

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



65 éves
a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke
(ma: Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet)
1950-2015

55 éves a Hegesztő Szakmérnök-képzés Miskolcon

40 éve hunyt el
Dr. Zorkóczy Béla, tanszékalapító professor

2016/1-2.

86 oldal
LXVII. évfolyam

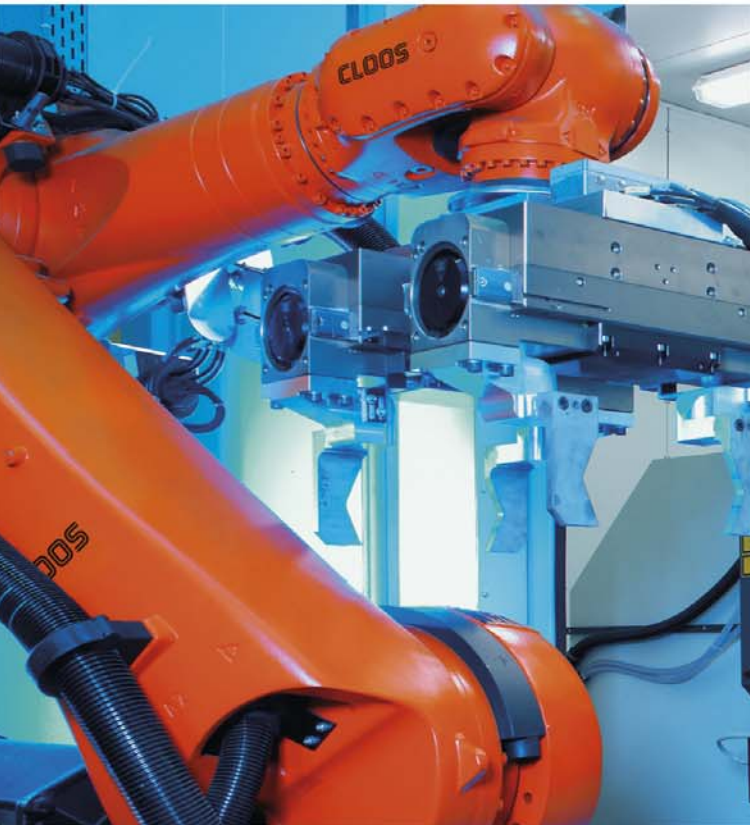
CLOOS

Weld your way.



CLOOS GÉPEKKEL HEGESZTHET...

- minden fémes alapanyagot!
- minden anyagvastagságot
0,5 mm-től 300 mm-ig!
- innovatív hegesztési eljárásváltozatokkal!
- pontosan úgy, ahogy az igény megköveteli:
manuálisan vagy automatizálva!
- hatékonyan, gazdaságosan és egyedileg!
- sokféle kiegészítő szervízzolgáltatással!
- minden iparágban!
- világszerte!
- legnagyobb vevői elégedettséggel!
- már csaknem 100 éve!



GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

műszaki, vállalkozási, befektetési, értékesítési, kutatás-fejlesztési, piaci információs folyóirata

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczeni Ádám

elnök

Vesza József

főszerkesztő

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

főszerkesztő-helyettesek

Dr. Barkóczy István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálinkás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Rittinger János

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Timár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

A szerkesztésben közreműködött:

Dr. Balogh András

Dr. Lukács János

Dr. Nagy Gyula

Dr. Tisza Miklós

Dr. Török Imre

TISZTELT OLVASÓ!

Jelen lapszám megjelenését három évforduló motiválta.

A Nehézipari Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karának Mechanikai Technológiai Tanszéke, a Kar 1949-es miskolci alapítását követő évben, 1950-ben jött létre. A Tanszék első, egyben alapító vezetője Zorkóczy Béla professzor volt, aki 1968-ig állt a Tanszék élén. Őt Romvári Pál professzor követte, 1968-tól 1990-ig, majd Tisza Miklós professzor 1991 és 2013 között. Az Egyetem profiljának bővülése, a három műszaki kar mellett a nem műszaki karok megjelelése, magával vonta az intézmény, a Kar képzési palettájának szélesedése pedig a Kar nevének változását, előbbire 1990-ben, utóbbira pedig 2006-ban került sor. A Mechanikai Technológiai Tanszék így a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának szervezeti egysége lett. A 2013-as esztendőben, az egyetemi struktúraváltási program részeként, a Gépészmérnöki és Informatikai Kar tanszéki struktúrája intézeti struktúrává alakult át. A Mechanikai Technológiai Tanszékből két intézeti tanszéket magába foglaló Intézet alakult, a 2013. november 1-jétől létező Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet tehát a Tanszék jogutódja. Az Intézet vezetését az alapítás évében Tisza Miklós professzor látta el. A lapszámot létrehozó első évforduló tehát a Tanszék (Intézet) alapítása óta eltelt 65 esztendő.

1961-ben, a Mechanikai Technológiai Tanszék szervezésében és irányításával, Zorkóczy professzor vezetésével, hazánkban elsőként elindult a Hegesztő szakmérnök-képzés. A képzés, több reformon átesve, a nemzetközi elismerést fokozatosan megszerezve, napjainkban Nemzetközi hegesztő szakirányú to-vábbképzési szakként, egyben IWE/EWE képzésként is működik, hazai és nemzetközi elismerésű diplomát adva a résztvevőknek. Az alapítástól számítva, napjainkban a 24. évfolyam hallgatja a szakterület legkorszerűbb ismereteit. A lapszámot motiváló második évforduló tehát a Hegesztő szakmérnök-képzés alapításának 55. évfordulója.

A Tanszék és a hegesztő szakmérnök képzés alapítója, Zorkóczy professzor, 1975-ben hunyt el. 40 évvel halála után, a mai utódok tisztelettel őrzik emlékét, lapozzák mára megsárgult tankönyveit, és – akik személyesen is ismerhették – szeretettel idézik fel vele kapcsolatos emlékeiket.

E három évforduló jegyében állítottuk össze a lapszám tartalmát. A Tanszék, illetve Intézet és a hegesztő szakmérnök képzés történetet bemutató, áttekintő jellegű közlemények mellett, a szám nagyobb részben szakmai publikációkat tartalmaz. Olyan dolgozatok ezek, amelyek az Intézetben kutató PhD hallgatók, pályájukat kezdő oktatók munkáin keresztül adnak bepillantást az Intézet életébe. Legfiatalabb munkatársaink tehetsége, szorgalma és kitartó munkája, párosulva doktori témavezetőik tapasztalatával és útmutatásaival, sikeres PhD védéseket vetít előre, megtartva ezzel az egykori Mechanikai Technológiai Tanszék, a mai Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet nemes hagyományait, szakmai erejét.

*Prof. Dr. Lukács János
intézetigazgató*

Miskolc, 2016. január

A szerkesztésért felelős: Vesza József. A szerkesztőség címe: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.
Telefon/fax: 06-46/379-530, 06-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu
Kiadja a Gépipari Tudományos Egyesület, 1027 Budapest, Fő u. 68. Levélcím: 1371 Bp. Pf.: 433.
Telefon: 06-1/202-0656, fax: 06-1/202-0252, e-mail: a.gaby@gteportal.eu, internet: www.gte.mtesz.hu
A GÉP folyóirat internetcíme: <http://www.gepujsag.hu>
Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: Dr. Igaz Jenő ügyvezető igazgató.

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Telefon: 06-46/379-530 • e-mail: gazdasz@chello.hu

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Rt. Hírlap Üzletága 1008 Budapest, Orczy tér 1.

Előfizethető valamennyi postán, kézbesítőknél, e-mailen: hirlapelofizetes@posta.hu, faxon: 06-1/303-3440. További információ: 06-80/444-444

Egy szám ára: 1260 Ft. Dupla szám ára: 2520 Ft.

Külföldön terjeszti a Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat,
H-1389 Budapest, Pf. 149. és a Magyar Média, H-1392 Budapest, Pf. 272.

Előfizethető még közvetlenül a szerkesztőségben is.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

A megjelent cikkek lektoráltak.

A kiadvány a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával jelenik meg.

TARTALOM

1. Lukács J.:

65 éves a Mechanikai Technológiai Tanszék, az Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet 5
Az Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet jelenlegi formájában a 2013-as kari struktúraváltás eredményeként alakult meg. Az Intézet az új, két tanszék egyetemes szerkezetben is elkötelezetten folytatni kívánja a Mechanikai Technológiai Tanszék immár 65 éves múltra visszatekintő sikeres oktatási és kutatási tevékenységét.

2. Tisza M.; Török I.:

Ötvenöt éve indult Magyarországon a hegesztő szakmérnök-képzés 11
A Nehézipari Műszaki Egyetemen Zorkóczy Béla professzor, a Mechanikai Technológiai Tanszék alapító vezetője 1960-ban megszervezte a posztgraduális hegesztő szakmérnök-képzést. A többször változtatott tanterv szerinti képzés ma már az egész világon elfogadott nemzetközi oklevelet (IWE diplomát) ad a végzősöknek.

3. Gáspár M.; Balogh A.:

Gleeble próbatest fejlesztése a szimulált hőhatásövezet szívósságának vizsgálatához 19
Szerzők a nagyszilárdságú acélok hegesztett kötéseinek hőhatásövezeti sávjait a Gleeble 3500 típusú termomechanikus fizikai szimulátorral vizsgálták. A nagy hűléssebességek megvalósítására a standard próbatestek nem bizonyultak alkalmasnak. A cikkben bemutatott új típusú, két végén furatos próbatest intenzívebb belső hűtést tesz lehetővé.

4. Budai D.; Tisza M.; Kovács P. Z.:

Autóipari alumínium ötvözetek alakíthatóságának vizsgálata növelt hőmérsékletű alakítás esetén 23
Az alumínium ötvözetek autóipari felhasználásával a saját tömeg nagyobb mértékben csökkenthető, mint a nagyszilárdságú acélokkal. Az alumíniumötvözetek alakítása és hegesztése mindazonáltal jelentősen nehezebb, mint az acéloké. Szerzők az EN AW 5754 jelű (ALMg3) alumíniumötvözet növelt hőmérsékletű alakíthatóságát vizsgálták. Az adott ötvözet alakíthatósága 200 °C-on a szobahőmérsékleti érték duplája volt.

5. Tóth D.; Kovács P. Z.; Tisza M.:

A 3D nyomtatás (FDM) paramétereinek vizsgálata, optimalizálása 29
A polimerhuzalos FDM eljárás az egyik legolcsóbb és legpraktikusabb módszer, amellyel néhány darab termék drága szerszámozás nélkül is előállítható. A polilaktid (PLA) huzal alkalmazásával végzett vizsgálatok azt mutatták, hogy a nyomtatási paraméterek optimális beállításával a termék szilárdsági és alakíthatósági jellemzői jelentősen javíthatók.

6. Szilágyiné Bíró A.; Tisza M.:

A nitridált kéreg porozitásának csökkentése ciklikus Floe gáznitridálással 33
A gáznitridálás az egyik legismertebb termokémiai eljárás, amellyel az alkatrészek vagy szerszámok felületi tulajdonságai javíthatók. Szerzők a Floe eljárás továbbfejlesztésével egy olyan ciklikus technológiai variánst alkalmaztak, amellyel a vegyületi (ún. fehér) réteg vastagsága és porozitása csökkenthető.

7. Kerekes G.; Felde I.; Kocsisné Baán M.:

Edzéshez alkalmazott hűtőközegek hűtőképessége paraméterfüggőségének vizsgálata 39
Az edzés során létrejövő szövetszerkezet erőteljesen függ az alkalmazott hűtőközegetől. Szerzők az ISO 9950 szabvány szerinti módszerrel különböző hűtőközegeket (víz, polimeroldat, ásványi olaj és növényi olaj) hasonlítottak össze. Az egyik lényeges következtetésük szerint az ásványi olajak növényi eredetű olajokkal jól helyettesíthetők.

8. Prém L.; Bézi Z.; Balogh A.:

Az autóipari ferrit-martensites DP acélok ellenállásponthegesztési technológiájának fejlesztése a végelemes modellezés és a kísérletes kutatás együttes alkalmazásával 45
Az autóipari ferrit-martensites DP acélok ellenállásponthegesztését az alapanyag felkeményedési hajlama miatt a lágyacéloktól eltérő módon kell végezni. Szerzők vizsgálati szerint megfelelő tulajdonságú pontvarratot szakaszos energiabevitelrel lehet készíteni. Az impulzusparaméterek megválasztásához a kísérleti költségek csökkentése végett a végelemes analízist célszerű segítséggül hívni.

9. Dobosy Á.; Lukács J.:

A termomechanikus nagyszilárdságú acélok optimális hegesztési munkaablakának meghatározása 55
A nagyszilárdságú acélokat tartalmazó hegesztett szerkezeteket annak ellenére, hogy többnyire ismétlődő terhelésnek vannak kitéve, nagyon gyakran statikus terhelésre tervezik és méretezik. A cikk a termomechanikus S960M acélok optimális hegesztési munkatartományának meghatározására irányuló kutatási eredményeket ismerteti.

10. Meilinger Á.; Török I.:

Lineáris dörzshegesztéssel készült kötések jellemzői kis-ciklusú fárasztó igénybevétel esetén 63
Az alumíniumötvözetek ömlesztő hegesztése az acélokhöz képest jóval nehezebb feladat. A sajtoló hegesztések közé tartozó lineáris dörzshegesztés segít a hegeszhetőségi nehézségek elhárításában. Szerzők a cikkben a kis-ciklusú fárasztásnak alávetett, lineáris dörzshegesztéssel hegesztett alumíniumötvözetek hegesztett kötéseinek viselkedését elemzik.

11. Somoskői G.; Török I.:

A CMT PIN hegesztett szög geometriájának elméleti és gyakorlati vizsgálata 73
A VFI CMT (hideg anyagátvitelű) eljárásváltozatával rövid huzaldarabokat (tüskéket) lehet fémtárgyak felületéhez hegeszteni, amelyekkel a fém-polimer elempár közötti ragasztott kötés szilárdsága növelhető. Szerző a cikkben a tüske geometriáját befolyásoló hegesztési paramétereket elemzi.

12. Pósalaky D.; Lukács J.; Török I.:

A 6082-T6 nagyszilárdságú alumíniumötvözet hegeszhetőségi problémái és a hegesztett kötés tulajdonságai 77
A cikk a Mg-Si ötvözetű, a járműiparban széleskörűen alkalmazott 6082-T6 nagyszilárdságú alumíniumötvözet hegeszhetőségi kérdéseivel foglalkozik. A vizsgálatok célja olyan hegesztett kötések létrehozása, amelyek a szerkezetekre ható ciklikusan ismétlődő terhelésnek legjobban ellenállnak.

65 ÉVES A MECHANIKAI TECHNOLÓGIAI TANSZÉK, AZ ANYAGSZERKEZETTANI ÉS ANYAGTECHNOLÓGIAI INTÉZET

Dr. Lukács János *

Amint azt a cím is mutatja, az egykori Mechanikai Technológiai Tanszék jelentős szervezeti átalakuláson esett át. Ebből eredően, e rövid írás szakít a korábbi gyakorlattal, nem tekinti át részletesen a teljes 65 esztendő, elsősorban a tanszék, illetve az intézet utolsó öt évére fókuszál. Ugyanakkor, hivatkozik azokra a folyóirat lapszámokra, illetve kiadványokra, amelyekből a teljes történet részletesebben is megismerhető, a töretlen fejlődés és a végzett munka nyomon követhető.

A Mechanikai Technológiai Tanszék rövid története (1950-2013)

A Mechanikai Technológiai Tanszék a Nehézipari Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karának 1949-es miskolci alapítását követő évben, 1950-ben jött létre. Az oktató, nevelő munka megszervezése és megvalósítása Zorkóczy Béla professzor (1898. március 3. – 1975. november 18.) vezetésével, a mai Földes Ferenc Gimnázium épületében kezdődött. A tanszék 1951-ben költözött át az akkor még javában épülő Egyetemvárosba, az akkori főépület oldalszárnyába (ma A/2. épület, Kőolaj és Földgáz Intézet), ahol egyben az első műhely-labor rész is kialakításra került. Ez további lendületet adott a tantárgyak és a szakmai profil kialakításának. 1952-ben vált ki a tanszékből az akkori Mechanikai Technológiai II. Tanszék, amelyből később az egykori Gépgyártástechnológiai Tanszék és a Szerszámgépek Tanszéke alakult meg. Az oktató-nevelő munka mellett elkezdődött az ipari kapcsolatok kiépítése, az ipari feladatok megoldása, valamint a tudományos kutató munka is. Zorkóczy professzor a Vasipari Kutató Intézet (VASKUT) Hegesztési Osztályának a vezetője is volt egyúttal, 1958-ban pedig, a Magyar Tudományos Akadémia kezdeményezésére, Nehézgépészeti Akadémiai Munkaközösség jött létre az egyetemen. Ennek a munkaközösségnek, amely több tanszékhez tartozott, és amelyet ma interdiszciplináris kutató teamnek hívnánk, a vezetését a tanszék mindenkor vezetője látta el.

1961-ben, a tanszék szervezésében és irányításával, hazánkban elsőként elindult a Hegesztő szakmérnök képzés. Az egyetem, illetve az Egyetemváros folyamatos fejlődése újabb épületek megépítését is eredményezte, így 1965-ben adták át a

műhelycsarnokot (C/2. épület), 1966-ban pedig az új főépületet (A/4. épület). A tanszék ezekkel együtt került a jelenlegi helyére, az új főépület földszintjére és alagsorába, illetve a műhelycsarnok egyik hajójába, megtartva egy labor egységét a régi főépületben (A/1. épület) is. Zorkóczy professzor 1968-ig vezette tanszéket, akit Romvári Pál professzor (1929. június 27. – 2008. december 25.) követett.

1970-ben átfogó tantervi reformra került sor a Gépészmérnöki Karon, amelynek keretében kialakult annak a három ágazati iránynak – hegesztő, hideg-képlékenyalakító, hőkezelő – a képzési struktúrája is, amelynek a vezetője a tanszék lett. Ezzel párhuzamosan négy szakcsoport alakult a tanszéken, az Anyagvizsgáló, a Hegesztő, a Hideg-képlékenyalakító, valamint a Hőkezelő szakcsoport, továbbá létrejött a Gépipari Technológiai Intézet (GTI) hegesztő kutatócsoportja. Az 1958-ban alakult akadémiai munkaközösség 1978-ban, átszervezés következtében megszűnt, munkatársai TKFA kereten és az illetékes tanszékek státuszain folytatták tevékenységüket. Erre az évtizedre (1977) esett a Hegesztő szakmérnök képzés első reformja is.

Az 1980-as évekre kidolgozásra került a Képlékenyalakító szakmérnöki szak tanterve és 1984-ben ezen a szakmérnöki szakon is indult képzés. Az évtized második felére, egy újabb oktatási reform eredményeként, kialakításra és bevezetésre került a moduláris rendszerű oktatás. Ebben a tanszék három főmodul, az anyagtudományi, a hegesztéstechnológiai és a képlékenyalakítási főmodul vezetője lett, továbbá több fő- és mellékmodulban vállalt szerepet. Az évtized közepétől megindult angol nyelvű képzés újabb oktatási feladatokat jelentett, így a tanszék tárgyainak egy része ezen az oktatási palettán is megjelent.

Az egyetem profiljának bővülése, a nem műszaki képzések egymás utáni megjelenése magával vonta az egyetem nevének változását, az intézmény 1990. július 1-től Miskolci Egyetem néven működik. Romvári professzor 1990. december 31-ig vezette a tanszéket, akit Tisza Miklós professzor követett. Hazánkban 1993-tól vezették be, fokozatosan, a doktori (PhD) képzést és fokozatszerzést. A tanszék a Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola programjában vállalt és vállal jelentősebb

* egyetemi tanár, intézetigazgató

szerepet, részt vett és – kisebb mértékben ugyan – de ma is részt vesz a Hatvani József Informatikai Doktori Iskola tevékenységében is. A hegesztő szakmérnök képzésben 1993-ban történt az első lépés a nemzetközi elismertetés terén, ekkortól volt lehetőség a Bécsi Hegesztési Intézettel (SZA) közös európai hegesztőmérnöki diploma (EWE) kiadására, amelyre saját jogon – második lépésként – 1998-tól kerülhetett sor (EWE/IWE).

A XXI. század első évtizedének legfontosabb változását, nemcsak a tanszék, hanem a magyar felsőoktatás életében is, a bolognai rendszerű képzés bevezetése jelentette. A korábbi, osztatlan (esetünkben 5 éves) egyetemi képzést az alap- és mesterképzés (BSc és MSc) rendszere váltotta fel, mindkét szinten szakirányokkal. A BSc szintű képzés a karon a 2005/2006. tanév első félévében, tehát 2005 szeptemberében indult, a tanszék az anyagtechnológiai szakirány gondozója lett, és napjainkban is az. Az MSc szintű képzés, értelemszerűen később, a 2008/2009. tanév második félévében, vagyis 2009 februárjában kezdődött, amelyben a tanszék az alkalmazott anyagtudományi, az anyagtechnológiai, valamint a hegesztés-technológiai szakirányok vezetője lett, és további jelentős szerepet vállalt a CAD/CAM szakirányban. A képzés területén lezajlott átalakulások mellett a kar neve 2006-ban Gépészmérnöki és Informatikai Karra változott. Az évtized végére (2009) a hegesztő szakmérnök képzés Nemzetközi Hegesztő Mérnök (IWE/EWE) képzéssé alakult, továbbá a tanszék bekapcsolódott a Nemzetközi Hegesztett Szerkezet tervező Mérnök (IWSD) képzésbe is (2010).

Az MSc tantervek 2011-es átdolgozása során a tanszék két korábbi szakirányát egyesítette, korszerű anyagok és technológiák néven.

A tanszék és a hegesztő szakmérnök képzés történetéről bővebben olvashatunk az [1], [2] és [3] folyóiratokban, valamint a [4] és [5] kiadványokban. Újabb részletek ismerhetők meg annak a tudományos emlékülésnek az anyagából [6], amelyre a Miskolci Egyetem alapításának 50. évében, Romvári professzor 70. éves köszöntése alkalmából került sor (1999. június 29.), az ugyanezen alkalomra írott cikkből [7], valamint a Romvári professzor halálakor megjelent méltatásból [8] és a halálának évfordulóján, a tiszteletére megrendezett emlékülés (2010. január 22.) és emlékkiállítás anyagából [9]. További adalékok találhatóak még abban a kiadványban [10], amely Béres Lajos, Kovács Ferenc és Pirkó József születésének 70. évfordulója alkalmából megtartott tudományos ülésre (2002. június 6.) készült.

Az Anyagszerkezzettani és Anyagtechnológiai Intézet

A 2013-as esztendőben, az egyetemi struktúraváltási program részeként, a Gépészmérnöki és Informatikai Kar tanszéki struktúrája intézeti struktúrává alakult át. Ez a szervezeti változás három módon ment végbe: egyrészt korábbi tanszékek egyesültek intézetekké, másrészt korábbi tanszékek váltak – lényegében változatlan formában – intézetekké, harmadrészt – és ez egyedül a Mechanikai Technológiai Tanszékkel történt így – egy tanszék alakult át két intézeti tanszéket magába foglaló intézetté. Az Anyagszerkezzettani és Anyagtechnológiai Intézet tehát, amely 2013. november 1-jétől létezik, a Mechanikai Technológiai Tanszék jogutódja.

Az intézet két intézeti tanszékből áll. Az egyik a Mechanikai Technológiai Intézeti Tanszék, amely tevékenységében és nevében is utal az 1950-es alapítás óta eltelt időszakra; a másik a Szerkezzettantani Intézeti Tanszék, amely az első ilyen nevű egység a hazai felsőoktatásban, és amelynek tevékenysége a nevével jelzett, integráló jellegű diszciplínára fókuszál.

Az intézet igazgatói feladatait 2013-ban Tisza Miklós professzor látta el, 2014. január 1-től pedig az igazgató Lukács János professzor. Az intézet, illetve az intézeti tanszékek munkatársai, 2015. decemberében, a következő felsorolás szerinti.

Mechanikai Technológiai Intézeti Tanszék (intézeti tanszékvezető: Dr. Tisza Miklós)

Hegesztő Szakcsoport

- Dr. Balogh András ny. egyetemi docens
- Dr. Béres Lajos ny. egyetemi docens
- Bulla Péter Ágoston PhD hallgató
- Gáspár Marcell Gyula tanársegéd
- Fodorné Cserépi Mariann tanársegéd
- Meilinger Ákos tanársegéd, levelező PhD hallgató
- Prém László tanársegéd
- Dr. Török Imre c. egyetemi tanár

Hőkezelő Szakcsoport

- Dr. Frigyk Gábor ny. egyetemi docens
- Kerekes Gábor tanársegéd, levelező PhD hallgató
- Kocsisné dr. Baán Mária egyetemi docens
- Dr. Kuzsella László egyetemi docens
- Szilágyiné Biró Andrea tanársegéd
- Szabó Endre ny. egyetemi adjunktus

Képlékenyalakító Szakcsoport

- Budai Dávid PhD hallgató
- Dr. Gál Gaszton c. egyetemi docens
- Dr. Kiss Antal c. egyetemi docens
- Dr. Kovács Péter egyetemi docens
- Dr. Lukács Zsolt egyetemi docens
- Dr. Tisza Miklós egyetemi tanár
- Tóth Dénes PhD hallgató

Szerkezetintegritási Intézeti Tanszék (intézeti tanszékvezető: Dr. Lukács János)

- Cserjésné Sutyák Ágnes tanszéki mérnök
- Dobosy Ádám PhD hallgató
- Dr. Gál István ny. egyetemi adjunktus
- Dr. Koncsik Zsuzsanna adjunktus
- Dr. Lukács János egyetemi tanár
- Dr. Marosné dr. Berkes Mária egyetemi docens
- Dr. Nagy Gyula ny. egyetemi docens
- Németh Alexandra Kitti PhD hallgató
- Pósalaky Dóra PhD hallgató
- Dr. Tóth László ny. egyetemi tanár

Nem oktató munkatársak

- Alexáné Farkas Marianna gazdasági ügyintéző
- Bartók András műszaki szolgáltató
- Csukás Géza tanszéki mérnök
- Csurilláné Balogh Ágnes laboráns
- Kecskés-Kristóf Sándor műszaki ügyintéző
- Kovács Ferencné ny. laboráns
- Petrovics András műszaki szolgáltató
- Szántó Lászlóné tanszéki mérnök
- Szegezcki Tiborné igazgatási ügyintéző
- Szentpéteri László tanszéki mérnök
- Szentpéteri Lászlóné műszaki szolgáltató

A BSc tantervek átfogó kari reformjára, valamint a Járműmérnöki szak tantervének kidolgozására már az intézeti keretek között került sor, 2014-ben. Ezzel párhuzamosan az intézet a két, még meglévő MSc szakirányát összevonta, anyagtechnológiai és hegesztéstechnológiai szakirány néven.

Tanszéki, intézeti kutató munka

A tudományos és az ipari (alkalmazott) kutatási tevékenység a Mechanikai Technológiai Tanszéknek hagyományosan erős oldala volt, amelyet az Anyagszerkezettai és Anyagtechnológiai Intézet erre építve és ennek szellemében folytat tovább. Az első közel negyven évben a hagyományos ipari K+F munkáké volt a meghatározó szerep, amelyek a rendszerváltás utáni gazdasági visszaesés, majd ipari és vállalati átrendeződés időszakában jelentősen

lecsökkentek. Nagyjából erre az időszakra esett a kutatás irányítás hazai rendszerének változása, a nemzetközi kutatási vérkeringésbe való intenzívebb bekapcsolódás lehetővé válása, az országos, a tárcaszintű és az első nemzetközi kutatási projektek megjelenése.

A tanszék ezekben a projektekben is megtalálta helyét, kari szinten meghatározó szerepet vállalva a feladatok megoldásában. Működése negyedik évtizedének második felében, majd ötödik és hatodik évtizedében eredményes kutatásokat folytatott OKFT G-IV. (alakítás), OKFT G-VI. (oktatás), OTKA, MTA, PFP, FKP pályázatokban, Phare, FEFA, bilaterális Tét (német, szlovén, ukrán, japán, koreai, francia) programokban, COST, CIPA, Inco-Copernicus, Leonardo, NATO Sfp, FP5, FP6, FP7 és Eureka projektekben, majd EU társfinanszírozott projektekben (például HEFOP, GVOP). 1996 és 2006 között MTA Támogatott Kutatóhely is működött a tanszék keretei között.

A 2000-es évek második fele és a 2010-es évek eleje jelentős változásokat hozott a felsőoktatás finanszírozása területén, amely érdemi hatással volt az ipari K+F munkákra is. A helyzet mindkét oldalt érintette, az egyetemek csökkenő költségvetési támogatása a K+F típusú bevételek működési célú felhasználását kényszerítette ki, a szakképzési, illetve az innovációs támogatásokban bekövetkezett változások pedig a forrás oldal lehetőségeit szűkítették, illetve egyes esetekben meg is szüntették. Ez csökkentette a vállalási készséget, ezáltal csökkentek az ilyen eredetű bevételek is. Az utóbbi két esztendő (2014-2015) kedvezőbb tendenciáinak folytatódása visszaállíthatja a korábbi, kedvező helyzetet, amely mindkét oldal céljait és érdekeit egyidejűleg szolgálja.

Az elmúlt öt esztendőt tekintve, három projekt érdemel kiemelés, egy infrastruktúra-fejlesztési és két kutatási projekt.

TIOP 1.3.1-07/1 konstrukció: A felsőoktatási tevékenységek színvonalának emeléséhez szükséges infrastrukturális és informatikai fejlesztések támogatása – A Miskolci Egyetem hazai és nemzetközi versenyképességének komplex megújítása, TIOP 1.3.1-07/1-2F-2008-0005 [11]. A projekt hosszú távú célja a Miskolci Egyetem oktatási, kutatási, innovációs, valamint külső és belső szolgáltatási infrastruktúrájának hangsúly változásokat is tartalmazó megújítása, illetve bővítése, az intézmény komplex értelemben vett hazai és nemzetközi versenyképességének megújítása volt. A projekt keretében megújult a tanszék / intézet összes helyisége az A/4. épületben,

ahol – az A/1. épület szobáiból kiköltözve – újabb laboratóriumi helyiségeket is kapott az intézet. Teljes felújításon és korszerűsítésen esett át továbbá a C/2. épületben lévő műhelycsarnok (4. hajó), amellyel együtt annak elrendezése is átalakult. Az épület infrastruktúra megújulása mellett jelentős értékű eszköz infrastruktúra-fejlesztések realizálódtak: CNC vezérlésű láng- és plazmavágó berendezés (ESAB), UNMT-1 többfunkciós moduláris mikro-nano felületvizsgáló rendszer (TTZH Tribologie & Hochtechnologie GmbH), Gleeble 3500 termo-mechanikus fizikai szimulátor (Dynamic Systems) stb.

TÁMOP 4.2.1.B-10/2/KONV konstrukció: A felsőoktatás minőségének javítása a kutatás-fejlesztés-innováció-oktatás fejlesztésén keresztül – A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági központok fejlesztésére alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein, TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 [12]. A projekt célja az volt, hogy hozzájáruljon a Miskolci Egyetem vonzerejének növeléséhez a minőség javításán keresztül, ezzel elősegítse a régió gazdasági és társadalmi modernizálását. Ennek érdekében a Miskolci Egyetem a hazai gazdaság és társadalom szempontjából kiemelt fontosságú, stratégiai kutatási területeken a kiválósági központok fejlesztésén keresztül nemzetközi színvonalú K+F+I tevékenység műveléséhez szükséges szellemi kapacitás ("kritikus tömeg") felépítésére törekedett. A tanszék döntően az „Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválósági Központ”-on belül vállalt feladatokat, ellátta az „Innovatív anyagtechnológiák, számítógéppel segített technológiai folyamattervezés és folyamatmodellezés tudományos műhely” vezetését és elvégezte az ahhoz tartozó négy K+F témában (hegesztés, hőkezelés, képlékenyalakítás, számítógépes tervezés és modellezés) vállalt feladatokat. Az elért eredményekből – egy korábbi célszámhoz [13] hasonlóan – született a Gép című folyóirat egy teljes száma [14] is. Lényegesen kisebb szerepe volt a tanszéknek az „Alkalmazott Anyagtudományi és Nanotechnológiai Kiválósági Központ” munkájában, amelynek legfontosabb kimenete a [15] könyv megjelenése.

TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV konstrukció: Nemzetközi közreműködéssel megvalósuló alap- és célzott alapkutatói projektek támogatása – AUTOTECH = Járműipari anyagfejlesztések: célzott alapkutató az alakíthatóság, hőkezelés és hegeszthetőség témaköreiben, TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029 [16]. Ennek a projektnek a kezdeményezője és vezetője a tanszék volt, a

konkrét feladatok nagyobb hányadát is a tanszék látta el. A célzott alapkutatók a járműipari anyagfejlesztésekhez kapcsolódóan öt fő kutatási témakörben folytak. A kutatások három fő témakörét a hegesztési, hő- és felületkezelési és alakítási technológiai területeken végzendő alapkutatók képezték. A negyedik fő tématerület a hagyományosan a fémek anyagok alkalmazását jelentő járműipari területeken az új korszerű nemfémek anyagok alkalmazásának kutatása, míg az ötödik tématerület – a felsorolt technológiai területekhez is kapcsolódóan – a technológiai eredetű maradó feszültségek elemzésével, modellezésével és kísérleti vizsgálataival kapcsolatos alapkutatók voltak. A projekt konzorciumi megvalósítása lehetővé tette, hogy a felsorolt kutatási területeken a közreműködő négy intézményben elért eredmények szinergikus hasznosítása valósuljon meg. Az elért eredményeket bemutatta a Gép című folyóirat egy teljes száma [17] is. A kutató munka egészéről, a projektben végzett tevékenységekről, az egyes tématerületeken elért eredményekről a projektben készült könyvsorozat [18]-[23] ad teljes képet.

Az intézet fő kutatási területei és témái az intézeti tanszéki, illetve szakcsoportok struktúrához kötődnek.

Az intézet fő kutatási témái a hegesztés területén: korszerű, nagyszilárdságú anyagok hegeszthetősége; hagyományos és különleges hegesztő eljárások (MIG/MAG hegesztési technológiák kutatása, hideghuzalos hegesztési eljárások kutatása, ellenállás-ponthegeztés kutatása, lineáris dörzshegesztési eljárások kutatása, javító- és felrakó hegesztés); hegesztési eljárások állapotfelügyelete; hegesztéstechnológiák numerikus modellezése; plazma- és lángvágás.

Az intézet fő kutatási témái az alakítástechnológiák területén: korszerű, nagyszilárdságú anyagok alakítása; hagyományos és innovatív, új alakító technológiák és szerszámaik kutatása, fejlesztése; alakítástechnológiák számítógépes tervezése, numerikus modellezése; finomlemezek alakíthatósági vizsgálata; optikai alakváltozás mérés; komplex felületek digitalizálásának kutatása.

Az intézet fő kutatási témái a hőkezelés területén: korszerű, nagyszilárdságú anyagok hőkezelése; hagyományos felületötvöző hőkezelések (nitridálás, cementálás, boridálás) kutatása és továbbfejlesztése; plazma-nitridálás és duplex felületkezelések kutatása; hőkezeléstechnológiák, numerikus modellezése; folyékony edzőközegek hatékonyságának vizsgálata és minősítési rendszerének kidolgozása.

Az intézet fő kutatási témái a felületkezelés területén: vékonyrétegek, bevonatok és nano-szerkezetű anyagok mechanikai és felületvizsgálata; tribológiai vizsgálatok, kenőanyagok minősítése, műszaki kerámiák és nano-kompozitok károsodás elemzése; anyagok minősítése, technológiák hatékonyságának vizsgálata, optimalizálása korszerű felületvizsgálati módszerekkel.

Az intézet fő kutatási témái a szerkezetintegritás területén: hagyományos és korszerű mechanikai anyagvizsgálatok; törésmechanikai vizsgálatok; szerkezetek, szerkezeti elemek komplex vizsgálata (hegesztett szerkezetek, csővezetékek és nyomástartó rendszerek); károsodáselemzés, élettartam menedzselés; termo-mechanikus fizikai szimuláció (anyagvizsgálat, technológiai folyamat szimuláció).

Az intézet laboratóriumai, a röviden bemutatott projektek megvalósulása után, a következők:

- Alakítástechnológiai laboratórium;
- Anyagtechnológiai CAD/CAM laboratórium;
- Felületvizsgáló laboratórium (RKI);
- Hegesztéstechnológiai laboratórium;
- Hő- és felületkezelő laboratórium (RKI);
- Komplex mechanikai anyagvizsgáló laboratórium (SKI);
- Termo-mechanikai fizikai szimulációs laboratórium (RKI).

A Nemzeti Kutatási Infrastruktúra Felmérés és Útiter (NEKIFUT) regiszterben a Komplex mechanikai anyagvizsgáló laboratórium stratégiai kutatási infrastruktúra (SKI), a Termo-mechanikai fizikai szimulációs laboratórium Gleeble 3500-as fizikai szimulátora, valamint a Hő- és felületkezelő laboratórium és a Felületvizsgáló laboratórium együtt, Hőkezelő és Műszaki Felülettudományi Laboratórium néven regisztrált kutatási infrastruktúra (RKI) minősítést szerzett [24].

Fontos sajátossága a kutatási területeknek és témáknak, valamint a kutatási infrastruktúra alkalmazásának az, hogy azokat az intézet komplex módon közelíti meg olyan projekteket indít, amelyek több területet és/vagy témát ölelnek fel, illetve az infrastruktúrát a két intézeti tanszék közösen használja. Ennek egyenes következménye az, hogy az intézet nem oktató munkatársai mindkét intézeti tanszék feladataiból egyformán veszik ki a részüket.

A korábbi utalások is rámutatnak az intézet oktatóinak, kutatóinak, PhD hallgatóinak publikációs tevékenységére. A már hivatkozott források [4], [6], [10] mellett három további kiadvány [25]-[27] összegzi a vonatkozó időszakok

tanszéki publikációit (1950-1985, 1986-1990 és 1991-1995), a [26] és a [27] munkákban pedig további részletek is olvashatók a tanszék kutatási tevékenységéről. Az újabb időszakra vonatkozó adatok az intézet honlapján [28] található, illetve az ahhoz kapcsolódó linkekről érhető el.

Irodalomjegyzék

- [1] Zorkóczy Béla Tudományos Emlékezés, Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszék, Miskolc, 1996. augusztus 30-31. Észak-Magyarországi Gazdaság – Kultúra – Tudomány, 1996. 7-8. p. B1-B28. (ISSN 1219-9540)
- [2] Gépgyártástechnológia, XL. évfolyam, 8. szám, 2000. augusztus. p. 56. 50 éves a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke 1950-2000. (HU ISSN 0016-8580)
- [3] Gép, LXII. évfolyam, 4. szám, 2011. p. 60. 60 éves a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke 1950-2010, 50 éves a Hegesztő Szakmérnök-képzés 1961-2011. (ISSN 0016-8572)
- [4] 60 éves a Mechanikai Technológiai Tanszék 1950-2010. Felelős szerk.: Török, I. Miskolci Egyetem, Sokszorosító Üzem, Miskolc, 2011. p. 93. (Met. 2011-41/ME.)
- [5] 50 éves a Hegesztő Szakmérnök-képzés 1961-2011. Felelős szerk.: Török, I. Miskolci Egyetem, Sokszorosító Üzem, Miskolc, 2011. p. 47. (Met. 2011-40/ME.)
- [6] 50 éves a Gépészmérnöki Kar. Prof. Dr. Romvári Pál 70 éves. Mechanikai Technológiai szaknap a Gépészmérnöki Kar jubileumi rendezvényei sorozatában. Miskolci Egyetem, Sokszorosító Üzem, Miskolc, 1999. p. 47. (Met. 700-99/ME)
- [7] Tóth, L.: Prof. emeritus Dr. Romvári Pál 70 éves. Anyagvizsgálók lapja, 9. évfolyam, 3. szám, 1999. p. 123-125. (ISSN 1215-8410)
- [8] Tóth, L.: Dr. Romvári Pál 1929-2008. Anyagvizsgálók lapja, 19. évfolyam, 1. szám, 2009. p. 46-48. (HU ISSN 1787-5072)
- [9] <http://kvt96.lib.uni-miskolc.hu/muzeum/kiallitas/romvari/>
- [10] Jubileumi Tudományos Ülés Béres Lajos, Kovács Ferenc és Pirkó József születésének 70. évfordulója alkalmából. Felelős szerk.: Komócsin, M. Miskolci Egyetem, Sokszorosító Üzem, Miskolc, 2002. p. 35. (Met.2002-700/ME.)

