális erők szignifikáns növekedését eredményezte.

4. TAPASZTALATOK A ROBOTPROGRAMOZÁS TERÜLETÉN

Az ipari robot egy ipari automatizálásra alkalmazott, automatikus vezérlésű, újraprogramozható, többcélú manipulátor, amely legalább három vezérelt tengellyel rendelkezik, akár fix beépítéssel, akár mobil kivitelben. Alkalmos munkadarabok, szerszámok és a készülékek változtathatóan programozható mozgatásával a feladatok széles körének ellátására képes.

Elterjedésüknek elsődleges oka a termelési növekedése, a dolgozók számának csökkenése, rugalmas felhasználhatóságuk, valamint a műszaki fejlettség fejlődése. A robotok szerkezetük szerint lehetnek mechanikusak és elektronikusak. Az első robotok képeségei még korlátozottak voltak, de napjainkban már az ellenőrzéstől kezdve, a mozgatáson át egészen az önálló problémamegoldásig számos feladatra alkalmazhatóak.

2019. február 21-én adák át a Korszerű Anyagok és Intelligens Tehnológiák Felsőoktatási és Ipari Együttműködési Központ segítségével létrehozott robot laboratóriumot a Miskolci Egyetemen. A laboratórium létrehozásának fő célja a Rechen Hegesztőház Kft. és az Anyagszerkezetani és Anyagtehnológiai Intézet szoros együttműködése által lehetővé tenni a legkülönbözőbb szakmai, kutatási és oktatási feladatok közös megoldását.

A teljes rendszer összértéke meghaladja a 35 millió forintot, amely magában foglalja a Rechen Hegesztőház Kft. által biztosított KAWASAKI BA006N típusú hegesztő robotot, kiegészítő berendezéseket, hegesztő áramforrást és az egyéb berendezéseket. A laboratórium működéséhez a Pannocad Kft. elérhetővé tette a Robotmaster V7 hegesztés specifikus CAD/CAM szoftvert, amellyel korszerű körülmények között lehet elvégezni az off-line programozási feladatokat.

A Robotmaster V7 egy ipari robotokhoz készített CAD/CAM szoftver, amely sikeresen integrálja az off-line programozást, a szimulációt és a robotkód-generálást, így létrehozva egy, a korszerű robottehnológiák támogatására szolgáló programot, amely megoldást kínál a magas minőségi követelményekből, a hegesztőműhelyek termelési növekedéséből és a tapasztalt hegesztők hiányából adódó nehézségekre.

Rendkívül sokféle technológiát képes kezelni a Robotmaster, melyek lefedik az ipari robotok alkalmazásának jelentős részét. Ezek a technológiák, a vágás (lézer, plazma, vízsugaras), marás, kivágás, élettörés, hegesztés, polírozás, sorjázás, festés, felületkezelés, „part to tool” robotműveletek, additív műveletek és a bevonatolás.

A robotcella eszközei paraméterei az alábbiak:

Eszközök:

- Kawasaki BA006N 6 tengelyes MIG/MAG hegesztő robot (7. ábra),
- Lorch S3 Robomig XT áramforrás,
- Robotmaster V7 offline robotpálya programozó szoftver.

Paraméterek:

- Lorch S3 Robomig XT áramforrás: 320 A csúcsáram, 40% bekapcsolási idő mellett,
- Modern teljesítménymodulációs ívhegesztő üzemmódok (pl. mélybeolvadású impulzusív, duplaimpulzus ív, rövidzárlatos ív),
- On-line és off-line programozható 6 tengelyes hegesztő robot 1940 mm-es munkatartománnyal.

Néhány a robotcella ígéretes felhasználási területeiből:

- Hegesztéstechnológia fejlesztése,
- Ipari automatizálási feladatok megoldása,
- Robotcella szimuláció és tervezés,
- CAD/CAM alapú, robottól független pálya programozás,
- Szoftveres robotpálya optimalizálás és generálás,
- Robotkezelő és robotprogramozó szakképzések,
- Hallgató feladatok elvégzése,
- Nemzetközi posztgraduális szakemberképzés (IMORW).