- [11] <http://www.uni-miskolc.hu/uni/dept/TIOP.4/>
- [12] <http://kivalosagi-kozpontok.uni-miskolc.hu/>
- [13] Gépgyártás, XLI. évfolyam, 11. szám, 2001. november. p. 40. A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke oktatóinak publikációi. (ISSN 1587-4648)
- [14] Gép, LXIII. évfolyam, 11. szám, 2012. p. 80. Innovációs gépészeti tervezés és technológiák. Innovatív anyagtechnológiák, számítógéppel segített technológiai folyamattervezés és folyamatmodellelés tudományos műhely. (ISSN 0016-8572)
- [15] Lukács, J.; Nagy, Gy.; Harmati, I.; Koritárné, F. R.; Kuzsella, Lné. K. Zs.: Szemelvények a mérnöki szerkezetek integritása témaköréből. Szerk.: Lukács, J. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2012. (ISBN 978-963-358-000-4)
- [16] <http://autotech.uni-miskolc.hu/site/index.php>
- [17] Gép, LXIV. évfolyam, 8. szám, 2013. p. 64. AUTOTECH – „Járműipari anyagfejlesztések: célzott alap kutatás az alakíthatóság, hőkezelés és hegeszthetőség témaköreiben” TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029. www.autotech.uni-miskolc.hu Anyagszerkezetani és Anyagtechnológiai Intézet különszáma. (ISSN 0016-8572)
- [18] Hegeszthetőség és a hegesztett kötések tulajdonságai. Szerk.: Balogh, A.; Lukács, J.; Török, I.; Miskolci Egyetem, Miskolc, 2015., p. 324. (ISBN 978-963-358-081-3)
- [19] Nitridálás – korszerű eljárások és vizsgálati módszerek. Szerk.: Kocsisné, Baán, M., Marosné, Berkes, M.; Szilágyiné, Biró, A. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2015. p. 296. (ISBN 978-963-358-080-6)
- [20] Edzőközegek korszerű vizsgálati módszerei. Szerk.: Felde, I.; Kerekes, G.; Mucsi, A. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2015. p. 94. (ISBN 978-963-358-083-7)
- [21] Képlékenyalakítás a járműiparban. Szerk.: Tisza, M. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2015. p. 294. (ISBN 978-963-358-082-0)
- [22] Fejezetek a nemfemes anyagok legújabb járműipari kutatási területeiből. Szerk.: Zsoldos, I. Széchenyi István Egyetem, Győr, 2015. p. 330. (ISBN 978-615-5391-36-1)
- [23] Technológiai maradó feszültségek modellezése és mérése. Szerk.: Lenkeyné Biró, Gy. Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Miskolc, 2015. p. 198. (ISBN 978 963 881 225 4)
- [24] http://kaleidoszkop.nih.gov.hu/kfi-hirek/-/asset_publisher/W8yXop3Tdrzr/content/anekeifut-regisztr-2014-felhivas-eredmenyei
- [25] A Nehézipari Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke oktatóinak és kutatóinak szakirodalmi munkássága 1950-1985. Szerk.: Tisza, Mné. Nehézipari Műszaki Egyetem, Sokszorosító Üzem, Miskolc, 1985. p. 137. (Met. 86-40. N.M.E.)
- [26] A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékének tudományos tevékenysége 1986-1990. Felelős szerk.: Török, I. Miskolci Egyetem, Sokszorosító Üzem, Miskolc, 1991. p. 82. (Met.91-660/ME)
- [27] A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékének tudományos tevékenysége 1991-1995. Felelős szerk.: Tóth, L.; Török, I. Miskolci Egyetem, Sokszorosító Üzem, Miskolc, 1996. p. 61. (Met. 96-718/ME.)
- [28] <http://www.met.uni-miskolc.hu/website/site/Kezdoalap>



ANYAGVIZSGÁLAT * HEGESZTÉS * HŐKEZELÉS * KÉPLÉKENYALAKÍTÁS
OKTATÁS * KUTATÁS-FEJLESZTÉS * SZAKÉRTÉS

MISKOLCI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

ANYAGSZERKEZETTANI ÉS ANYAGTECHNOLÓGIAI INTÉZET

ALKALMAZOTT ANYAGTUDOMÁNY * TECHNOLÓGIATERVEZÉS * KONSTRUKCIÓS TERVEZÉS

ANYAGTECHNOLÓGIAI (BSc SZAKIRÁNY) * HEGESZTÉSTECHNOLÓGIAI (MSc SZAKIRÁNY)

NEMZETKÖZI HEGESZTŐ SZAKIRÁNYÚ TOVÁBBKÉPZÉSI SZAK IWE/EWE KÉPZÉS

SZÁMÍTÓÉPES TERVZÉS ÉS GYÁRTÁS SZAKIRÁNYÚ TOVÁBBKÉPZÉSI SZAK

3515 MISKOLC-EGYETEMVÁROS *TEL. +36 46 565 164 * FAX: +36 46 561 504 *

ÖTVENÖT ÉVE INDULT MAGYARORSZÁGON A HEGESZTŐ SZAKMÉRNÖK-KÉPZÉS

Dr. Tisza Miklós, Dr. Török Imre***

Több tekintetben ismét jubileumhoz érkezett a Miskolci Egyetem (korábban Nehézipari Műszaki Egyetem) Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézete (korábban Mechanikai Technológia Tanszéke). Hatvanöt évvel ezelőtt alapította meg a tanszékot Zorkóczy Béla professzor. Ugyanakkor ötvenöt évvel ezelőtt, 1960-ban elfogadott tanterv alapján – az országban elsőként – indult meg a hegesztő szakmérnök képzés és negyven éve annak, hogy tanszékalapító professzorunk elhunyt.

1. AZ ALAPÍTÓ ZORKÓCZY BÉLA PROFESSZOR ÉLETÚTJÁNAK RÖVID BEMUTATÁSA



Dr. Dr. hc. Zorkóczy Béla
(1898-1975)

1950-ben, Zorkóczy professzor elfogadva az egyetemi tanári és tanszékvezetői kinevezést a Miskolci Egyetemre, hatalmas energiával fogott hozzá a tanszék, illetve az oktatás szervezéséhez [1].

Zorkóczy professzor szakmai, tudományos munkásságában a kezdetektől fogva intenzíven foglalkozott a hegesztés hazai helyzetével, fejlesztésének kérdéseivel és rendre megfogalmazta javaslatait. Így például „*Mit nyújt, és mit kíván az ivhegesztés?*” című cikkében 1930-ban elsőként megfogalmazta a hegesztő szakmunkással, hegesztő technológussal, hegesztő szakmérnökkel szembeni elvárásokat [2]. Magyarország képviselőjében részt vett Hágában az I. Nemzetközi Hegesztési

Kongresszuson, amelynek tanulságait több publikációjában is összefoglalta [3], [4].

Tudományos életrajzában [1] Zorkóczy professzor az alábbiakat írta:

„Tudományos munkám első célkitűzése volt, hogy a magyar gépipar műszaki szakembereinek vérébe beoltsam a metallográfia alapján végzett tudatos hőkezelés elveit. Tudományos tevékenységem egy részét ennek a célnak szenteltem. ... Tudományos munkám második célja a hegesztéstechnika hazai kifejlesztése volt.”

Részt vett a Vas- és Fémipari Kutatóintézet keretei között 1952-ben megalakult Hegesztési Tanácsadó Testület munkájában, a hazai Hegesztési Konferenciák szervezésében. Így Zorkóczy professzor szervezője és előadója volt a II. Hegesztési Konferenciának, amely javaslatára határozatot fogadott el, többek között:

- a GTE-n belül önálló Hegesztési Szakosztály létrehozásáról, valamint
- a hegesztő szakmérnök-képzés elindításáról [5].

A Konferencia határozatának sikeres megvalósítása érdekében a Hegesztési Szakosztály elnöki tisztségét 1958-1971-ig töltötte be és tiszteletbeli elnöke volt haláláig; e tisztségében is élére állt a hegesztő szakmérnök-képzés megszervezésének [6]. Kezdeményezésére az NME Gépészmérnöki Kara 1958. június 5-én előterjesztést tett a Művelődésügyi Minisztériumnak a hegesztő szakmérnök-képzés megindítására, és az 1960. május 12-én kelt, 28066/1960. Művelődésügyi Minisztériumi leírat engedélyezte az 1960/61-es tanévben a képzés beindítását [7].

2. A HEGESZTŐ SZAKMÉRNÖK-KÉPZÉS ELSŐ IDŐSZAKA (1961-1976)

Az előzőekben ismertett előzmények után az 1960-ban elfogadott tanterv alapján indulhatott a képzés az 1960/61-es tanév II. félévében.

A tanterv kidolgozásához Zorkóczy professzornak, mint a szakvezető tanszék vezetőjének, sikerült megnyernie a fiatal Gépészmérnöki Kar négy – a képzéshez szakmailag elengedhetetlen – tanszékét és a tanszékek legjobb erőit. Az oktatásban így a kezdetektől részt vett az Elektrotechnikai, a Mechanikai, a Szállítóberendezések, valamint az Ipargazdaságtani Tanszék. Az elfogadott tanterv részleteit mutatja be az 1. táblázat.

* egyetemi tanár, intézeti tanszékvezető, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

** c. egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

<i>Tantárgy</i>		<i>Órák száma félévente</i>			
<i>sorszám</i>	<i>neve</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1.	Mechanika I-II., Dr. Sályi István	20 k 20	10 k 10		
2.	Hegesztés villamos alapismeretek, Urai Vilmos	20 k 10			
3.	Hegesztési anyagismeret, Pogány Miklós	16 k 14			
4.	Hegesztéstechnológia I-II-III-IV., Dr. Zorkóczy Béla	20 k 0	30 k 20	37 k 20	32 k 28
5.	Hegesztett szerkezetek tervezése I-II., Vankó Richárd		22 k 8	24 k 16	
6.	Kézi hegesztőgépek, Urai Vilmos		12 k 8		
7.	Ellenálláshegesztő gépek, Urai Vilmos			13 k 10	
8.	Hegesztő automaták, Urai Vilmos				20 k 10
9.	Hegesztés anyagvizsgálata, Dr. Zorkóczy Béla				15 k 15
	Órák összesen	120	120	120	120

1. táblázat Az NME Gépészmérnöki Kar Hegesztő Szakmérnöki Szak tanterve és tárgyjegyzői (1960/61)

Az elfogadott tanterv a mérnöki alaptárgyi ismeretekre (mechanika, anyagtudomány, villamosság) építve a hegesztés technológiáját, a hegesztett szerkezetek gyártását, vizsgálatát és tervezését megfelelő mélységben és terjedelemben tartalmazta a képzéshez. A 480 órás, diplomaterv készítéssel záruló képzés célja olyan hegesztő szakmérnökök képzése volt, akik alapos elméleti és gyakorlati ismeretekkel rendelkeznek a hegesztéstechnológiában, a hegesztett szerkezetek tervezésében, továbbá a hegesztés elektrotechnikai ismereteiben egyaránt. Ez a tanterv akkor az egyik legkorszerűbbnek volt tekinthető [8], [9].

A Nehézipari Műszaki Egyetem magyar nyelvű közleményei az elinduló képzésről így ír: „1961. február 13.: Ünneplés keretében indult meg az egyetem első szakmérnök-képző tanfolyama, a hegesztő szakmérnöki szak... [10]

A négy érintett tanszék akkori vezetője a feladat fontosságára tekintettel felvállalta kezdetektől a szaképítésének nem kis terheit, annak reményében, hogy egy szakmailag fontos területre képez a kar szakembereket. A szakvezető tanszék személyi állománya, a képzés elindulásakor nem tette lehetővé az oktatási feladatok teljes körű ellátását, ezért Zorkóczy professzor az oktatási színvonal biztosításához egy-egy témakör előadására felkérte az országban elérhető legfelkészültebb szakembereket. Így a tanszék kezdeményezésére bekapcsolódott az oktatásba többek között Pogány Miklós, okleveles vegyészmérnök, Dr. Buray Zoltán, a FÉMKUT osztályvezetője, Becker István, az ERŐKAR laborvezetője, Molnár László és Dr. Tury Aladár, mindketten a VASKUT munkatársai.

A hegesztő szakmérnök-képzés előkészítése során rögzítésre került, hogy az előadók az előadások anyagát hétről-hétre leírják és a helyi jegyzetszorosító üzemben lesokszorosítva oktatási segédletként kerül a hallgatóság kezébe [7]. Az így kiadott segédletek gyűjteménye lett a későbbi jegyzetek alapja. Elkészült a

képzés során az a ma is alapműnek számító tananyag, amely a következő közel két évtized oktatását hatékonyan segítette és számos témakörben ma is szakmailag meghatározó.

A több mint 2000 oldal terjedelmű tananyag, amely szinte az első képzési ciklus végére elkészült és a hallgatók rendelkezésére állt, biztosította a korszerű képzés feltételeit, nem csak a Miskolci, hanem az időközben (1962) a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékén is beindult képzéshez.

A hegesztő szakmérnök-képzés első időszakában összesen a 11 évfolyamon 147 fő hegesztő szakmérnök végzett.

3. A HEGESZTŐ SZAKMÉRNÖK-KÉPZÉS MÁ-SODIK IDŐSZAKA (1977-1992)

A hegesztő szakmérnök-képzés első reformját az tette szükségessé, hogy a gépészmérnök képzésben 1974-ben megindult a szakirányos ágazati képzés, továbbá a hegesztés területének igen dinamikus fejlődése eredményeként újabb technológiák, új gyártási módszerek, korszerű hegesztőgépek és mindezekhez kapcsolódó számítástechnikai ismeretek megjelenése mind a korszerűsítés szükségességének irányába hatottak [8].

Ezt a helyzetet figyelembe véve – az időközben a tanszék éléről nyugállományba vonult Zorkóczy professzort váltó – Romvári Pál professzor irányításával a tanszék korszerűsítette a hegesztő szakmérnöki képzés tantervét [8]. Megtartva a négy féléves képzés egyenletes 120-120 órás órakeretét, a képzésbe bekerült a korszerű számítástechnikai ismeretek oktatása is, a tanterv részleteit a 2. táblázat mutatja be [11].

<i>Tantárgy</i>		<i>Órák száma félévente</i>			
<i>sorszám</i>	<i>neve</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1.	Műszaki mechanika I., Dr. Kozák Imre	12 k 16			
2.	Számítástechnika I., Dr. Szarka Zoltán	16 k 8			
3.	Hegesztési anyagismeret, Dr. Lizák József	16 k 10			
4.	Hegesztéstechnológia I., Dr. Komócsin Mihály	16 k 0			
5.	Villamos hegesztő berendezések I., Dr. Rejtő Ferenc	16 k 10			
6.	Műszaki mechanika II., Dr. Kozák Imre		10 k 8		
7.	Számítástechnika II., Erdélyi Zoltán		16 k 8		
8.	Hegesztéstechnológia II., Dr. Török Imre		22 k 14		
9.	Villamos hegesztő berendezések II., Dr. Rejtő Ferenc		12 k 8		
10.	Hegesztett szerkezetek tervezése I., Dr. Farkas József		14 k 8		
11.	Hegesztéstechnológia III., Dr. Pirkó József			37 k 20	
12.	Villamos hegesztő berendezések III., Dr. Rejtő Ferenc			13 k 10	
13.	Hegesztett szerkezetek tervezése II., Dr. Farkas József			24 k 16	
14.	Hegesztéstechnológia IV., Dr. Béres Lajos				32 k 28
15.	Villamos hegesztő berendezések IV., Dálnoki Antal				20 k 10
16.	Hegesztés anyagvizsgálata, Dr. Tóth László				15 k 15
	Kollokviumok	5	5	3	3
	Órák összesen	120	120	120	120

2. táblázat. A NME Gépészmérnöki Kar Hegesztő Szakmérnöki Szak tanterve (1977/78.)



Dr. Romvári Pál
(1929-2008)

A hegesztő szakmérnök-képzés második időszakában két évfolyamon 41 fő hegesztő szakmérnök végzett.

A Gépipari Tudományos Egyesület Hegesztési Központi Szakosztálya – amelynek Zorkóczy professzor alapító elnöke és haláláig tiszteletbeli elnöke (1958-1975) volt – megalakulásának 25. évfordulója alkalmából (1983-ban) [12]

ZORKÓCZY BÉLA EMLÉKÉRMET

alapított

„A HEGESZTÉS FEJLESZTÉSÉÉRT”

végzett tevékenység elismerésére

Tanszékünk 1990-ben a Hegesztő Szakmérnök-képzés területén végzett munkája elismeréséért kapta meg az alapító professzoráról elnevezett Emlékérmét.

4. A HEGESZTŐ SZAKMÉRNÖK-KÉPZÉS HARMADIK IDŐSZAKA (1993-2008)

Időközben létrejött az Európai Hegesztési Szövetség – European Welding Federation (EWF) – amely fő feladatának tekintette a hegesztő szakemberek egységes képzési-, vizsgáztatási- és minősítési rendszerének kidolgozását, azaz egy olyan tantervi és tananyag minimum követelmény meghatározását, amelynek oktatása egyenértékűvé teheti a tagországokban a hegesztés területén szerezhető diplomákat.

Az EWF első harmonizált irányelve a hegesztő szakmérnök-képzésre vonatkozott, mivel jelentős eltérés volt tapasztalható a tagállamokban a képzés idejében és tartalmában (pl. 180 -1350 órás képzési idő) [13]. A kidolgozott minimum követelmények elfogadására 1991-ben került sor. A tanszék 1993-ban módosított tantervét, amely az EWF (Doc.02-409-93) elvárásait maradéktalanul kielégítette (lásd 3. táblázat), így ez alapján indította el a képzést.

E harmadik időszakra kidolgozott tanterv is megtartotta a 480 kontaktórási képzést és diplomaterv készítése kötelezettséget a hegesztő szakmérnöki diploma megszerzéséhez, amely kielégíti – és korábban is jó egyezséggel fedte le – az EWF minimum követelményéhez rendelt 446 órás képzési időt [14].

<i>Tantárgy</i>		<i>Órák száma félévente</i>				
<i>sorszám</i>	<i>neve</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1.	Hegesztő eljárások I., Dr. Balogh András, II.: Dr. Török Imre	38 k 4	26 k 4			
2.	Hegesztő berendezések I., II., Dr. Rejtő Ferenc	16 k 0	10 k 0			
3.	Felrakóhegesztés, Dr. Béres Lajos			20 k 6		
4.	Automatizálás, robotok, Dr. Komócsin Mihály				4 k 4	
5.	Anyagszerkezettan, Dr. Nagy Gyula	24 k 6				
6.	Roncsolásos anyagvizsgálat, Dr. Gál István	18 k 4				
7.	Acélok hegesztése, Dr. Romvári Pál		35 k 0			
8.	Nemvas anyagok hegesztése, Dr. Török Imre			18 k 0		
9.	Roncsolásmentes anyagvizsgálat, Dr. Gál István		12 k 8			
10.	Minőségbiztosítás, Dr. Gremsperger Géza			16 k 4		
11.	Hegesztett szerkezetek gyártása, Dr. Gremsperger Géza				18 k 0	
12.	Esettanulmányok, Dr. Pirkó József				0 40	
13.	Hegesztett kötések szilárdságtana, Dr. Balogh Nadrás			34 k 0		
14.	Hegesztett szerkezetek tervezése, Dr. Farkas József				26 k 0	
15.	CAD/CAM a hegesztésben I., Dr. Jármái Károly, II., Dr. Komócsin Mihály			8 4 gy	8 8 gy	
16.	Hegesztési gyakorlat, Dr. Székely Ferenc	0 10	0 25	0 10	0 12	
17.	Diplomaterv					0 40
	Kollokviumok	4	4	4	3	
	Gyakorlati jegy			1	1	
	Órák összesen	120	120	120	120	40

3. táblázat. A ME Gépészmérnöki Kar Hegesztő Szakmérnöki Szak tanterv (1993/94.)

Az érintett időszakban (1993-2008) induló 7 évfolyam során összesen 97 fő szerzett hegesztő szakmérnöki oklevelet.

5. A HEGESZTŐ SZAKMÉRNÖK-KÉPZÉS NEGYEDIK IDŐSZAKA (2009-)

Az Európai Unióhoz történő csatlakozást megelőzően a Bologna-folyamatra való áttérés, amely a felsőoktatás harmonizációjának megteremtésével biztosítja az egységes európai felsőoktatási rendszerbe való illeszkedést, átalakította a hazai műszaki felsőoktatás struktúráját. Kiépült a bolognai rendszer mindhárom szintje: alapképzés (7 féléves BSc), mesterképzés (4 féléves MSc), doktori képzés (PhD). Mivel az EWF tagországai döntő hányadában az EWE képzés bemeneti feltételeként a BSc diploma meglétét kéri, ezért hazánk is kezdeményezte a bemeneti feltétel módosítását, amelyet a Nemzetközi Felhatalmazó Testület (International Authorisation Board, IAB) 2007-ben elfogadott [15, 16].

Így a tanszék 2009-ben előterjesztést készített – az intézményi Szenátus támogató döntését követően – a Felsőoktatási Regisztrációs Központ felé az új képzési és kimeneti követelményekre építő saját tanterv alapján szervezett szakirányú továbbképzés nyilvántartásba vételére: „Nemzetközi Hegesztő Szakirányú Továbbképzési Szak” – ME megnevezéssel, ennek mintatantervét a 4. táblázat tartalmazza [17, 18].

Az új rendszerű Szakirányú Továbbképzési Szakon résztvevő, azt sikeresen teljesítő jelöltek a korábbi kurzusokat elvégzőkhöz hasonlóan kellő eséllyel vehetnek részt az EWE/IWE írásbeli és az azt követő közös szóbeli záróvizsgán [18].

A 2010 februárjában elindult új rendszerű képzésben három évfolyamon 63 fő szerzett hegesztő szakmérnöki és EWE/IWE oklevelet.

6. A HEGESZTŐ SZAKMÉRNÖK-KÉPZÉS MISKOLCI SAJÁTOSÁGAI

A négy időszakra tagolható, 55 éve folyó képzésben napjainkban a 24. évfolyam folytatja tanulmányait. A különböző időszakokban változó szerkezetben folyó képzések közös jellemzői közül kiemelésre érdemesnek az alábbiak:

- a hazai hegesztő szakmérnök-képzés felvételi (bemeneti) követelménye egyetemi (gépész-, villamos-, építő- és közlekedésmérnöki) végzettség és két éves üzemi gyakorlat volt 2008-ig,
- a képzés minden esetben 5 féléves, 480 kontaktórás, 14-16 kollokviummal, diplomaterv készítéssel és záróvizsgán lefolytatott diplomaterv védelemmel zárult,
- az oktatásban résztvevő oktatók, iparban dolgozó és az oktatásba bevont szakemberek felkészültsége, tudományos fokozata (minősítése) mindenkor biztosította a magas szintű szakmai

képzést és annak folyamatos fenntartását, amelyet mind a hazai, mind pedig a külföldi fejlesztésben, gyártásban dolgozó szakmérnökeink sikerei, elismertsége igazoltak, igazolnak,

tésben, gyártásban dolgozó szakmérnökeink sikerei, elismertsége igazoltak, igazolnak,

<i>Tantárgy</i>		<i>Órák száma félévente (kredit)</i>		
<i>sorszám</i>	<i>neve</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
1.	Anyagszerkezettan Dr. Nagy Gyula	27 k (5)		
2.	Hegesztő eljárások I. Dr. Balogh András	40 k 5 (8)		
3.	Hegesztő berendezések Kristóf Csaba	26 k (5)		
4.	Hegeszthetőség I. Dr. Komócsin Mihály	42 k (7)		
5.	Hegesztési gyakorlat I. II. III. Dr. Székely Ferenc	30 (3)	20 (2)	10 (1)
6.	Hegesztő eljárások II. Dr. Török Imre		30 k 6 (7)	
7.	Hegeszthetőség II. Dr. Török Imre; Dr. Béres Lajos		40 k (7)	
8.	Hegesztett kötések vizsgálata Dr. Gál István; Dr. Székely Ferenc		34 k 6 (6)	
9.	Hegesztett kötések szilárdságtana Dr. Balogh András		34 k (6)	
11.	Hegesztett szerkezetek tervezése Dr. Farkas József			26 k (5)
12.	Hegesztett szerkezetek gyártása, minőségbiztosítás Dr. Gremesberger Géza			44 k (8)
13.	Automatizálás, robotok Dr. Komócsin Mihály; Dr. Jármay Károly			30 k (7)
14.	Esettanulmányok Dr. Török Imre			34 f (5)
16.	Diplomatervezés			26 f (8)
	Órák összesen	170	170	170

4. táblázat. Nemzetközi Hegesztő Szakirányú Továbbképzési Szak tanterve és tárgyjegyzői (2009-)

- a képző intézmény mindenkor biztosította a kelendő színvonalú tananyagokat, kezdetekben írásos formában (jegyzetek, oktatási segédletek), a későbbiekben, elektronikus formában (CD-n), amelyet átadott a képzésben résztvevőknek,
- az intézmény végzett szakmérnökei számára biztosította a folyamatos továbbképzést, a szakmai konzultációt és együttműködést és igényelte a visszacsatolás lehetőségét a képzés továbbfejlesztésére.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei III. sorozat Gépészet. 22. kötet 4. füzet, Miskolc, 1976. KSZ 76-1610 – NME, p. 175-256.
- [2] Zorkóczy Béla: Mit nyújt és mit kíván az ívhegesztés? Műszaki Közlöny 2 (1930) dec. p. 4-5.
- [3] Zorkóczy Béla: Az I. Nemzetközi Hegesztéstechnikai Kongresszus tanulságai, Anyagvizsgálók Közlönye, Budapest, 1932.
- [4] Dr. Terplán Zénó: Zorkóczy Béla professzor tudományos és egyéb írásainak jegyzéke, Egyetemi Közlöny III. sorozat, Gépészet, 22. kötet, Miskolc, 1976. p. 227-242.
- [5] Dr. Rittinger János: A Hegesztési Szakosztály rövid története X. Országos Hegesztési Tanácskozás, Siófok-Balatonszéplak-felső, 1998. április 23-24. GTE, p. 11-20.

- [6] Jegyzőkönyv a Nehézipari Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karának 1960. október 25-én tartott rendes Kari Tanács üléséről.
- [7] Jegyzőkönyv a Nehézipari Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karának 1961. január 10-én tartott rendes Kari Tanács üléséről.
- [8] Dr. Romvári Pál – dr. Pirkó József: A hegesztő szakmérnök-képzés tapasztalatai a Nehézipari Műszaki Egyetemen, GÉP XXXV. Évf. 1983. 12. p. 475-476.
- [9] Dr. Terplán Zénó szerk.: 50 éve Miskolcon, Füzetek a Miskolci Egyetem történetéből Miskolc, 1999, MicroPress Kft. Miskolc, ISBN 963-661-384-2, p. 1-301.
- [10] Dr. Terplán Zénó főszerk.: A Nehézipari Műszaki Egyetem Magyar Nyelvű Közleményei XVIII. Kötet, Miskolc, 1971. Borsod Megyei Nyomda, p. 1-239.
- [11] A Nehézipari Műszaki Egyetem Évkönyve 1981/82. tanév.
- [12] Dr. Gáti József: Zorkóczy Béla Emlékérem. X. Országos Hegesztési Tanácskozás, Siófok-Balatonszéplak-felső, 1998. április 23-24. GTE, p. 9-10.
- [13] Dr. Dieter Böhme: A hegesztőszemélyzet minősítése – az európai harmonizálás jelenlegi helyzete. Hegesztéstechnika, 1995/2. p. 3-7.

- [14] Dr. Komócsin Mihály: Euro hegesztőmérnöki diplomát adó képzés indult a Miskolci Egyetemen. *Hegesztéstechnika*, 1993/4. p. 57-63.
- [15] Dr. Komócsin Mihály: A hegesztő szakmérnök-képzés múltja, jelene és jövője a Miskolci Egyetemen, *Gépgyártástechnológia*, XI. évf. 2000 (8) p. 41-45.
- [16] Dr. Komócsin Mihály: A nemzetközi (és európai) hegesztőmérnöki és hegesztőtechnológusi képzés megszervezése. *Hegesztéstechnika*, XVIII. évf. 2007 (1) p. 79.
- [17] Dr. Palotás Béla – dr. Török Imre: Új rendszerű Szakirányú Továbbképzési Szak a Hegesztő szakmérnök-képzésben. *Hegesztéstechnika*, XXI. évf. 2010 (1), p. 93-94.
- [18] Dr. Tisza Miklós, - dr. Török Imre: A hegesztés oktatásának Bolognai folyamathoz igazítása a mérnökképzésben. 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, Budapest, 2010. május 19-21. p. 13-24.



Nemzetközi Hegesztő Szakmérnök

szakképzettséget adó képzés indul
a **MISKOLCI EGYETEMEN**

NEMZETKÖZI HEGESZTŐ SZAKIRÁNYÚ TOVÁBBKÉPZÉSI SZAK keretében

A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kara kellő számú jelentkezés esetén 2017 februárjában indítja a **25. jubileumi évfolyamát** a Nemzetközi Hegesztő Szakirányú Továbbképzési Szakán. A képzés 3 féléves, diplomatervezéssel és záróvizsgálattal végződik, amelyen a jelöltek – sikeres vizsga esetén – **nemzetközi hegesztő szakmérnök** oklevelet szerezhetnek.

A hegesztő szakmérnöki képzés tanterve és tananyaga az EWF (Európai Hegesztési Szövetség) által előírt követelményeket maradéktalanul kielégíti, ezért a résztvevők a

Nemzetközi Hegesztőmérnöki Diplomát (EWE/IWE) is megszerezhetik.

A hegesztő szakmérnök képzés célja, hogy a hegesztés és rokoneljárásai területén megfelelő mélységű szakmai, tudományos és gyakorlati ismereteket adjon a következő témakörökben:

- anyagtudomány (anyagismeret és hegeszthetőség, anyagvizsgálat)
- hegesztőeljárások és berendezések,
- hegesztett szerkezetek tervezése,
- hegesztett szerkezetek gyártása és minőségbiztosítása.

A képzés önköltséges, a tandíj félévente 350 e Ft/fő (létszámfüggő), ami magába foglalja a képzési, a gyakorlati munka, a diplomatervezés konzultálási és tananyag átadás díját. A záróvizsga és **nemzetközi** hegesztőmérnöki együttes vizsga díja várhatóan 200 e Ft/fő. A képzésben résztvevők félévenként négy alkalommal 5-5 napot töltenek az egyetemen, az első időszak várhatóan 2017. február második fele.

A képzésre a bemeneti feltétel: gépészmérnöki (főiskolai, BSc, MSc szintű) diploma és két éves gyakorlat. További információkkal az Intézetet készséggel áll rendelkezésre.

A képzésre jelentkezni lehet: **Miskolci Egyetem, Felnőttképzési Regionális Központ** 3515 Miskolc-Egyetemváros, határidő: **2016. szeptember 30.**

PARTNEREINK:





PLAZMANITRIDÁLÁS A MISKOLCI EGYETEM ANYAGSZERKEZETTANI ÉS ANYAGTECHNOLÓGIAI INTÉZETÉBEN

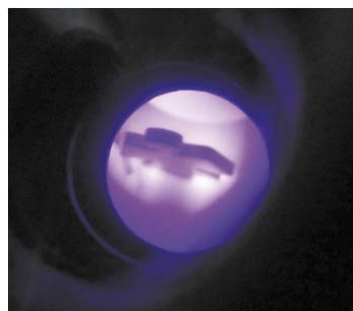
Az általánosabban alkalmazott tradicionális felületmódosító eljárások (indukciós edzés és betétedzés) mellett egyre gyakrabban alkalmazzák az alacsonyabb hőmérsékletű, ebből következően kisebb torzulást előidéző, gazdaságosabb gáznitridálást és a hazánkban még újszerűnek számító, a termokémiai felületmódosító technológiák legjelentősebb innovációjának tekintett plazmanitridálást. A plazmatechnológiák fokozottabb elterjedését mindenekelőtt az energia-megtakarítás, a viszonylag rövid hőkezelési idő, a

minimális gázfelhasználás és a környezetvédelem szempontjai indokolják. A felületi réteg kialakulása a technológiai paraméterek szabályozásával nagyon precízen befolyásolható, nemcsak a rétegmélység, hanem a réteg szerkezetének kialakítása, szabályozása vonatkozásában is. A kialakult felületi réteg közvetlenül megnövelheti a gépkatrészek élettartamát, de akár fontos szerepet játszhat szerszámanyagok duplex felületkezelésében is.

A Miskolci Egyetem Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézetében idén telepített plazmanitridáló berendezésben maximálisan 400 mm átmérőjű és 1800 mm hosszúságú alkatrész kezelhető, de ezen térfogatrészen belül egyszerre több betétanyag plazmanitridálása is elvégezhető.



A plazmanitridáló berendezés a kiszolgáló sánderuval



Ionizált plazma a hőkezelt darab körül

GLEEBLE PRÓBATEST FEJLESZTÉSE A SZIMULÁLT HŐHATÁSÖVEZET SZÍVÓSSÁGÁNAK VIZSGÁLATÁHOZ

DEVELOPMENT OF A GLEEBLE SPECIMEN FOR IMPACT TESTING OF SIMULATED HAZ

Gáspár Marcell, Dr. Balogh András***

ABSTRACT

Nowadays based on the welding heat cycle models physical simulators are capable for the creation of critical heat-affected zones of the welded joints. After a successful simulation the simulated HAZ areas can be examined by various material testing methods (e. g. Charpy V-notch impact test) due to their increased homogeneous volume compared to their extension in real welding experiments. Generally fusion welding can be described by high heating and cooling rate resulting a non-equilibrium microstructure of the material. In Gleeble thermo-mechanical simulators the achievable cooling rate is always the function of specimen geometry and the presence of external cooling. In present paper a development of a Gleeble specimen is presented which is capable for the investigation of the toughness properties of the heat-affected zones forming in low energy input fusion welding processes. The new specimen is tested on of the highest strength steel grades of quenched and tempered structural steels.

1. BEVEZETÉS

Az alapanyag eredeti szövetszerkezetét a hegesztés hőciklusa irreverzibilisen megváltoztatja, amelynek eredményeként az alapanyag tulajdonságaitól eltérő sajátosságokkal rendelkező hőhatásövezet alakul ki. Az ömlesztő hegesztéskor létrejövő hőhatásövezetet további részekre lehet bontani, mivel különböző szemcse-szerkezettel és ebből adódóan eltérő mechanikai tulajdonságokkal rendelkező sávokból épül fel. Szerkezeti acélok esetén a hőhatásövezet szívósság szempontjából kritikus részei jellemzően a durvaszemcsés és az interkritikus sávok. A hegesztett kötés későbbi tönkremenetele szempontjából kritikus hőhatásövezeti sávok szívósságának vizsgálatához a hagyományos anyagvizsgálati módszerek csak korlátozott lehetőséget biztosítanak. A hőhatásövezet kritikus részeinek szívósságát hagyományos módon egyedül a „fél-V” és „K” varratok

kvázi egyenesnek tekintett beolvadási vonalának oldalán lehet megvizsgálni, azonban ekkor is nagy a bizonytalanság, hogy az ütő próbatest bemetszése pontosan a vizsgálni kívánt sávon halad keresztül.

A fizikai szimuláció segítségével az alapanyagból kimunkált próbatesteken precízen előállíthatók a hőhatásövezet különböző részei a későbbi anyagvizsgálatok számára elegendő mérettartományban [1, 6]. A tényleges hegesztett kötésben előforduló néhány mm³ térfogatú, csökkent szívósságú kritikus hőhatásövezeti sávok a fizikai szimulátor segítségével homogéneen előállíthatók az alapanyagból kimunkált próbatesteken akár a cm³ térfogatot megközelítő mérettartományban. A hőhatásövezet adott sávjára jellemző hőciklussal terhelt próbatestekből a szimulációt követően lehetőség nyílik szabványos Charpy-V bemetszésű ütő próbatestek kialakítására, amelyekkel a kritikus hőhatásövezeti sávok ütőmunkája meghatározható. Ennek köszönhetően a hegesztési paraméterek optimalizálhatók a hőhatásövezetben elérendő tulajdonságok biztosítása érdekében.

A hőhatásövezet kiterjedése függ a hegesztő eljárástól, a hegesztési paraméterektől, az anyagminőségtől, a kötéskialakítástól és a lemezvastagságtól. A hőforrás koncentráltóságának növelésével a hevítés sebessége is megnő, amelynek köszönhetően csökken a megolvasztásig eltelt időtartam. Kis vonalenergia alkalmazásakor a hegfürdő mérete mellett a hőhatásövezet kiterjedése is kisebb lesz, amelynek eredményeként a hőhatásövezet sávjainak mérete is csökken.

A Gleeble 3500 típusú fizikai szimulátorban a próbatestek hűtését alapvetően a réz befogópofák és az őket körülvevő vízzel hűtött befogó szerkezet biztosítja. A próbatesteken elérhető hevítési és hűtési sebesség a befogópofák anyaga és szerkezeti kialakítása mellett jelentősen függ a próbatest méretétől és a külső hűtés körülményeitől [1]. A hőhatásövezet vizsgálatát célzó hagyományos vizsgálati összeállítás (külső hűtés alkalmazása nélkül) és próbatest kialakítás (10x10x70 mm hasáb) mellett az elérhető maximális hűtési sebesség 60 °C/s, miközben kis hőbevitelű hegesztéseknél (pl.

* tanársegéd, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

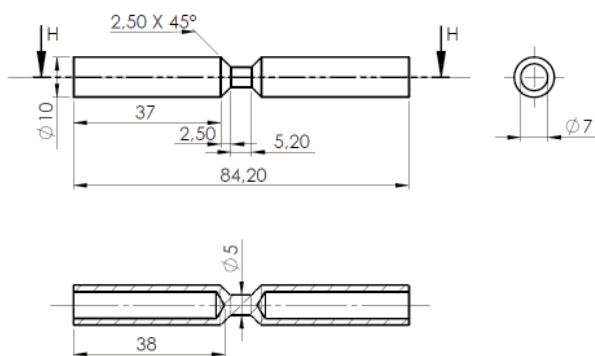
** egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

gyöksor hegesztése előmelegítés nélkül, lézersugaras hegesztés) a hűtési sebesség akár a 300 °C/s értéket is meghaladhatja [8]. A hűlési sebesség helyett a hegesztéstechnológia tervezésekor elsősorban a $t_{8,5/5}$ hűlési időt szokták alkalmazni, amely egyaránt tartalmazza az előmelegítés/rétegek közötti hőmérséklet és a vonalenergia hatását. A hegesztési folyamat hűlési szakaszát általában az A_3 hőmérsékletéről (az acél karbontartalmától függően általában a GS vonal alapján 723-911 °C, kis karbontartalom esetén 850-900 °C közé tehető) 500 °C-ra történő hűlési idővel szokták jellemezni. Ennek a speciális hűlési időnek a jelölése általában $t_{8,5}$, amit a kétalkotós Fe-Fe₃C diagram acélokra vonatkozó részének ismeretében helyesebb $t_{8,5/5}$ -el jelölni, mivel a szerkezeti acélokban az austenit bomlása jellemzően a 850-500 °C közötti hőmérséklettartományban valósul meg.

A kutatómunka során a kis hőbevitelű hegesztés esetén kialakuló hőhatásövezet szívósságának vizsgálatához olyan próbatestet fejlesztettünk ki, amelynek segítségével a nagy hűlési sebességhez tartozó hőciklusokra jellemző kritikus hőhatásövezeti sávok is előállíthatók a berendezésen. A fizikai szimulációs kísérleteket a járműiparban alkalmazott nemesített nagyszilárdságú szerkezeti acélok egyik legnagyobb szilárdsági kategóriáján, az MSZ EN 10025-6 szerinti S960QL jelölésű acélon végeztük, ahol a hőhatásövezetben bekövetkező szívósságsökkenés miatt kis vonalenergia alkalmazása indokolt [2, 4, 5, 7].

2. ELŐKÍSÉRLETEK A SPECIÁLIS PRÓBATEST GEOMETRIÁJÁNAK MEGHATÁROZÁSÁRA

A Glebble 3500 a hőhatásövezet szimulációja mellett alkalmas az acélokra vonatkozó folyamatos hűtési átalakulási diagramok dilatometres mérés technikával történő felvételére [3]. A vizsgálathoz a berendezést gyártó DSI vállalat egy az 1. ábrán látható speciális próbatestet geometriát ajánl, amelynek segítségével igen jelentős hűtési sebesség érhető elő.



1. ábra. A CCT görbék felvételére alkalmas Glebble próbatestet

A vizsgálat végrehajtásakor egy készüléket kell a próbatestek furatos végéhez csatlakoztatni, amelyeken keresztül sűrített levegő vagy hűtővíz segítségével növelhetjük a hűtési sebességet. A szimuláció végrehajtásakor a dilatometert (a hőciklusok megvalósítását célzó, szabályozást lehetővé tevő termoelemekhez hasonlóan) a próbatest csökkentett átmérőjű részének palástjához kell csatlakoztatni. A szimulációt követően a próbatest középső részéből készült csiszolaton pedig keménység- és mikroszkópi vizsgálatok elvégzésére nyílik lehetőség. Ez a hengeres geometria azonban nem alkalmas a szimulációval előállított hőhatásövezeti sáv szívósságának vizsgálatára, amelyre a Charpy V-bemetszésű ütővizsgálat miatt elsősorban 10x10 mm keresztmetszetű hasáb alakú próbatestet alkalmaznak, amelyeken viszont korlátozottabb az elérhető hűlési sebesség.

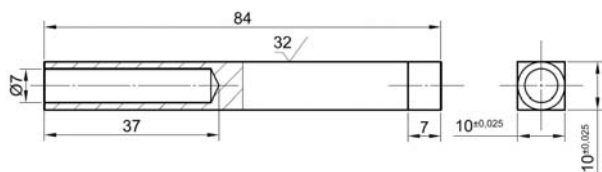
A bemutatott furatos hengeres próbatestet adta a kiindulási alapot egy olyan, négyszög keresztmetszetű fizikai szimulációs próbatestet kifejlesztésére, amellyel lehetőség nyílik a hőhatásövezet szívósságának vizsgálatára kis vonalenergiájú hegesztéstechnológia esetén. Ennek megfelelően első lépésként megvizsgáltuk, hogy egy hasáb alakú próbatesten a külső hűtés megvalósítását célzó furat alkalmazása mennyire befolyásolja az ütővizsgálat törési folyamatát és a mért ütőmunkát. Ehhez a szabványos ütővizsgálatnak megfelelő 55 mm hosszúságú próbatesteket készítettünk S960QL alapanyagból, amelyeket különböző átmérőjű (d) és mélységű (l) furatokkal láttunk el. Ezt követően egy PSD 300/150 típusú 300 J maximális energiájú ütővizsgáló berendezésen végeztük el a vizsgálatokat -15 °C-on. A speciális ütő próbatesteken mért ütőmunkákat az 1. táblázat tartalmazza.

d mm	l mm	KV ₁ J	KV ₂ J	KV ₃ J	Átlag J	Szórás J
6	0	133	160	133	142	16
	17,5	145	81	172	133	47
	20	176	187	201	188	12
	22,5	128	173	165	155	24
	25	146	117	94	119	26
7	22,5	136	148	149	144	7

1. táblázat: A furat méretének hatása az ütőmunkára

Az ütőmunkák meghatározása mellett megvizsgáltuk a próbatestek töretfelületeit is. Azt tapasztaltuk, hogy a legnagyobb furatmélység esetén (l = 25 mm) a furatos rész keresztmetszetén haladt keresztül a repedés, miközben a 22,5 mm furatmélységű próbatestek esetén a furat nem befolyásolta érdemben az ütőmunka értékét. Tekintettel arra, hogy a furatátmérek tekintetében nem tapasztaltunk érdemleges különbséget, ezért a későbbi fizikai szimulációs próbatesteket mind 7 mm furatátmérről láttuk el az intenzívebb hűtés elérése érdekében.

Az elvégzett előkísérletek alapján olyan hasáb próbatestek kialakítását határoztuk el, amelyek végén 37 mm mélységű furatok helyezkednek el. A végek hengeres megmunkálása a hűtőkészülék csatlakoztatását teszi lehetővé. Az így kialakított speciális próbatest geometriája a 2. és 3. ábrákon látható.



2. ábra. A hőhatásövezet szívósságának vizsgálatára alkalmas saját fejlesztésű Gleeble próbatest méretei



3. ábra. A hőhatásövezet szívósságának vizsgálatára alkalmas Gleeble próbatest fényképe

3. FIZIKAI SZIMULÁCIÓS KÍSÉRLET

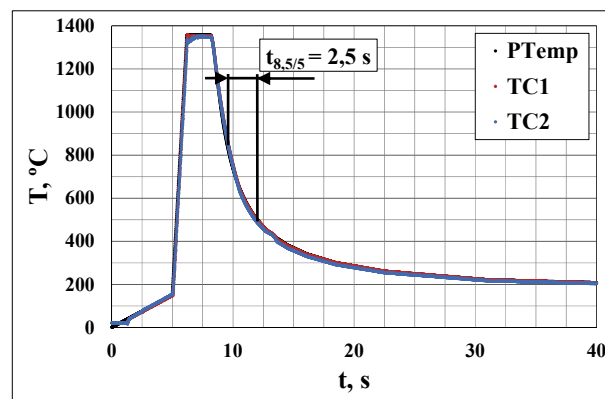
A geometria véglegesítését követően a vizsgálandó S960QL anyagminőségű nemesített nagyszilárdságú acéلبól összesen 8 db próbatestet készítettünk, amelyekből egy mintát keménység és mikroszkópi vizsgálatra, hetet pedig ütővizsgálatra használtunk fel. Fontosnak tartjuk kihangsúlyozni, hogy a próbatest felületeinek rendkívül pontos megmunkálására van szükség a sikeres szimuláció megvalósítása érdekében. Négyzet keresztmetszetű próbatestek esetén, amennyiben nem kielégítő a felületi minőség, illetve a hasáb felületei nem tökéletesen merőlegesek egymásra, akkor a réz befogópofák nem tudják egyenletesen átadni a hevítéshez szükséges áramot, illetve a hűtést biztosító hőelvonás sem lesz kiegyensúlyozott.

Első lépésként a próbatestek középső részén a darab átellenes felületeire 1-1 pár K típusú NiCr-Ni termoelementet hegesztettünk fel a fizikai szimulátort kiszolgáló ellenálláshegesztő célgéppel. Bár a vizsgálat elvégzéséhez egy pár, a vezérlést megvalósító termoelem elegendőnek bizonyul, az esetleges geometriai pontatlanságok ellenőrzése céljából a próbatest másik oldalára is hegesztettünk termoelemeket. Ezt követően a próbatesteket behelyeztük a rézből készült befogópofákba és a hengeresre lemunkált végükhöz csatlakoztattuk a hűtőkészülék tömlőit. A befogópofák közötti távolságot a lehető legnagyobb hűtési sebesség elérése céljából a

szokásos 10 mm helyett 7,5 mm-re állítottuk, amelyre lehetőséget ad a gyártó kézikönyve [8]. A megfelelő hűtés sebesség elérése céljából hűtőközegként sűrített levegőt alkalmaztunk.

A hőciklus előállítását korábbi kísérleteinkhez hasonlóan a Rykalin-3D modell alapján végeztük el [2]. A vizsgálat során azt tűztük ki célul, hogy a vizsgálandó nemesített nagyszilárdságú acél kis vonalenergiával történő hegesztésekor létrejövő durvaszemcsés sávot állítsuk elő. Acélok esetén a szemcsedurvulás jelensége már 1100 °C felett már elég jelentős, a vizsgálat során azonban ettől jelentősen nagyobb, 1350 °C elérését tűztük ki célul abból a megfontolásból, hogy a durvaszemcsés sáv legnagyobb szemcsemérettel rendelkező, ebből adódóan pedig szívósság szempontjából legkritikusabb részét állítsuk elő [2, 4, 5]. Az előmelegítési hőmérsékletet korábbi tapasztalataink alapján 150 °C-ra állítottuk be [5]. Hevítési sebességnek a hegesztési folyamatra jellemzően viszonylag nagy értéket (1000 °C/s) alkalmaztunk. Abból a célból, hogy a próbatest középső részének teljes keresztmetszetében vastagságirányban is homogén legyen a hőmérséklet-eloszlás 2 s hőntartási időt állítottunk be 1350 °C-on. Ettől kisebb hőntartási idő esetén a mikroszkópi vizsgálatok során azt tapasztaltuk, hogy nem egyenletes a hőmérséklet-eloszlás a próbatest felületén és a darab belsejében. Ebből következően indokolt a hőntartási idő beiktatása a szimuláció tervezésekor. Ezt követően a görbe harmadik szakaszán már teljes mértékben a Rykalin-3D modell alapján hűtöttük a próbatestet egészen $t_{8,5/5} = 2,5$ s hűlési idő mellett.

A programozott és a próbatest két oldalán mért hőciklusokat a 4. ábra szemlélteti.



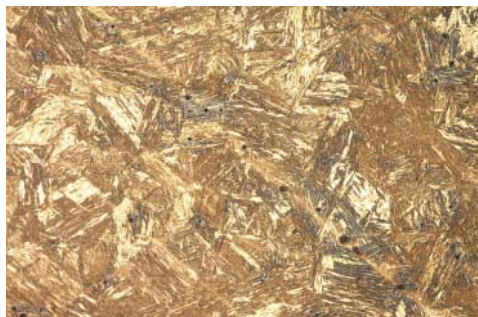
4. ábra. A programozott (PTemp) és a mért hőciklus (TC1 és TC2)

A diagramon látható, hogy a fekete színnel jelölt programozott hőciklus görbéjével szinte teljes átfedésben van a piros színnel jelölt vezérlő termoelem görbéjével. Ez igazolja, hogy a 2. és 3. ábrákon bemutatott speciális próbatest geometriákkal és sűrített levegő alkalmazásával akár 2,5 s hűlési idő is megvalósítható, amely kétszer nagyobb hűtési sebességet jelent a ha-

gyománnyos vizsgálati összeállítással szemben, ahol mindösszesen 5 s a maximálisan elérhető hűtési sebesség.

4. ANYAGVIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

Az 5. ábrán látható a szimuláció során előállított durvaszemcsés martensites szövetszerkezet.



5. ábra. A fizikai szimuláció során előállított durvaszemcsés szövetszerkezet ($N=200x$, 2% NiTi)

Az előállított hőhatásövezeti sáv ridegségét a mikroszkópi vizsgálat mellett a keménységvizsgálat is igazolta. A csiszolaton 437 HV átlagos keménységet mérünk, amely megközelíti a hegesztéstechnológia tanúsítására szolgáló MSZ EN 15614-1 szabványban szereplő, a CR ISO 15608 szerinti 3-as csoportra maximálisan megengedett 450 HV keménységet.

Az ütővizsgálatok során mindegyik próbatest a várakozásunknak megfelelően a bemetszés mentén tört, a furatok nem befolyásolták az ütőmunka értékét. A vizsgálandó S960QL nemesített nagyszilárdságú acélra vonatkozóan az MSZ EN 10025-6 szabvány 27 J ütőmunka teljesítését írja elő -40 °C -on. Ezt a követelményt a hegesztett kötés minden részének, így a hőhatásövezetnek és a varratnak is teljesítenie kell. A hét darab furatos ütő próbatesten átlagban 29 J ütőmunkát mérünk, amely bár teljesíti a szabvány követelményét, mégis nagyon rideg viselkedésre utal, ahogyan azt az egyik próbatest 6. ábrán látható töretfelülete is szemlélteti.



6. ábra. A furatos ütő próbatest ridegen tört felülete

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatott új, négyszög keresztmetszetű furatos próbatest kifejlesztésével, sűrített levegő alkalmazásával a hagyományos hőhatásövezeti szimuláció-

hoz képest kétszeres hűlési sebességet sikerült elérnünk. Ez a próbatest geometria a vizsgálati összeállítással együtt lehetővé teszi a kis vonalenergiájú hegesztéstechnológia alkalmazása során létrejövő hőhatásövezet szívósságának vizsgálatát. Ráadásul a megvalósított hűlési idő külső vízűtés alkalmazásával még tovább csökkenthető.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Adony, Y.: Heat-affected zone characterization by physical simulations, *Welding Journal*, October 2006. pp. 42-47.
- [2] Gáspár, M., Balogh, A., Sas, I.: Physical simulation aided process optimisation aimed sufficient HAZ toughness for quenched and tempered AHSS, *IW 2015 International Conference on High Strength Steels - Challenges and Applications*, Helsinki, Finland, 2-3. July 2015, Paper IW 2015 1504 7p.
- [3] Kuzsella, L., Réger, M.: Nagyszilárdságú acélok fázisátalakulásainak meghatározása fizikai szimuláció és matematikai modellezés segítségével, *XXII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó, Nagyszében*, 2014.04.24-27. pp. 213-216.
- [4] Laitinen, R., Porter, D. A., Karjalainen, L. P., Leiviskä, P., Kömi, J.: Physical Simulation for Evaluating Heat-Affected Zone Toughness of High and Ultra-High Strength Steels, *Materials Science Forum Vol. 762*, Trans Tech Publications, Switzerland, 2013. pp. 711-716.
- [5] Balogh, A., Dobosy, Á., Frigyik, G., Gáspár, M., Kuzsella, L., Lukács, J., Meilinger, Á., Nagy, Gy., Pósalaky, D., Prém, L., Török, I.: Hegeszthetőség és a hegesztett kötések tulajdonságai: Kutatások járműipari acél és alumíniumötvözet anyagokon, *Miskolci Egyetem*, 2015. 324 p.
- [6] Verő B.: A fizikai és matematikai szimuláció helye és szerepe a műszaki anyagtudományban, *Bányászati és Kohászati Lapok*, 145. évf. 1. szám, 2012. pp. 2-6.
- [7] Bereczki, P., Palotás, B: Növelt folyáshatárú acélok hegesztésének modellezése, *Tudomány hete, Műszaki szekció, Dunaújvárosi Főiskola*, 2013
- [8] Gleeble Application Notes: Simulation of Laser Welding HAZ

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az ismertett 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 projektek eredményeire alapozva – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

AUTÓIPARI ALUMÍNIUM ÖTVÖZETEK ALAKÍTHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA NÖVELT HŐMÉRSÉKLETŰ ALAKÍTÁS ESETÉN

INVESTIGATION OF AUTOMOTIVE ALUMINIUM ALLOYS' FORMABILITY AT ELEVATED TEMPERATURES

Budai Dávid*, Tisza Miklós**, Kovács Péter Zoltán***

ABSTRACT

Application of aluminium in car body manufacturing has already some decades of history. This innovation is forced by the strict emission rules and the low consumption efforts. This design direction appeared in the middle of the last century as the technology of the future. However, the aluminium – due to its significantly different properties compared to steel – creates limits for the production technology and tasks for the researchers to solve it. Due to these developments, today the economical production of a full aluminium body car is not a privilege of the premium segment anymore. With the recent developments, economic production of a medium category aluminium car in mass production volume has become available. The goals of the next decades are to increase the number of the aluminium car manufacturers and to find economical solution to product small size aluminium cars. Increasing the formability of aluminium and developing the joining technologies are the most relevant tasks in recent research topics. If the research area finds solutions to these problems, it makes the manufacturers think about the aluminium car technology, since using these solutions makes the production costs much lower and finally supports to start a new era in aluminium car production. In this paper an investigation of the formability of the EN AW 5754 aluminium alloy at elevated temperatures will be described. In these tests, the specimens formed at higher temperatures to obtain the FLC curves at different temperatures. These results are useful for the industry to develop forming processes and make the aluminium car production easier and more economical.

1. BEVEZETÉS

Az autóipari fejlesztéseket nagy kihívás elé állították a szigorú károsanyag kibocsátási normákkal [1][2], amelyek teljesítéséhez az autógyártóknak alapjaiban

kell újragondolni egy autó tervezését és gyártását. A napjainkban készülő új autók minden elemét a fogyasztáscsökkentést szem előtt tartva tervezik: kis gördülési ellenállású abroncsok, fedett keréktárcsák és hűtőnyílások, kis légellenállású forma, hibrid hajtáslánc, kis lökettérfogatú motorok, hosszú áttételű, vagy 8-9 fokozatú sebességváltók, valamint a korszerű anyagokból készülő karosszéria jelentik e fejlesztések fő elemeit. A fogyasztás csökkentésére a leghatékonyabb módszer az autó tömegének csökkentése. A nagyszilárdságú acélok alkalmazásával 10-25%-os tömegcsökkentést lehet elérni, míg az alumínium ötvözetek alkalmazásával ez akár 30-40% is lehet [3].



1. ábra: Jaguar XE – Az első teljes alumínium karosszériás felső-közép kategóriás személyautó

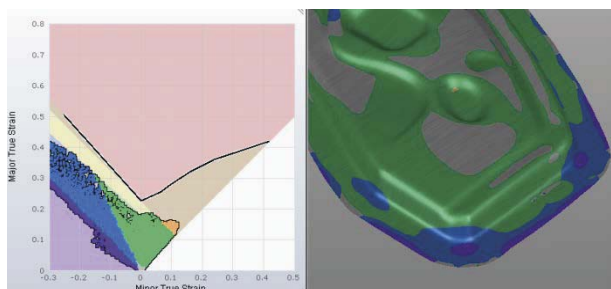
A lassú fejlődés oka, hogy az acélközpontú autógyártás számára az alumínium alkalmazása új kihívásokat jelent. Az alumínium esetenként alapvetően új gyártási eljárásokat igényel, amelynek oka az alumínium acéltól eltérő tulajdonságaiban keresendő. Egy alumínium autó gyártásához nem elég az acél alapanyagot alumíniumra cserélni, hanem alapjaiban kell új technológiát és szerszámokat kidolgozni az eltérő tulajdonságú alapanyag megfelelő alakításához. Az alábbi szimulációban azonos paraméterekkel és szerszámfelületekkel elvégeztünk egy alakítási modellezést acél (S355) és alumínium (EN AW 5754) alapanyag használatával – egyébként azonos feltételekkel – a két anyag különböző alakíthatóságának szemléltetésére. A numerikus modellezés eredményeiből jól látszik, hogy az alkatrész egyik

*PhD hallgató

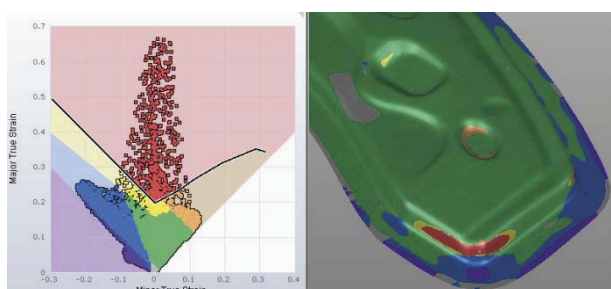
**egyetemi tanár, intézeti tanszékvezető

***egyetemi docens

sarkában lévő lekerekítést acélból gond nélkül alakíthatjuk (2. ábra), míg alumínium esetében (3. ábra) szakadás történik.



2. ábra: Alakítási szimuláció S350 acél ötvözetrel



3. ábra: Alakítási szimuláció 5754 alumínium ötvözetrel

Az alumínium kisebb alakíthatósága miatt nem csak az alakító szerszámok geometriáját kell megváltoztatni, hanem előfordulhat, hogy magát az alkatrészt kell áttervezni, mert az adott geometria nem állítható elő alumíniumból. Ez az egyszerű példa is rávilágít az alumínium autók gyártásának nehézségeire. Nem csak a gyártásban jelent változást az alumínium alkalmazása, hanem már az autók formavilágát is meghatározza. Ennek a következménye az, hogy az alumínium autók karosszériáját nagy kiterjedésű, síkfelületek jellemzik (4. ábra). Az alumínium alakíthatóságának növelése megoldás lenne mind a gyártástechnológia, mind a formatervezés számára, hogy az alumínium alkalmazása ne jelentsen egyik terület számára se kompromisszumot.



4. ábra: Az alumínium autók formavilágát sík felületek határozzák meg – Range Rover

Az alakíthatóság növelésére alapvetően két lehetőség kínálkozik. Az egyik az alakítási sebesség csökkentése,

ami a gyártás számára nem elfogadható, hiszen a gyártás sebességét nem lassítani akarják a fejlesztésekkel, hanem éppen gyorsítani. A másik lehetőség az alakítás hőmérsékletének növelése, amely növeli az alumínium alakíthatóságát. Ezt a tulajdonságot kihasználva jelentős alakváltozások érhetők el a hőmérséklet viszonylag kismértékű növelésével is. Az alakíthatóság-hőmérséklet adatokkal hasznos információt tudunk szolgáltatni a gyártás számára, így az alumínium lemezek alakíthatóságának vizsgálata az ipar számára a közvetlenül hasznos kutatási területek közé tartozik.

Az elemek gyártása mellett az összeszerelésnek is speciális igényei vannak, hiszen az alumínium hegesztése csak speciális és drága berendezésekkel végezhető el. Emiatt részesítik előnyben a gyártók a repülőgépiparból átvett szegecs- és ragasztott kötéstehnológiákat, amelyeket az alumínium elemek összeszerelésénél nagymértékben használnak. Ezekkel az eljárásokkal kellően merev kötések hozhatók létre, illetve különböző anyagminőségű lemezek kötése is gond nélkül megoldható. Az alkatrészek minősége a szerelésre való alkalmassággal jellemezhető, azonban ezekkel a költségeket csak igen óvatosan szabad becsülni. Az alkatrészek költségigénye függ a formától, a mechanikai tulajdonságoktól, tűrésektől, stb. Bizonyos technológiák után még kiegészítő megmunkálásokat is alkalmazni kell, amelyek tovább növelik a gyártási költségeket. Az alkalmazott technológia további fontos meghatározója egy alkatrész egységköltségének, hiszen egy 3D hajlítással vagy hidrofom alakítással készült alkatrész jóval többbe kerül, mint egy hagyományos öntéssel, vagy sajtolással előállított elem. Az alkalmazott szerszámok élettartama további fontos tényezője a rendszer költségeinek. Egy kis tűrésmezővel rendelkező alkatrész gyártásánál a szerszám tűrései is szigorúak, ami tovább növeli a költségeket. Jól látható, hogy az alumínium autók gyártásánál az egész gyártórendszert újra kell gondolni és tervezni, hogy a tömegcsökkentés szempontjából kiemelten fontos alumínium autókat gazdaságosan lehessen gyártani. A legfontosabb paraméter a gyártási volumen, amely így alapjaiban határozza meg az autó szerkezeti felépítését, hiszen nagysorozatgyártásban megtérülnek a drága présszerszámok, így az autó akkor állítható elő gazdaságosan, ha azt minél több lemezalkatrész alkotja. Közepes darabszámnál már az öntött és extrudált profilok jelentik az optimális megoldást [5].

2. AZ ALUMÍNIMUM AUTÓIPARI ALKALMAZÁSA

Az alumínium autók történetében a Panhard Z1 volt az első, amelyet sorozatgyártásban készítettek. Ez az autó a mai besorolás szerinti EN AW-5754 (AlMg3)

ötvözetből készült 1953-ban. Az autógyártás folyamatosan vizsgálta az alumínium autók sorozatgyártásának megvalósíthatóságát. Az 1980-as évekig inkább csak technológiai különlegesség volt, mint sem valóság. A Porsche 1981-ben a frankfurti autósalonon kiállított egy elérhető acél karosszériával készült 928-as típust, mellé pedig az alumíniumból készült példányt. A Porsche EN AW-6016 ötvözetet használt a kísérleti példány megépítésére, amely így 106 kg-mal volt könnyebb, mint a mellette álló hagyományos, acél alapú autó. Az alumínium használatával az autó karosszériája mindösszesen 161 kg volt. A kiállítás hatására az Audi is elkezdte az alumínium autó projektjét. Az első általuk készített kísérleti autó egy Audi 100-as volt, teljes alumínium karosszériával. Az 1990-es évek elején az Alcan Aluminium Ltd. és a Ford közösen fejlesztették saját alumínium prototípusukat. Az együttműködésből készült Ford P2000 az EN AW-5754 ötvözetből készült, akárcsak a korábban említett Panhard Z1. A Ford technológiáját később átvette konszernen belül a Jaguar, amely az XJ220-as sportautó után kezdett kiemelten foglalkozni az alumínium használatával. Az Alcan és a Ford által kifejlesztett AVT technológiával készült Jaguar XJ-nél a külső lemezekhez EN AW-6111, a belső elemekhez pedig EN AW-5182 ötvözetet alkalmaztak. Ebben a típusban megjelent az EN AW-7108-T6 ötvözetből készült első és hátsó kereszttartó, valamint az EN AW-6082-T6 ötvözetből készült oldalmerevítő. A Jaguar Land Rover konszern másik márkájánál készülő Range Rover luxusterepjáró szintén teljesen alumínium karosszériával készült. A tetőburkolat az új fejlesztésű EN AW-6181A és 6451 ötvözetből készült. Ez az ötvözet nagyszilárdságú és kiváló fényezhetőséggel rendelkezik amellet, hogy alakíthatóságát megőrzi. Az EN AW-6014 ötvözetet különösen az ütközési zónákban használják. A Jaguar Land Rover mellett az Audi rendelkezik kiforrott, sorozatgyártásra alkalmas alumínium autó technológiával. Az Audi első sorozatgyártásba kerülő alumínium autója az A8-as volt 1994-ben. Az Audi A8 sajtólással előállított elemei EN AW-6060 ötvözetből, külső lemezei EN AW-6016, belső lemezei EN AW-6009, strukturális elemei EN AW-5182, öntött elemei pedig A356 (7Si-0,3Mg) ötvözetből készültek. Az Audi következő lépése a kisméretű A2-es autó alumínium karosszériájának kifejlesztése volt. Az Audi ezzel a típussal kívánta megteremteni az első 3 liter / 100 km fogyasztású autóját. A külső lemezek EN AW-6016, a szerkezeti részek EN AW-6181A, míg a többi elem EN AW-6014 ötvözetből készült. A következő generációs A8-ban már az A2-ben bevált EN AW-6181A ötvözetet használták a szerkezeti elemek gyártására. Az öntött alkatrészek GD- AlSi10Mg , GD- AlMg3Mn és AlSi7Mg ötvözetekből készültek A VW konszernhez tartozó Lamborghini megkapta az Audi alumínium autó

technológiáját, így a jelenlegi Lamborghini modellekben is az Audinál bevált ötvözeteket használják. Példaként, a Lamborghini Gallardo EN AW-6060 ötvözetet használ a préselt elemekhez, AlSi7 ötvözetet az öntött alkatrészek gyártásához, míg a külső és belső panelekhez EN AW-6016 és EN AW-6181 ötvözeteket. A konszernen belüli technológia megosztás kiváló példája az Audi R8 sportautó alumínium karosszériája, amelyet a Lamborghini tapasztalatai alapján alkottak meg. Az R8 karosszériája szinte teljesen az EN AW-6181A ötvözetből készült a megkövetelt nagy szilárdság érdekében. Az Audi A8 legújabb típusában az előzőekben tárgyalt ötvözeteket használták, de nőtt az EN AW-6181A ötvözet felhasználás mennyisége. Az Audi A8-ban használt alumínium ötvözetek az alábbiak szerint változtak:

- Audi A8 (D2):
7 ötvözet szilárdsági tartomány: 100-200 MPa
- Audi A8 (D3):
10 ötvözet szilárdsági tartomány: 120-240 MPa
- Audi A8 (D4):
13 ötvözet szilárdsági tartomány: 120-280 MPa

A típus fejlődésével nőtt az alkalmazott ötvözetek száma és azok szilárdsági tartománya. Ez jól szemlélteti az alumínium autó technológiájának fejlődését, valamint azt, hogy egyre több speciális alkalmazásra készült ötvözet talál helyet a típusokban, míg korábban csupán egy-egy ötvözetből készültek az alumínium autók. A Jaguar Land Rover és az Audi sorozatgyártás számára készít alumínium autókat, ami a folyamatok egyszerűsítését és a használt anyagok számának csökkentését igényli. Ezzel szemben egy egyedi, vagy kissorozatban készülő autóban sokkal több ötvözetet használnak. A Ferrari 548 Italia karosszériájában az öntött elemek C65K T7 (10% Si, 0.13% Fe, 0.60% Mn, 0.32% Mg, 0.02% Sr) és C611 T5 (AlSi7Mg) ötvözetből, az extrudált elemek 6082 T6, 6005 T6, 6260 T6, 6063 T6 és H0682 T6, míg a lemezek 6181A T6, 6082 T6 és 6022 T6 ötvözetekből készülnek. A BMW konszern egyik alumíniumból készült autója a BMW Z8. A típushoz készült extrudált elemek EN AW-6060, 6063 és 6082 ötvözetből, míg a strukturális elemek EN AW-5754 és 5182 ötvözetből készültek. A belső panelek szintén EN AW-5754 és 5182-ből, míg a külső lemezek EN AW-6016 ötvözetből készültek. A BMW 2010-ben már teljes alumínium frontrésszel rendelkező 5-ös és 6-os típust mutatott be. A frontrész préselt lemezeihez EN AW-5042 (AlMg3.5 Mn), EN AW-5182 valamint EN AW-6008 ötvözetet, extrudált darabokhoz pedig EN AW-6060 és EN AW-6082 ötvözetet alkalmaztak. A BMW konszernhez tartozó Rolls-Royce egyedi luxusautókat gyárt. A legnagyobb modelljük, a Phantom, szintén alumínium karosszériával rendelkezik. A Rolls-Royce Phantom 6 méteres hosszával az egyik

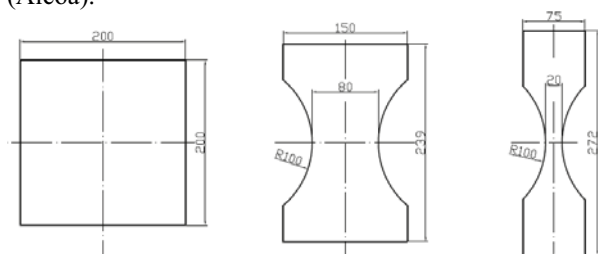
legnagyobb luxusautó a piacon. A karosszéria merevségének biztosítása érdekében az autó robosztus szerkezeti felépítéssel készült, amely az alumínium használatával nem jelentett jelentős tömegnövekedést. Az extrudált elemeket az EN AW-6060, 6063 és 6082 ötvözetekből készítik. A külső lemezek EN AW-6016, míg a belső panelek EN AW-5182 és 5454 ötvözetből készülnek [5].

3. A KÍSÉRLETEK LEÍRÁSA

Kísérleteinkben az autóiiparban használt EN AW 5754 H22 alumínium ötvözet alakíthatósági határdiagramját vettük fel különböző hőmérsékleteken, túllépve az elérhető maximális alakíthatósághoz tartozó hőmérsékletet is. Fontos volt kísérleteink során, hogy ipari körülményeket szimuláljunk, így eredményeink a jövőbeni ipari alkalmazás számára közvetlenül hasznosíthatók.

3.1. Anyag

Kísérleteinkhez EN AW 5754 (AlMg3) ötvözetet választottunk, amelyet a könnyű sportautók építésénél mind belső, mind külső elemek gyártásánál alkalmaznak. Az 5754 ötvözetet olyan híres típusokban találhatjuk meg, mint a Jaguar XK, Lotus Evora és a Chevrolet Corvette [5]. Ez az ötvözet közepes szilárdságúnak számít az alumíniumok között. Összetétele: 95,8% Al, 2,78% Mg, 0,29% Si, 0,36% Fe, 0,37% Mn. Hőkezeltégi állapota: H22. Mechanikai tulajdonságai: $R_{p0,2}=180$ MPa; $R_m=243$ MPa; $A_{50\%}=17$ (Alcoa).



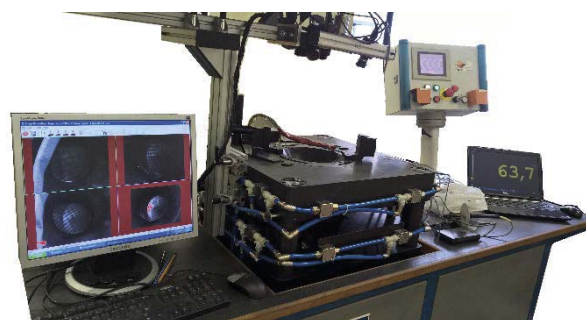
5. ábra: A vizsgálati próbatestek

A próbatesteket 1,0 mm vastagságú lemezből készítettük különböző geometriával. Az egyes alakok az FLC jellegzetes nyúlásútvonalaihoz tartoznak (5. ábra).

3.2. A kísérleti berendezés

A kísérleti vizsgálatainknál alkalmazott lemezvizsgáló gép egy számítógép vezérlésű, univerzális, lemezvizsgáló berendezés (6. ábra), amely különféle lemezalakíthatósági vizsgálatok elvégzésére (Erichsen, Nakazima, Bulge, FLD, FLC meghatározás) alkalmas. A berendezés elektrohidraulikus működtetésű, a főnyomó henger névleges kapacitása alapján acél esetén 3 mm, alumínium esetében 6 mm lemezvastagságig alkalmas a legkülönbözőbb

lemezvizsgálatok elvégzésére. A berendezés 100 mm átmérőjű, félgömb alakú mélyhúzó bélyeggel, ehhez illeszkedő húzógyűrűvel, valamint ráncgátlóval rendelkezik. A berendezés maximális terhelhetősége $F_{max}=600$ kN, a megvalósítható sebességtartománya $v=0...5$ mm/s. A berendezés rendelkezik a folyamatos alakváltozás mérést végző optikai mérőrendszer felfogásához szükséges tartozékokkal, elektronikus vezérlése pedig lehetővé teszi a lemezvizsgáló gép és az optikai alakváltozás mérő rendszer összehangolt működtetését. Az alakítás során bekövetkező alakváltozásokat a munkadarab felületére felvitt rácshálózat torzulásának mérésével határozhatjuk meg.



6. ábra: A vizsgálati berendezés

A képmérés technikája lehetővé teszi, hogy a rácspontok 3D-s koordinátáit különböző nézetekből felvett képekből egyértelműen meghatározzuk. Az AutoGrid mérőrendszer 4 CCD kamerát használ mobil mérőfejekkel, amelyek érzékelik, és nagy pontossággal mérik a különböző térbeli helyzeteket. A kamerák előkalibráltak és rendelkeznek olyan korrekciós lehetőséggel, amely megfelelő mérési pontossággal képes az alakváltozás méréshez szükséges elmozdulásokat erősen görbült felületeken is elvégezni. A mérések alapján az alakváltozási- és a feszültségi eloszlás is meghatározható. Az elsődleges mérési eredmény természetesen a felületi alakváltozási eloszlás. A Vialux – AutoGrid rendszer átfogó és sokoldalú szoftvereszközöket tartalmaz az automatikusan mért adatok elemzésére és az alakítási határgörbék (FLC – Forming Limit Curves) meghatározására [6].

3.3. Vizsgálati paraméterek

A vizsgálat során olyan ipari körülményeket modelleztünk, amelyben a lemezt külön nem melegítik elő, csupán a szerszámok hőjét veszi fel. A gyártás során külön előmelegítést biztosan nem alkalmaznának, mivel jelentősen megbonyolítaná a technológiát, illetve az előmelegítés hőmérsékletén eltöltött különböző időtartamok okozta eltérő anyagszerkezeti tulajdonságok (kilágyulás) miatt a gyártmányok egyenletes minősége sem lenne biztosítható. Az

alakítási kísérletek során az előmelegített szerszámmal való érintkezéssel felmelegített lemezt alakítottuk. A lemez hőmérséklete gyorsan elérte a maximumot, így azt tekintettük az alakítás hőmérsékletének. A vizsgált alakítási hőmérsékletek: 130°C, 200°C és 260°C. Referenciaként elvégeztük az alakítást szobahőmérsékleten is. A szerszám és a lemez hőmérsékletéből látszik, hogy a jó hővezetés miatt a lemez hőmérséklete jelentősen kisebb a szerszám hőmérsékleténél.

Szerszám	250°C	400°C	600°C
Lemez	130°C	200°C	260°C

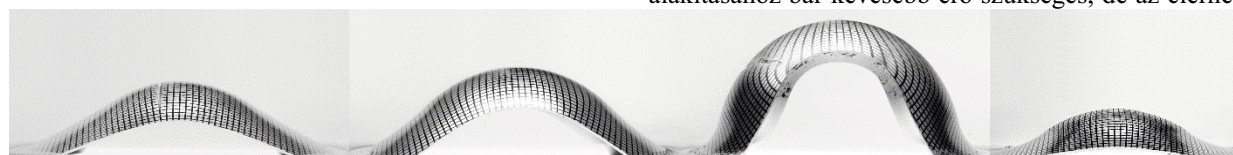
1. táblázat: A szerszám és a lemez hőmérséklete

A vizsgálatok során minden egyes alakításnál a bélyeg sebessége 0,5 mm/s volt. Kenést nem alkalmaztunk, amivel biztosítottuk az egységes feltételeket. A szorítógyűrűk 150 kN erővel rögzítették a lemezt.

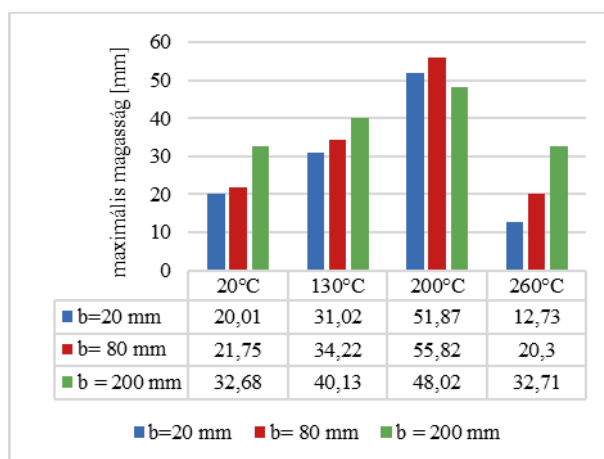
4. A KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

A vizsgálatok során mértük a bélyeg elmozdulását (darab maximális magassága), a terhelő erőt, valamint a lemez hőmérsékletét. A háló és az optikai mérőkiértékelő rendszer segítségével pedig a szakadás előtti maximális nyúlást, amelyből az FLC görbét kapjuk. A lemezek szakadásig elviselt mélyítése során azt tapasztaltuk, hogy a hőmérséklet 200°C-ig tartó növeléséig az elért magasság nőtt. Különösen jelentős volt a növekedés 200°C-on, azonban 260°C-nál romlott az eredmény, ezen a hőmérsékleten szinte minden esetben kisebb magasságot értünk el, mint szobahőmérsékleten (7. ábra). Az eredmények azt mutatják, hogy az EN AW 5754 H22 maximális alakíthatóságát 200°C fölött és 260°C alatt, feltehetőleg 200°C-hoz közelebb éri el. Az optimális alakítási hőmérséklet pontos meghatározásához további kísérleteket végzünk a jövőben. A 8. ábrából látható, hogy igen jelentős alakíthatóság növekedést értünk el a 200°C-os alakítással, ami a szobahőmérsékleten mért nyúlás majdnem kétszeresét jelenti.

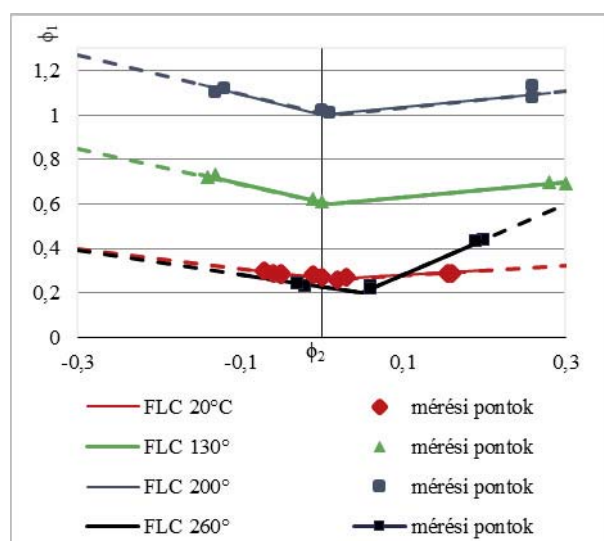
A felvett FLC görbék követték a próbatestek nyúlásának elemzésénél tapasztalt tendenciát. Az alakítási határgörbék eltolódtak, szemléltetve, hogy a lemez alakíthatósága jelentősen megnőtt (9. ábra).



7. ábra: A különböző hőmérsékleteken alakított próbatestek (balról jobbra: 20°C – 130°C - 200°C - 260°C)



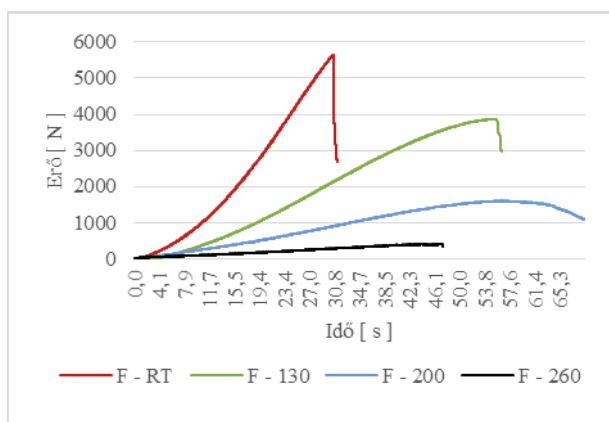
8. ábra: A különböző hőmérsékleteken elért maximális magasság



9. ábra: A különböző hőmérsékleteken kapott FLC görbék

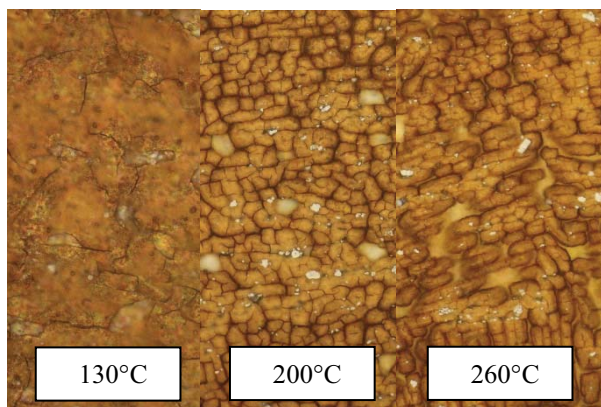
Az erő-elmozdulás diagramok szintén hasznos információkkal szolgálnak az alakítás szempontjából. A maximális erő elérésekor elkezdi csökkenni a terhelőerő, mialatt a darab magassága még növekszik (10. ábra). Ebben a szakaszban a helyi kontrakció tartományában járunk, amely a szakítódiagramban tapasztalt jelenségekhez hasonlít. Ebben a szakaszban még alakítható a darab, de már közelítünk a szakadáshoz. Az erő-elmozdulás görbék elemzésével jól feltérképezhető ez a tartomány is. A hőmérséklet növelésével az alakító erő jelentősen csökkent. A legkisebb erő a 260°C-os alakításhoz kellett. Ez jól mutatja, hogy 260°C-on az alakításhoz bár kevesebb erő szükséges, de az elérhető

nyúlás jóval kisebb. Az anyag folyáshatára csökken a hőmérséklet növelésével, de az alakváltozó képessége ezt nem követi ilyen jelleggel. Egyértelmű, hogy olyan anyagszerkezeti változások indultak be ezen a hőmérsékleten, amelyek a tapasztalt nyúlás csökkenéshez vezetnek.



10. ábra: A 200 mm hídsszélességű próbatest erő-idő diagramja

Ezt a mikroszkópi felvételek szintén alátámasztják. Jól látható, hogy a szemcsék mérete jelentősen lecsökken a 200°C-os alakításnál, míg 260°C-nál megváltozik a szemcseszerkezet morfológiája (11. ábra). Ebben a cikkben az anyagszerkezeti változásokkal nem kívánunk foglalkozni, de egy további közleményben erre visszatérünk.



11. ábra: Szemcseszerkezet 130°C, 200°C és 260°C-on való alakítás után (Nagyítás 200X)

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A választott EN AW 5754 alumínium ötvözet növelt hőmérsékleteken végzett kísérletei eredményesen zárultak: nem csak az alakíthatóságot sikerült növelni, hanem igazoltuk az optimális alakítási hőmérséklet létezését is. A meghatározott FLC görbék használható információval szolgálhatnak a modellezés és a gyártástechnológiai tervezés számára. A kísérletek során azt tapasztaltuk, hogy jelentős alakíthatóság-növekedés

130°C fölött jelentkezik, ami arra utal, hogy egy meghatározott hőmérsékletet át kell lépni, hogy megfelelő számú új csúszási síkok aktivizálódjanak, ami már mérhetően javítja az anyag alakíthatóságát. Az 5754 ötvözet újrakristályosodási hőmérséklete 240°C, amit az utolsó vizsgálati sorozat során át is léptünk. Az újrakristályosodás bekövetkezését a 260°C-on alakított darab mikroszkópos képe igazolja. A kísérletek következő szakasza az alakítási sebesség növelése, valamint az acéllal megegyező, vagy annál jobb alakíthatóságot elérni a paraméterek megfelelő megválasztásával, mivel a kutatás fő célja, hogy az alumínium minél kisebb szerszámmódosítással alkalmazható legyen az autóiparban.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Európai Bizottság Kommunikációs Főigazgatóság, Közérthetően az Európai Unió szakpolitikáiról - Éghajlat-politika, Belgium 2014, ISBN: 978-92-79-24716-3
- [2] International Council for Clean Transportation (ICCT); Global Comparison for Passenger Car and Light Commercial Vehicle Fuel Economy/GHG Emissions Standards; February 2014 Update; <http://www.theicct.org>
- [3] Tisza Miklós; Képlékenyalakítás a járműiparban; ISBN 978-963-358-082-0; Miskolci Egyetem 2015
- [4] The Alu-maximised Car Study, ika-RWTH-Aachen University, 2003, Germany
- [5] European Aluminium Association: The Aluminium Automotive Manual, (2002) <http://www.alueurope.eu/aam/>
- [6] Kovács Péter Zoltán, Alakítási határdiagramok elméleti és kísérleti elemzése, PhD értekezés; Miskolci Egyetem 2015

A 3D NYOMTATÁS (FDM) PARAMÉTEREINEK VIZSGÁLATA, OPTIMALIZÁLÁSA

THE EXAMINATION AND OPTIMIZATION OF 3D PRINTING (FDM) PARAMETERS

Tóth Dénes *, Kovács Péter Zoltán **, Tisza Miklós ***

Abstract

We can easily give shape to our plans with great freedom applying the FDM (Fused Deposition Modelling) process. It is a great advantage of this method that there is no need for special and expensive tools; models can be easily prepared by using a simple, compact device.

In order to obtain the desired results, we must know the process, and its critical parameters determining the quality of the final product. During our experiments we examined that a given quality filament (the plastic wire used for printing) which can be processed with various printing options, in what combination would lead to the best results in tensile test. Then we examined the possible practical applications of the obtained results.