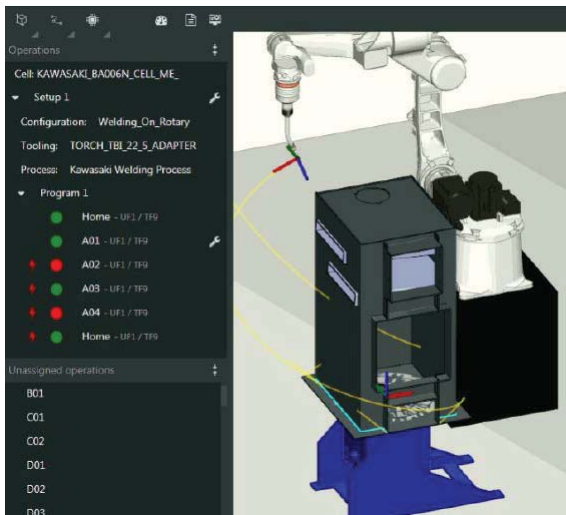
Az elmúlt évben a Rechen Hegesztőház Kft.-vel együttműködésben elvégzett ipari feladatok megoldása mellett több MSc szintű dolgozat és EWE/IWE szakmérnöki diplomaterv született jelen robotcella és a Robotmaster V7 felhasználásával. A számos munka közül kettő hegesztő szakmérnöki és egy MSc-s diplomatervet emelnénk ki.

Diplomaterv keretein belül a hallgató acél forgószárny robotizált hegesztését tervezte meg, hajtotta végre és szimulálta a Robotmaster V7 felületén. Az előállított előzetes hegesztési utasítások révén próbadarabokat készített a hegesztőcella alkalmazásával, amelyeket az MSZ EN ISO 15614-1-es szabvány szerint megkövetelt roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatoknak vetett alá, majd a vizsgálatok sikerességét követően elkészítette a forgószárny robotizált hegesztéséhez szükséges, gyártásban is alkalmazható hegesztéstechnológiai utasításokat. Dolgozat végén az addig elkészített hegesztéstechnológiai tervhez a Robotmaster szoftver segítségével létrehozta a forgószárny kiválasztott részegységének offline grafikus hegesztési programját és szimulációját [18].



7. ábra. Hegesztőrobot cella

Egy másik, hegesztő szakmérnöki diplomaterv készítése során két anyagátviteli mód összehasonlítására került sor szénacélok hegesztése során, melyekből megtudhatjuk, hogy a kötés minősége, költség szempontjából, melyik anyagátviteli mód az, amellyel a gyártást gazdaságosabbá tehetjük anélkül, hogy minőségbeli romlást eredményeznénk. A választott eljárás a napjainkban leggyakrabban alkalmazott huzalelektrodás védőgázos ívhegesztés. Az összehasonlítandó anyagátviteli módok pedig az impulzus íves anyagátvitel és a Lorch SpeedArc elnevezésű, mély beolvadást eredményező, modulált finomcseppes anyagátviteli módú eljárásváltozata. Mindkét anyagátviteli módnál ugyanazt a kevert, M21 típusú védőgázt alkalmaztuk. A kiválasztott anyagminőség S355J2 jelű acéllemez volt. Az anyagátviteli módok minőségi és gazdaságossági összehasonlításához, a már elkészült varratokon végzett roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatok eredményeit, valamint a hegesztés és előkészítési munkák folyamán felmerülő költségeket vettük figyelembe. A költségszámítások során a különböző az egyes eljárásváltozatoknál javasolt különböző élkialakításokra is tekintettel kellett lenni. Ahhoz, hogy a kötések és ezáltal az egyes eljárásváltozatok összehasonlíthatók legyenek, ki kellett zárni a személyi hibákat, így hegesztő robotot alkalmazásával készültek a hegesztett kötések [19].



8. ábra. Munkadarab hegesztésének tervezése a Robotmaster V7 programban

Egy MSc-s diplomaterv során a hallgató programozási feladatot látott el a Robotmaster V7 program segítségével, ami egy lemezkazán belső részének körbehegesztésének kidolgozását jelentette. A partner cégnél eddig a kazán hegesztése teljesen kézzel történt, de a Kawasaki kar beruházása után ez megváltozott. A hallgató az intézeti kollégák szakmai támogatásával megoldotta ezt a programozási feladatot, a megírt programot pedig bevezette a vállalat [20].

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt években jelentős tapasztalatokat sikerült szerezni a járműiparban alkalmazott nagyszilárdságú acélok és alumíniumötvözetek hegesztése és a kapcsolódó anyagvizsgálatok területén. A kísérleti kutatások a vizsgált ötvözetek hegeszhetőségének elemzését, valamint a hegesztett kötések tulajdonságainak javítását szolgálták, figyelembe véve az egyes szerkezeti elemek ismétlődő igénybevétellel szembeni ellenállását. A különböző technológiával készült nagyszilárdságú acél és alumínium ötvözetek hegesztett kötéseinek nagyciklusú fáradásra és a fáradásos repedésterjedésre meghatározott tervezési görbéi közvetlenül felhasználhatók az ismétlődő igénybevételnek kitett szerkezetek tervezéséhez. Az eredményekből több PhD értekezés és rangos nemzetközi publikáció készült.