In this paper, we would like to introduce the rapid prototyping technologies and particularly, the investigated FDM process; we also want to show the properties of the PLA polymer, as well as the printing parameters themselves.

Bevezetés

Az FDM (Fused Deposition Modelling) eljárással, nagy szabadsággal, adhatunk egyszerűen alakot terveinknek. Az eljárás nagy előnye, hogy különleges és drága szerszámok nélkül, egy kompakt méretű berendezéssel készíthetjük el modelljeinket.

Ahhoz, hogy a várt eredményt kapjuk, ismernünk kell a nyomtatás, és így a végtermék minőségét is befolyásoló paramétereket. Kutatásunk során azt vizsgáltuk, hogy egy adott anyagminőségű filament (a nyomtatás során használt műanyag huzal) feldolgozása során felmerülő beállítási lehetőségek milyen kombinációjával tudjuk a szakítóvizsgálat során vizsgált paraméterek szempontjából legkedvezőbb eredményt elérni. A vizsgált FDM eljárással egy ritka és nehezen beszerezhető alkatrészt is elkészítettünk egy veteránautóhoz, ezzel is alátámasztva az eljárás létjogosultságát.

* PhD hallgató

** egyetemi docens

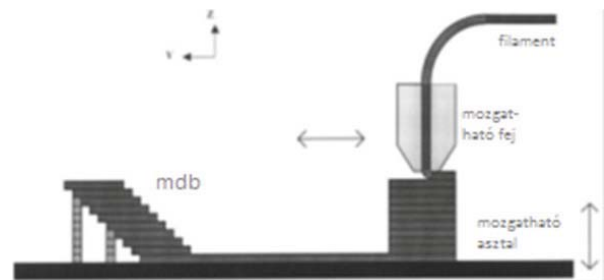
*** egyetemi tanár, tanszékvezető

A cikkben bemutatjuk a vizsgált FDM eljárást, majd a vizsgált PLA anyagminőségű polimer tulajdonságait, valamint magukat a vizsgálati paramétereket és eredményeket.

1. Az ömledékfelrakó eljárás (FDM)

Kutatásunk témáját meghatározó eljárás az FDM. Az 1. ábrán látható, ahogy a mozgatható fej egy kisméretű ($d=0.4$ mm) extrúder, amelybe az alapanyag műanyag szálát egy szilikoncsövön keresztül egy bordástengely továbbítja. Az alapanyag olvadáspontját minimálisan meghaladó hőmérsékletre hevíti a fej, így a rendkívül vékony rétegvastagságnak köszönhetően akár 0.1s alatt megszilárdul az anyag a munkaasztalon, vagy a korábbi felrakott rétegeken. Miután a fej elvégezte egy réteg „nyomtatását”, a következő réteget az asztal X, Y-irányú, és/vagy a berendezéstől függően a nyomtatófej Z irányban való elmozdításával tudja folytatni.

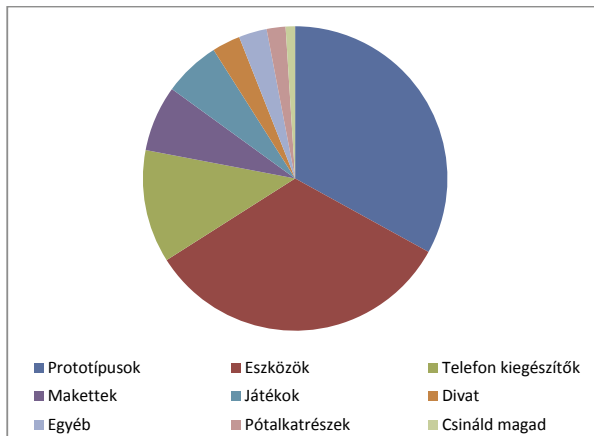
Előnyei között megemlítenéd, hogy jelenleg ár-érték arányban kiemelkedő a többi eljárásához képest. A berendezések ára 100.000 Ft-os nagyságrendtől indul, így igen széles körben terjed. A kompakt méretű asztali berendezések is 200*200*150 mm munkatér fogattal rendelkeznek. A rétegvastagság akár 20 μ m is lehet, míg a nyomtatási sebesség elérheti a 200 mm/s-t.



1. ábra Az FDM eljárás elvi vázlatja

Ezzel az eljárással jellemzően kis olvadáspontú polimereket, az akrilnitril-butadién-sztirol és polilaktid különböző változatait használják.

Kaphatók orvosi célra kialakított (medical abs (MABS)), valamint fluoreszkáló, elasztikus PLA, illetve különböző fémporral elegyített alapanyagok is. Az FDM eljárás az egyik legolcsóbb és lepraktikusabb rapid prototyping technológia, amellyel használható késztermék készíthető. Töretlen népszerűségét is e tulajdonságainak köszönheti, hiszen ma már nem csak prototípust várnak a felhasználók a berendezéseiktől. Ahogyan a többi eljárás esetén is igaz, ezek a gépek olyan univerzális eszközei a mindennapoknak, amelyek kis darabszámú, egyedi darabok gyártását úgy teszik lehetővé, hogy azok elkészítéséhez nincsen szükség költséges szerszámok elkészítésére.



2. ábra Az FDM-el készített darabok jellegének megoszlása [3]

Mint látható, egy a 3ders.com oldalon megjelent statisztika szerint körülbelül 33-33%-ban oszlik meg a nyomtatott termékek tekintetében a prototípus, illetve a hétköznapi eszközök nyomtatása. Ezeket követi a telefon kiegészítők, játékok, pótalkatrészek nyomtatása.

2. A vizsgált polimer, a polilaktid (PLA)

A polilaktid egy biológiailag lebomló, hőre lágyuló poliészter, amelyet megújuló forrásokból készítenek (pl.: kukoricakeményítő, cukornád, vagy a tápióka gyökeréből). Két fő monomerje van: a tejsav, valamint a ciklusos diészter, a laktid.

Olvadáspontja 150-160 °C, nyomtatási hőmérséklete 190-260°C-ra választható. Számos változata között megtaláljuk a rugalmas (PLA FLEX), víztiszta, félig fényáteresztő kopolimerjeit is. A PLA extrudálással, fröccsöntéssel, kalanderezéssel, öntéssel is feldolgozható. Testbarát felhasználhatósága miatt alkalmazzák felszívódó orvosi implantátumok, csavarok, készítésére is. Ezt az anyagot a szervezet –

mérettől függően – 0.5-2 év közötti intervallumban tudja lebontani. Előnye, hogy fokozatosan bomlik le, így fokozatosan adja át a terhelést a gyógyuló szövetnek (pl.: csont). Használják csomagolóanyagként, eldobható műanyag tárgyak elkészítéséhez. Újrahasznosítható, monomerjeire termikus depolimerizációval, vagy hidrolízissel bontható le [2][3].

3. A szakítóvizsgálat és eredményei

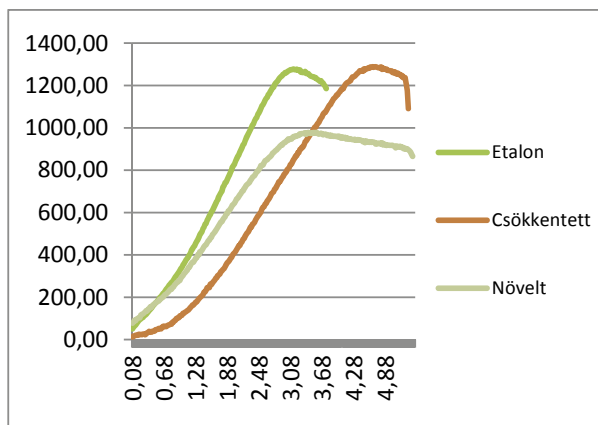
A szakítóvizsgálatot az Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet Anyagvizsgáló Laboratóriumában található MTS vizsgálóberendezéssel végeztük el. A különböző technológiai paraméterekkel elkészített próbatesteken (ISO 3167 1A) előkészítés és a méretek ellenőrzése után végeztük el a vizsgálatokat. A vizsgálatokat $v = 0.5$ mm/s keresztfej sebességgel végeztük. A mérési eredményeket a készülék rögzítette, a továbbiakban ezeket diagram formájában, a számított értékeket táblázatosan ismertetjük. A táblázatban szereplő jelek magyarázata:

1. F_M : legnagyobb erő [N]
2. σ_M : húzószilárdság [MPa], a maximális erő és a kezdeti keresztmetszet hányadosa
3. L_0 : a próbatest vonatkoztatási hossza [mm], az 1A próbatest esetén ez 50mm
4. ΔL_M : nyúlás [mm], a legnagyobb erő fellépéséig bekövetkező nyúlás
5. ΔL_B : nyúlás [mm], a törésig bekövetkezett nyúlás
6. ε_M : nyúlás a legnagyobb erőnél [%]:
$$\varepsilon_M = \Delta L_M / L_0 * 100$$
7. ε_B : nyúlás törésnél [%]: $\varepsilon_B = \Delta L_B / L_0 * 100$.

A vizsgálatok összehasonlításához az 1-3. próbatesteket használtuk etalonként: itt a vizsgált paraméterek rögzített értékeivel nyomtattuk ki őket. A vizsgált paramétereik, a rögzített értékekkel felüntetve:

- Rétegvastagság ($s = 100 \mu\text{m}$)
- Kitöltöttség (100%)
- Nyomtatási sebesség ($v = 100 \text{ mm/s}$)
- Hőmérséklet ($T_{fej} = 210^\circ\text{C}$)
- Próbatest felépítési iránya (*fekvő orientáció*)

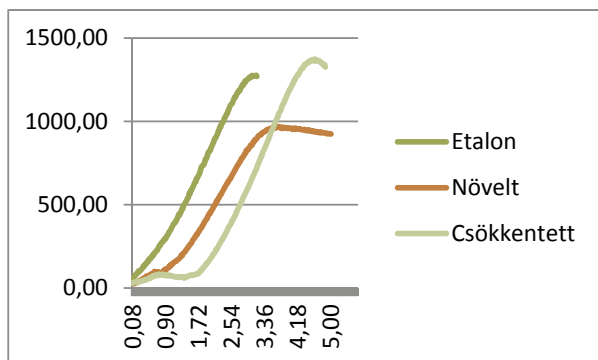
1. táblázat A nyomtatási sebesség befolyásoló hatása



Az 1.-3. számú próbateteket készítettem el a rögzített paraméterekkel, a későbbiek folyamán ezek szolgálnak az összehasonlítások alapjaiként. A 4.-6. számú próbateteket csökkentett ($v=50$ mm/s), amíg a 7.-9. jelölésű próbateteket növelt ($v=150$ mm/s) nyomtatási sebességgel készítettem el.

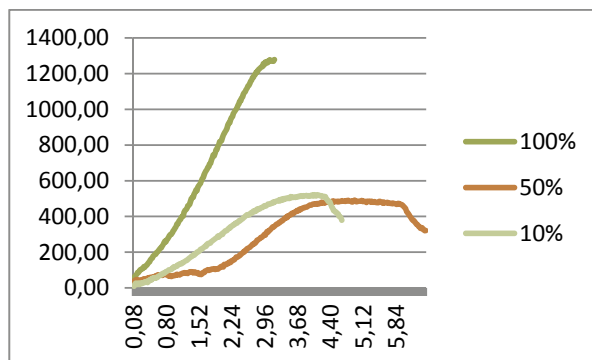
A vizsgálat igazolta, hogy a nyomtatás sebessége hatással van az elkészülő darab szakítószilárdságára.

2. táblázat A nyomtatási rétegvastagság hatása



A 10.-12. jelű próbateteket növelt rétegvastagsággal ($150 \mu\text{m}$), a 28.-30. jelű próbateteket csökkentett rétegvastagsággal ($50 \mu\text{m}$) nyomtattuk. A vizsgálat során kiderült, hogy a rétegvastagság növelésével csökkenést, a csökkentett rétegvastagságnál kismértékű növekedést fedezhetünk fel a vizsgált paraméterek értékeiben.

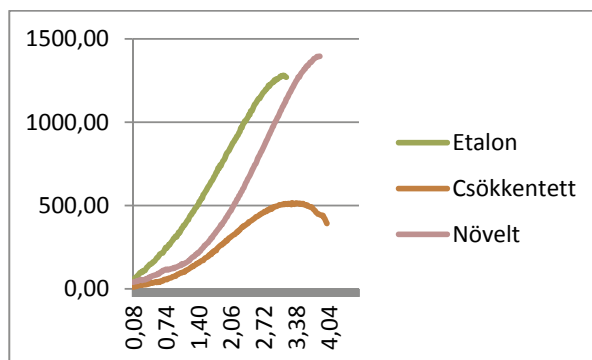
3. táblázat A próbatetek belső kitöltöttségének hatása



A Cura segédprogram (amely a nyomtató számára elkészíti a GCode programkódot) minden lehetőséget megad, hogy a nyomtatási idővel és alapanyaggal gazdálkodni tudjunk. Sok esetben nincsen szükség teljes belső kitöltöttségre, a prototípusok jellemzően vizuális szemléltető-eszközök.

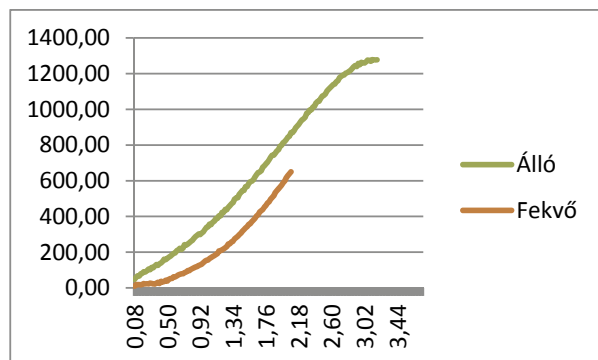
A három vizsgált beállítás (13.-15. próbatetek: 50%, 25.-27.: 10%) során egyértelműen látszik, hogy drasztikusan csökkennek a szilárdsági jellemzők.

4. táblázat A nyomtatási hőmérséklet hatása



A vizsgálatok során jelentős különbségeket sikerült a nyomtatási hőmérséklet változtatásával elérni. A 19.-21. próbateteket csökkentett ($T=190^\circ\text{C}$), a 22.-24. próbateteket ($T=230^\circ\text{C}$) megnövelt hőmérsékleten készítettük el. Vélhetően az erősebb kötések kialakulása miatt, a növelt hőmérsékletű próbatetek több, mint kétszer olyan szakítószilárdságúak, mint a 190°C -on nyomtatottak.

5. táblázat A próbatetest nyomtatási orientációjának hatása



Az orientáció kérdésében a vártaknak megfelelően a fekvő orientáció egyértelműen nagyobb szakítószilárdságot eredményezett, mint az álló (16.-18. próbatestek).

6. táblázat Az adatok összesítő táblázata

Sor sz.	F_M [N]	σ_M [MPa]	ΔL_M [mm]	ΔL_B [mm]	ϵ_M [%]	ϵ_B [%]
1.	1272	29,2	3,20	3,76	6,40	7,52
2.	1289	30,0	3,14	3,28	6,28	6,56
3.	1280	29,8	3,10	3,18	6,20	6,36
4.	1365	31,8	3,54	4,12	7,08	8,24
5.	1288	29,6	4,70	5,32	9,40	10,64
6.	1383	32,9	3,70	3,84	7,40	7,68
7.	907	20,8	3,66	3,96	7,32	7,92
8.	979	22,3	3,60	5,44	7,20	10,88
9.	1065	25,4	3,66	4,66	7,32	9,32
10.	1002	23,3	3,92	4,94	7,84	9,88
11.	1001	23,3	3,78	5,70	7,56	11,40
12.	968	22,3	3,72	5,02	7,44	10,04
13.	488	11,4	4,56	5,28	9,12	10,56
14.	468	10,9	4,26	5,66	8,52	11,32
15.	491	11,7	4,94	6,50	9,88	13,00
16.	312	8,1	1,92	2,24	3,84	4,48
17.	587	15,3	1,98	2,06	3,96	4,12
18.	650	16,8	2,08	2,48	4,16	4,96
19.	709	16,6	3,58	3,90	7,16	7,80
20.	640	15,0	3,64	3,88	7,28	7,76
21.	516	11,8	3,30	4,00	6,60	8,00
22.	1735	39,6	3,40	3,46	6,80	6,92
23.	1395	33,2	3,88	4,12	7,76	8,24
24.	1475	34,3	4,28	4,74	8,56	9,48
25.	494	11,9	3,94	6,00	7,88	12,00
26.	472	11,4	3,80	5,70	7,60	11,40
27.	522	12,1	4,12	4,66	8,24	9,32
28.	1314	30,6	4,20	4,50	8,40	9,00
29.	1318	30,3	3,86	3,88	7,72	7,76
30.	1374	32,7	4,76	5,02	9,52	10,04

Itt nagyobb felületen kötnek egymáshoz a rétegek, illetve a keskeny, álló orientációból eredő szűk keresztmetszet az ömledék-felrakásos berendezéseknél kihívást jelent alakhelyesség tekintetében, a próbatestek oldalai enyhén bordázottak lettek, amely a próbatestek vizsgálati szakaszában feszültséggyűjtő helyekként is jelentkezhetnek.

Összefoglalás

Az FDM eljárás egyre nagyobb teret nyer a hobbi gépek piacán. A gépek egyszerűek, az elkészülő darabok utómunka nélkül is kielégítő minőségűek. A felhasználható anyagok köre egyre nő, már 400°C fokra is felfűthető fejekkel akár polikarbonát, polietilén is nyomtatható. Ahhoz, hogy a terveinknek, a felhasználási feltételeknek minél jobban megfelelő darabot készíthessünk, ismernünk kell mind az alapanyagot, mind pedig a berendezést és annak beállításait.

A vizsgálatokból kiderült, hogy egy paraméter helyes megválasztásával akár 2,5-szeres szakítószilárdságot érhetünk el, úgy, hogy mást nem változtatunk. A vizsgált paraméterek legkedvezőbb kombinációját szeretnénk a későbbiek folyamán egyetlen próbatesten belül alkalmazni, majd összevetni az anyag fröccsöntött próbatestével. Szeretnénk rávilágítani, hogy az FDM nem csak egy gyors prototípus eljárás, hanem egy gyártási eljárás is lehet, amellyel egyedi, vagy kisszériás termelés is megvalósítható.

Köszönetnyilvánítás

A projektben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János. (2007). A polimertechnika alapjai.
- [2] D.T Pham, R.S. Gault, ScienceDirect. Letöltés dátuma: 2014. 03 19, forrás: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695597001375>
- [3] 3ders.com. (2014. 10 3). 3ders.com. Forrás: <http://www.3ders.org/articles/20131003-3d-hubs-sharing-3d-printing-trends-on-how-3d-printers-are-being-used.html>

A NITRIDÁLT RÉTEG POROZITÁSÁNAK CSÖKKENTÉSE CIKLIKUS FLOE GÁZNITRIDÁLÁSSAL

DECREASING THE POROSITY OF NITRIDED LAYER APPLYING CYCLIC FLOE PROCESS

Szilágyiné Biró Andrea, Dr. Tisza Miklós***

ABSTRACT

Nitriding is a well-established process in thermochemical surface engineering technologies. In some cases not only the hardness, but also the microstructure of the white layer is important. In case of tool steels the presence of the white layer is unnecessary, the hardness of the diffusion zone is sufficient to ensure high hardness thus sufficient wear resistance. In case of unalloyed or low alloyed steels the white layer can be hard enough, to improve the wear properties. Gas nitriding process is widely used in industry. The white layer on the surface, produced by gas nitriding is often porous. These pores formed by undiffused nitrogen atoms, if the diffusion rate is too slow (as it is case for white layers), and too many atoms stay near the surface. Floe invented a two-stage process, which consist of an active and a diffusion stage. During the active stage the temperature and the dissociation of the ammonia is lower.

During our experiment we improved this Floe process: the temperature is constant, and there is no ammonia in the chamber during the diffusion stage – thus to control this process version is much simpler. Our results show that during this process the depth of white layer decreased and the rate of the porosity is also lower.

1. BEVEZETÉS

A nitridálási technológia a felületötvöző eljárások között kiemelt jelentőségű az általa elérhető kedvező tulajdonságok miatt. Jelen publikáció célja egy olyan nitridálási technológiaváltozat bemutatása, amelynek segítségével csökkenthető a nitridálás során a vegyületi réteg porozitása, így tovább növelhető a nitridált felület kopással szembeni ellenállása.

1.1. A nitridálás jelentősége

A nitridálás a felülettechnológiákon belül a termokémiai eljárások közé tartozik. Olyan hőkezelési folyamatról van szó, amely során az acélba nitrogén diffundál, ott az alapfémekkel és annak ötvözőivel szilárd oldatot, illetve fémes vegyületet, alkot, ezzel növelve helyileg a keménységet, és így a kopásállóságot.

Ez az eljárás több előnnyel rendelkezik a másik széles körben alkalmazott termokémiai eljáráshoz, a cementáláshoz viszonyítva:

- az eljárás A_1 hőmérséklet alatt megy végbe, így nem történik allotróp átalakulás, ennek köszönhetően a vetemedés minimális;
- a képződött réteg már a kialakulása során eléri nagy keménységét, nem szükséges utóhőkezelés – edzés –, amely tovább csökkenti az alkatrészek méretváltozását;
- a kialakult réteg termodinamikailag stabil állapotban van, kedvező tulajdonságait a keletkezés hőmérsékletéig (jellemzően 520-570°C-ig) megőrzi.

A nitridált réteg a fenti technológiai jellemzőknek köszönhetően az alábbi felhasználói tulajdonságokkal rendelkezik:

- nagy felületi keménység,
- növelt kopásállóság,
- növelt fáradási élettartam és korróziós ellenállás,
- az alkatrész felületi rétege nagyobb hőmérsékleten is stabil (mint betétedzésnél).

1.2. A nitridált réteg szerkezete

A nitridált réteg két, mikroszkópi képen is jól elkülöníthető részből áll. A két réteg nitrogéntartalmában nagyon különböző.



1. ábra. A vegyületi réteg mélysége

A felülethez közel helyezkedik el a nagyobb nitrogéntartalmú vegyületi réteg, amely ötvöztelen acélokban ϵ és/vagy γ' fázisokból áll, Nitál-lal maratott képe alapján fehér rétegnek nevezik. A vegyületi rétegben nagy a hajlam a porozításra, és emellett jelentős különbség van

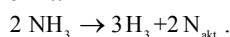
* tanársegéd, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezetani és Anyagtechnológiai Intézet

** egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezetani és Anyagtechnológiai Intézet

a fázisok hőtágulási tényezője között, ami maradó feszültségekhez majd mikro-repedésekhez vezethet. A vegyületi réteg alatt van a diffúziós zóna, amely ötvözetlen acél esetében felkeményedett, nitrogéntartalmú szilárd oldat (a nitrogén interstíciósan helyezkedik el). A nitridált réteg mélysége az idő, a hőmérséklet, és az alapanyag valamint a gáz összetételének függvénye. Az acél ötvözői a nitrogénnal vagy szilárd oldatot, vagy fémes vegyületet alkotnak, jelentősen megnövelve a nitridált rétegben elérhető maximális keménységet. A vegyületi réteg vastagsága a teljes nitridálási mélységnek mintegy 10%-a.

2. A GÁZKÖZEGŰ ELJÁRÁS TECHNOLÓGIÁJA

Gáznitridálás során a nitrogén leadó közeg az ammónia, amelyhez a túlzott nitrogénfelvétel megakadályozása érdekében nitrogént adagolnak. A hőkezelés előtt fontos, hogy az oxigént eltávolítsák (általában a kemencetér nitrogénnel való átöblítésével), megakadályozva ezzel a kezelt alkatrészek oxidációját. Az ammónia a kezelés hőmérsékletén részlegesen elbomlik, valamint az alkatrészek felületével való érintkezéskor szintén termodinamikailag instabil állapotba kerül és disszociál az alábbi egyenlet szerint:



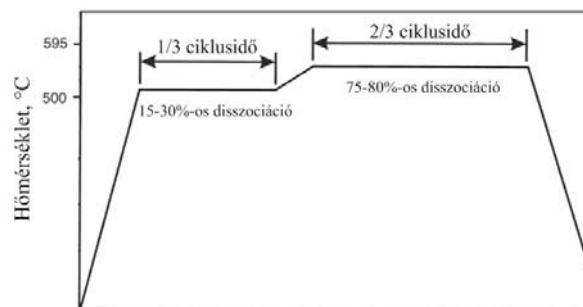
Gáznitridálás során a kemencetér aktivitása, vagyis a nitrogénkínálat az ammónia kemencetérben való disszociációs fokával jellemezhető. Mivel nitrogénfelvétel szempontjából az el nem bomlott ammónia a hasznos, így a nitrogénfelvétel aránya fordítottan arányos az ammónia elbomlásával.

A gáznitridálás során a rétegnövekedést két tényező befolyásolja (mivel a nitrogén beépülése is két részfolyamatra bontható):

- a nitrogén abszorpciós sebessége, amely a felvett nitrogén mennyiségét határozza meg,
- és a nitrogén diffúziós sebessége, amely a kialakult rétegmélységet befolyásolja.

A nitrogén diffúziós sebessége a felülethez közeli rétegek nitrogénben való dúsulásával csökken, így a rétegnövekedés a hőkezelés során folyamatosan lassul. A vegyületi rétegben a nitrogéndiffúzió meglehetősen lassú.

A vegyületi réteg mélységének csökkentésére/ kialakulásának megakadályozására, a gáznitridálás egyik alternatív módja a Floe, azaz a kétlépcsős eljárás, amelynek során először „aktiválják” a felületet nagyobb nitridálási potenciállal (hogy vasnitrideket képezzenek a felületen), azután pedig alacsonyabb nitridálási potenciál mellett biztosítják a rétegnövekedést. Ily módon nagyobb rétegmélység érhető el csökkentett vegyületi réteg vastagsággal, vagy egyes esetekben annak kialakulása nélkül.

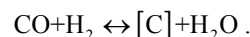


2. ábra. A Floe eljárás elvi vázlatja [1]

2.1. Gáz karbonitridálás

Az abszorpció sebességének növelése többféleképpen érhető el. Egyrészt nagyon fontos a felületi aktivitás biztosítása az eljárás kezdetén, amelyet általában előoxidációval érnek el. Másrészt a felületen elbomlott ammónia bomlástermékei a felülethez közel maradvak, akadályozzák az újabb ötvözőfelvételt. Az abszorpciós sebesség meggyorsításának egyik módja a karbonitridálás alkalmazása. Az eljárás során az alkalmazott nitrogénforráshoz karbonleadó közeget is adagolnak, így nitrogén mellett karbon is diffundál a felületbe és növeli az ε rétegben a karbon tartalmat [2] [3]. Gáz közegű eljárás során a legtöbb esetben az ammónia-nitrogén keverékhez széndioxidot adagolnak, azonban csak igen kis arányban (5-10%). Egyes esetekben a bevezetett gázkeverék ammónia és endoterm gáz 50-50%-os keveréke, amely a magasabb CO-tartalom miatt nagyobb karbon kínálatot biztosít.

A gáztérben diffúzióképes karbon atom képződik az alábbi egyenlet szerint:



Mivel a technológia hőmérséklete alacsonyabb, mint cementáláskor, így a karbon diffúziója igen csekély, általában csak a vegyületi rétegben nő a karbontartalom.

3. ELVÉGZETT KÍSÉRLETEK

Mivel a vegyületi réteg porozitása egyes esetekben a felületi tulajdonságok romlásához vezet, így a bemutatni kívánt kísérletsorozatban e porozitás csökkentését céloztuk meg.

3.1. Felhasznált anyag és alkalmazott technológiák

A kísérletek során 16MnCr5 anyagminőséget (MSZ EN 10027-1:2006) gáznitridáltunk az 2. táblázatban megadott paraméterekkel.

1. táblázat 16MnCr5 anyagminőség szabványos kémiai összetétele, tömeg%

C	Si	Mn	Cr
0,17	0,3	1,5	0,9

2. táblázat. Az alkalmazott paraméterek

Technológia		Hőmérséklet	Idő, h
Gáz	Karbonitridálás	560	10
Gáz	Karbonitridálás	525	8
Gáz	Karbonitridálás	560	8, Floe
Gáz	Karbonitridálás	525	8, Floe

Munkánk során nem a hagyományos Floe eljárást alkalmaztuk, hanem annak módosított, ciklikus változatát.

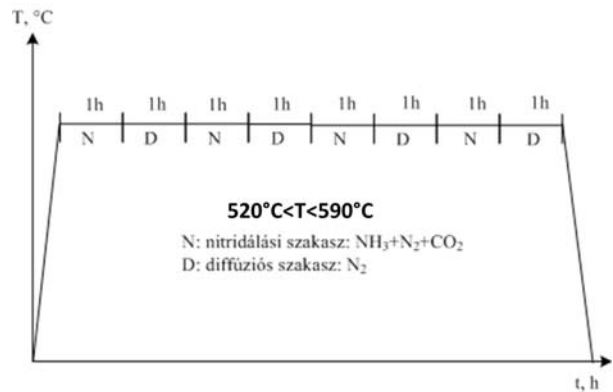
A változtatások oka:

- ipari méretekben a kemence és a töltet hőmérsékletének változtatása nem lehetséges nagy sebességgel, míg az állandó hőmérséklet fenntartása jóval egyszerűbb;
- mivel az ammónia disszociációs foka a hőmérséklet és a fémfelület függvénye, így állandó hőmérséklet-

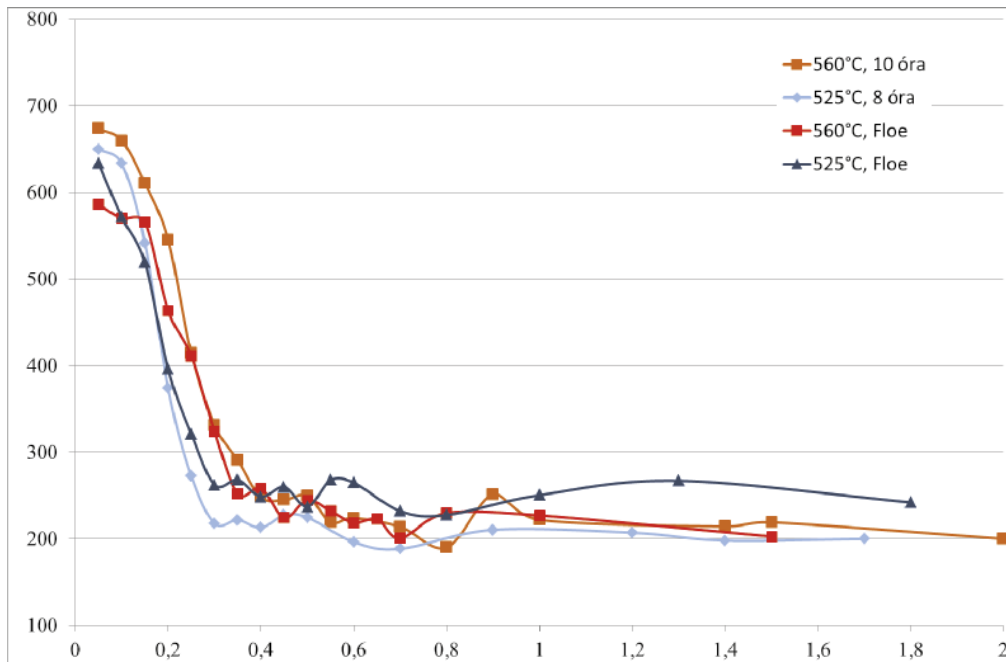
ten egy adott töltet esetében a legegyszerűbb az ammónia-felvétel teljes megszüntetése;

- a vegyületi rétegben a diffúziós sebesség jóval kisebb, így ha az aktív és a diffúziós szakaszok rövid idő alatt követik egymást, akkor a nitrogén diffúziója a belsőbb rétegek felé intenzívebb lehet.

A fenti megfontolások alapján kialakult és alkalmazott technológia-változatot mutatja a 3. ábrán.



3. ábra. Az alkalmazott módosított, ciklikus Floe eljárás



4. ábra. A rétegekeménység változása

3.2. Keménység

A kialakult réteg egyik fontos jellemzője annak keménysége. A három mérés átlagából kapott eredmények láthatók a 4. ábrán.

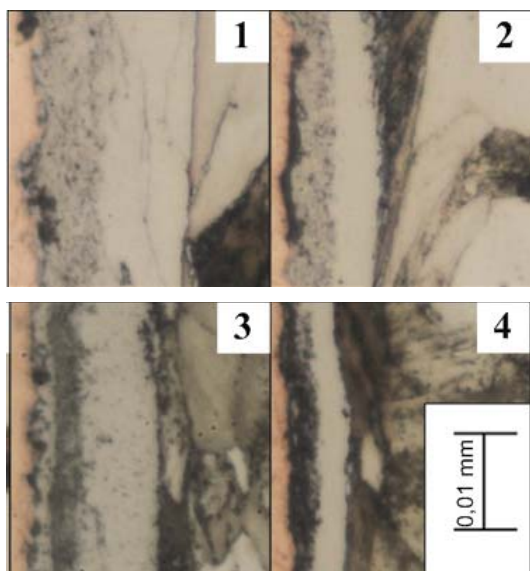
A diagramok alapján az alábbi megállapítások tehetők:

- az adott alapanyag esetében az ötvözőknek köszönhetően az alapkeménységhez képest nagy mértékű keménységnövekedés érhető el;

- összehasonlítva a különböző hőmérsékletű, de azonos időtartamú kezeléseket eredményeit, elmondható, hogy kisebb hőmérsékleten a felületen nagyobb keménység, de kisebb rétegmélység érhető el, a lassabb diffúzió eredményeként; összehasonlítva hagyományos és a Floe eljárás eredményeként kialakuló rétegeket, elmondható, hogy bár a nitrogénfelvétel jóval kisebb volt, a rétegmélység csökkenése nem olyan számottevő, mivel a diffúziós idő ugyanolyan hosszú.

3.3. Rétegszerkezet

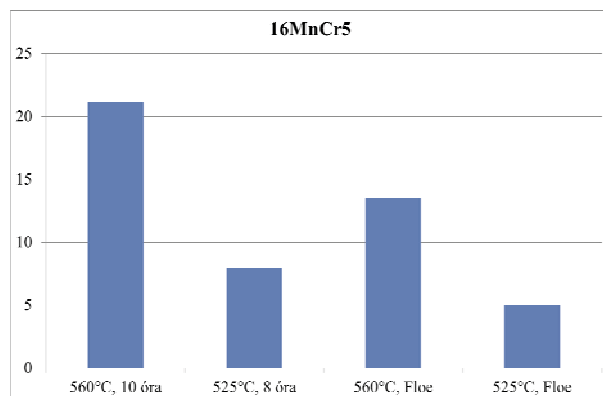
Az elvégzett kísérletek során a vegyületi réteg kialakulása nem maradt el, azonban mélysége és porozitása csökkent. A mikrofelveleken mindkét következmény jól látható. Elmondható, hogy szerkezeti acéloknál a vegyületi réteg porozitása nagyon jól csökkenthető az alkalmazott eljárással. Mivel az alkatrészek tűrésén túl a vegyületi réteg mélységét növelni nem indokolt, így az előidézett mélységcsökkenés nem okozza a felület kopásállóságának csökkenését.



5. ábra. A rétegszerkezet

Hagyományos technológia 1) 560°C, 10h 2) 525°C, 8h
Floé eljárás 3) 560°C, 8h 4) 525°C, 8h

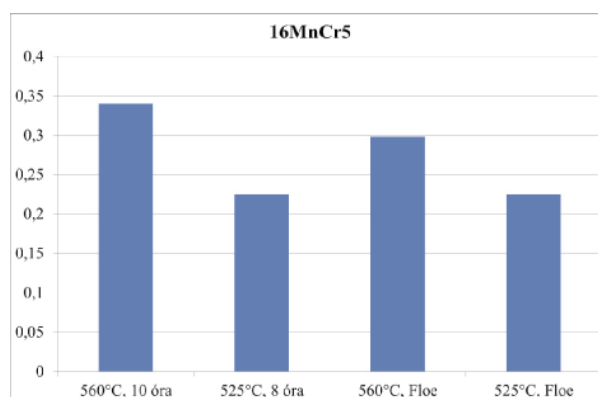
Mivel a ciklikus eljárás alatt a nitrogénfelvétel közelítően 50%-a volt, mint a hagyományos eljárás során, így a kialakult réteg szerkezetében mind a vegyületi réteg, mind a diffúziós zóna mélységében hasonló arányú csökkenés volt várható.



6. ábra. A vegyületi réteg mélységének változása különböző technológiai paraméterek esetén

A vegyületi réteg esetében elmondható, hogy azonos időtartam esetében a vegyületi réteg vastagságának csökkenése több mint 50%. Ennek oka, hogy a diffúziós

szakaszban a vegyületi réteg nitrogén-tartalma, és így mélysége csökkent.

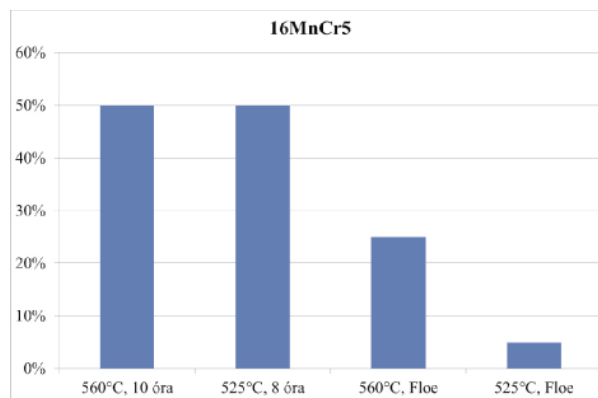


7. ábra. A diffúziós zóna mélységének változása különböző technológiai paraméterek esetén

A diffúziós zóna, és a nitridálási mélység csökkenése a ciklikus eljárás során kisebb mértékű, mint 50%. Ennek oka, hogy bár a nitrogénfelvétel 50%-os volt, a diffúziós idő nem csökkent. E módosított eljárás során a hosszú diffúziós idő alatt azért nem alakult ki ugyanakkora rétegmélység, mert a diffúzió hajtóerejét biztosító koncentráció-különbség kisebb volt.

3.4. Porozitás

Amint az a mikroszkópi felvételen is látható volt, a porozitás csökkenése a vegyületi rétegben számottevő nagyságú: kisebb hőmérsékleten a kisebb nitrogénfelvétellel miatt ez a hatás jobban érvényesül (8.ábra).



8. ábra. A porozitás mértékének változása

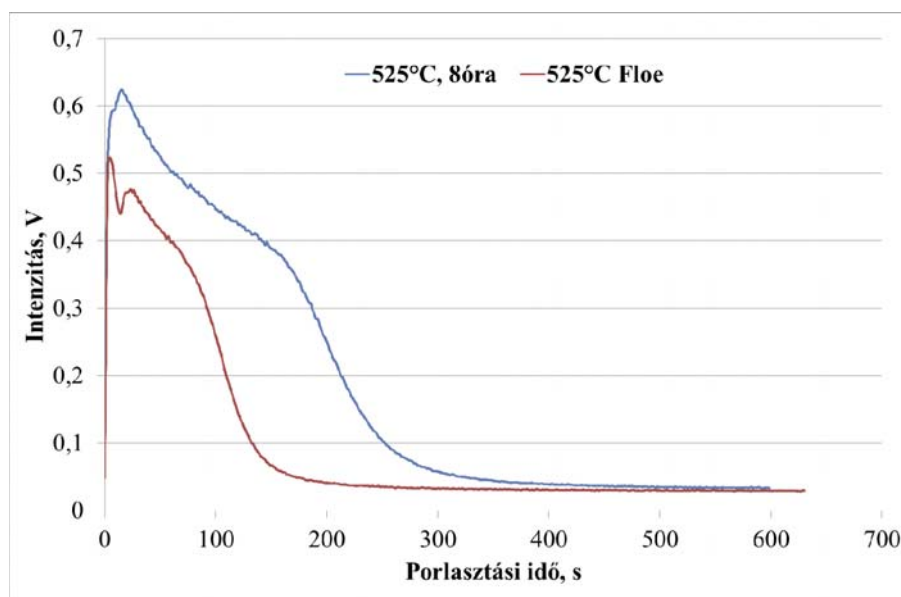
3.5. Nitrogéntartalom

A próbatesteken GDOES spektroszkóppal kémiai analízist végeztünk, a nitrogéntartalom meghatározásának érdekében.



9. ábra. A vizsgálatnál alkalmazott GDOES berendezés

A méréseket a Miskolci Egyetem Metallurgiai Intézetében található GDOES profiler berendezéssel végeztük. A berendezés a porlasztás hatására keletkező fény hullámhossza alapján határozza meg a jelen lévő kémiai elemeket és azok intenzitása alapján adja meg mennyiségüket. Az összetétel pontos meghatározásához hitelesítés szükséges a mért tartomány határain és azon belül több pontra. Mivel a nitridált rétegben előforduló nagy nitrogéntartalmú etalon beszerzése még nem történt meg, így a berendezés jelenleg nincs hitelesítve a nitridált rétegeknél szokásos nagy nitrogéntartalomra; ezért a mérések során csak a nitrogén-koncentráció lefutásának jellegét tudtuk mérni, a pontos nitrogéntartalmat nem. A porlasztási sebesség $3\mu\text{m}/\text{min}$ volt.



10. ábra. GDOES profilok

A mérések során a vegyületi réteg kémiai összetételét elemeztük, az ábrázolt diagramok összhangban vannak a vegyületi réteg mikroszkópi képe alapján meghatározott mélységével.

Az eredményekből jól látható, hogy a maximális nitrogéntartalom a Floe eljárás esetében kisebb, ami az eljárás elsődleges célja is volt.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Nitridálás során az ötvözetlen, vagy gyengén ötvözött acélok esetében a kopásállóság szempontjából fontos szerepe van a vegyületi rétegnek. Ha ez a kemény réteg nem megfelelően tömör, akkor a benne lévő pórusok a kopási tulajdonságok romlását okozhatják.

Kísérleteink célja, egy olyan gáznitridálási technológia alkalmazhatóságának vizsgálata volt, amelynek során a vegyületi réteg kopási tulajdonságai optimalizálhatók. A vegyületi réteg mélységének csökkentésére alkalmazott Floe eljárás a gáznitridálás során ipari viszonyok között korlátokba ütközhet. A folyamat módosítása során egy

olyan eljárásváltozatot próbáltunk ki, amely szabályozástechnikailag egyszerűbben megoldható.

A bemutatott kísérletek alapján a következő megállapítások tehetők a Floe eljárás módosított, ciklikus változatára vonatkozóan:

- a módosított, ciklikus Floe eljárás hatékonyan csökkenti a vegyületi réteg porozitását;
- a diffúziós idő egyenlősége esetében a vegyületi réteg mélységének csökkenése nagyobb mértékű, mint a diffúziós réteg (a nitridálási mélység) mélységének csökkenése.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt valamint a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű projekt eredményeire alapozva az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

A szerzők szeretnék megköszönni Szabó Endrének a kísérletek elvégzésében és kiértékelésében nyújtott segítséget, valamint Kulcsér Tibornak a GDOES mérések elvégzését.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] David Pye: Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing, ASM International, December 1, 2003., ISBN: 978-0871707918
- [2] G. Krauss: Steels: Heat Treatment and Processing Principles, ASM International, 1997. ISBN: 0-87170-370-X, p. 305-315
- [3] Winfried Gräfen, Bernd Edenhofer, New developments in thermo-chemical diffusion processes, Surface & Coatings Technology 200 (2005) 1830–1836
- [4] Lizák J., Romvári P., Schäffer J., Szabó E.: Szerkezeti-és szerszámacélok termokémiai kezelése Al hőmérséklet alatt, Gépipari Tudományos Egyesület X. Országos Hőkezelési Szeminárium, Miskolc-Tapolca, 1983. október 26-28., p. 41-90
- [5] Läßle, V.: Wärmebehandlung des Stahls, Grundlagen, Verfahren und Werkstoffe mit Aufgabensammlung, Verlag Europa-Lehrmittel, ISBN 978-3-8085-1310-1, 2010.
- [6] Bell, T.: Gaseous and Plasma Nitrocarburizing in Metals Handbook Volume 4: Heat Treating, 1991, ASM International, SAN: 204-7586
- [7] ASM Handbook, Volume 4: Heat Treating, ASM International, ISBN: 978-0-87170-379-8, 1991, p. 880-968.
- [8] Spies, H.-J.: Controlled gasnitriding – state and trends, Metals Materials and Processes, 1990, Vol. 2. No. 2, p. 215-30.
- [9] Totten, G. E., Howes, M. A. H.: Steel Heat Treatment Handbook, 1997, ISBN: 9780824797508



THE LINDE GROUP

Linde

EVOS™ Ci palackszelep

Az egyedülálló palackszelep rengeteg innovatív jellemzővel bír, melyek az alábbi előnyöket jelentik a felhasználóknak:

- Nagyobb biztonság, jobb láthatóság, könnyebb kezelhetőség
- Az első karos működtetésű palackszelep
- Speciális szelepvédő
(biztonság, optimális fogás, daruzhatóság)
- 300 bar üzemi nyomás
- Nyomáskijelzés

További információ: www.lindegas.hu

EDZÉSHEZ ALKALMAZOTT HŰTŐKÖZEGEK HŰTŐKÉPESSÉGE PARAMÉTERFÜGGŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

INVESTIGATION THE PARAMETER-DEPENDENCY OF COOLING PERFORMANCE OF LIQUID QUENCHANTS

*Kerekes Gábor**, *Dr. Felde Imre ***, *Kocsisné dr. Baán Mária ****

ABSTRACT

One of the most important stage during transformation hardening is quenching. When the rapid cooling is realized by immersing the heated body in liquid quenchant it is necessary to know deeply how the solid body cools, how fast the heat is removed through the surface. If we can characterize the quenchant quantitatively, we can determine how the cooling characteristic depends on the properties of the quenchant and the body to be cooled, furthermore we can compare these quenchants and find alternative cooling media.

We have investigated water, aqueous polymer solution, mineral oil and bio-oils. We draw a conclusion from our research work that the cooling performance of aqueous polymer solution depends strongly on parameters related to the state of liquid therefore it can be optimized by selecting these parameters well. The other main conclusion concerns application of bio-oils as alternative cooling media against mineral quenching oils. In this paper we present our research work and obtained data in details.

1. BEVEZETÉS

A gépészmérnöki gyakorlatban az igénybevétel szerinti ellenállás tekintetében kiemelten fontosak a nagy keménységgel, kopásállósággal rendelkező, valamint a dinamikus, ill. fárasztó igénybevételeknek ellenálló acélszerkezetek. Ezen tulajdonságokat, esetleg tulajdonságkombinációkat biztosító szövetszerkezet kialakítása érdekében alkalmazott hőkezelés-technológiák egyik legfontosabb szakasza a gyors hűtés. A gyors hűtés (edzőhatású hűtés) célja az acél fázisátalakulása kinetikájának befolyásolása oly módon, hogy túltelített szilárd oldat keletkezzen, amelyet alacsony hőmérsékleten vagy magas hőmérsékleten (esetleg többször) megeresztve, alakítjuk ki – rendre – a nagy keménységű vagy nagy szívósságú szövetszerkezetet. A fázisátalakulás ($\gamma \Rightarrow \alpha$) során az a

kívánatos, hogy a kiinduló γ fázis teljes tömegében túltelített szilárdoldattá (α') alakuljon át, amit az adott acélminőség C-görbéje alapján meghatározott hűtési sebességgel történő, vagy annál gyorsabb lehűtéssel valósítunk meg. (Ez az elért kívánt szövetszerkezettől függ.) A lehűlési folyamat során – abban az esetben, ha az ausztenitesítési hőmérsékletre hevített darabot folyékony hűtőközegbe merítjük – a hőelvonás nem egyenletes, amit ha figyelmen kívül hagyunk, az jelentősen is befolyásolhatja a hőkezelés utáni szövetszerkezetet, valamint a maradófeszültség-állapotot. [1]

Jelölésjegyzék		
Jelölés	Mértékegység	Megnevezés
T_k	°C	Hűtőközeg kezdeti hőmérséklete
CR_{max}	°C/s	A hűlési sebesség maximuma
CR_i	°C/s	A hűtési sebesség adott i. hőmérsékleten
$T(CR_{max})$	°C	A maximális hűlési sebességhez tartozó hőmérséklet
T_{vp}	°C	A gőzhártyás és a buborékos forrási szakasz közötti látszólagos átmeneti hőmérséklet
T_{cp}	°C	A buborékos forrási és konvekciós szakasz közötti látszólagos átmeneti hőmérséklet
$t(CR_{max})$	s	A maximális hűlési sebességhez tartozó idő
t_i	s	Az adott i. hőmérsékletre való lehűtéshez szükséges idő

Bemerítéses edzéskor a hőelvonás jellemzően három szakaszban megy végbe (ld. 1. ábra): gőzhártyás forrás, buborékos forrás, és konvekció. Ezekben a szakaszokban jelentős különbség van a hűtési sebesség között, nevezetesen

- a gőzhártyás forrási szakaszban a gőzhártya hőszigetelő hatása miatt lassú a hőelvonás,

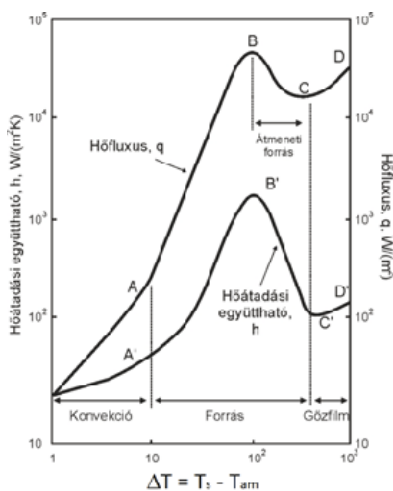
* tanársegéd, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

** egyetemi docens, Óbudai Egyetem, Neumann János Informatikai Kar

*** egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

- a buborékos forrási szakaszban a buborékfejlődéshez szükséges nagyobb mennyiségű hő, valamint a buborék felületről való elszakadása közben kialakuló lokális áramlások együttes hatása következtében nagyon gyors a hőelvonás,
- a konvekciós szakaszban a hőelvonás folyamatosan lassul egyrészt, mivel a hő a hűtőközeg hővezetése (és részben hőszugárzás) révén távozik a darabból, másrészt mivel a darab és a hűtőközeg közötti hőmérsékletkülönbség – mint a hűtés hajtóereje – egyre inkább csökken.

A hőelvonás előbb említett különbözőségei miatt, az edzés utáni szövetszerkezet és feszültségállapot nagymértékben függ attól, hogy ezek a szakaszok mennyi ideig aktívak, milyen kinetika szerint követik egymást.



1. ábra. A forrás szakaszai a közeg és a munkadarab felületi hőmérséklet különbségének függvényében [2]

Tehát ismernünk kell, hogy az időben hogyan követik egymást ezek a szakaszok, illetve mekkora a hatóidejük, meddig stabilisak. Erre komplex módon gyakorolnak hatást a hűtőközeg és a hűtendő darab jellemzői:

- a hűtőközeg kémiai összetétele, forráspontja, viszkozitása, hőkapacitása, felületi feszültsége, hőmérséklete és áramlási sebessége,
- a darab hőfizikai jellemzői, alakja, felületi érdessége, és a hűtés előtti hőeloszlás a térfogatban. [3]

Mint ismeretes, az acélok gyors hűtésére alkalmazott folyékony hűtőközegek közül a víz, az olaj és a különféle vízbázisú oldatok a legelterjedtebbek. Ezek közül a legintenzívebb hűtést a különböző sók, valamint hidroxid vegyületek vizes oldatai, és alapvetően a „tisztá” víz biztosítja, viszont emiatt a nagyobb szelvénymeretű darabok hűtésekor a mag és a kéreg között jelentős mértékű, sokszor deformációt, sőt törést is okozó termikus és strukturális feszültségek keletkeznek. Az ötvözt acélok hűtésére leginkább ásványi edzőolajokat használnak, amely bár lassabban

hűt, de egyrészt az acél az ötvözöttsége miatt így is beedződik (ill. átédződhet), valamint a kisebb mértékű hőmérséklet-gradiensnek köszönhetően a belső feszültségek a folyási határt nem fogják elérni. A különböző típusú polimer vizes oldatok hűtési erélyessége a víz és az olaj közé esik, ami a polimer minőségének, valamint a koncentrációnak a függvényében viszonylag könnyen változtatható. [4]

Abból a célból, hogy kvantitatív mutatókkal tudjuk jellemezni az egyes folyékony hűtőközegek hőelvonóképességét, több mérési módszer látott napvilágot [5]. Ezek közül a legelterjedtebbek a hűlési görbe elemzésén alapuló módszerek. Ezek lényege, hogy szabványos geometriájú és anyagminőségű próbatestet a szabványban rögzített hőmérsékletre való hevítés után a vizsgálandó hűtőközegbe merítünk és közben a próbatestben – szintén a szabványban rögzített helyen – található termoelemmel mérjük a hőmérséklet változását és ezáltal felvesszük az adott hűtési „körülmenyekre” jellemző hűlésgörbét. A hőmérséklet-idő adatpárok segítségével különböző karakterisztikus mérőszámokat tudunk matematikai úton származtatni, úgymint

- T_{vp} , T_{cp} , $T(CR_{max})$
- $t(CR_{max})$, t_i
- CR_{max} , CR_i

Ezen kívül olyan mérési módszerek is léteznek, amelyek nem a hőelvonóképességet kívánják jellemezni, hanem a hőelvonás egyes fázisainak időbeli lefutását, amely alapjául szolgálhat a hűtés kinetikájának pontosabb megértéséhez és leírásához. [6]

Habár a származtatott, hűtést jellemző mérőszámok értékei között jelentős eltérés is lehet az egyes edzőfolyadékok tekintetében, ezek az értékek a hűtési „konstrukció” módosításával kisebb-nagyobb mértékben befolyásolhatóak. A hűtőközeg hűtési karakterisztikájának módosítására két fő kíváncsalom miatt lehet szükség:

- magasabb hőmérséklettartományban gyors hűtés megvalósítása a γ fázis bomlásának elkerülése végett,
- alacsonyabb hőmérséklettartományban (de még Ms fölött) lassú hőelvonás a minél teljesebb mértékű hőkiegyenlítődség elérése érdekében.

Ezek nem valósíthatóak meg anélkül, hogy ne ismernénk, hogyan hatnak azok a paraméterek a hűtési folyamatra, amelyeket közvetlenül a hűtés előtt beállítunk.

Kérdésként merülhet fel, hogy a hűtőfolyadék kiindulási hőmérsékletének, és oldatok esetében az áramlási sebességnek és a koncentrációnak előre beállított értékei (a hűtés „körülmenyei”) célzott megválasztásával milyen mértékben változtatható az adott hűtőközeg hőelvonóképessége.

Az említett két szempont figyelembevételével, az a tény, hogy a hűtési karakterisztika változtatható, felveti

annak a lehetőségét is, hogy a manapság széleskörűen használt, de a környezetterhelés és gazdaságosság szempontjából hátrányos tulajdonságú hűtőközegek helyett más hűtőfolyadékokat használjunk. [7][8]

A továbbiakban a Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetében, az Óbudai Egyetemmél együttműködésben elindult kutatómunka – amely által az IFHTSE nemzetközi szervezet, LQD (Liquid Quenchant Database) projektjébe is bekapcsolódtunk – eredményeiből kívánunk bemutatni.

2. KÍSÉRLETI MUNKA

A vizsgálatok elvégzéséhez a hűlésgörbe felvételén alapuló módszerek közül az ISO9950-es szabvány szerint paraméterezett berendezést (ivfSmartQuench) használtuk [9]. A mérés alapelve, hogy egy 400 mm hosszú, 12,5 mm átmérőjű hengeres próbatestet 850°C-ra való felhevítés után az edzőfolyadékba mártva lehűtjük, és a véglaptól 30 mm-re lévő, a tengelyvonalon elhelyezett K-típusú termoelemmel regisztráljuk a hőmérséklet csökkenését 10 adat/s-os mintavételezési frekvenciával.



2. ábra. Az ivfSmartQuench műszer és részei

A hűtőközegek kiválasztásakor nem volt célunk a leggyakrabban használt összes típus vizsgálata, sokkal inkább az ipari gyakorlatban alkalmazott edzőfolyadékok osztályából egy-egy kiválasztásával az ezen osztályok közötti különbségek, valamint hűtőképességük változtatása lehetőségeinek bemutatása. Eszerint PAG típusú polimeroldatot, vizet, ásványi olajat és növényi olajokat vizsgáltunk a 1. táblázatban szereplő vizsgálati mátrix szerint.

Ezeket a hűtőközegeket alacsony hőmérséklettartományban vizsgáltuk, amely során a közeg kiindulási hőmérsékletének, és polimeres oldatoknál az áramoltatásnak a hűtés karakterisztikájára kifejtett hatását a CR_{max} , T_{vp} és T_{cp} értékek alapján határoztuk meg.

A víz esetében a közegehőmérséklet emelése – ebben az alacsony hőmérséklettartományban – nem fejt ki szignifikáns hatást a hűtőképességre: sem a maximális hűtési sebesség, sem pedig az átmeneti hőmérsékletek nem változnak jelentősen (ld. 2. táblázat).

1. táblázat. Hűtőközegek vizsgálati mátrixa

közeg típus	koncentráció, [%]	hőmérséklet, [°C]	áramoltatás intenzitása* [fokozat]
víz	N/A	20, 30, 40	0
ásványi olaj (Marquench 722)	N/A	40, 50, 60, 70	0
Aquaquench BW-T	5; 10	21±2 ^{**} ; 31±2 ^{**} ; 41±2 ^{**}	0; 1
napraforgó olaj	N/A	35, 65, 95	0
szója olaj	N/A	35, 65, 95	0

* 10 fokozatú skálán

** a hűtőtankban nem lehetett szabályozni a közeg hőmérsékletét

2. táblázat. A víz karakterisztikus értékei

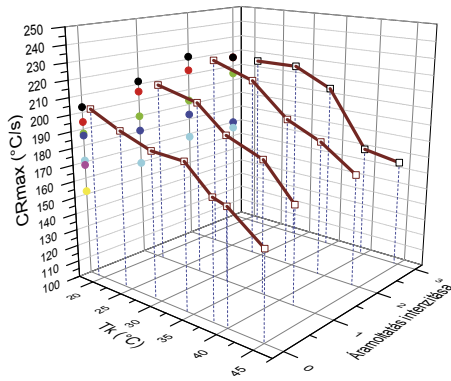
T_k [°C]	CR_{max} [°C/s]	T_{cp} [°C]	T_{vp} [°C]
20	221,96	161,82	841,29
30	247,37	163,36	845,85
40	228,57	160,68	849,68

Megfigyelhető, hogy a T_{vp} értékek nagyon kevéssel térnek el a mérés kezdetekor mért hőmérséklettől (850°C), ami arra utal, hogy csak nagyon rövid ideig volt aktív az első hőátadási szakasz. Fontos ismerv az is, hogy a T_{cp} hőmérséklet értékei közel sem tekinthetők ideálisnak, hiszen a M_s hőmérséklet alá esnek (legalábbis közepes C-tartalmú szerkezeti acélok esetén).

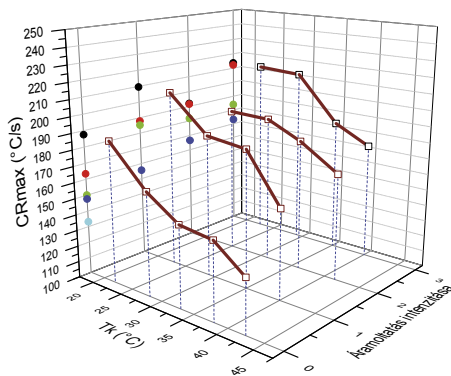
Abban az esetben, ha víz bázisú polimeroldattal végezzük el a hűtést, az tapasztalható, hogy a kiindulási közegehőmérséklet növekedése a maximális hűtési sebesség (ld. 3. ábra, 4. ábra) és összességében az átmeneti hőmérsékletek, a T_{vp} és a T_{cp} csökkenését eredményezi. (ld. 5. ábra, 6. ábra)

A CR_{max} értékek lényegében egy 100°C/s-os intervallumban mozognak 130..230°C/s között, vagyis ez a típusú adalék csökkenti a hűtési sebességet a „tisztá” vízhez képest (ld. 2. táblázat). A koncentráció növelésével a tendencia megmarad, viszont az értékek minden esetben kisebbek lesznek.

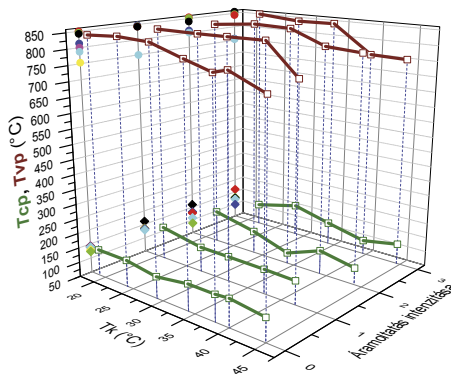
Megfigyelhető, hogy a kiindulási közegehőmérsékletre képest ellentétes hatást fejt ki az áramoltatás intenzitásának fokozása (végsősoron az áramlási sebesség növelése). Ez önmagában prognosztizálható jelenség, viszont a legjelentősebb hatása az áramoltatásnak az első átmeneti hőmérsékletre (T_{vp}) lesz. (ld. 5. ábra, 6. ábra)



3. ábra. 5%-os töménységű polimeres oldat maximális hűtési sebességének paraméterfüggése



4. ábra. 10%-os töménységű polimeres oldat maximális hűtési sebességének paraméterfüggése

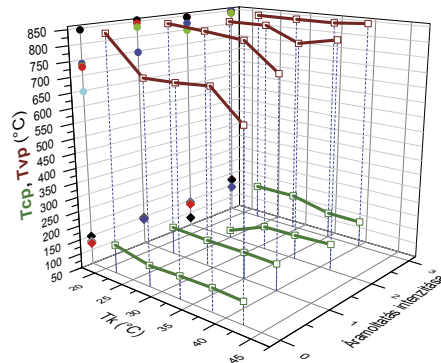


5. ábra. 5%-os töménységű polimeres oldat átmeneti hőmérsékleteinek paraméterfüggése

Az áramoltatás intenzitásának növelésével a hőmérséklet és a koncentráció hatása ellensúlyozható, megszüntethető. Megfigyelhető az is, hogy a T_{vp} jellemzőre a kiindulási közeghőmérsékletnek és a koncentrációnak együttesen van hatása, külön-külön ez a hatás csak abban az esetben számottevő, ha nem áramoltatjuk a közeget.

Fontos tapasztalat az is, hogy a T_{cp} értékek nem térnek el érdemben a csapvíz esetében meghatározott értékektől. Erre a jellemzőre sem a kiindulási

közeghőmérséklet, sem a koncentráció, sem pedig az áramoltatás mértékének növelése nincs érdemi hatással.



6. ábra. 10%-os töménységű polimeres oldat átmeneti hőmérsékleteinek paraméterfüggése

Az ásványi olaj kapcsán meghatározott közegjellemzőkből (ld. 3. táblázat) elsősorban igazolódott az a jól ismert tény, hogy lényegesen gyengébb hőelvonóképességgel bírnak, mint a víz, ill. a vizes oldatok, másrésztől kiderült az is, hogy ennek az olajtípusnak a vizsgált hőmérséklettartományban csak csekély mértékben változik a hűtési karakterisztikája.

3. táblázat. Az ásványi olaj karakterisztikus értékei

T_k [°C]	CR_{max} [°C/s]	T_{cp} [°C]	T_{vp} [°C]
40	83,27	398,09	708,52
50	85,27	412,51	708,78
60	87,94	368	707,37
70	87,33	411,33	709,24

Az átmeneti hőmérsékletekből kiderül az is, hogy az intenzív hűtés csak kb. 700°C-tól indul el és viszonylag magas hőmérsékleten be is fejlődik. A T_{cp} értéke nagyjából a nemesíthető acélok M_s hőmérsékletének környezetébe esik, és ez sem mutat jelentős hőmérsékletfüggést a vizsgált hőmérsékletintervallumban.

A növényi olajok közül a napraforgó olaj kapcsán más hűtési jellemzőket kaptunk, mint amit az ásványi olajnál tapasztaltunk (ld. 4. táblázat).

4. táblázat. A napraforgó olaj karakterisztikus értékei

T_k [°C]	CR_{max} [°C/s]	T_{cp} [°C]	T_{vp} [°C]
35	83,23	411,26	841,99
65	100,71	324,29	849,92
95	99,24	355,14	852,39

A vizsgált hőmérsékletintervallumban a CR_{max} a közeg kiindulási hőmérsékletének emelése hatására megemelkedett. Ennek éppen az ellentetteje volt megfigyelhető a T_{cp} értékei kapcsán, ahol is a konvekciós hűtési szakasz kezdeti hőmérsékletének csökkenése volt megfigyelhető. Ezzel szemben növekedés figyelhető meg a T_{vp} értékekben, amelyek

gyakorlatilag megegyeznek a hűtési folyamat kezdőhőmérsékletével.

A szójaolaj esetében a napraforgó olajnál mértekhez közel hasonló értékeket kaptunk (ld. 5. táblázat). Mind a maximális hűtési sebesség, mind pedig az első átmeneti hőmérséklet ugyanabban a szűk értékintervallumba esett, mint a napraforgó olajnál. Az egyedüli különbséget a T_{cp} jellemző kapcsán tapasztaltunk, ami gyakorlatilag pusztán számbeli különbséget jelent, nem pedig lényegi különbséget a két növényi olajtípus között e tekintetben.

5. táblázat. A szójaolaj karakterisztikus értékei

T_k [°C]	CR_{max} [°C/s]	T_{cp} [°C]	T_{vp} [°C]
35	83,35	330,48	850,51
65	96,7	354,23	852,5
95	103,06	395,92	852,83

A származtatott értékek alapján megállapítható, hogy a hőelvonás különböző szakaszainak stabilitása, időbelisége, valamint kezdő- és vég hőmérséklete között jelentős különbségek vannak az egyes közegtípusok tekintetében. A víznél az tapasztalható, hogy a gőzhártyás forrási szakasz nagyon rövid, a gőzfilm rögtön a bemeletés után elkezdi felszakadni. A buborékos forrási szakasz ennél a közegnél adódott a leghosszabbra; ugyanezt a jelenséget csak az áramoltatott polimeres oldatnál lehetett tapasztalni. Ugyancsak a víznél adódott a legnagyobb a maximális hűtési sebesség, ami gyakorlatilag egy újabb igazolása a szakirodalomban korábban leírt megfigyeléseknek. Ennek oka a víz párolgáshőjében, a viszkozitásában és a nedvesítési tulajdonságaiban keresendő. A nagy párolgáshő miatt a buborékok keletkezéséhez nagyobb mennyiségű hő kell elvonni a darabból. A kitűnő nedvesítési tulajdonságai miatt nagyobb felületen történik a hőelvonás, hiszen a kisebb-nagyobb felületi egyenlőtlenségek környezetében is képes nedvesíteni a felületet. Az alacsony viszkozitásának köszönhetően pedig a buborék felületről való leszakadásakor keletkező lokális áramlások nagyobb intenzitással mehetnek végbe, ami a felhevült és hideg hűtőközeg-rész gyorsabb cseréjét és így a hőelvonás fokozódását eredményezi.

A vízbázisú polimeroldat esetében megállapítható, hogy ez a típus ilyen alacsony koncentrációban nem módosítja számottevően a hűtés karakterisztikáját, csak kb. 30°C/s-kal csökkenti a maximális hűtési sebességet. Egyedül abban az esetben tapasztalható érdekes változás, ha megnöveljük a közeg kezdeti hőmérsékletét és nyugvó állapotában használjuk azt hűtésre. A származtatott értékekből az is kiderül, hogy a koncentrációnak, és közeg hőmérsékletének növelése a hűtési sebesség csökkenését eredményezi, ráadásul a paraméterek kismértékű változására a közeg hűtőképessége kismértékű, tendenciózus változást produkál. Ebből levonható az a következtetés, hogy az ilyen típusú közegek hűtési karakterisztikája viszonylag

könnyen „beállítható”, célra alkalmassá tehető. A közeg kismértékű áramlása is jelentős hatással van a gőzhártya stabilitására. Nyugvó állapotban a koncentráció és a közeghőmérséklet növekedése hatására egyre alacsonyabb hőmérsékletig aktív maradt a gőzhártyás forrási szakasz, amely a lassú hűtés miatt a martenzitnél jóval kisebb szilárdságú fázisok megjelenéséhez vezethet. A gőzhártya korai felszakadását már a közeg kismértékű áramoltatásával is jelentős mértékben lehet segíteni anélkül, hogy az a hűtési sebesség jelentős mértékű megnövekedéséhez vezetne.

A két különböző típusú olaj – nevezetesen az ásványi és a növényi – kapcsán szembevetendő, hogy a hasonló nagyságú maximális hűtési sebesség ellenére a növényi olajoknál csak igen rövid gőzhártyás forrási szakasz volt tapasztalható, ami kedvezőnek tekinthető a γ fázis bomlásának elkerülése szempontjából. Ezen kívül az intenzív buborékos szakasz vég hőmérsékletének alakulása alapján megállapítható, hogy habár fellelhetőek nagyobb értékbeli különbségek a két olajtípus között, a növényi olajok esetében is ez a M_s hőmérséklet környezetébe esik, ami kedvezőbben hat az edzőkor keletkező strukturális feszültségek alakulására, mint ha vizet, vagy polimeroldatot alkalmaznánk.

3. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS KITEKINTÉS

Ebben a munkában különböző hűtőfolyadékok hűtőképességének összehasonlítására, valamint a hőelvonó-képességüknek a közeghőmérsékletre és – polimeroldatok esetében – a koncentrációra és az áramoltatás intenzitására való érzékenységének vizsgálatára vonatkozó kutatási tevékenységünkől kívántunk bemutatni részeredményeket. A kutatómunkánk ezen részében egyrészt azt kívánjuk vizsgálni, hogy milyen mértékű függőséget mutat a vízbázisú polimeroldatok hőelvonó képessége a vizsgálat „körülmeitől”, másrészt pedig meg kívánjuk határozni, hogy reális lehet-e az az elképzelés, miszerint bizonyos esetekben a növényi olajok alternatív hűtőközegek lehetnek az ásványi olajokkal szemben.

Az elvégzett kísérletek által meghatározott jellemzők (CR_{max} , T_{vp} , T_{cp}) alapján azt a konklúziót lehet levonni, hogy a vizsgálat hőmérséklettartományában,

- az ásványi olaj (Petrofer Marquench 722) hűtőképessége nem változik,
- a növényi olajok (napraforgó- és szója olaj) hűtőképessége nem változik,
- mind az ásványi, mind a növényi olaj lényegében ugyanakkora maximális hűtési sebességet produkál,
- az ásványi olajokkal ellentétben a növényi olajoknál nagyon rövid a hőszigetelő gőzfilm képződésével járó hűtési szakasz, ami kedvező lehet a nemkívánatos lágy szövetemlek keletkezésének megakadályozása szempontjából,

- a vízbázisú polimeradalékos oldat által elérhető maximális hűtési sebesség a koncentráció és a közeghőmérséklet összehangolt megválasztásával egy viszonylag tág intervallumon belül „beállítható”,
- csak abban az esetben kell számolni vízbázisú polimeroldatoknál a gőzhártya érdemi befolyására, ha nyugvó állapotában használjuk a közeget; már alacsony intenzitású áramoltatás esetén is jelentősen lecsökkenthető a hőszigetelő hártya hatóideje, lényegében a közeghőmérséklet és a koncentráció nagyságától függetlenül.

A vizsgálat eredményeiből azon további megállapítások tehetőek, hogy hacsak pusztán a hőelvonóképesség számszerű jellemzőit nézzük

- a növényi olajok potenciális alternatívát jelenthetnek bizonyos ásványi edzőolajokkal szemben,
- a vízbázisú polimeroldatok jól szabályozható hűtési karakterisztikával rendelkeznek, és ezáltal könnyen alkalmassá válhatnak a különböző acél- ill. könnyűfém termékek gyors hűtésének megvalósítására.

Természetesen az a tény, hogy egy hűtőközeg karakterisztikus értékei alapján egy konkrét hőkezelési technológiában előírt hűtési viszonyokat biztosíthat, nem jelent minden szempontból alapot a folyadék majdani alkalmazására. Felmerülnek olyan kérdések – amelyek a folyamatban lévő kutatómunka távlati felé mutatnak –, mint például

- Hogyan, milyen kinetika szerint követik egymást a hűtés egyes szakaszai?
- Hogyan hatnak a különböző, közegekre és a hűtendő testre vonatkozó paraméterek a hűlés lefolyására?
- Hogyan történik a fázisátalakulás az időben a test különböző pontján, és ezzel összhangban milyen lesz a maradófeszültség-állapot?
- Milyen ütemben romlanak a közeg tulajdonságai, mint amilyen az összetételváltozás például kicsapódás és vagy oxidáció miatt?

Az ezen és ehhez hasonló kérdésekre adott szabatos válasz alapján lehet egy közeget nagyobb biztonsággal adott feladatra alkalmasnak tartani és kiválasztani.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.”

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] J. Grum, S. Bozic, M. Zupancic: *Influence of quenching process parameters on residual stresses in steel*, Journal of Materials Processing Technology 114 (2001) pp.: 57-70
- [2] S. Nukiyama: *Maximum and Minimum values heat q transmitted from metal to boiling water under atmospheric pressure*, Journal of Society of Mechanical Engineering in Japan, 1934, 37, p.: 53-54, 367-374
- [3] George E. Totten: *Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies*, Taylor & Francis Group, 2006, pp. 540-600
- [4] Z. Koudil, R. Ikkene, and M. Mouzali: *Cooling Capacity Optimization: Calculation of Hardening Power of Aqueous Solution Based on Poly(N-Vinyl-2-Pyrrolidone)*, Journal of Materials Engineering and Performance, 11 (2013), doi: 10.1007/s11665-013-0775-9
- [5] B. Liscic, G. E. Totten: *From GM Quenchometer via Cooling Curve Analysis to Temperature Gradient Method*, Heat Treating 1998: Proceedings of the 18th Conference (ASM International), 1999, pp. 601-609
- [6] Tensi HM, Welzel G, and Künzel Th.: *Problems of getting characteristics out of quenching experiments useful to control the heat treatment of metallic materials*, 8th International Heat Transfer Conference, (1986) San Francisco, CA, pp. 3031–3035.
- [7] P. Fernandes, K. N. Prabhu: *Comparative study of heat transfer and wetting behaviour of conventional and bioquenchants for industrial heat treatment*, International Journal of Heat and Mass Transfer 51 (2008) 526–538
- [8] M. Eshraghi-Kakhki, M. A. Golozar, A. Kermanpur: *Application of polymeric quenchant in heat treatment of crack-sensitive steel mechanical parts: Modeling and experiments*, Materials and Design 32 (2011) 2870–2877
- [9] *Industrial Quenching Oils - Determination of Cooling Characteristics - Laboratory Test Method*, Draft international standard ISO/DIS 9950, International Organization for Standardization (submitted 1988), Laboratory Test for Assessing the Cooling Characteristics of Industrial Quenching Media, Wolfson Heat Treatment Centre, Birmingham, England, 1982
- [10] I. Felde, B. Liscic, R. Wood: *Liquid Quenchant Database*, Proceedings, European Conference on Heat Treatment and 21st IFHTSE-Congress, 2014. május 12-16., Munich., pp. 203-209

AZ AUTÓIPARI FERRIT-MARTENSITES DP ACÉLOK ELLENÁLLÁS-PONTHEGESZTÉSI TECHNOLÓGIÁJÁNAK FEJLESZTÉSE A VÉGESELEMES MODELLEZÉS ÉS A KÍSÉRLETES KUTATÁS EGYÜTTES ALKALMAZÁSÁVAL

DEVELOPMENT OF RESISTANT SPOT WELDING TECHNOLOGY FOR AUTOMOTIVE FERRITE-MARTENSITIC DP STEELS WITH JOINT APPLICATION OF FINITE ELEMENT MODELLING AND EXPERIMENTAL RESEARCH

Prém László, Bézi Zoltán**,
Dr. Balogh András****

ABSTRACT

In this paper spot-welding technology of steel sheets made of Dual-Phase (DP) steel, one of the most important materials in the automotive industry has been analysed with finite element modelling and experimental research. Besides conventional mild steels that have been dominant for decades in automobile production, the application of advanced high-strength steels (AHSS) is coming into the limelight. Among the first generation AHSS, Dual-Phase (DP) steels are of the utmost importance concerning their automotive use. During the spot welding of DP steels, when using the technology familiar with mild steels, the risk of hardening, the unfavourable failure of the joint or even cracking during operation must be taken into account, therefore welding technology must be planned very carefully.

1. BEVEZETÉS

A ferrit-martensites szövetszerkezetű, DP jelű nagy-szilárdságú autóiipari acélok ellenállás-ponthegeztésekor abból kell kiindulni, hogy az acél kedvező tulajdonságait biztosító különleges heterogén szövetszerkezet az alakítási folyamat, az interkritikus hőmérsékletközben (A_{c1} és A_{c3} közötti) történő hőkezelés és a lehűtés célirányos kombinációjának eredménye, ezért ezeknél az acéloknál a hőhatással szemben instabil kiinduló anyagállapotot még a hegesztést (vagy egyéb termikus technológiát) követő hőkezeléssel sem lehet

visszaállítani. Kutatási projektünkben olyan ponthegeztési technológia kidolgozása volt a célunk, amely révén a ponthegeztett kötés teherbírása a lehető legjobban megközelíti a kiinduló alapanyag szilárdságát és energiaeinyelő képességét. A hegesztéstechnológia kidolgozásakor arra kell kiemelt figyelmet fordítani, hogy ezek az acélok szállítási állapotban jelentős mennyiségű (alacsony karbontartalmú) martensitet tartalmaznak, ponthegeztés közben az intenzíven hűtött bronzelektrodok, a rövid ideig ható koncentrált hőbevitel és a kis lemezvastagság miatt olyan nagy a hűlési sebesség, hogy a heglencse szinte minden esetben teljes egészében martensitessé alakul. Ezeknek a szállítási állapotú alapanyaghoz viszonyítottan nagy keménységű, irányított szerkezetű és ebből következően repedésre hajlamos kötéseknek a mechanikai tulajdonságait az autóiipari lágycéloknál közismert és széles körben alkalmazott hagyományos módon nem lehet elérni, ezért az anyag-szerkezeti változások figyelemmel kísérésére alapozott összetett technológia alkalmazására van szükség. Eddigi kutatásaink alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy az adott autóiipari anyagszortnál a legbiztosabb eredmények a szakaszos energiabevitelű hegesztéstechnika alkalmazásától várható [1].

2. DP ACÉLOK AZ AUTÓIPARBAN

A vezető autógyárak a trendszerűen növekvő poli-mer és alumínium felhasználás mellett az alapvető szerkezetű anyagnak az acélt tekintik és ez az acél dominancia várhatóan hosszú időre fennmarad [1,2,3]. Az autó-

* tanársegéd, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet

** tudományos munkatárs, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Nonprofit Kft.

*** egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet

ipar a karosszéria-elemek gyártásához a hidegalakíthatóság elsődleges követelményét fenntartva alapvetően kétféle acélkategóriát igényel: az életvédelmi szempontból lényeges töréssel szembeni ellenállás növelését biztosító korszerű nagyszilárdságú acélokat, amelyek alkalmazása nem melleleg saját tömeg csökkenést és így környezetvédelmi előnyöket biztosító kisebb üzemanyag fogyasztást eredményez és a hagyományos, kis-szilárdságú acélokat, amelyekből az autók nagy felületű, hidegen alakított alkatrészei (motorház- és csomagtartó-fedél, tető- és ajtóburkolat) készülnek.

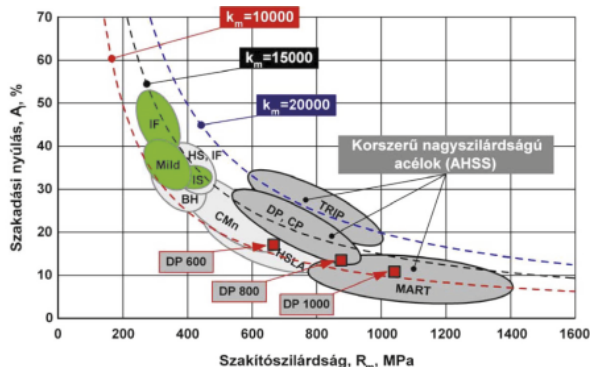
A nagyszilárdságú acélokat mikroötvözött és/vagy gyengén ötvözött, kis karbontartalmú és nagy tisztaságú acélösszetételűn valamilyen fémtani változásra vagy változásokra alapozottan fejlesztik, úgy, hogy az elsődleges alakíthatósági követelmény minél kevésbé károsodjon. A konvencionális acélnál a szakítószilárdság növelése az alakíthatóság (pl. szakadási nyúlás) csökkenésével jár. A szabályszerűséget a következő hiperbolikus függvény írja le:

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

ahol:

- A_{80} , %: az acél 80 mm jeltávon mért szakadási nyúlása,
- k_m , MPa%: anyagkonstans,
- R_m , MPa: szakítószilárdság.

A konvencionális acélnál az anyagkonstans átlagosan 10 000 MPa%-ra adódik (1. ábra). A korszerű autóiipari acélok fejlesztésénél az anyagkonstans értékét igyekeznek megduplázni ($k_m=20\ 000$), sőt kissé utópisztikusan meg négyszerezni ($k_m=40\ 000$) [2,3].



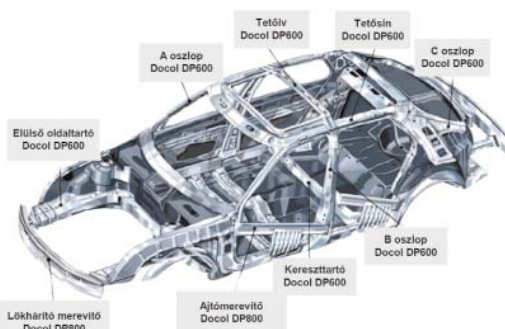
1. ábra. A kísérleti DP acélok helye az autóiipar konvencionális és az elsőgenerációs korszerű nagyszilárdságú acéljai között

A ferrit-martensites szövétű, DP rövidítésű célok névlegesen 600, 800 és 1000 MPa-os szakítószilárdsággal kaphatók. A DP 600-as acél felhasználási arányát tekintve máig vezetőhelyen található a személygépkocsi ütközési merevségét biztosító (nem burkolat funkciójú) alkatrészeinél. Kiemelkedő fontossága miatt kutatómunkánkhoz választott DP 600, DP 800 és DP 1000

jelű acélokat jelképező négyzeteket az 1. ábrába berajzoltuk. Az ábra alapján jól látszik, hogy a saját mérésinkből számított anyagkonstansok értéke (12500, 11950 és 11850 MPa%) az autóiipari igényeket kielégíteni szán-dékozó acélgyártóknál megcélzott 15000-es, vagy 20000-es anyagkonstanstól jóval elmarad.

3. AZ AUTÓIPARI FERRIT-MARTENSITES DP ACÉLOKRÓL

A DP acélokat az 1970-s évek elején kezdték fejleszteni azzal a céllal, hogy a HSLA acélok szilárdsági tartományában egy jóval kedvezőbb alakíthatóságú acéltípust hozzanak létre. Mivel a fő felhasználó az autóiipar volt, ezért az acélok szilárdsága és fajlagos nyúlása mellett a hidegalakíthatóságot jellemző mérőszámok is lényeges szerepet kaptak. A DP acélok kifejlesztésének fő oka az 1973-as arab-izraeli háború következtében kirobbant olajválság következményeként létrejött olaj ár-emelkedés, és az emiatt bekövetkező krízis hatásainak mérséklésére meghozott válaszügyintézkedés, hogy alacsony fogyasztású személygépkocsikat gyártsanak. A saját tömeg csökkentése érdekében (sok más egyéb lehetőség közül) a leghatékonyabbnak és legkedvezőbb költségkihatásúnak az acél alkatrészek falvas-tagságának csökkentése látszott, amihez nagyobb szilárdságú acélokra volt szükség. Másfelől a gyártási idő és költségek csökkentése a hidegalakítási technológia olyan fejlesztését igényelte, amelyhez kétháromszoros szilárdság mellett a zömében ferrites mélyhúzzható lágyacélok jó hidegalakíthatóságának megközelítésére volt szükség [2]. A DP acélok igen nagy szakítószilárdsággal, jó szívóssággal, valamint viszonylag jó alakíthatósággal és nagy sebességű alakváltozás esetén kiváló energiaelnyelő képességgel rendelkeznek. Ezekből az igen előnyös tulajdonságokból következik, hogy a DP acéltípusból elsősorban a gépkocsi lökhárítói, A, B és C oszlopai, az ülésvázak, valamint az ajtók, tető, stb.) különböző merevítő elemei készülhetnek, amelyek jelentős energiaelnyelési képességük folytán egy esetleges ütközéskor az utasok biztonságát hivatottak szolgálni.