Több vállalat együttműködésében létrejött a FIEK Hegesztő Robot Laboratórium, amely elkezdte a működését, és a hallgatói diplomatervekhez és a szakcsoporti kutatómunkához kapcsolódó kísérleti feladatok biztosítása mellett ipari feladatok megoldását is lehetővé tette.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutatómunka az EFOP-3.6.1-15-2016-00011 jelű "Fiatalodó és Megújuló Egyetem - Innovatív Tudásváros - a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése" projekt részeként - a Széchenyi 2020 keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. IRODALOM

- [1] BALOGH, A.; LUKÁCS, J.; TÖRÖK, I. (szerk.): *Hegeszthetőség és hegesztett kötések tulajdonságai: Kutatások járműipari acél és alumínium-ötvözet anyagokon*, Miskolci Egyetem, ISBN: 9789633580813, 2015. 324 p.
- [2] TISZA, M.: *Járműipari acélfejlesztések*, Gép, 63, 11, 2012. pp. 3-8.
- [3] KOMÓCSIN, M.: *Nagyszilárdságú acélok és hegesztésük*, Hegesztéstechnika, XIII, 1, 2002. pp. 5-9.
- [4] GÁSPÁR, M.: *Nemesített nagyszilárdságú szerkezeti acélok hegesztéstechnológiájának fizikai szimulációra alapozott kutatása*, PhD értekezés (témavezető: Dr. Balogh András), Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, Miskolci Egyetem, 2016.
- [5] DOBOSY, Á.: *Tervezési határgörbék nagyszilárdságú acélokból készült, ismétlődő igénybevételű szerkezeti elemekhez*, PhD értekezés (témavezető: Dr. Lukács János), Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, Miskolci Egyetem, 2018.
- [6] MOBARK, H.: *Fatigue Strength and Fatigue Crack Propagation Design Curves for High Strength Steel Structural Elements határgörbék nagyszilárdságú acélokból készült, ismétlődő igénybevételű szerkezeti elemekhez*, PhD értekezés (témavezető: Dr. Lukács János), Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, Miskolci Egyetem, 2020.
- [7] MOBARK, H.; LUKÁCS, J.: *Mismatch effect on fatigue crack propagation limit curves of GMAW joints made of S960QL and S960TM type base materials*, Design of Machines and Structures, 10, 1, 2020. pp. 28-38.
- [8] KONCSIK, Zs.: *Lifetime analyses of S960M steel grade applying fatigue and fracture mechanical approaches*, Solutions for Sustainable Development: Proceedings of the 1st International Conference on Engineering Solutions for Sustainable Development, (ICSSD 2019), 2019. pp. 316-324.
- [9] KONCSIK, Zs.; NAGY, Gy.; LUKÁCS, J.: *COD assessment of S960M grade steel at different tem-*