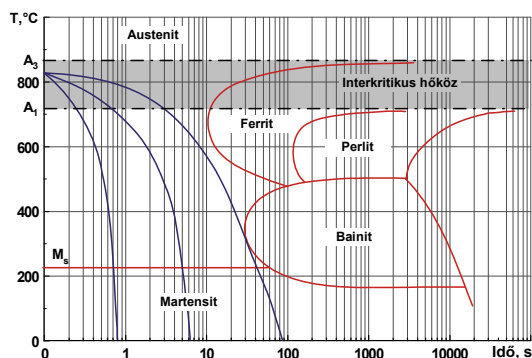


2. ábra. A DP típusú Docol acélok alkalmazása egy modern személygépkocsi body in white egységében [5]

A 2. ábra a különböző szilárdságú DP acélok alkalmazási lehetőségeit illusztrálja egy napjainkban gyártott korszerű gépkocsinál [4].

4. A FERRIT-MARTENSITES SZÖVETŰ DP ACÉLOK ELŐÁLLÍTÁSA

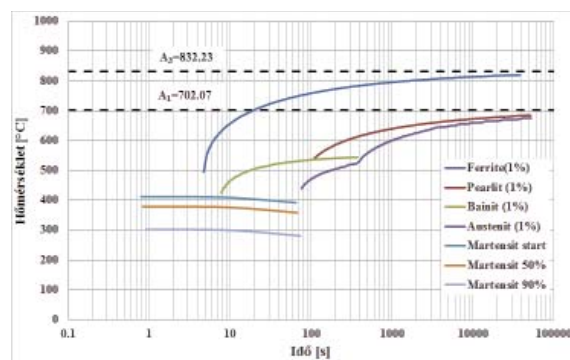
A DP acélok heterogén szövetszerkezetét általában folyamatos hőkezeléssel (áthúzó kemencében, vagy sófürdőben), vagy a meleg hengerlést követő szabályozott lehűtéssel állítják elő [2,6]. A hőkezelések mindegyikének az a lényege, hogy az $A_1 \dots A_3$ hőmérséklet-közben (az ún. interkritikus hőmérséklet-közben), azaz az $\alpha + \gamma$ mezőben kialakítják a kívánt ferrit/austenit szövetarányt. Ilyenkor az apró austenit kristallitokat jól alakítható ferrit kristallitok veszik körül. A nagyobb karbon-oldóképességű austenit kristallitok C-tartalma ezen a hőmérsékleten jóval meghaladja az átlagos értéket, ami a belőle keletkező martensit keménységének növelését eredményezi. Amikor az interkritikus hőközből az acélt gyorsan hűtik, az átalakulás során az austenitből martensit keletkezik [2,6]. A részleges austenitesítés és a bainitmezőt elkerülő hűlésgörbéjű lehűtés során az austenitből keletkező szövetek minősége és mennyisége a 3. ábrán bemutatott elvi CCT diagram (folyamatos hűtésre érvényes átalakulási diagram) alapján követhető. A lágy és szívós ferrit a jó alakíthatóságot biztosítja, míg a ferritet körülölelő, diszperz eloszlású martensit szigetek az acél szilárdságát növelik [2,6,7].



3. ábra. Ferrit-martensites szövet létrehozása részleges austenitesítéssel és különböző hűtési sebességekkel

A DP acélok gyártása során a legnagyobb eltérést az acél normális edzéséhez képest az jelenti, hogy az austenitesítés csak részleges, ezért az austenit kristallitokat ferrit veszi körül. A martensit keletkezésével együtt járó fajtérfogat-növekedés a ferritben (elsősorban a keletkező martensit-szigetekkel szomszédos tartományokban) képlékeny alakváltozást okoz. Ennek következtében a ferritben a diszlokációsűrűség jelentősen megnő [2,6]. Az általunk vizsgált DP acélokat a gyártómű adatai szerint folyamatos hőkezeléssel, áthúzó kemencében gyártották.

A DP acélok ponthegesztésekor az okozza a legnagyobb problémát, hogy még a hűlési sebesség szabályozása esetén, azaz szakaszos energiabevitelű ponthegesztéskor is nagyobb lesz a hűlési sebesség, mint a kritikus felső hűtési sebesség, ezért a ponthegesztett kötés 100%-ban martensites szövetszerkezetű lesz. Ennek igazolására szolgál a 4. ábra, amely a DP 1000-es acél folyamatos hűtésre érvényes C-görbéjét (CCT) mutatja.



4. ábra. DP 1000-es acél CCT diagramja

5. A DP ACÉLOK PONTHEGESZTHETŐSÉGE

A hegesztéssel foglalkozó szakemberek körében kevésbé ismert, hogy az ellenállás-ponthegesztésnek is ugyanúgy megvannak a maga hegeszthetőségi feltételei, mint az ömlesztő hegesztéseknek. A ponthegesztésnél elvárás, hogy az előírt pontátmérőjű pontkötéseket reprodukálhatóan, repedésmentesen, az alapanyagra és a kötéstípusra jellemző terhelhetőséggel lehessen létrehozni. A hegeszthetőség a sajtolóhegesztések közé tartozó ponthegesztés jellegzetességei (gyors hevítés, kis méretű hegfürdő, nyomófeszültség és az elektródok okozta intenzív hőelvonás alatti kristályosodás) miatt lényegesen különbözik az ívhegesztéseknél megszokottól [2,8]. A ponthegeszthetőség vizsgálati kritériumaként a kötések maximális keménységét és a pontkötések valamilyen minősítő eljárásához kötött kedvezőtlen törési módjának megjelenését szokás megadni.

Több korábbi munkánkban már részletesen kifejtettük, hogy a DP acélsorozatra (DP 600, DP 800 és DP 1000) nagyobb fajlagos ellenállás és nagyobb melegsilárdság jellemző, mint a hagyományos lágyacélokra [1,2,4]. A mikroötvözők miatt a DP acélokra egy, a ponthegesztéséhez hasonló rövid idejű hőhatás alatti megeresztésállóság is jellemző. A gyártóműi javaslatok [1,9,10] és irodalmi források [1,5,11,12] szerint ezen tulajdonságok következtében a DP acélok ponthegesztéséhez a lágyacélokhöz viszonyítottan mintegy 20...50%-kal nagyobb elektród-erő és kb. 20%-kal hosszabb hegesztési időalkalmazása ajánlott.

Az alapanyag kémiai összetételének a hatását az ömlesztő hegesztésekhez hasonlóan a ponthegeszthetőség vizsgálata során is a karbonegyenértékkel fejezhetjük ki. A (2) összefüggés egy ilyen karbonegyenértéket mutat,

amelyet japán kutatók az autóiipari AHSS acélok hegeszthetőségének minősítésére vezettek be. A 0,24 %-os határérték azt a határ határt jelöli, ahol a kötések kereszt-szakító ereje (illetve a kereszt-szakító és a nyíró-szakító erő hányadosa) az alapanyag növekvő szilárdságának függvényében csökkenni kezd [2,13].

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

Ha a $CE \leq 0,24\%$, akkor a ponthegesztett kötés előreláthatólag ki fog gombolódni, azonban ha a $CE > 0,24\%$, akkor a kötés vagy részlegesen kigombolódik, vagy egyáltalán nem gombolódik ki (partial and interface failure). Az összefüggés valamennyi DP acélra érvényes és használható [2,14]. A kísérleti lemezanyagok vegyi összetételéből a (2) összefüggés segítségével kiszámítottuk a karbonegyenértékeket, amelyeket a 4. táblázatban foglaltunk össze.

Anyagminőség	CE_{RSW} %
DC01	0,13
DP 600	0,18
DP 800	0,25
DP 1000	0,27

1. táblázat: A kísérleti DP acélok CE_{RSW} -vel jelölt karbonegyenértékei

Az 1. táblázat eredményei alapján megállapíthatjuk, hogy a DC01-es anyagnál számított 0,13 %-os CE érték 45 %-al, míg a DP 600-as anyagminőség esetében kapott 0,18 %-os karbonegyenérték 25 %-kal alatta van a veszélyességi határnak. A nagyobb szilárdságú DP 800-as és a DP 1000-es acél vékonylemezek karbonegyenértékei meghaladják a 0,24 %-os határértéket. Ez azt jelenti, hogy a DC01-es és a DP 600-as acél ponthegesztett kötéseinél hegesztési nehézségekkel és a kötés romló mechanikai jellemzőivel még nem kell számolnunk, azonban a DP 800-as és DP 1000-es anyagok kötéseinél a szokásos ponthegesztési technológia alkalmazása esetén repedéssel és/vagy kedvezőtlen törési móddal kell számolni, illetve üzem közben akár a pontkötések idő előtti fáradása, vagy ridegtörése is bekövetkezhet. Az előbbieket figyelembevételével ezért mind a hegesztési, mind pedig a modellezési kísérleteink során a rendelkezésünkre álló DP acéltípusok közül a hegesztőmérnöki szempontból legnagyobb kihívást jelentő 1 mm-es falvastagságú, DP 1000-es anyagminőséget vizsgáltuk.



5. ábra. DP 1000-es alapanyag szövete képe. Nagyítás: 500x, Marószers: Nital (világos: ferrit, sötét: martensit)

Megnevezés	DP 1000
Ferrit-arány (%)	45%
Martensit-arány (%)	55%
Ferrit-keménység (HV0,01)	225
Martensit-keménység (HV0,01)	452
Átlag-keménység (HV0,2)	324

2. táblázat: A DP 1000-es acél mikroszerkezetének jellemzői

Mechanikai jellemzők					
R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A_{80} (%)	Z (%)	$R_{p0,2} / R_m$ (-)	km (MPa%)
669	448	18,7	60	0,69	11850

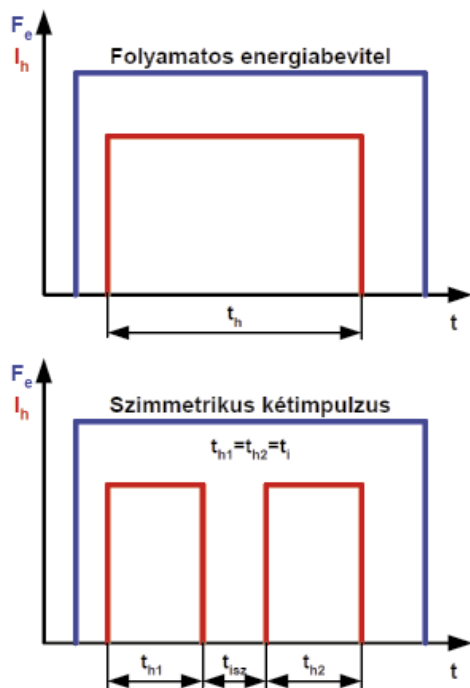
3. táblázat: A DP 1000-es acél mechanikai jellemzői

C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Nb (%)	V (%)	B (%)
0,148	0,49	1,50	0,03	0,04	0,015	0,01	0,0004

4. táblázat: A DP 1000-es acél vegyi összetétele

6. PONTHEGESZTÉSI KÍSÉRLETEK

Az elvégzett ponthegesztési előkísérletek eredményei alapján kijelenthető, hogy a folyamatos energiabevitelű kemény munkarenddel hegesztett kötések terhelhetősége az autóiipari elvárásoknak egyes esetekben megfelelhet. A DP acélokból készülő, elsősorban csak statikus igénybevételnek kitett alkatrészek sokponthegesztéséhez, ahol az elsődleges követelmény a minimális pontátmérő és/vagy a nyíró-szakító erő biztosítása, megfelelő megoldást jelenthet a célszerűen megválasztott folyamatos energiabevitelű technológia. Ezekben az esetekben azonban számolni kell azzal, hogy a heglencse és a hőhatásövezet egy része jelentősen felkeményedhet, a kialakuló helyi keménységcsúcsok ismétlődő, vagy egyszeri dinamikus igénybevétel esetén üzem közben repedések kiinduló helyeivé válhatnak. Figyelembe véve az autókarosszériát érő komplex igénybevételt és a DP acélok nagy szilárdságából eredő előnyök minél biztonságosabb kihasználását, arra a következtetésre jutottunk, hogy a DP acélok ponthegesztési technológiájának tervezésekor a folyamatos energiabevitel helyett a sokoldalúan kedvezőbb eredményekkel kecsegtető szakaszos energiabevitelre célszerű alapozni [1,4]. Szakaszos energiabevitelű ellenállás-ponthegesztéskor ugyanis a hőhatásövezet és a heglencse nagy keménysége mérsékelhető, valamint a heglencse mikroszerkezete, a dendritágak méretei finomíthatóak, bizonyos esetekben pedig a teljes heglencse poligonizálható. Kísérleteink során a szakaszos energiabevitel nyújtotta előnyök feltárása érdekében folyamatos és szimmetrikus kétimpulzusú szakaszos energiabevitellel ponthegesztett kötések összehasonlító elemzését végeztük el.



6. ábra. A folyamatos és a szimmetrikus kétimpulzusú szakaszos energiabevitel értelmezése ellenállás-ponthegesztéskor [1]

A DP acélokon végzett nagyszámú ponthegesztési kísérlet eredményei alapján kiválasztottuk azokat a paraméterkombinációkat (5. táblázat), amelyekkel mindkét energiabeviteli móddal a lehető legnagyobb nyíró-szakító erejű pontkötés készíthető. A nyíró-szakítóvizsgálat lefolyásából következik, hogy a pontkötés kigombolódásos szakadásánál mindig a hegpont kerülete mentén szakad fel, ezért a kétféle energiabevitellel készült, közel azonos lencseátmérőjű kötések maximális teherbírása között nincs (nem lehet) lényegi eltérés.

Megnevezés	Energiabevitel	
	Folyamatos	Szakaszos
Impulzusok száma	1	2
Imp.közi szünetidő: $t_{szün, per}$	0	15
Hegesztési idő: $t_{heg, per}$	12	2x6
Hegesztőáram: $I_{heg, kA}$	5,75	6,35
Elektróderő: F_e, kN	3	3

5. táblázat: A kísérletek során használt beállítások

A ponthegesztést alkalmazó vállalatok gyakorlata és a ráépülő vállalati, egyesületi (pl. RWMA) és országos (MSZ, DIN), illetve nemzetközi (EN, ISO) szabványok egyszerű kivitelezhetősége miatt szinte mindig a nyíró-szakító-vizsgálatot részesítik előnyben. A szerzők elvetik ezt a leegyszerűsítő felfogást és helyette azt az álláspontot képviselik, hogy a ponthegesztett kötésekre ható sokféle igénybevétellel szembeni ellenállást csak különféle vizsgálati eljárások párhuzamos alkalmazásával lehet megállapítani. Ugyanez érvényes a technológiai variánsok összehasonlítására is, mivel a vizsgálatok és

vizsgálati eredmények technológia-érzékenysége nagyon eltérő. Az előző gondolatmenetet követve a maximális nyíró-szakítóerőt eredményező technológiai adatokkal (5. táblázat) hegesztett egy pont-kötéseket a nyíró-szakító vizsgálat mellett kereszt-szakító és felszakító vizsgálatokkal is teszteltük. Az idézett szabványok által javasolt 11 elemű mintán végrehajtott vizsgálatok átlageredményeit a 6. táblázatban foglaltuk össze.

Megnevezés	Energiabevitel	
	Folyamatos	Szakaszos
Imp.közi szünetidő: $t_{szün, per}$	0	15
Nyíró-szakító erő: $F_{nyisz, kN}$	12,78	12,07
Kereszt-szakító erő: $F_{ksz, kN}$	3,47	4,12
Felszakító erő: $F_{fsz, kN}$	0,93	1,12

6. táblázat: A nyíró-szakító, a kereszt-szakító- és a felszakító vizsgálatok $N=11$ elemű minta átlagainak összehasonlítása

A 6. táblázat eredményeit elemezve szembevetendő, hogy a pontkötések minősítésére leggyakrabban használt nyíró-szakító vizsgálat során a szimmetrikus kétimpulzussal készített kötések teherbíró képessége mintegy 5...6%-al (nagyjából a vizsgálat hibahatárával) elmarad a folyamatos energiabevitelű pontkötésektől. Ezzel szemben az impulzustechnikával hegesztett kötések kereszt-szakító ereje kb. 15...20%-kal, míg felszakító ereje kb. 20%-kal (vagyis szignifikánsan) kedvezőbb, mint a folyamatos energiabevitellel ponthegesztett kötéseké.

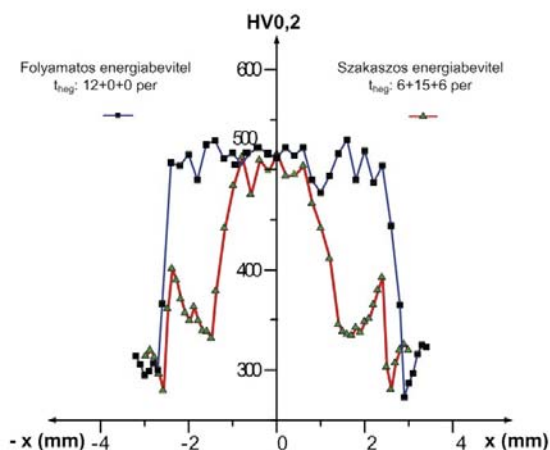
Az összehasonlító vizsgálatok eredményei alapján megállapítjuk, hogy a szakaszos energiabevitellel hegesztett kötések kedvezőbb teherbírása és tönkremeneteli módja a második áramimpulzus hőkezelő hatása révén létrejövő előnyösebb mikroszerkezettel (7. ábra) és a vele összefüggő, a 8. ábrán bemutatott kedvezőbb keménységeloszlással magyarázható.



7. ábra. DP 1000-es acél a) folyamatos energiabevitelű és b) szimmetrikus kétimpulzussal ponthegesztett kötése

Az ábra azt is szemléletesen mutatja, hogy a nagyszilárdságú acélok ponthegesztett kötéseinak keménységeloszlásának jellege és az eloszlás minimális, illetve maximális keménységértéke mennyire érzékeny az impulzusközi szünetidőre. Másképpen fogalmazva

azt is mondhatjuk, hogy a nagyszilárdságú acélok ponthegeztésekor az impulzusközi szünetidő elsődrendű paraméterre lép elő [1].

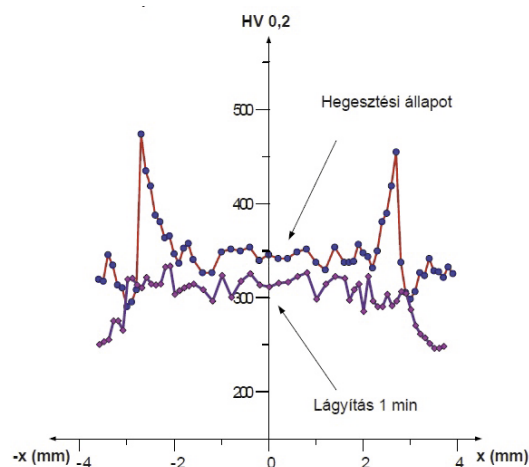


8. ábra. A DP 1000-es acél folyamatos energiabevitellel és 15 per impulzusközi szünetidejű szimmetrikus kétimpulzussal ponthegeztett kötéseinek keménységeloszlása

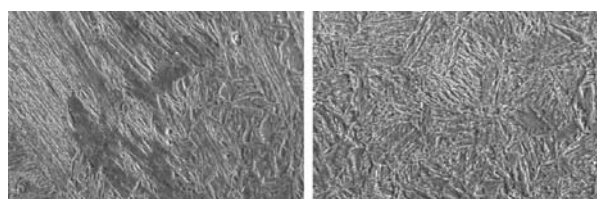
A szimmetrikus kétimpulzusú szakaszos energiabevitellel végzett ellenállás-ponthegeztés második áramimpulzusának hőkezelő hatását lágyító hőkezelési kísérletek során vizsgáltuk. Azt feltételeztük, hogy a csiszolatokon megfigyelhető gyűrű hegesztés közben egy lágyító hőkezelésnek van kitéve. Kísérleteink során folyamatos energiabevitellel ponthegeztett kötéseket kemencében hőkezeltünk. A hőkezelésre kerülő próbatetek hegesztéséhez azokat a paramétereket állítottuk be, amelyek szimmetrikus kétimpulzusú hegesztéskor az első impulzus hegesztése során alkalmaztunk (a hegesztési fődő és a hegesztési áram megegyezett az első impulzus hegesztési idejével és hegesztési áramával). A hegesztett kötéseket interkritikus ($A_1 < T_{ht} < A_3$) lágyításnak vetettük alá. A kemencében hőkezelt próbatetekből csiszolatokat készítettünk, amelyeken makro- és mikrovizsgálatokat, illetve keménységméréseket végeztünk. A kapott eredményeket a szimmetrikus kétimpulzussal hegesztett kötések makro- és mikroszkópi felvételeivel és keménységeloszlásával hasonlítottuk össze.

A 9. ábra egy 780-800 °C-on, 1 min ideig hőtartott, majd vízben hűtött próbadarab sugár menti keménységváltozását mutatja. A diagramba összehasonlító céllal berajzoltuk egy olyan szimmetrikus háromimpulzussal hegesztett kötés keménységeloszlását is, amelynek hegesztett kötését (első impulzus) további két, egymást követő áramimpulzussal hőkezeltük. A hőkezelési eredmények elemzése alapján arra következtethetünk, hogy a szakaszos energiabevitelű, szimmetrikus impulzusú ellenállás-ponthegeztés „hőkezelő” energiaimpulzusának hatására a kötés egyes részein, vagy teljes egészében olyan nagysebességű fémtani folyamatok

mennek végbe, mint amelyek egy esetleges, kemencében végzett lágyító hőkezelés során hosszabb idő alatt végbemennének (10. ábra).



9. ábra. Szimmetrikus háromimpulzussal készült kötés keménységeloszlásának összehasonlítása a folyamatos energiabevitellel ponthegeztett, majd az interkritikus hőközben 1 min hőtartási idő után vízben hűtött kötés keménységgörbéjével



10. ábra. A dendrites heglencse és az átkristályosodott gyűrű elektronmikroszkópos felvétele. Alapanyag: DP1000, nagyítás: 1000x

Ez a jelenség magyarázatot adhat az impulzustechnikával hegesztett kötések kedvezőbb keménységeloszlására és az ezzel szorosan összefüggő kedvezőbb tönkremeneteli módra és mechanikai tulajdonságokra.

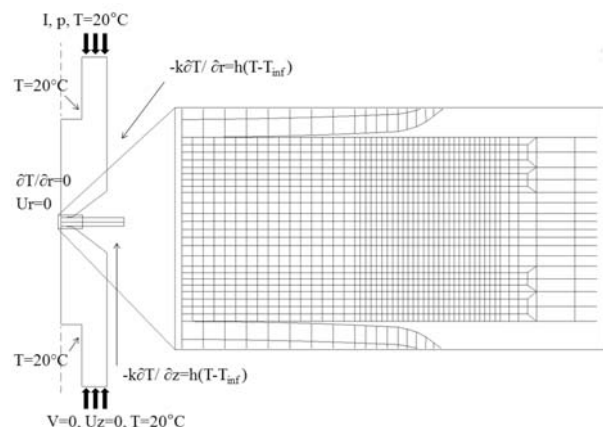
7. A MODELLEZÉS EREDMÉNYEINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA A HEGESZTÉSI KÍSÉRLETTEL

A ponthegeztés folyamatának végeselemes (VE) modellezése összetett feladat, mivel az ellenállás-ponthegeztés elektromos, termikus, mechanikai és metallurgiai jelenségek összetett folyamata. Modellezési szempontból nagy nehézséget jelent, hogy a különböző fizikai hatások nem önmagukban, hanem csatoltan, azaz kölcsönösen egymásra hatva jelentkeznek.

Kutatásaink során az ellenállás-ponthegeztés modellezésére egy tengelyszimmetrikus modellt építettünk fel (11. ábra), amelyet kezdetben egy csatolt elektromos, hőtani és mechanikai modellen elemeztünk. Ezen az egyszerűsített modellen a hegesztési folyamat

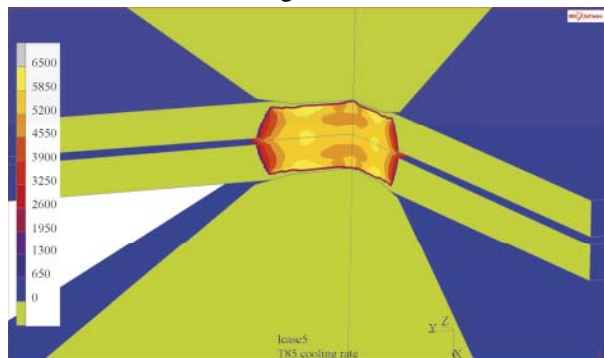
hőciklusait vizsgáltuk. A modellezés második fázisában összekapcsoltuk a hegesztett kötés létrejöttét a metallurgiai folyamatokkal is, így a teljes folyamatot minden egyszerűsítés nélkül tudtuk vizsgálni.

Az egyszerűsített modell megalkotásakor a feltételezésünk az volt, hogy ponthegeztéskor nagyobb lesz a hűlési sebesség, mint a kritikus hűtési sebesség, ezért a ponthegeztett kötés 100%-ban martensites szövetszerkezetű lesz. Ezt a feltételezésünket a komplex metallurgiai folyamatokat nem nélkülöző modellünk igazolta. Egy tipikus hűtési sebesség eloszlást a 12. ábra szemléltet.



11. ábra Az ellenállás-ponthegeztés VE modellje

A modellünket MSC.Marc nemlineáris végeleemes szoftverben építettük fel, ahol a csatolt elektro-hőtani és mechanikai szimulációkat elemeztük. Ahhoz, hogy a kapcsolt metallurgiai analíziseket elvégezhessük a simufact.welding megoldóját használtuk fel. A két szoftver kódja azonos marc nyelven íródott, a modellek átadása egymás között megoldott, a stabil számításához szükséges módosításokat a kódban elvégeztük, a hiányzó fizikai tartalommal kiegészítettük.



12. ábra Tipikus hűlési sebesség eloszlás

A tengelyszimmetrikus modell 4095 négy csomópontú elemet és 3822 csomópontot tartalmazott. Mivel a hegesztési folyamat jellegéből adódóan lokálisan nagy a hőmérséklet gradiens, ezért a lemezekre speciális hálózást alkalmaztunk, ahol a kontaktzóna környezetében

sűrű, míg attól távolodva ritkuló a végeleemes háló sűrűsége (11. ábra).

A modellünkben alkalmazott DP1000 alapanyagot rugalmas-képlékeny, izotróp keményedőnek feltételeztük, folyási feltételként a Huber-Mises-Hencky modellt alkalmaztuk, míg az elektródokat ideálisan rugalmasnak tekintettük. A modellezéshez nélkülözhetetlen hőmérsékletfüggő anyagtulajdonságokat a JMatPro szoftver segítségével határoztuk meg az anyag vegyi összetétele alapján (4. táblázat), míg az elektród esetében irodalmi adatokat használtunk [15]. A lemezek és az elektródok között fellépő átmeneti ellenállás modellezésére hőmérsékletfüggő elektromos vezetőképességet, valamint az elektród és a lemezek közötti hőátadási tényezőt is definiáltunk. A peremeken $20\text{W/m}^2\text{K}$ hővezetési tényezőt alkalmaztunk szobahőmérsékletre viszonyítva. Az elektród hűtését az elektród belső peremén alkalmazott állandó 20°C hőmérséklettel vettük figyelembe a számításoknál. A nemlineáris egyenletrendszer megoldására a Newton-Raphson-féle iterációs eljárást használtunk, a nagy alakváltozáshoz javasolt iteratív megoldóval.

A modellben alkalmazott főbb hőmérsékletfüggő elektromos és mechanikai paramétereket a 6-7. táblázat tartalmazza [15,16].

Hőm. [°C]	Ellenállás DP1000 [$\Omega\text{m}^2 \cdot 10^{-7}$]	Vezetőképesség lemez/lemez [$1/\Omega\text{m}^2 \cdot 10^7$]	Vezetőképesség elektróda/lemez [$1/\Omega\text{m}^2 \cdot 10^7$]	Hővezetés lemez/lemez [$\text{W/m}^2\text{C}$]	Hővezetés elektróda/lemez [$\text{W/m}^2\text{C}$]	Hővezetés DP1000 [$\text{W/m}^2\text{C}$]
20	2.267	0.203	1.075	250000	20000	39.9
100	3.049	0.298	2.174	-	-	40.9
200	3.839	0.401	3.334	-	-	41
300	4.754	0.505	4.348	-	-	39.9
500	7.122	0.714	6.668	-	-	35.8
700	10.04	0.909	8.621	-	-	30.4
1000	14.49	1.222	12.05	-	-	28.8
1300	15.91	1.538	16.67	-	-	32.4
1600	17.52	1.852	18.52	-	-	35
2000	17.63	3.025	26.13	4570000	4000000	42

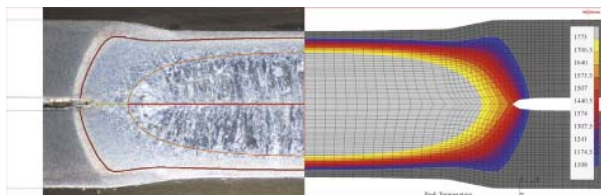
6. táblázat: A elektomos és hőtani paraméterek

Hőm. [°C]	E (Austenite) [GPa]	E (F./M.B./P.) [GPa]	Fajhő (Austenite) [kJ/kg°C]	Fajhő (F./M.B./P.) [kJ/kg°C]	Hőtágulás (Austenite) [$1/^\circ\text{C} \cdot 10^{-6}$]	Hőtágulás (F./M.B./P.) [$1/^\circ\text{C} \cdot 10^{-6}$]
20	197	208	0.463	0.449	2.53	1.289
100	190	205	0.485	0.483	-	-
200	181	199	0.499	0.522	-	-
400	163	181	0.542	0.626	-	-
500	154	169	0.551	0.699	-	-
800	125	126	0.599	0.799	-	-
950	110	103	0.615	0.724	-	-
1050	100	87	0.642	0.711	2.566	1.663

7. táblázat: A főbb mechanikai paraméterek

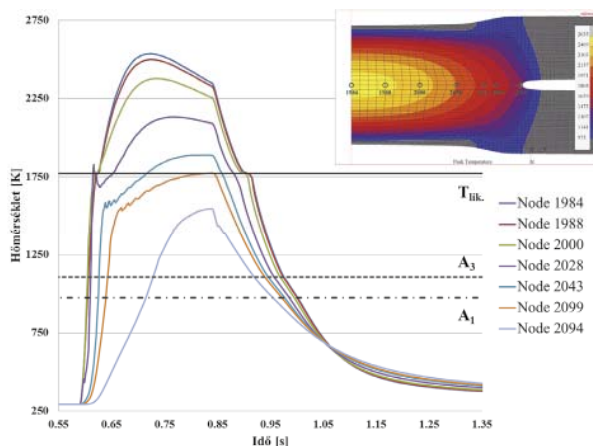
A modellben használt hegesztési paramétereket ponthegeztési kísérletek alapján határoztuk meg, ezeket az 5. táblázat tartalmazza. A modellünkben kiinduló értéként 45-55% ferrit-martensit arányt állítottunk be.

A számítások eredményeként kapott hőmérséklet eloszlások a 13. és 15. ábrán láthatóak. A világosszürke régió szemlélteti az olvadáspont fölötti hőmérsékleteket, míg a sötétszürke az A_1 alattiakat.



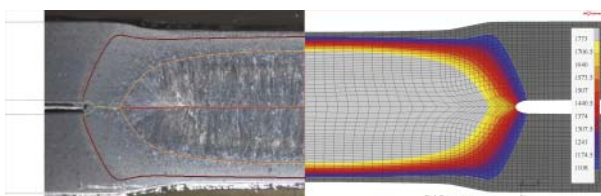
13. ábra Hőmérséklet eloszlás, folyamatos energia bevitel esetén

A régiók határait átvétítve a csiszolati képekre, jól látható, hogy a heglencse mérete és az austenitesező anyagterefogat, valamint az elektródbenyomódás nagysága jó egyezést mutat a modellezés és a kísérleti eredmény között. Az egyes pontokban számított hőmérséklet értékeket a 14. ábra szemlélteti.



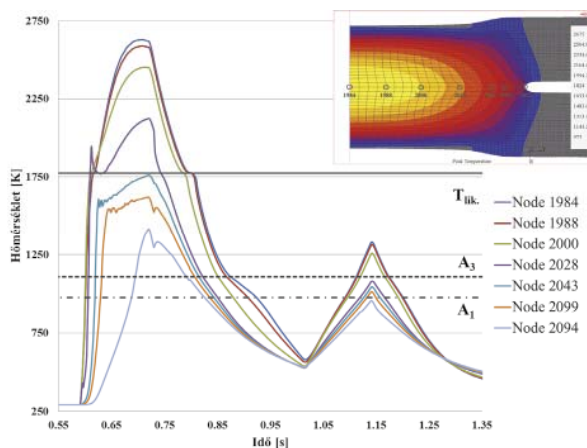
14. ábra Hőciklus folyamatos energiabevitelnél

Elkészítettük a szimmetrikus kétimpulzusos hegesztés végeelemes modelljét is. Az első impulzus utáni hőmérséklet eloszlás a 15. ábrán látható.



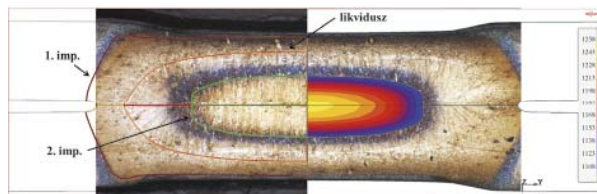
15. ábra Hőmérséklet eloszlás, szakaszos energia bevitel esetén

Itt is megfigyelhető a kísérletek és a modellezés közötti jó egyezés. A modellen számított hőciklus a 16. ábrán látható. Egyértelműen látszik, hogy az első impulzussal létrehozott kötés a második hatására részben újra austenitesező, részben pedig az interkritikus hőközbe hevül.



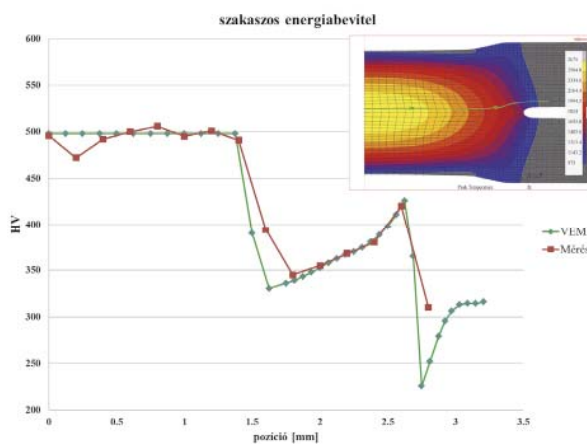
16. ábra Hőciklus szakaszos energiabevitelnél

A második impulzus során a hőmérséklet eloszlása és a kötésről készült mikroszerkezeti kép a 17. ábrán látható. A színskala az A_3 fölé hevülő anyagterefogatot szemlélteti. Jól megfigyelhető, hogy az austenitesező régió ("belső mag") másképpen maródott a csiszolaton, mint az A_1 és A_3 közé hevülő, kedvezőbb keménységű "külső gyűrű".



17. ábra Hőmérséklet eloszlás a második impulzus során

A számított hőmérséklet eloszlás alapján meghatároztuk a heglencse keménységeloszlását, amely a 18. ábrán látható. A modellezés során kapott eredmények rendkívül jó egyezést mutatnak a keménységmérés során kapott eredményekkel.



18. ábra A mérések és a modellezés során kapott keménységeloszlások összehasonlítása

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A 600 és 1000 MPa közötti szakítószilárdság tartományba eső, ferrit-martensites szövétű, nagyszilárdságú autóiari DP acélokól hengerelt vékonylemezek ellenállás-ponthegesztéséhez az elvégzett széleskörű kutatómunka tapasztalatai alapján a következő szempontok mérlegelését ajánljuk.

1. A DP acélok előállítási technológiájuk (interkritikus hőközből szabályozott hűtés és/vagy alakítás) következtében a stabil állapottól távol álló szövetszerkezettel rendelkeznek, ezért számottevő hőhatásra szerkezetük a stabil állapot felé törekszik és ez a változás a feldolgozási technológiák területén irreverzibilis. A hegesztési hőhatás nemkívánatos szilárdságvesztéssel járó következményeinek mérséklése érdekében a DP acélból hidegen hengerelt vékonylemezeket csak rövid ideig tartó, intenzív hőbevitelnek szabad kitenni, következőképpen kemény munkarendű ellenállás-hegesztéssel kell hegeszteni.
2. A ferrit-martensites kiinduló szövete és a hegesztés közben kialakuló keménységcsúcsok a DP acélok fokozott keményedési (edződési) hajlamát igazolják. A nagy csúcsokkal rendelkező keménységeloszlások célirányos megváltoztatása és a maximális helyi keménységek csökkentése szakaszos energiabevitelű hegesztéssel megoldható. A kívánt cél az energiainpulzusok többszöri ismétlése helyett legegyszerűbben a szimmetrikus kétimpulzus elnevezésű hegesztési munkarenddel érhető el.
3. A hőkezelési kísérletek, a mikroszkópi vizsgálatok és a végeleemes modellezés eredményei alapján egyértelműen kijelenthető, hogy megfelelő impulzusok közötti szünetidő alkalmazása esetén, szimmetrikus kétimpulzusú ellenállás-ponthegesztésnél a DP acélok heglencsájének pereme, szimmetrikus háromimpulzusnál pedig a kötés teljes egésze részlegesen átkritályosítható, ezáltal pedig a kötések keménységeloszlása és teherbírása is jelentős mértékben javítható.

IRODALOM

- [1] Prém L.; Balogh A.: A szakaszos energiabevitelben rejlő lehetőségek kiaknázása nagyszilárdságú, ferrit-martensites duplex szövétű autóiari acélok ellenállás-ponthegesztésekor, *Hegesztéstechnika* XXVI. évfolyam 3. szám, pp.: 47-56
- [2] Prém L.; Balogh A.: Hagyományos és korszerű autóiari acéllemezek ponthegesztetőségének vizsgálata, *Hegesztéstechnika*, XXIV. évfolyam 4. szám, pp.: 41-49
- [3] Balogh, A., Gáspár M., Prém L.: A hegesztett szerkezetek konvencionális és korszerű nagyszilárdságú acéljainak rendszerezése és hegesztési nehézségei, *GÉP*, 2013. (64. évf.) 8. sz. pp.: 7-12.

- [4] Prém L.; Balogh A.: Ferrit-martensites (DP) acél vékonylemezek ellenállás-ponthegesztetősége, *GÉP* LXIV. évf., 2013, pp.: 13-17
- [5] Kennet O., Magnus G., Jan-Erik H., Joachim L.: *Microalloyed High Strength*, SSAB Swedish Steel, Pittsburgh, Pennsylvania
- [6] Tisza M.: Járműipari anyagfejlesztések, *GÉP*, LXIII. (2012), 4. szám, p.: 3-10
- [7] Balogh A., Gáspár M., Vékony S., Prém L.: DP 600 autóiari acél AWI hegesztésének végeleemes modellezése, *GÉP* LXIV. évf., 2013, pp.: 19-24
- [8] Balogh A.: *Ellenálláshegesztés (Hegesztés és ronkon technológiák Kézikönyv 3.5. fejezete)*, GTE, Budapest, 2007. p.: 261-298
- [9] SSAB: *Welding of AHSS/UHSS steel, A guide for the automotive industry.*
- [10] SSAB: *Sheet Steel Joining Handbook, Joining of high strength steels.*
- [11] Tsipouridis, P.: *Mechanical properties of Dual Phase steels*, PhD dissertation, Technische Universität, München, 2006.
- [12] Baltazar Hernandez, Y. Okita, Y. Zhou: *Second Pulse Current in Resistance Spot Welded TRIP Steel — Effects on the Microstructure and Mechanical Behavior*, *Welding Journal*, Vol. 91., pp. 278-285., 2012.
- [13] 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
- [14] SSAB: *Welding of AHSS/UHSS steel, A guide for the automotive industry*
- [15] M. Eshraghi, M.A. Tschopp, M.A. Zaeem, S.D. Felicelli, *Effect of resistance spot welding parameters on weld pool properties in a DP600 dual-phase steel: A parametric study using thermomechanically-coupled finite element analysis*, *Materials and Design* (2014) Vol. 56, pp. 387-397.
- [16] Z Bézi, B. Baptisza, S. Szávai: *Experimental and numerical analysis of resistance spot welded joints on DP600 sheets* *BID-ISIM WELDING AND MATERIAL TESTING XXIII.:(4.)* pp. 7-12. (2014)

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

STRENX[®]
PERFORMANCE STEEL

A STRENX SZÉPSÉGE: MEGFELEL A KIHÍVÁSAIMRA

Az új Strenx portfóliója a világ legszélesebb választékát nyújtja a 600-1300 MPa és 0,7-160 mm tartományban. Lehetőséget ad a műszaki tervezők és mérnökök számára, hogy olyan termékeket készítsenek, melyek erősebbek, könnyebbek, biztonságosabbak, versenyképesebbek és fenntarthatóak. A Strenx acéllal, az utánfutója több hasznos terhet tud szállítani. Elmondhatja a tehergépjármű tulajdonosoknak, hogy kevesebb az üzemanyag fogyasztás és alacsonyabb a CO₂ kibocsátás. A darukezelők örömmel hallják majd, hogy magasabb az emelési teljesítmény. Ez a Strenx szépsége: Bármelyik alkalmazásról van szó, a Strenx szerkezeti acél javítja annak teljesítményét.

További információért hívja SSAB kapcsolattartóját, írjon nekünk a metals.hungary@ssab.com címre vagy nézze meg a strenx.com weboldalt.



strenx.com

/ **SSAB**

A TERMOMECHANIKUS NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK OPTIMÁLIS HEGESZTÉSI MUNKAABLAKÁNAK MEGHATÁROZÁSA

DETERMINATION OF THE OPTIMAL WELDING LOBE OF THE THERMOMECHANICAL HIGH STRENGTH STEELS

Dobosy Ádám^{}, Dr. Lukács János^{**}*

ABSTRACT

In our days the high strength steels are used increasingly greater fields, especially in welded structures. Because of this, it is important to deal with the features of the welded joints. The design of a structure is frequently done on static loading, but the welded structures often exposed with cyclic loading. From that viewpoint the welded joints has significance. In this study we present the determination of the optimal welding lobe of the S960TM thermomechanically rolled high strength steels, especially in the point of the linear energy.

1. BEVEZETÉS

Napjaink hegesztett szerkezeteiben a nagyszilárdságú acélok kiemelkedő szerepet töltenek be. A különböző felhasználási igények hatására rendkívül összetett elvárások alakultak ki az alapanyagokkal szemben [1], amelyeket az anyagfejlesztési irányzatoknak követniük kell; ilyen például a növelt szilárdság mellett a minél nagyobb alakváltozó képesség megőrzése. Mindemellett, ezen szerkezetek gyakran ismétlődő igénybevételnek vannak kitéve, így jellemző károsodási mód lehet a fáradás is, ami még összetettebb elvárást jelent az alapanyagokkal szemben.

Ugyanakkor, mivel a jellemző felhasználási terület a hegesztett szerkezetek világa, így a hegeszthetőség is alapvető jellemzője ezeknek az anyagoknak. A hegesztés – a hőbevitelből adódóan – megváltoztatja az alapanyag eredeti mikroszerkezetét; így gyakran teljesen eltérő mechanikai tulajdonságokat kapunk, ami a hegesztett szerkezet szempontjából sok esetben nem megengedhető.

Tekintettel arra, hogy a hegesztett kötések tulajdonságai eltérnek az alapanyagétól, indokolt azok kiemelt

** PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet*

*** egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet*

vizsgálata.

Ezt az állítást erősíti az a tény, hogy a kötés minősége, és ezzel együtt a fáradással szembeni ellenállása is, számos hegesztési paramétertől függ. Ilyen a kötéskialakítás, az alkalmazott hegesztő eljárás, az áramerősség, a feszültség, illetve a hegesztési sebesség; általánosabb mérőszámmal a vonalenergia (E_v) nagysága. Éppen ezért, a szerkezet terhelhetőségének megítélése szempontjából, az alapanyag és a hegesztett kötés domináns anyagi mérőszámainak (folyáshatár, kifáradási határ, kisciklusú fáradással, nagyciklusú fáradással szembeni ellenállás stb.) ismerete nélkülözhetetlen.

A napjainkban alkalmazott egyre magasabb folyáshatárú acélok esetében azonban ezek a jelzőszámok még nem, vagy nem teljes mértékben ismertek. Jelenleg a hegesztett acélszerkezetek gyártásával foglalkozó Eurocode 3 [2] 460 MPa garantált folyáshatár értékig tartalmazza az információkat, illetve kiegészítő korlátozások figyelembevételével 700 MPa-ig. Egy másik ajánlás, a Nemzetközi Hegesztési Intézet (IIW) által kiadott [3], 960 MPa folyáshatár értékig tartalmaz fásztási adatokat és javaslatokat a hegesztéssel kapcsolatban.

Különösen igaz ez a hiány a napjainkban egyre elterjedtebb termomechanikus nagyszilárdságú acélokra, ahol a növelt szilárdsági tulajdonságok, rendkívül kedvező hegeszthetőségi jellemzőkkel párosulnak.

2. TERMOMECHANIKUSAN KEZELT NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK

2.1. A NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK FEJLŐDÉSE

A hegesztett szerkezetekben felhasznált acélok nagy mennyisége folyamatosan arra ösztönözte a gyártókat, hogy újabb és jobb tulajdonságú acélokat fejlesszenek ki. A hegeszthetőség szem előtt tartása mellett az egyik legnagyobb ilyen cél a szilárdság növelése volt. A teherbírás növelése mellett a felhasznált acél mennyiségének csökkentése meghatározóvá vált az utóbbi évtizedekben.

Nagyobb szilárdságú acélok alkalmazása esetén ugyanis csökkenthető az alkalmazott szelvényátmérő, a szerkezet saját tömege, ezzel együtt pedig az alkalmazott varratok tömege is. Ez, a gazdaságossági előnyök mellett, előnyös a szerkezet mechanikai tulajdonságai szempontjából is. Általánosságban elmondható, hogy a folyáshatár növelésével arányosan csökkenthető az alkalmazott szelvényátmérő, amivel arányosan csökken a szerkezet saját tömege.

Fontos szerepet kapnak a nagyszilárdságú acélok olyan szerkezetek építésénél, mint például a mobildaruk, földmunkagépek, amelyeknek sokszor igen nagy terhelés mellett igen extrém környezeti hatásokat is el kell viselniük (például: negatív hőmérsékleten való üzemelés). A jelentős önsúly megléte mellett ilyenkor a fáradási szilárdságot varrat utókezelési eljárásokkal javítják, továbbá ezen acélok nélkülözhetetlenek a személygépkocsi gyártás területén is.

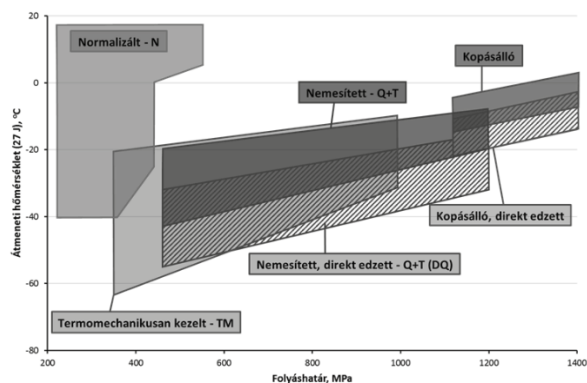
2.2. A TERMOMECHANIKUS KEZELT ACÉLOK ELŐÁLLÍTÁSA

A bemutatott gondolatmenet az alapanyag szilárdságát veszi figyelembe, nem foglalkozik annak gyártástechnológiájával, szövetszerkezetével, pedig a nagyszilárdságú acélok esetében ez a meghatározó jelentőségű.

A szilárdság növelésének több ismert módszere is van, az általunk vizsgált nagy lemezvastagság ($s = 15 \text{ mm}$) tartományban a szemcse nagyságának finomításával érhető el hatásosan a szilárdságnövelés. Összességében elmondható, hogy a szemcseméret csökkentésével járó szemcsehatár rendezetlenség és rácsrendezetlenség növekedésével a szilárdsági jellemzők, különösen a folyáshatár, arányosan növekednek. Emellett a szemcseméret csökkenés kedvező hatása még az ütőmunka értékének növekedése, az átmeneti hőmérséklet egyidejű csökkenése mellett.

A finomszemcsés acélok közé a normalizált, vagy normalizáló alakítással gyártott acélokat (N), a termomechanikusan kezelt acélokat (TM, illetve M), valamint a nemesített acélokat (Q, illetve Q & T) soroljuk. Az utóbbi időben rendkívül gyors fejlődésnek indultak a termomechanikusan kezelt acélok, amelyek maximális szilárdsága ugyan jelenleg még nem éri el a nemesített acélokét, azonban ütőmunka, illetve átmeneti hőmérséklet vonatkozásában jelentősen meghaladják azokat, továbbá hegeszthetőségi jellemzőik is kedvezőbbek. Ez az összehasonlítás látható az 1. ábrán. További lényeges jellemző, hogy a maximálisan gyártható lemezvastagság termomechanikusan kezelt acéloknál még elmarad a nemesített acélokhöz képest [4].

A kísérletek során vizsgált S960TM termomechanikusan kezelt acélcsoport minimális folyáshatára 960 MPa, de az akár az 1100 MPa értéket is elérheti.



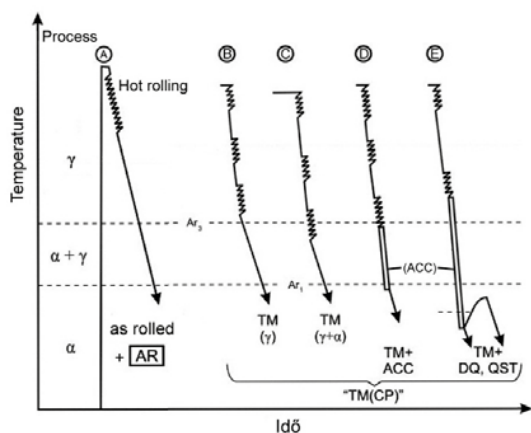
1. ábra. Az acélok elhelyezkedése a folyáshatár és az átmeneti hőmérséklet alapján [5]

Ennél a szilárdságnál már figyelembe kell benni, hogy a szakítószilárdság és a folyáshatár között rendkívül kicsi a különbség, hányadosuk 0,9 körüli érték. A termomechanikus gyártásból adódóan ez a csoport negatív hőmérsékleten üzemelő berendezések – mint például mobildaruk – esetében kitűnően alkalmazható. Fontos továbbá azt is megjegyezni, hogy a jelenleg érvényben lévő szabvány, az MSZ EN ISO 10025-4 szerint a legnagyobb garantált folyáshatár ezen acéloknál 460 MPa. Természetesen ezt az értéket a gyártók már rég túllépték, az egyes szilárdsági kategóriákhoz saját előírásokat rendelve, amelyek megfelelnek valamely más szabvány előírásainak [5]. Tipikus példa erre a VOESTALPINE által gyártott S960M kategória, amely a gyártó szerint az MSZ EN ISO 10025-6 szerinti S960Q kategóriának felel meg.

A termomechanikus nagyszilárdságú acélok karbon tartalma kicsi, átlagosan 0,15%, fő ötvözőik pedig a mangán, a molibdén, a króm, a nikkel és mikroötvözőként a bór. Ezek hatással vannak az átvedhetőségre is, így nagy lemezvastagság esetén is martenzites szövetszerkezetet kapunk. Tulajdonképpen vegyi összetételüket tekintve csak kis mértékben különböznek a nemesített nagyszilárdságú acélokétól, a tulajdonságaikban meglévő különbség a gyártástechnológiának köszönhető. Ezen acéloknál a kimagaslóan nagy szilárdságot nem csupán hőkezeléssel, hanem az ötvözés és a speciális gyártástechnológia együttes alkalmazásával éri el, aminek eredményeként kapják a nagy szilárdságú, komplex szövetszerkezetet.

A termomechanikus kezelés folyamatát a 2. ábra B-E jelű görbéi szemléltetik [6]. A különböző változatokban a hengerlések száma és hőmérséklete, illetve a hengerlést követő intenzív hűtés alkalmazása a különbség. Eredményét tekintve mindegyik változat hasonló, az eltérés az eredményül kapott szemcsék méretében figyelhető meg, vagyis bizonyos határok között módosíthatók az eredményül kapott szilárdsági és szívóssági jellemzők. Rendkívül fontos az utolsó lépésként alkalmazható intenzív hűtés (2. ábra ACC), amelynek hatására az egyébként is finom szemcseszerkezet még fino-

mabbá válik, aminek köszönhetően pedig az elérhető szilárdság növekszik. Eredményül egy komplex szövetszerkezetet kapunk, ferrit mátrixba ágyazott megeresztett bénittel és martenzittel.

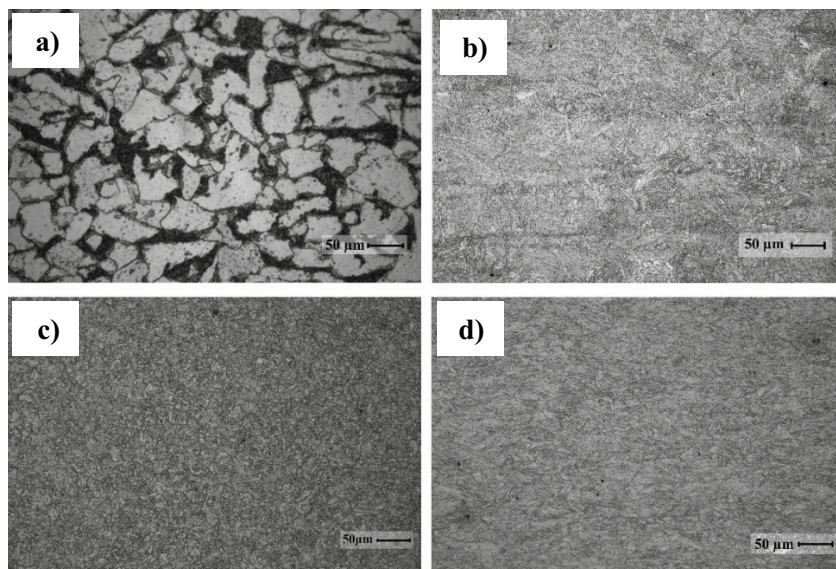


2. ábra. A termomechanikus acélok előállítási módjai [6]

Egy ilyen komplex termomechanikusan kezelt szövetszerkezet látható a 3. ábra d) részletén. Az összehasonlíthatóság érdekében az ábrán látunk még S355 jelű acél alapanyagot (a) részlet), illetve S690QL jelű nemestített nagyszilárdságú acélt (b) részlet), valamint S960QL jelű alapanyagot (c) részlet) is.

2.3. A TERMOMECHANIKUSAN KEZELT ACÉLOK HEGESZTHETŐSÉGE

A gyártás során előállított szövetszerkezet egy nem-egyensúlyi szövetszerkezet, amit a hegesztési folyamat visszafordíthatatlanul megváltoztat, vagyis a gyártás során kapott szövetszerkezetet a hegesztés után már nem lehet visszaállítani.

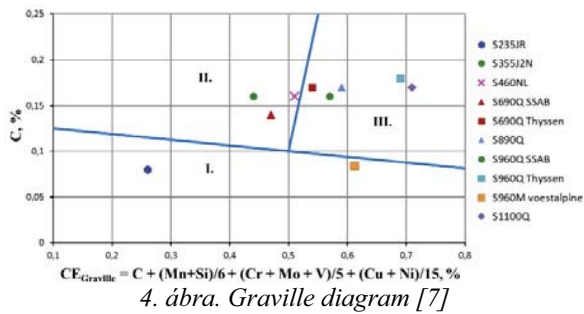


3. ábra. Különböző szilárdságú acélok szövetei: a) S355 alapanyag, b) S690QL alapanyag, c) S960QL alapanyag d) S960QL hegesztett kötés

A hőhatásövezet egyes részei kis vonalenergia esetén könnyen felkeményedhetnek, túl nagy vonalenergia esetén pedig az alapanyaghoz képest jobban kilágyulhatnak, ami szilárdság-, illetve keménységcsökkenéssel járhat. Az említett szemcsedurvulás megakadályozása érdekében, a már felsorolt ötvözőkön kívül, ezen acéloknál további mikroötvözőket alkalmaznak, így alumíniumot, nióbiumot, vanádiumot, illetve titánt.

Mindezek mellett előforduló nem kívánatos jelenség lehet a repedések, elsősorban a hidegrepedések megjelenése. A nagyszilárdságú acélok összetett hegeszthetőségi jellemzőit szemléletesen mutatja be a Graville diagram (4. ábra). A diagram a karbon egyenérték ($CE_{Graville}$) és a karbon tartalom függvényében sorolja be az acélokat. Az I. tartományba eső acélok hegesztése során semmilyen megkötéssel nem kell számolni, a II. tartományban már bizonyos fokú előmelegítést kell alkalmazni, míg a III. tartományban a hőbevitel nagyságát mind alulról, mind felülről korlátozni kell. Ennek megfelelően megállapítható, hogy a többi, jellemzően nemestített nagyszilárdságú acélhoz képest, a vizsgált termomechanikusan kezelt alapanyag a legkönnyebben hegeszthető, I. kategóriába esik. Ez megfelel a gyártói ajánlásoknak is [4].

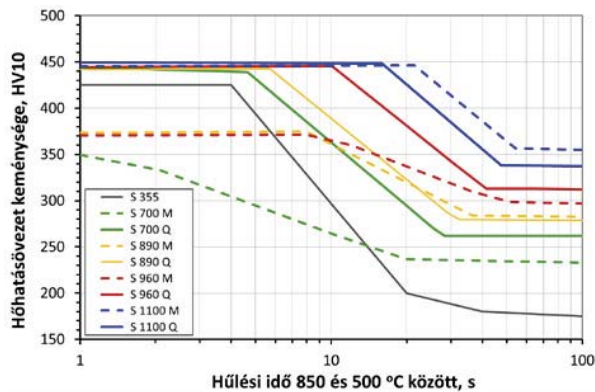
Annak ellenére, hogy a Graville diagram alapján ezen acélokat különösebb megkötés nélkül lehetne hegeszteni, más tényezőket is figyelembe kell venni. A nagyszilárdságú acélok esetében a hegesztés sikerességének egyik legfontosabb jellemzője a vonalenergia (E_v). Általánosságban kijelenthető, hogy ha ennek értéke túl kicsi, akkor a varrat hűlési sebessége túl gyors lehet, ami edződési repedések kialakulását okozhatja. Ellenkező esetben viszont erős szemcsedurvulással kell számolni a hőhatásövezetben, ami a szilárdsági és a szívóssági jellemzők csökkenését eredményezheti.



4. ábra. Graville diagram [7]

A hegesztési feltételek és paraméterek együttes számszerűsítésére a gyakorlatban a kritikus hűlési időt szokták alkalmazni ($t_{8,5/5}$), ami nem más, mint a varrat 850 °C-ról 500 °C-ra való lehülésének az ideje. Az előzőekből következően a termomechanikus acélok esetében a hűlési idő tág határok között változtatható, mivel ezen acélok nem túl érzékenyek a hőbevitel változtatására. Acélgyártói ajánlások alapján azonban célszerű ezen acélok hegesztése során is bizonyos határértékeket megállapítani, S960M acélok esetében általában az 5 s és a 15 s közötti intervallumot [4, 8, 9].

Mivel ez a jelzőszám adja meg a varrat lehülésének idejét, ezáltal a hűlés sebességét, így ez a paraméter szorosan összefügg a keletkezett szövetszerkezettel és annak tulajdonságaival. Ennek megfelelően, keménységméréssel könnyen ellenőrizhető, hogy a hegesztés során sikerült-e a megfelelő paramétereket betartani. A keménységeloszlás és a hűlési idő kapcsolatát mutatja be a 5. ábra.



5. ábra. Kapcsolat a kritikus hűlési idő és a kötésben kialakult keménység között [4]

Megállapítható, hogy bármelyik szilárdsági osztályt is vesszük alapul, a termomechanikus acélok keménysége mindig elmarad a nemesített acélokhöz képest, vagyis ugyanakkora hűlési idő mellett kisebb keménységű szövetelemek fognak keletkezni a termomechanikus alapanyagok hegesztése során. Megfigyelhető továbbá az is, hogy minél nagyobb az alapanyag szilárdsága, annál kisebb a különbség a nemesített és a termomechanikus alapanyag görbéi között.

Mindezen megállapítások figyelembevételével, valamint a gyártói ajánlásokat szem előtt tartva megállapítható, hogy ezen acélok:

- egyáltalán nem, illetve csak minimális előmelegítést igényelnek,
- a vonalenergia változtatására csak kis mértékben érzékenyek.

Annak érdekében, hogy ezeket a megállapításokat igazolni tudjuk illetve, hogy egy ideális (optimális) hegesztéstechnológiát meg tudjunk határozni, hegesztési kísérleteket végeztünk.

3. A HEGESZTÉSI KÍSÉRLETEK BEMUTATÁSA

A hegesztési kísérletekhez az S960TM (VOESTALPINE ALFORM 700M) jelű, termomechanikusan kezelt, nagyszilárdságú, $s = 15$ mm lemezvastagságú alapanyagot választottuk. Az alapanyag mechanikai tulajdonságai az 1. táblázatban, jellemző vegyi összetétele pedig a 2. táblázatban látható.

Megnevezés	R_{eH} , MPa	R_m , MPa	A_{80} , %	KV, J (-40 °C)
ALFORM 960M	1051	1058	17	177
UNION X96	930	980	14	40

1. táblázat. Az alapanyag és a hozaganyag mechanikai jellemzői

A hegesztési kísérletekhez a védőgázos fűzőelektrodás ívhegesztést választottunk (GMAW, ISO 4063 szerint 135), abból a megfontolásból, hogy a gyakorlatban legnagyobb hányadban ezt az eljárást alkalmazzák.

Fontos szem előtt tartani, hogy az acélból készülő jellegzetes gyártmányoknál előforduló nagy lemezvastagságok miatt, termelékenység oldalról, fedettív hegesztés (SAW, 121) alkalmazása is lehetséges lenne. A gyártmányok gyakran bonyolult geometriája, illetve a vonalenergia szűk értékek között tartása miatt azonban ezt az eljárást csak korlátozott körülmények között alkalmazzák.

Védőgázként, szintén ipari tapasztalatokra alapozva, 18% CO₂ + 82% Ar tartalmú M21-es védőgázkeveréket választottunk; hozaganyagként pedig THYSEN UNION X96 jelű, 1,2 mm átmérőjű huzalt használtunk. A hozaganyag választás szempontjából ez matching párosítást jelent, vagyis a hozaganyag és az alapanyag mechanikai jellemzői közel azonos értékűek. A hegesztő berendezés egy DAIHEN VARSTROJ WELBEE P500L típusú áramforrás volt. Az egyenletes feszültségeloszlás érdekében X varratkialakítást terveztünk 80°-os nyílásszöggel, 1 mm élszalag mellett, a hegesztés közben pedig forgattuk a próbadarabot. Az egyes lemezek mérete 300 mm x 125 mm volt. A kísérleti összeállítás a 6. ábrán látható.

Megnevezés	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S	P	Ti	Al
ALFORM 960M	0,09	0,32	1,63	0,59	0,29	0,03	0,001	0,009	0,016	0,041
UNION X96	0,12	0,8	1,9	0,45	0,55	2,35	-	-	-	-

2. táblázat. Az alapanyag és a hozaganyag jellemző vegyi összetétele, tömeg%-ban



6. ábra. Hegesztési kísérletek összeállítása

A hőbevitel hatásának vizsgálatára két kísérletsorozatot végeztünk el. Az első esetben a hegesztési paraméterek megválasztásánál törekedtünk arra, hogy a hűlési idő ($t_{8,5/5}$) az általánosan javasolt 5 – 15 s intervallum alsó határára essen (6 – 8 s) közé essen, míg a második kísérlet esetében szándékosan nagyobb hőbevitelt alkalmaztunk (14 – 17 s). Az alkalmazott hegesztési paramétereket a 3. táblázatban foglaltuk össze. Az első sorok, vagyis a gyöksorok esetében azért alkalmaztunk mindkét esetben azonos paramétereket, hogy a gyök a nagy hőbevitel miatt ne roskadjon át.

Mivel ezen acélt hegesztés előtt nem kellene előmelegíteni, ezért csak egy minimális előmelegítési hőmérsékletet alkalmaztunk, amelynek értékét 60 °C-ra választottuk. A megengedhető rétegek közötti hőmérséklet esetében ugyan az elméleti megfontolások alapján nincs felső korlát, azonban az S960QL jelű acélok hegesztése során [1] nyert tapasztalatok alapján a maximális értékét 150 °C-ra választottuk. A későbbiekben ezen rétegek közötti hőmérséklet maximalizálásának elhagyását is vizsgálni lehet.

Fontos megjegyezni, hogy a hűlési idő szempontjából mind a maximális rétegek közötti hőmérséklet, mind a vonalenergia meghatározó paraméter, azonban a két

érték között nincs szoros összefüggés. A rétegek közötti hőmérséklet maximalizálása csupán azt jelenti, hogy egy bizonyos hőmérséklet fölött nem kezdhető el a következő sor hegesztése, ugyanakkor a vonalenergia értéke ennek ellenére lehet magas. A maximális rétegek közötti hőmérséklet esetünkben azt a célt szolgálta, hogy a hegesztés megkezdésekor a lemez ne legyen túlságosan meleg, megakadályozva ezzel a varratsor elfolyását, illetve biztosítva a kellő varrat magasságot.

A gyöksorokat minősített hegesztő készítette, a további töltő, illetve takaró sorokat pedig – a paraméterek állandósága érdekében – hegesztő szakátor segítségével hegesztettük.

4. A HEGESZTÉSI KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI

A vonalenergia változtatásának hatását legelőször a szakítószilárdság segítségével ellenőriztük, amelynek eredményeit a 7. ábra tartalmazza. Ez alapján megállapítható, hogy ugyan bizonyos mértékű szilárdság csökkenés bekövetkezett (átlagosan 47 MPa), azonban ennek nagysága – figyelembe véve a hőbevitel változtatásának mértékét – nem jelentős. Tehát a szakítóvizsgálat alapján a vonalenergia változtatásának nincs jelentős hatása.

A szilárdsági jellemzők mellett természetesen a szívóssági tulajdonságokat is megvizsgáltuk. Ezt a hagyományos 10x10x55 mm méretű, Charpy V bemetszésű próbatesteken végeztük el, a vizsgált alapanyag műbizonylatának megfelelően -40 °C-on. Az ütőmunka értékeit a 4. táblázat tartalmazza.

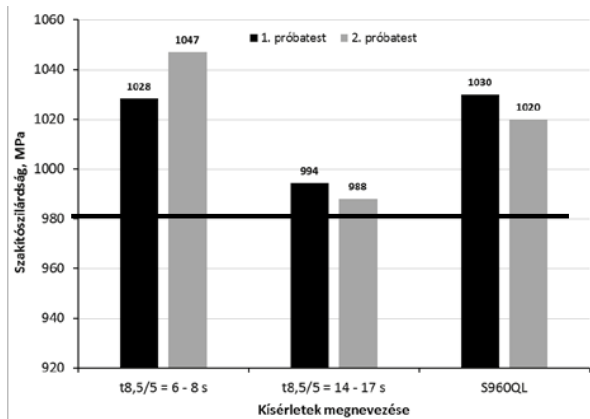
Az eredményeket összehasonlítva megállapítható, hogy jelentős különbség adódott a varratból, illetve a hőhatásövezetből kimunkált próbatestek esetében. Ez annak köszönhető, hogy az alapanyag jelentős ütőmunka értékkel rendelkezik (átlagosan 172 J), ugyanakkor a hozaganyag ettől jelentősen kisebb értékkel bír (40 J). A hőhatásövezetben tapasztalható kimagasló érték, amely még az alapanyagénál is nagyobb, a hőhatásövezetben kialakuló különböző szilárdságú, illetve szívósságú szövetelemeknek köszönhető.

Kísérlet	Varratsor	Áramerősség, A	Feszültség, V	Hegesztési sebesség, cm/min	E_v , J/mm	Számított $t_{8,5/5}$, s
1.	1-2.	140	20,0	20	750	6
	3-8.	255	26,5	40	1050	7
2.	1-2.	140	20,0	20	750	6
	3-8.	300	29,0	33	1400	16

3. táblázat. Az alkalmazott hegesztési paraméterek

Kísérlet	Varrat	Varrat			Átlag	Hőhatásövezet			Átlag
1.	$t_{8,5/5} = 6 - 8 \text{ s}$	53	50	70	58	230	200	234	221
2.	$t_{8,5/5} = 14 - 17 \text{ s}$	47	45	58	53	216	190	225	210

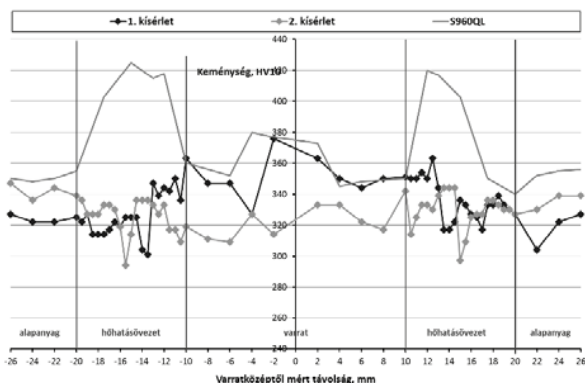
4. táblázat. Az ütővizsgálatok eredményei (az ütőmunka értékek J-ban)



7. ábra. A szakítóvizsgálat eredményei

A két kísérletet összehasonlítva azonban nem mutatható ki szignifikáns eltérés a vonalenergia változtatásának hatására, a különbség elhanyagolható értékű. Fontos továbbá megjegyezni, hogy minden esetben az ütőmunka értékek teljesítették a minimálisan előírt 27 J értéket.

Mindkét kötés esetében keménységméréseket (HV10) is végeztünk, a korona- és a gyökoldalon egyaránt. Példaként a 8. ábrán, az alsó koronaoldalon mért eredmények láthatók. Az összehasonlíthatóság érdekében az ábrán feltüntettük egy S960QL nemesített nagyszilárdságú acél hegesztett kötése esetében mért keménység eloszlását is.



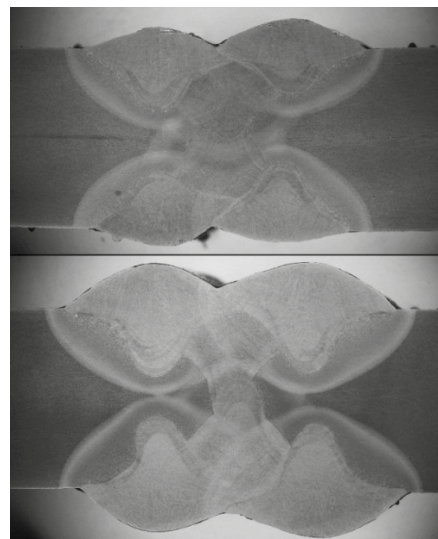
8. ábra. A keménységmérések eredményei az alsó koronaoldalon

Megvizsgálva az eredményeket megállapítható, hogy a termomechanikus alapanyag keménysége valamivel kisebb, mint a nemesített alapanyagé. Ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy a varrat keménysége nem különbözik számottevő mértékben a két anyag esetében, ami annak köszönhető, hogy az alkalmazott hozaganyag megegyezett.

A hőhatásövezeteket megvizsgálva megállapítható, hogy a koronaoldalon a nemesített acélok esetében egy jelentős keményedés következik be, ami a termomechanikus anyagok esetében nem figyelhető meg, sőt ott inkább kilágyulás jelentkezik. Ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy a kötés közepvonalában ez a kilágyulás nagyobb mértékű, mint a korona oldalon.

Összehasonlítva a kapott eredményeket, megállapítható, hogy nincs szignifikáns különbség a hővitel nagysága függvényében; összességében azonban a termomechanikusan kezelt alapanyag kötéseiben kisebb keménységekkel kell számolni, mint a nemesített alapanyag kötéseiben.

Végezetül, a hegesztett kötések mikroszkópi, illetve makroszkópi vizsgálatoknak is alávetettük. A két kötés makroszkópi felvétele látható a 9. ábrán.



9. ábra. A hegesztett kötések makroszkópi képei

A felvételek alapján megállapítható, hogy – ahogyan az várható is volt –, a hőhatásövezet kiterjedése valamivel megnőtt, csakúgy mint a szemcsedurvult övezet nagysága, a varrat magasságával együtt. A mikroszkópi felvételeket elemezve ugyanakkor számottevő szemcsedurvulás különbség nem volt megfigyelhető a leginkább eldurvult övezetben sem.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A hegesztési kísérletek, valamint az elvégzett vizsgálatok alapján az alábbi következtetések tehetők a termomechanikusan kezelt nagyszilárdságú acélok hegeszthetőségével kapcsolatban.

- A termomechanikusan kezelt nagyszilárdságú acélok jellemzően nem igényelnek előmelegítést. Vastagabb szelvények esetében maximum 100 °C előmelegítés alkalmazása lehet indokolt.
- A vonalenergia (ezzel együtt a kritikus hűlési idő) nagyságának jelentős változtatására csak elhanyagolható mértékben érzékenyek, a szilárdsági, a szívóssági, illetve a keménység értékek nem változnak jelentősen.
- Nem figyelhető meg kritikus szemcsedurvulás a veszélyes hőhatásövezeti zónákban sem.
- Mindezek figyelembevételével az S960TM acélok esetében nem jelölhető ki egy optimális paramétercsoport, a paraméterek nagysága tág határok között változatható, az adott igényeknek megfelelően.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

- [1] BALOGH, A.; GÁSPÁR, M.; PRÉM, L.: A hegesztett szerkezetek konvencionális és korszerű

nagyszilárdságú acéljainak rendszerezése és hegesztési nehézségei, GÉP, (64) 2013/8, pp. 7-12.

- [2] EN 1993-1-9:2011, Eurocode 3: Design of steel structures – Fatigue. 2011.
- [3] International Institute of Welding, Recommendations for fatigue design of welded joint and components. IIW-1823-07, December 2008.
- [4] RAUCH, R.; SCHNITZER, R.: Alform welding system, Voestalpine informant, Alform Welding Day, June 2012.
- [5] BALOGH, A.; DOBOSY, Á.; FRIGYIK, G.; GÁSPÁR, M.; KUZSELLA, L.; LUKÁCS, J.; MEILINGER, Á.; NAGY, GY.; PÓSALAKY, D.; PRÉM, L.; TÖRÖK, I.: Hegeszthetőség és a hegesztett kötések tulajdonságai. Szerkesztette: BALOGH, A.; LUKÁCS, J.; TÖRÖK, I.: Miskolci Egyetem, 2015. (ISBN 978-963-358-081)
- [6] WILMS, R.: High strength steels for steel construction. Nordic Steel Conference publication. pp. 597-604, 2009.
- [7] SZUNYOGH, L.: Hegesztés és rokon technológiák. Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007.
- [8] SSAB description: Welding Hardox and Weldox, www.ssab.com
- [9] DOBOSY, Á.; LUKÁCS, J.: S690QL jelű acélok hegeszthetőségének és fáradással szembeni ellenállásának vizsgálata. Hegesztéstechnika, XXVI, 2015/1, pp. 51-59.



MIGATRONIC

A hegesztési előírások teljesítésének legjobb módja

Eurocode 1990 EN 15614
 • CC2 • WPQR

EN 1090 EN 15612
 • EXC 1-2 • WPS

MIGATRONIC Kft.
 6000 Kecskemét Szent Miklós u. 17/a
 Tel./fax:+36/76/505-969; 481-412; 493-243
 E-mail: info@migatronik.hu
 www.migatronik.hu



Weinberg '93 Építő Kft. 1993-ban alakult 100%-ban magyar magántulajdonú társaságként. Irodánk, gyártóüzemünk és raktárunk Sárospatakon található, amely 2003 óta gyakorlati szakképző helyként is funkcionál. Budapesti irodánk segíti az ügyfelekkel történő kapcsolattartást és támogatja az országon belüli és kívüli munkavégzést. Éves forgalmunk 2015-ben előreláthatólag 8 mrd forint lesz - ennek 70-80 százaléka fővállalkozói tevékenységünkéből, zöldmezős beruházások kulcsrakész építéséből származik, a többi acélszerkezet-gyártásból, szerkezetépítésből adódó bevétel. 2004-ben a szlovákiai Kassán alapítottunk egy leánycéget, ami szintén növekvő teljesítményt mutat. Cégünk fő profilja a könnyűszerkezetes acél- és vasbeton vázas ipari, kereskedelmi sport és mezőgazdasági épületek kivitelezése. Ezen a területen közel 350 munkatársunk rengeteg referenciával és szakmai tapasztalattal végzi munkáját. Teljes körűen vállaljuk épületek kivitelezését, a mélyépítési munkáktól, az épületgépészet, épületvillamosságon keresztül, a tetőfedésig. Acélszerkezet-gyártó üzemünket az elmúlt években kibővítettük, így mára 8 500 négyzetméter gyártófelületen egy teljesen új technológiát helyeztünk üzembe. Modern CNC gépsoron történik az anyagok megmunkálása, alkatrészek gyártása. Ez az újítás lehetővé teszi a magasabb igény szintű munkák megvalósítását. Üzemünk az EN és DIN szabvány szerint dolgozik, amely magas színvonalat jelent a gyártás és kivitelezés során.

823480

RECHNEN Hegesztőház Kft.

*Hegesztéstechnikai eszközök, készülékek forgalmazása.
Hegesztőgépek szervize, kölcsönzése, hitelesítése, HBSZ felülvizsgálata.
Elektromos kisgépek, kéziszerszámok ipari és barkács felhasználóknak.
Hegesztési, hegesztéstechnológiai szaktanácsadás.*



25 év tapasztalatával!

**Miskolc, Kisfaludy Károly u. hrsz. 46857/3.
Tel.: 46/432-866 46/555-313 30/955-1160
E-mail: rechen@rechen.hu www.rechen.hu**

LINEÁRIS DÖRZSHEGESZTÉSSEL KÉSZÜLT KÖTÉSEK JELLEMZŐI KISCIKLUSÚ FÁRASZTÓ IGÉNYBEVÉTEL ESETÉN

PROPERTIES OF FRICTION STIR WELDED JOINTS UNDER LOW CYCLIC LOADING CONDITIONS

Meilinger Ákos, Dr. Török Imre***

ABSTRACT

The aluminium alloys were used more and more in the industry because low density and relative good mechanical properties. The weldability of these materials is not so good, because the welding heat usually decrease the strength properties. Therefore new welding processes were developed for aluminium welding for example the friction stir welding. It is a dynamically developing version of pressure welding processes and the knowing of the properties of the welded joints is an important direction of the investigations. The low cycle fatigue can be occur on aluminium structures, but the behaviour of friction stir welded joints is not perfectly investigated. Experiments were performed on 5754-H22 and 6082-T6 aluminium alloys and their welded joints under low cyclic loading conditions. During friction stir welding a special failure can occurs as a result if Al_2O_3 stirring to the weld nugget. It has a significant effect to the behaviour of the joints under low cyclic loading of the joint, so this problem were investigated too.

1. BEVEZETÉS

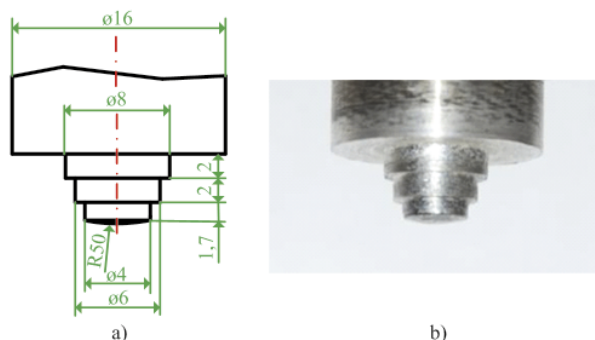
Az alapanyagok felhasználását tekintve az iparban egyre szélesebb körben találkozhatunk alumíniumötvözetekkel. Az elmúlt 25 évben az alumíniumtermelés több mint két és félszeresére növekedett [1]. Ennek következményeként egyre nagyobb igény jelentkezik az alumíniumötvözetek hegesztésére is. A hagyományos ömlesztő hegesztő eljárások alkalmazásával az alumíniumötvözetek többségének mechanikai tulajdonságai jelentősen megváltoznak, jellemzően a szilárdsági tulajdonságok romlanak a hegesztett kötések hőhatásövezetében [2]. Ennek következtében új hegesztő eljárások is megjelennek kifejezetten alumíniumötvözetek hegesztésére, ilyen például a lineáris dörzshegesztés [3]. Ez az eljárás rendkívül dinamikusan fejlődik, viszont az így készült kötések tulajdonságairól még nem sokat tudunk, ami kifejezetten igaz a kisciklusú fárasztó

igénybevétellel szembeni ellenállással szembeni viselkedésre, pedig az iparban találkozhatunk olyan alumínium szerkezetekkel, melyek kisciklusú fárasztó igénybevételnek vannak kitéve [4, 5, 6, 7]. Jelen közleményünkkel ezt a kevésbé ismert területet kívánjuk részben vizsgálati eredményeinkkel bemutatni.

2. ANYAGMINŐSÉGEK, HEGESZTETT KÖTÉSEK, VIZSGÁLATI KÖRÜLMÉNYEK

A vizsgálatokat két csoportba (5xxx és 6xxx) tartozó alumíniumötvözet alanyagon és azok lineáris dörzshegesztéssel készült kötésein végeztük. A vizsgált anyagok vegyi összetételét, vastagságát és alapvető mechanikai tulajdonságait az 1. és a 2. táblázatok tartalmazzák.

A hegesztett kötések hagyományos marógépen, saját tervezésű szerszámmal készítettük. A hegesztéshez 400/perc fordulatszámot és 100 mm/perc hegesztési sebességet használtunk, valamint a szerszámot 2° -ban döntöttük meg az elégséges sajtolóerő biztosítása érdekében. A dörzshegesztő szerszámot az 1. ábra szemlélteti:



1. ábra: A kísérlethez használt szerszám
a) rajza és b) képe

A vizsgálathoz hegesztett kötések 5754-H22 minőségű lemezből és 6082-T6 minőségű extrudált profilból kimunkált lemezekből készítettünk. A kisciklusú fárasztóvizsgálatokhoz alkalmazott lapos

*tanársegéd, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezzetani és Anyagtechnológiai Intézet

**c. egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezzetani és Anyagtechnológiai Intézet

próbatestek geometriáját a 2. ábra mutatja. Az alapanyagokhoz és a lineáris dörzshegesztett kötésekhöz alkalmazott

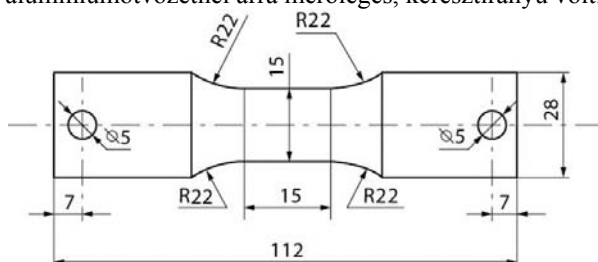
Alapanyag	Mg	Si	Zn	Cu	Mn	Fe	Cr	Ti
5754-H22	2,8	0,26	0,06	0,04	0,32	0,31	0,05	0,03
6082-T6	0,6	1,1	0,03	0,02	0,46	0,19	0,08	0,03

1.táblázat. A vizsgált anyagok vegyi összetétele (tömeg%).

Alapanyag	Falvastagság	Folyáshatár	Szakítószilárdság	Nyúlás
	mm	N/mm ²	N/mm ²	%
5754-H22	6	190	239	14,5
6082-T6	6	267	305	20,0

2.táblázat. A vizsgált anyagok fontosabb mechanikai tulajdonságai

Az 5754-H22 alumíniumötvözetből készített kisciklusú fárasztó próbatestek hossz tengelye párhuzamos volt a lemezek hengerlési irányával, a 6082-T6 alumíniumötvözetnél arra merőleges, keresztirányú volt.



2. ábra. A kisciklusú fárasztóvizsgálatokhoz alkalmazott próbatestek kialakítása.

Az alapanyagok és hegesztett kötésekből készült kisciklusú fárasztó próbatestek vizsgálatát MTS 810.23 típusú elektro-hidraulikus anyagvizsgáló berendezésen végeztük, TestStar II vezérlő egységet alkalmazva.