- peratures, 72nd IIW Annual Assembly and International Conference, IIW-DOC X-1958-19, 2019
- [10] GÁL, G.; GÁL, V.; Kovács, P. Z.; KUZSELLA, L.; LUKÁCS, Zs; TISZA, M.: *A LoCoMaTech H-2020 projekt alakítástechnológiai vonatkozásai és eredményei*, Multidiszciplináris tudományok: A Miskolci Egyetem közleménye, 9, 4, 2020. pp. 91-104.
- [11] GÁSPÁR, M.; TERVO, H; KAIJALAINEN, A.; DOBOSY, Á; TÖRÖK, I.: *The Effect of Solution Annealing and Ageing During the RSW of 6082 Aluminium Alloy*, Lecture Notes in Mechanical Engineering, 49, 2018. pp. 694-708.
- [12] MEILINGER, Á.: *A lineáris dörzshegesztés technológiai paramétereinek optimalizálása*, PhD értekezés (témavezető: Dr. Török Imre), Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, Miskolci Egyetem, 2016.
- [13] LUKÁCS, J.; MEILINGER, Á., PÓBALAKY, D.: *High cycle fatigue and fatigue crack propagation design curves for 5754-H22 and 6082-T6 aluminium alloys and their friction stir welded joints*, Welding in the World, 62, 4, 2018. pp. 737-749.
- [14] SISODIA, R.; GÁSPÁR, M., DRASKÓCZI, L.: *Effect of post-weld heat treatment on micro-structure and mechanical properties of DP800 and DP1200 high-strength steel butt-welded joints using diode laser beam welding*, Welding in the World, 64, 4, 2020. pp. 671-681.
- [15] NACSA, G.; GYURA, L.: *Effect of flame straightening on material properties of Q+T high strength steels*, XXXIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, University of Miskolc, Paper B-6, 2019.
- [16] PRÉM, L.; BALOGH, A.; BÉZI, Z.: *Az autóipari ferrit-martensites DP acélok ellenállás-ponthegesztési technológiájának fejlesztése a végelemes modellezés és a kísérletes kutatás együttes alkalmazásával*, Gép, 67, 1-2, 2016. pp. 45-53.
- [17] KOVÁCS, J.; NÉMETH, G.; SISODIA, R., GÁSPÁR, M.; JÁMBOR, P.: *Hőhatásövezeti tulajdonságok fizikai szimulációra alapozott vizsgálata 7075-T6 autóipari alumíniumötvözet esetén*, Hegesztéstechnika, XXX, 1, 2019. pp. 47-52.
- [18] NÉMETH, A.; DOBOSY, Á; TÖRÖK, I.: *Különböző alumínium ötvözetek ellenállás-ponthegesztett kötéseinek elemzése*, Multidiszciplináris tudományok: A Miskolci Egyetem közleménye, 9, 4, 2020. pp. 167-181.
- [18] ALFÖLDI, D.: *Ipari robotok alkalmazása a hegesztett acélszerkezetek gyártásában*, EWE/IWE Diplomaterv (témavezető: Dr. Dobosy Ádám), Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet, 2020.
- [19] UNGVÁRSZKI, F.: *Anyagátviteli módok összehasonlítása védőgázos huzalelektrodás ívhegesztésnél*, EWE/IWE Diplomaterv (témavezető: Dr. Gáspár Marcell), Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet, 2020.
- [20] KOVÁCS, I.: *Robotosított hegesztéstechnológia tervezése off-line pályagenerálás segítségével*, MSc Diplomaterv (témavezető: Dr. Németh Alexandra), Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet, 2020.



Megoldásokban mindig az élen

Ipari- orvosi és laborgázok gyártása, forgalmazása
Hegesztési szaktanácsadás
Hegesztő eszközök forgalmazása
Hegesztés-biztonsági felülvizsgálatok
Élelmiszeripari gázellátás
Költségcsökkentő és környezetvédelmi technológiák



Gázok és technológiák a SIAD-tól

SIAD Hungary Kft.

3527 Miskolc, Zsigmond u. 32-34. • Tel./Fax: 46/501-130
 E-mail: siad@siad.hu • www.siad.hu



LORCH

**TEDD A
CSAPATODAT
ERŐSEBBÉ**



**LORCH
COBOT HEGESZTÉS**



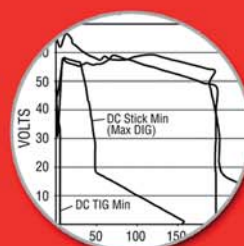
Szerviz és validálás



Automatizálás



Ipari gázok



Szaktanácsadás



Autogéntechnika



Vágó berendezések



Hegesztő anyagok



Munkavédelem

IDEJE GÁZT ADNI!

FERROLINE, INOXLINE, ALULINE
GÁZKEVERÉKEK A HATÉKONY
HEGESZTÉSHEZ

www.messer.hu

MESSER
Gases for Life

BÁRMELY HEGESZTŐ KÜLSŐ KARJA LEHET

Új
termék!

A CoWelder egy komplett, minden alkatrészt tartalmazó hegesztőrobot megoldás, amely a meglévő gyártósorba szerelhető. A munkadarabok gyártását a mennyiségtől és a gyártás gyakoriságától függetlenül hatékonyabbá teszi.

A rugalmas és könnyen programozható cobottal növelheti a munka hatékonyságát a szakképzett hegesztők felszabadításával, akik eközben más feladatokat végezhetnek, ami idő- és költségmegtakarítással jár.



MIGATRONIC
WELDING VALUE

SIGMA SELECT - HOGY MEGFELELJEN A JÖVŐNEK

A moduláris felépítésű hegesztőgép képes átalakulni, hogy a különféle gyártási igényeknek megfeleljen. Csak új programokat és hegesztési funkciókat kell hozzáadnunk.

A Sigma Select a jövő megoldása, a módosítható beállításoknak köszönhetően éveken át képes lesz megfelelni az Ön üzemében előforduló hegesztési kihívásoknak.



Migatronik Kft.
6000 Kecskemét, Szent Miklós u. 17/A
Tel.: 06-76-505-969
Mobil: 06-30-9559-012
Mobil: 06-30-3535-403
info@migatronik
migatronik.hu