3. A VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

Az azonos anyagból, illetve hegesztett kötésből kimunkált kisciklusú fárasztó próbatesteket eltérő teljes nyúlás amplitúdóval fárasztottuk a maximális erő 10%-os csökkenéséig, majd értékeltük. Ezt követően kigyűjtöttük a szükséges mérőszámokat, amelyek felhasználásával a nyúlás amplitúdók-tönkremeneteli ciklusszámok, képlékeny nyúlás amplitúdó - feszültség amplitúdó kapcsolatokat diagramokban megjelenítettük mindkét ötvözetre, illetve az azokból készült hegesztett kötésekre. Meghatároztuk a kapcsolódó, diagramokon ábrázolt, mennyiségek közötti függvények paramétereit is.

Az 5754-H22 alumíniumötvözet kisciklusú fárasztó vizsgálatának eredményeit a 3. táblázatban összegeztük. Ezen ötvözet hegesztett kötésének mérési adatai a 4. táblázatban láthatók.

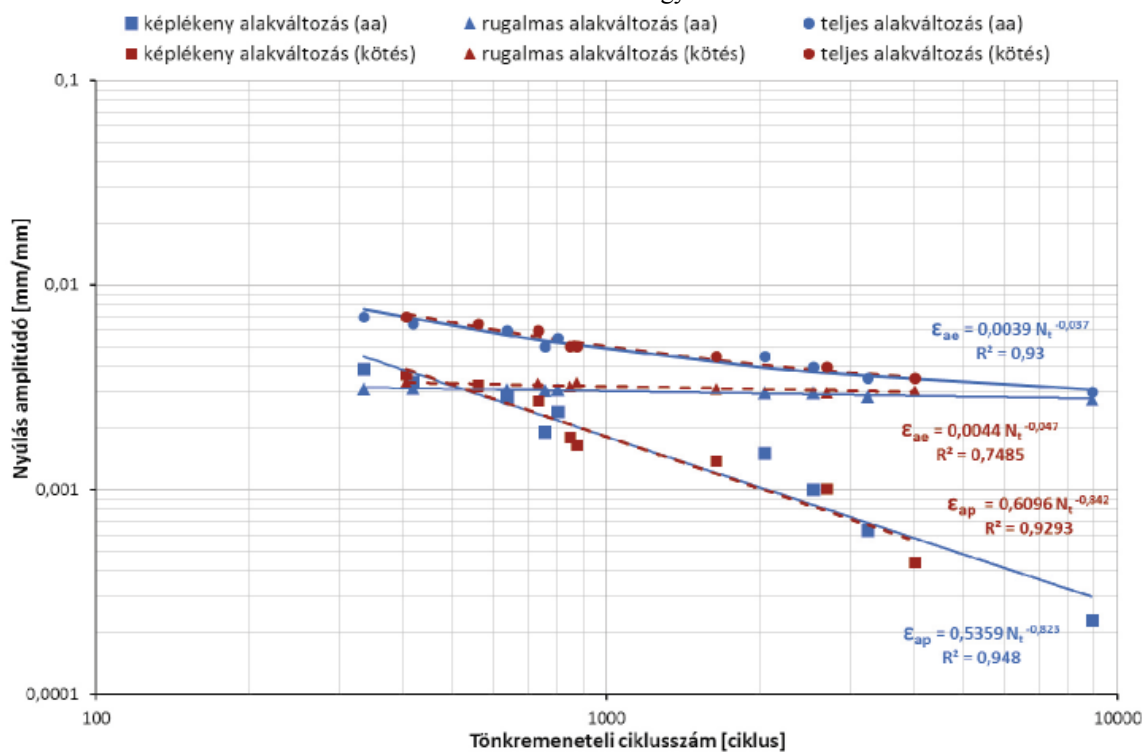
Próbatest jele	Tönkremeneteli ciklusszám	Teljes nyúlás amplitúdó	Rugalmas nyúlás amplitúdó	Képlékeny nyúlás amplitúdó	Feszültség amplitúdó
	ciklus	mm/mm			MPa
11	8911	0,003	0,00277	0,00023	197,2
10	3239	0,0035	0,00286	0,000632	201,7
9	2533	0,004	0,00297	0,001005	209,1
8	2039	0,0045	0,00299	0,00151	210,5
14	757	0,005	0,00305	0,00192	215
7	801	0,0055	0,00308	0,00242	216,5
13	638	0,006	0,00309	0,00285	217,8
5	417	0,0065	0,00313	0,00337	219,4
3	334	0,007	0,00311	0,00389	217,9

3. táblázat. Az 5754-H22 alumíniumötvözet kisciklusú fárasztással meghatározott adatai

Próbatest jele	Tönkrementeli ciklusszám	Teljes nyúlás amplitúdó	Rugalmas nyúlás amplitúdó	Képlékeny nyúlás amplitúdó	Feszültség amplitúdó
	ciklus	mm/mm			MPa
310	4013	0,0035	0,003027	0,000443	215
309	2699	0,004	0,002986	0,001014	216,9
313	1637	0,0045	0,003115	0,001385	221,4
308	848	0,005	0,003195	0,001805	222,2
301	872	0,005	0,003337	0,001663	224,8
306	734	0,006	0,003295	0,002705	225,6
312	560	0,0065	0,003185	0,003245	226,2
303	405	0,007	0,003335	0,003665	228,4

4. táblázat. Az 5754-H22 alumíniumötvözet lineáris dörzshegesztett kötésének kisciklusú fárasztással meghatározott adatai

Az adatok felhasználásával készült nyúlás a 3. ábra szemlélteti. A diagramban feltüntettük a amplitúdók - tönkrementeli ciklusszámok kapcsolatait közelítő függvényeket és azok korrelációs indexeit négyzetét is.



3. ábra. Az 5754-H22 alumíniumötvözet és hegesztett kötésének nyúlás amplitúdói és tönkrementeli ciklusszámai közti kapcsolat

A 6082-T6 jelű alumíniumötvözet kisciklusú fárasztásának eredményeit az 5. táblázat mutatja. A 6082-T6 alumíniumötvözet lineáris dörzshegesztéssel

kötésének kisciklusú fárasztási adatai a 6. táblázatban láthatók.

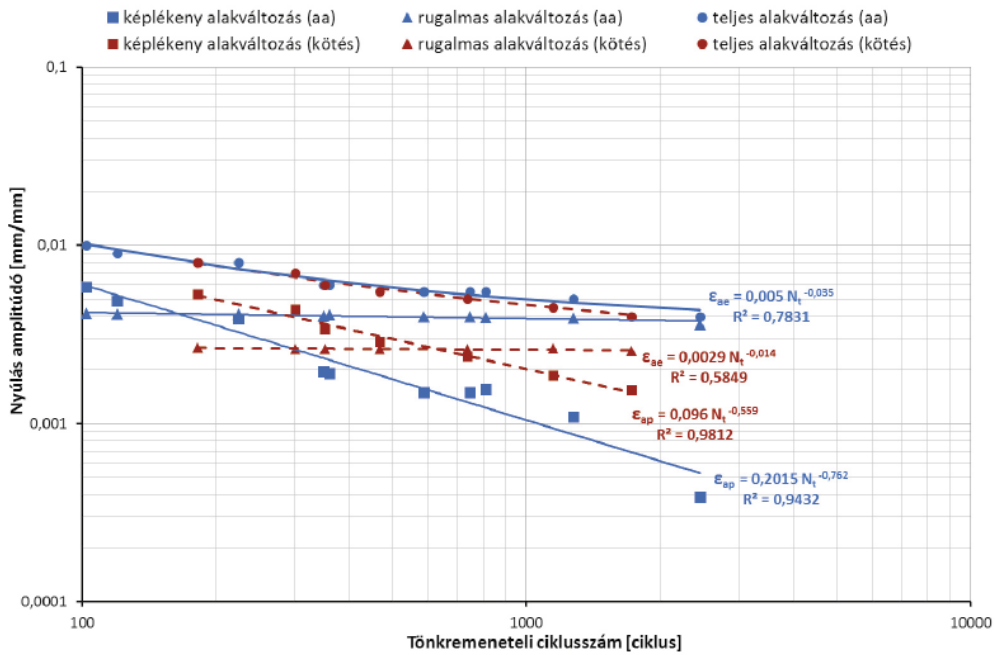
Próbatest jele	Tönkremeneteli ciklusszám	Teljes nyúlás amplitúdó	Rugalmas nyúlás amplitúdó	Képlékeny nyúlás amplitúdó	Feszültség amplitúdó
	ciklus	mm/mm			MPa
6003	2462	0,004	0,00361	0,000387	256,5
6009	1275	0,005	0,003911	0,00109	277,7
6014	811	0,0055	0,003939	0,00156	279,7
6013	588	0,0055	0,004	0,0015	283,8
6018	747	0,0055	0,004	0,0015	283,8
6005	350	0,006	0,00403	0,00197	286,2
6001	360	0,006	0,00409	0,00191	290,5
6006	225	0,008	0,00411	0,00389	291,6
6007	120	0,009	0,00413	0,00487	293,2
6008	102	0,01	0,00414	0,00584	297,1

5. táblázat. A 6082-T6 alumíniumötvözet kisciklusú fárasztással meghatározott adatai

Próbatest jele	Tönkremeneteli ciklusszám	Teljes nyúlás amplitúdó	Rugalmas nyúlás amplitúdó	Képlékeny nyúlás amplitúdó	Feszültség amplitúdó
	ciklus	mm/mm			MPa
6101	1721	0,004	0,00255	0,00155	178,4
6108	1146	0,0045	0,002638	0,001862	183,2
6109	737	0,005	0,002618	0,002382	185,9
6107	467	0,0055	0,002627	0,002873	186,5
6102	352	0,006	0,00262	0,00338	186
6103	302	0,007	0,002634	0,004366	187
6104	182	0,008	0,00267	0,00533	189,6

6. táblázat. A 6082-T6 alumíniumötvözet hegesztett kötésének kisciklusú fárasztással meghatározott adatai

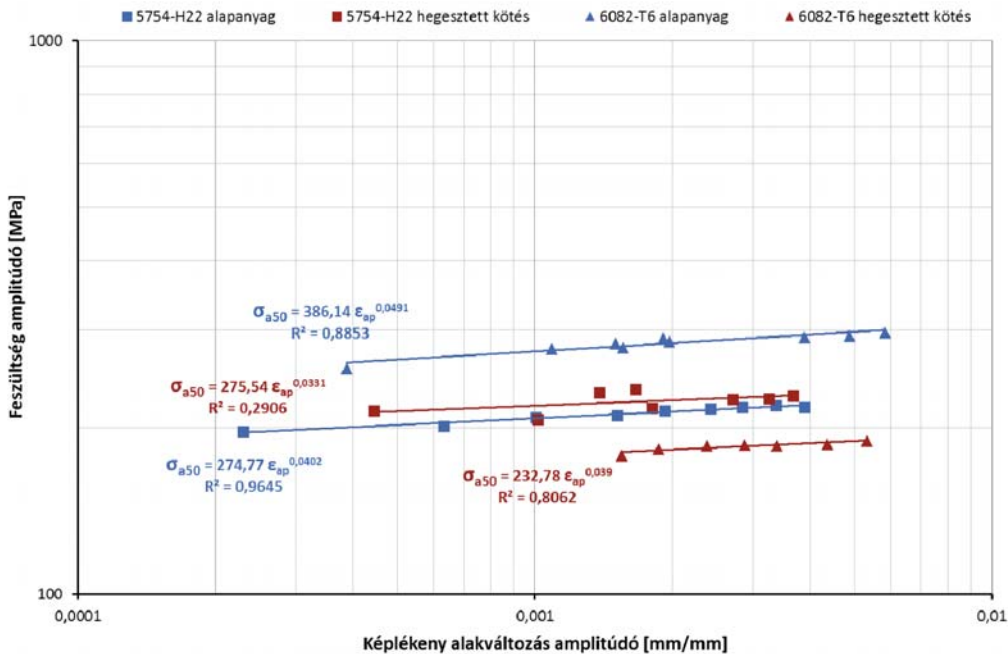
A mérési eredmények felhasználásával megrajzolt kapcsolatokat a 4. ábra mutatja.
nyúlás amplitúdók - tönkremeneteli ciklusszám



4. ábra. A 6082-T6 alumíniumötvözet és hegesztett kötéseinek nyúlás amplitúdó-tönkrementeli ciklusszám kapcsolata

A 3. - 6. táblázatokban feltüntetett adatok segítségével megrajzolhatók a képlékeny nyúlás amplitúdó - feszültség amplitúdó kapcsolatok, vagyis a ciklikus folyásgörbék. Az azonos anyagminőségre és hegesztett kötésére vonatkozó adatokat közös diagramban jelenítettük meg.

Az 5. ábra az 5754-H22 és a 6082-T6 alumíniumötvözetek, valamint azok lineáris dörzshegesztéssel készített kötéseinek ciklikus folyásgörbéit szemlélteti.



5. ábra. Az 5754-H22 és 6082-T6 alumíniumötvözetek, valamint hegesztett kötéseik feszültség amplitúdó és képlékeny nyúlás amplitúdói közti kapcsolat

4. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A bemutatott mérési adatok és diagramok, illetve azok összehasonlítása alapján a következő megállapítások tehetők.

– Az 5754-H22 jelű alumíniumötvözetben és lineáris dörzshegesztett kötésén mért, azonos tönkremeneteli ciklusszámokhoz tartozó nyúlás amplitúdók gyakorlatilag azonosnak tekinthetők, amennyiben a mérés bizonytalanságát is figyelembe vesszük. A ciklikus folyásgörbe esetén a hegesztett kötéssel készült próbatesteken mért feszültség amplitúdók értéke rendre az alapanyagon meghatározottól nagyobbak, ami arra utal, hogy a hő hatására bekövetkező lágyulást okozó fémtani folyamatokat túlkompenzálja a hegesztés közben bekövetkező képlékeny alakítás.

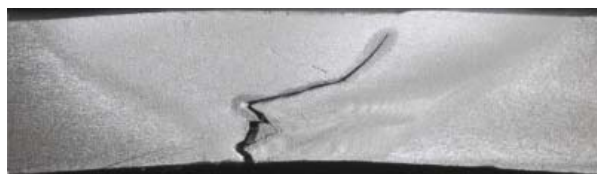
– A 6082-T6 alumíniumötvözet esetében az alapanyag és a lineáris dörzshegesztett kötés teljes nyúlás amplitúdó értékei a kisebb nyúlás amplitúdók ($N_c \leq 700$) esetén azonosnak tekinthetők, a rugalmas nyúlás amplitúdók rendre az alapanyagé alatt, a képlékeny nyúlás amplitúdók az alapanyagé fölött helyezkednek el. Az alapanyag és a hegesztett kötés képlékeny nyúlás amplitúdó - feszültség amplitúdó kapcsolatánál is jelentős eltérés figyelhető meg. A hegesztett kötés kisciklusú fárasztása során mért feszültség amplitúdó értékek lényegesen kisebbek az alapanyagon meghatározottnál. Az valószínűsíthető, hogy a kiválóan keményített ötvözet hegesztett kötéseiben a hő és képlékeny alakítás hatásainak következtében lejátszódó fémtani folyamatok közül a kilágyulást okozók a dominánsok. A feszültség amplitúdók különbözősége jelenik meg a rugalmas és a képlékeny nyúlás amplitúdók értékeiben.

– Az elvégzett kisciklusú fárasztó vizsgálatok megbízhatósága az esetek többségében megfelelő, az eredmények jól közelíthetők a szakirodalomban használatos összefüggésekkel, amit a korrelációs indexek értékei alátámasztanak. Kivételesen ezen megállapítás alól az 5754-H22 alumíniumötvözet hegesztett kötése, amelynél a ciklikus folyásgörbe feszültség amplitúdó értékei jelentős eltérést mutatnak és a közelítés korrelációs indexe is kicsi.

5. A REPEDÉSEK MEGJELENÉSI HELYEI

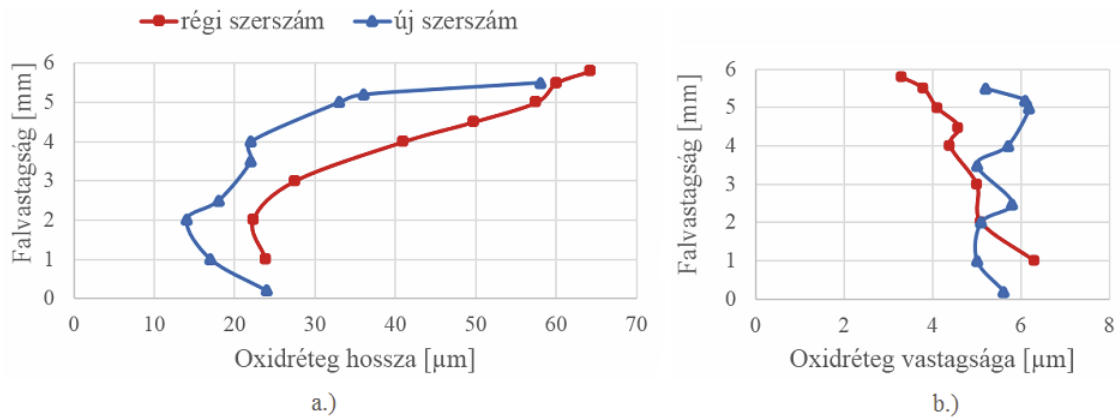
A kisciklusú fárasztás során jellemzően a vizsgálatok nem töréssel értek véget, ebből adódóan a vizsgálati próbatesten láthatóak voltak a keletkezett repedések, azok elhelyezkedése. A próbatestek makrovizsgálata során szignifikánsan jelentkezett egy jellemző tönkremeneteli hely mindkét alapanyag esetében, amire példát a 6. ábra mutat. A repedés jól láthatóan „S” alakban terjed a hegesztett kötés középső részén. Ez az „S” alak jellemzően megegyezik a lineáris

dörzshegesztett kötésekre jellemző, az angolszász irodalomban [3] „lazy S” néven ismert eltérés alakjával.

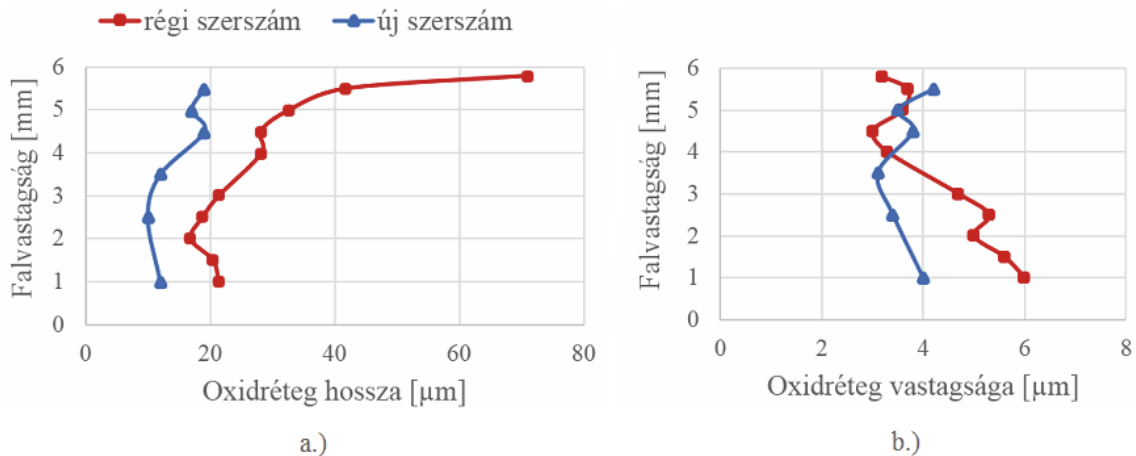


6. ábra. A jellemző tönkremeneteli hely

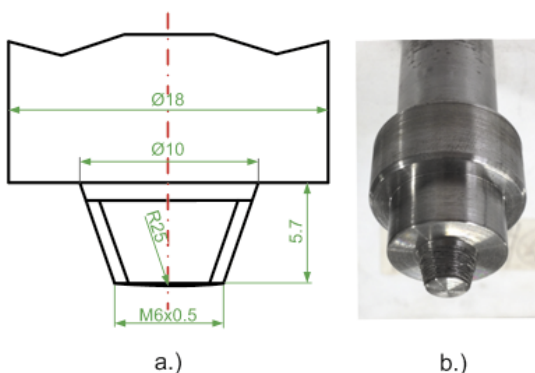
A szakirodalom szerint [3] a „lazy S” nevű eltérés az alapanyagok homlokfelületéről a varratba bekevert széttöredezett alumínium-oxid darabok következménye. A hagyományos mechanikai vizsgálatok során ez az eltérés nem volt befolyással a vizsgálati eredményekre, így nem tulajdonítottunk neki jelentős szerepet, viszont a kisciklusú fárasztóvizsgálatok esetén jelentősége lehet. Ezt felismerve megvizsgáltuk a bekevert oxidréteg vastagságát, illetve azt, hogy mennyire összefüggő. A vizsgálatokat az eddigiekkel azonos paraméterekkel és az 1. ábrán látható régi szerszámmal meghegesztett 5754-H22 és 6082-T6 anyagminőségű darabokon végeztük el. A vizsgálatok eredményeit az 5754-H22 anyagra a 7. ábra, a 6082-T6 anyagra pedig a 8. ábra mutatja (régiszerszám). Az ábrákból megállapítható, hogy a koronaoldalon már kevésbé észlelhető ez az oxidréteg. Ebből adódik, hogy a koronaoldalra jellemző nagyobb anyagáramlás kedvezően hat az oxidréteg széttöredezésére. Tehát arra következtettünk, hogy úgy kell megválasztani a technológiai paramétereket és olyan szerszámot kell használni, amely nagyobb anyagáramlást eredményez a gyökoldalon is. Ebből a feltételezésből kiindulva egy új szerszámot terveztünk, amely csonkakúp túvel rendelkezik, amin finom menet van, így jelentősen megnöveli a vertikális anyagáramlás mértékét. A szerszám rajzát és képét a 9. ábra mutatja. Az új szerszámmal is hegesztett kötéseket készítettünk ugyanolyan technológiai paraméterek használatával, mint a régi szerszám esetében ($n=400/\text{perc}$, $v_h=100 \text{ mm}/\text{perc}$, $\varphi=2^\circ$). Az elkészített hegesztett kötésekből keresztmetszeti csiszolatokat készítettünk, annak érdekében, hogy megvizsgáljuk a bekevert oxidréteg elhelyezkedését, jellemzőit. A vizsgálatok eredményeit szintén a 7. és 8. ábrák mutatják (új szerszám). Jól látható, hogy mindkét alapanyag esetében a bekevert oxidok vastagsága és hossza is kisebb, mint a régi szerszám alkalmazásával. A 6082-T6 anyagú hegesztett kötés esetében a gyökoldalon olyan mértékű volt az oxid töredezettsége, hogy csak néhány helyen fordultak elő kisebb darabok.



7. ábra. Az 5754-H22 anyag hegesztett kötésében lévő oxidok méretei a régi és az új tervezésű szerszám esetében



8. ábra. A 6082-T6 anyag hegesztett kötésében lévő oxidok méretei a régi és az új tervezésű szerszám esetében



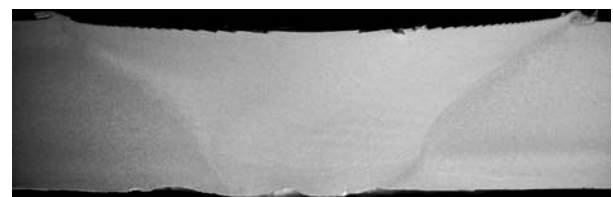
9. ábra: Az új szerszám rajza (a.) és képe (b.)

Az új szerszámmal, a 6082-T6 alapanyagból készített hegesztett kötés makrocsiszolati képét mutatja a 10. ábra. A bekevert oxid mérésén kívül természetesen kisciklusú fásztó vizsgálatokat is végeztünk különböző technológiai variációkkal:

- régi szerszám használata gyökoldali hűtéssel (H),
- új szerszám használata gyökoldali hűtéssel (UH),
- új szerszám használata gyökoldali hűtés nélkül (UHN).

A gyökoldali hűtéssel hegesztett kötések a szakítóvizsgálat során nagyobb szakítószilárdsági

értékeket mutattak, mint a hűtés alkalmazása nélkül [8], így ennek vizsgálata is indokolt volt. A gyökoldali hűtés alkalmazása miatt a 6082-T6 alapanyag gyökoldali hűtéssel való hegesztéséhez 1000/perc fordulatszámot, 100 mm/perc hegesztési sebességet és 2° szerszám dőlésszöveget használtunk, mivel a korábbi kísérleteink alapján [8] ez a kombináció adta a legjobb eredményt. A többi esetben maradtunk a 2. pontban ismertetett eredeti kombinációnál.



10. ábra: Az új szerszámmal készült kötés makrocsiszolati képe

Az új szerszámmal készített hegesztett kötésekben a 2. ábrának megfelelő kisciklusú fásztó próbatéteket munkáltunk ki, melyeken kisciklusú fásztó vizsgálatokat végeztünk. A vizsgálatok tervezésénél arra törekedtünk, hogy két különböző értékű teljes nyúlásamplitúdóval végezzünk el több vizsgálatot a

különböző nyúlásamplitúdójú, de kevesebb próbatestű vizsgálat helyett. Ennek az az oka, hogy ebben az esetben statisztikai módszert tudunk alkalmazni az eltérések vizsgálatára, így a vizsgálati eredmények szórása kevésbé befolyásolja a megállapításokat. Jelen

közleményben a 0,008 teljes nyúlásamplitúdójú vizsgálati eredményeket közöljük. A vizsgálati paramétereket és eredményeket a 7. és a 8. táblázat foglalja össze a két alumíniumötvözet hegesztett kötéseire vonatkozóan.

Próbatest jele	Tönkrementeli ciklusszám	Teljes nyúlás amplitúdó	Rugalmas nyúlás amplitúdó	Képlékeny nyúlás amplitúdó	Feszültség amplitúdó
	ciklus				
H21	242	0,008	0,003192	0,004808	224,8
H23	322		0,00332	0,00468	230,1
H24	186		0,00314	0,00486	220,7
H25	288		0,00314	0,00486	220,2
UH21	189		0,003255	0,004745	228,6
UH22	217		0,003095	0,004905	219,6
UH23	259		0,003292	0,004708	228,7
UH24	196		0,00328	0,00472	228,4
UHN21	243		0,003117	0,004883	219,1
UHN23	170		0,003187	0,004813	221,1
UHN25	386		0,00321	0,00479	224,6

7. táblázat. Az 5754-H22 alumíniumötvözet hegesztett kötésének kisciklusú fárasztással meghatározott eredményei az új technológiai variánsok használata esetén

Próbatest jele	Tönkrementeli ciklusszám	Teljes nyúlás amplitúdó	Rugalmas nyúlás amplitúdó	Képlékeny nyúlás amplitúdó	Feszültség amplitúdó
	ciklus				
H01	71	0,008	0,00259	0,00541	182,1
H02	65		0,002598	0,005402	181,8
H03	69		0,002535	0,005465	177,1
H04	94		0,002601	0,005399	182
H05	76		0,002635	0,005365	181,4
UH01	94		0,003001	0,004991	209,5
UH02	223		0,002992	0,00508	201,4
UH03	401		0,003195	0,004805	226,1
UH04	148		0,00316	0,00484	220,4
UH05	187		0,003045	0,004955	214,6
UHN01	165		0,00275	0,00525	192,6
UHN02	238		0,00284	0,00516	198
UHN03	339		0,002952	0,005048	208,8
UHN05	310		0,002872	0,005128	202,9

8. táblázat. A 6082-T6 alumíniumötvözet hegesztett kötésének kisciklusú fárasztással meghatározott eredményei az új technológiai variánsok használata esetén

A 6082-T6 alumíniumötvözet hegesztett kötéseinek kisciklusú fárasztó vizsgálatának próbatest száma lehetővé tette azt, hogy Wilcoxon-próbával [9] összehasonlítást végezzünk a különböző technológiai variánsokkal készült kötések eredményeire vonatkoztatva. Az összehasonlítás eredményeként elmondható, hogy a H és az UH, valamint a H és az UHN jelű próbák között az eltérés az $\varepsilon=0,05$ szignifikanciaszinten szignifikáns a tönkremeneteli ciklusszámot, valamint a feszültségamplitúdót tekintve. Az UH és UHN jelű próbák között a tönkremeneteli ciklusszámot tekintve az eltérés az $\varepsilon=0,05$ szignifikancia szinten nem szignifikáns, viszont a feszültségamplitúdót tekintve az eltérés szignifikáns.

Az 5754-H22 alumíniumötvözet hegesztett kötéseinek kisciklusú fárasztó vizsgálatának próbatest száma sajnos nem tette lehetővé, hogy Wilcoxon-próbát végezzünk, de a tönkremeneteli ciklusszámot, valamint a feszültségamplitúdókat tekintve jóval kisebb eltérések látható a különböző technológiai variánsok eredményei között, mint a 6082-T6 hegesztett kötéseinek esetében.

6. ÖSSZEGZÉS, MEGÁLLAPÍTÁSOK

A bemutatott mérési adatok és megszerkesztett diagramok, illetve azok összehasonlítása alapján a következőket lehet összefoglalni:

- Az 5754-H22 és a 6082-T6 alapanyagok hegesztésénél kisebb vertikális anyagáramlást biztosító szerszám alkalmazásával kevésbé töredezik fel a varratba bekevert oxidréteg.
- Az elfárasztott kisciklusú próbatesteken a repedés szignifikánsan a gyökoldalon keletkezett és a bekevert oxidréteg mentén terjedt, ebből adódóan befolyással van a hegesztett kötés kisciklusú fárasztó igénybevétellel szembeni ellenállására.
- A bekevert oxidréteg nagyobb mértékű összetöredezésére új szerszámot terveztünk, mellyel hegesztett kötések készítettünk gyökoldali hűtés alkalmazásával, illetve anélkül. Ezt követően kisciklusú fárasztó vizsgálatot végeztünk nagy teljes nyúlás amplitúdó alkalmazásával. Az eredményekből egyértelműen kitűnik, hogy a 6082-T6 anyag esetében az új szerszámmal készült kötéseknel rendre nagyobb tönkremeneteli ciklusszám és feszültségamplitúdó adódik, mint a régi szerszámnál. Az 5754-H22 alapanyag hegesztett kötésénél ez a különbség nem jelentkezik szignifikánsan, ebben az esetben további vizsgálatokra lehet még szükség.

- A 6082-T6 alumíniumötvözet esetében a gyökoldali hűtés alkalmazása nem befolyásolja számottevően kisciklusú fárasztó igénybevételénél a tönkremeneteli ciklusszámot, viszont a feszültségamplitúdó értékek között szignifikáns eltérés van.
- Kisebb teljes nyúlás amplitúdó alkalmazásával is célszerű elvégezni a kisciklusú fárasztó vizsgálatokat a különböző technológiai variánsokkal készült kötésekben.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] C. Nappi: The global aluminium industry 40 years from 1972, World Aluminium, (2012) pp. 1–27.
- [2] G. Mathers: The welding of aluminium and its alloys, Woodhead Publishing Ltd. (2002) pp. 31-34.
- [3] Rajiv S. Mishra, Murray W. Mahoney: Friction stir welding and processing, (2007) pp. 3-17.
- [4] G. T. Yahr: Fatigue design curves for 6061-T6 aluminum, (1993) pp. 1–5.
- [5] A. Spear, A. Ingraffea: Microstructurally small fatigue crack growth in thin aluminum-alloy, pressure vessel liner, Procedia Engineering, Vol. 10 (2011) pp. 686-691.
- [6] X. Wang, J-K Kang, Y. Kim, P. H. Wirsching: Low cycle fatigue analysis of marine structures. ABS Technical Papers, (2006) pp. 95-99.
- [7] M. Czechowski: Fatigue life of friction stir welded Al-Mg alloys, 13th International Scientific Conference on Achievements in Mechanical and Materials Engineering proceeding, (2005) pp. 83-86.
- [8] I. Török, Á. Meilinger: The effect of welding heat cycle on the properties of friction stir welded joints, Production Processes and Systems, vol. 7., (2014) pp. 19-30.
- [9] Balogh A., Dukáti F., Sallay L.: Minőség-ellenőrzés és megbízhatóság, (1980), pp. 167-512.

**Modern felületkezelési megoldások.
Nitridálás C.L.I.N® technológiával, vákuum
plazma PVD bevonatolás CERTESS® bevonat
rendszerekkel**



**www.tshungary.hu
www.hef-group.com.**

A 120 éves múltra visszatekintő BÖHLER-UDDEHOLM Hungary Kft. a voestalpine Böhler Welding kizárólagos magyarországi képviselőjeként kínál hegesztő- és forrasztóanyagokat az ipar minden területére



A CMT PIN HEGESZTETT SZÖG GEOMETRIÁJÁNAK ELMÉLETI ÉS GYAKORLATI VIZSGÁLATA

THEORETICAL AND PRACTICAL INVESTIGATION OF THE CMT WELDED PIN

Somoskői Gábor, Dr. Török Imre***

ABSTRACT

The CMT PIN welding reliably method to produce pins on the surface of different metal material. It provides excellent opportunities to increase the strength of adhesive joints between metal and non-metal material. Defining the geometry of the welded PIN is vital for the goodness of the joint. This paper aims to clarify the practical and theoretical aspects of this geometry.

1. A CMT PIN ELJÁRÁS ELVE ÉS FOLYAMATA

A CMT PIN eljárás létjogosultsága elsősorban az autópárhuzamban igazolt, ahol szükséges lehet fém és nem fém anyagok kötését megvalósítani. A CMT PIN technológia segítségével a fém anyagok felületén olyan háromdimenziós struktúrák hozhatók létre, amelyek javítják, és jobban lehetővé teszik a fém és szerves anyagok kötését, ragasztását [1].

A CMT berendezés két huzal előtolóval rendelkezik. Az első feladata a folyamatos és stabil, pontos huzal előtolási sebesség létrehozása. A második a hegesztő pisztolyba épített és alkalmas a huzal előtolás irányát megváltoztatni több tucatszor a másodperc alatt. Ezáltal egy két lépés előre, egy lépés hátra mozgást kapunk. Speciális puffer szükséges a két előtoló között.

A huzal megérinti a munkadarabot, majd ezt követően egy rövid ideig tartó ív hatására a huzal talppontja és az alaplemez között hegesztett kötés keletkezik. Az árammal átjárt hegesztőhuzal felmelegszik, mégpedig az alaplemez és a hegesztő pisztoly hűtőhatása miatt legnagyobb hőmérsékletre a – függően a végponti hűtőhatásoktól – valahol a huzal középső részén. Ezt követően a huzal visszahúzás hatására a huzal elszakad. A szakadás helyén keletkező geometria lehet gömbszerű, hengeres, vagy hegyes. A felhegesztett szögek jellemzően 3 mm hosszúak és az alkalmazott hegesztőhuzalnak megfelelően 0,8 – 1,2 mm átmérőjűek. A gömb alak esetén a ragasztott kötés a cipzár effektus miatt nagyobb szilárdsággal rendelkezik [2].

Az eljárás tehát három, egymástól jól elkülöníthető részből áll:

- Előmelegítés. A huzal megérinti a lemezt, rövidzárlat keletkezik és 60 A áramerősség 3 ms hosszán az érintkezés talppontját, valamint a huzalt előmelegíti.
- Hevítés. 58 A áramerősséggel villamos ív ég 40 ms hosszán. A huzal a munkadarab felé halad, azt megérintve az ív kialszik, a huzal és az alaplemez között hegesztett kötés jön létre.
- Visszahúzás, egyengetés. A huzalt 6 ms ideig visszahúzzuk. Ezáltal a huzal kiegyenesedik.
- Lehűlés. 300 ms szünet teszi lehetővé a kötés lehűlését.
- Geometria kialakítása. A huzalra 78 A erősségű áramot adva, visszahúzzuk 30 ms ideig. Ezen áram és a huzal visszahúzás egymáshoz viszonyított időbeli lefolyása meghatározza a keletkezett szög geometriai alakját.



1. ábra. Jellemző PIN geometriák

2. A HUZAL VÉGÉN KIALAKULÓ GEOMETRIÁT MEGHATÁROZÓ TÉNYEZŐK

A huzal elszakadásakor lejátszódó folyamatok összetettek. A Pinch effektus, az árammal átjárt vezetőn keletkező Joule-hő, a védőgáz hűtő hatása, az áramsűrűség nagysága mind részt vesz a keletkezett geometria kialakításában. A huzal kontrahálása közben a legnagyobb szerepet ezekből a Pinch effektus játssza [3].

A mágneses erő teljes térfogaton hat, ellentétben a külső erővel, amely a felületen fejt ki hatását és a teljes tömegre másodlagosan, például a rugalmas feszültségen keresztül hat.

* PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Froweld Kft.

** c. egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet

A hegesztés során a mágnesen erő kétféle módon keletkezhet. Vagy a hegesztési áram és egy külső mező, vagy a hegesztési áram a saját mágneses mezejével lép kölcsönhatásba. Az előbbi gyakorlati alkalmazása és szerepe csekély, az utóbbi viszont nagyon fontos az anyagátmenet során létrejövő folyamatok megértéséhez és magyarázatához.

A saját mágneses mezejével kölcsönhatásba lépő hegesztő áram által keletkezett mágneses erő által létrehozott nyomás kicsi, $5 \cdot 10^{-7} \text{ A/m}^2$ áramsűrűség esetén $5 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}^2$ azonban nagyságrendjében megegyezik a cseppre ható gravitációs és felületi feszültség által okozott erővel, ezért nem elhanyagolható.

Ha az áram iránya egyenes és párhuzamos, nincs instabilitás, az $I \times B$ által okozott erő befelé mutat és megegyezik a folyadékoszlop belső nyomásával.

Azonban az ív közelében az áram folyása általában nem egyenes, hanem szét- vagy összetartó, a cseppleválás geometriájából adódóan, ami instabilitást okoz, ha az áramsűrűség megnő. Ez áramlást és átvitt értelemben örvénylést hoz létre a folyadékban, illetve az ömledékben, ami instabilitáshoz vezethet.

A jobb megértés érdekében tételezzünk fel egy folyadék hengert, amely a hossz tengelyének irányába áramlik. A folyadékoszlopra hat vagy a cső, amelyben áramlik, vagy a gravitációs erő, vagy a felületi feszültség. Az áram és a mágneses mező kölcsönhatásából keletkező erő azonban befelé hat és amennyiben az áramsűrűség jelentősen megnő, legyőzheti az előző erők stabilizáló hatását. Az instabilitás hatására a folyadék henger összeomlik. A jelenség Pinch effektus néven ismert.

Feltételezzük, hogy a mágneses mező mindenhol merőleges az áram irányára. Ezáltal a térfogat egységre ható mágneses erő és a rádiusz függvénye az árammal átjár vezető esetén:

$$J \times B = \frac{\mu_0}{2} J^2 r \quad (1)$$

Ahol I az áramerősség, r a tengelytől mért távolság, B a mágneses mező.

Ez az erő befelé hat és egyensúlyban kell lennie folyadék oszlop belső radiális nyomásával:

$$\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\mu_0}{2} J^2 r = 0 \quad (2)$$

Ebből a nyomás integrálással meghatározva:

$$p = -\frac{\mu_0}{4} J^2 r^2 + C \quad (3)$$

A felületen, ahol $r = R$ és az erő zérus, a nyomás egyenlő a külső nyomással és a felületi feszültségből származó nyomással (p_0), amely a henger esetén γ/R .

$$p = p_0 + \frac{\gamma}{R} + \frac{\mu_0}{4} J^2 (R^2 - r^2) \quad (4)$$

A tengely mentén, ahol $r = 0$

$$p = p_0 + \frac{\gamma}{R} + \frac{\mu_0 J^2 R^2}{4\pi^2 R^2} \quad (5)$$

Ahhoz, hogy meghatározzuk, milyen feltételek alatt okoz a mágneses erő instabilitást, gondoljunk egy folyadék oszlopot, amelyet gáz vesz körül, például vízszugarat levegőben. A henger sugara R , a folyadék felületi feszültség γ . Tételezzük fel, hogy a henger felülete a 2. ábra szerint torzul, így a határoló görbéje a következőképpen adott:

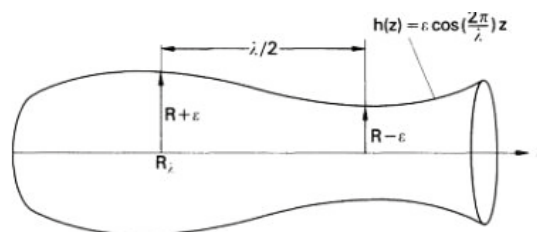
$$r = R + \varepsilon \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} z\right) \quad (6)$$

ahol:

ε : a zavarás amplitúdója

λ : a hullámhossz

z : tengelyirányú távolság



2. ábra. Zavar hengeres folyadék oszlopban

Elhanyagolva a környezeti hőmérsékletet, amely állandó, a γ felületi feszültségű folyadék belsejében a nyomás $\gamma(1/R_1 + 1/R_2)$, ahol R_1 és R_2 a felület fő sugarai. Henger esetén, ahol $R_1 = R$ és $R_2 = \infty$, a nyomás egyenletes és értéke λ/R . A zavart henger esetén azonban a nyomás nem egyenletes. Ahol a külső kidomborodásnak maximális az amplitúdója, a nyomás:

$$p_b = \gamma \left(\frac{1}{R + \varepsilon} + \frac{1}{R_1} \right) \quad (7)$$

ahol R_1 a burkoló görbe hosszirányú sugara az $r = R + \varepsilon$ helyen.

Az adott esetben a 2. ábra alapján:

$$\frac{1}{R_1} = \left(\frac{\sigma^2 r}{\sigma z^2} \right)_{z=\lambda} = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \varepsilon \quad (8)$$

Így a kidomborodott helyen (bulged) a nyomás

$$p_b = \gamma \left[\frac{1}{R + \varepsilon} + \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \varepsilon \right] \quad (9)$$

Ugyanígy az összeszűkülött (pinched) helyen

$$p_p = \gamma \left[\frac{1}{R - \varepsilon} - \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \varepsilon \right] \quad (10)$$

Amennyiben a nyomás a kidomborodott részen nagyobb, mint az összeszűkülött helyen, a folyadék a Pinch belsejébe áramlik és igyekszik a hengeres formát újra létrehozni, ezáltal a folyamat stabil. Ha nyomáskülönb-

ség azonban ellentétes értelmű, az állapot instabil és a henger cseppekre esik szét. A stabilitási feltétel az alábbiak szerint írható fel:

$$\frac{d}{d\varepsilon}(p_p - p_p) \geq 0 \quad (\varepsilon \rightarrow 0) \quad (11)$$

Visszahelyettesítve:

$$\gamma \left\{ \left[-\frac{1}{(R+\varepsilon)^2} + \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \right] - \left[\frac{1}{(R-\varepsilon)^2} - \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \right] \right\} \geq 0 \quad (12)$$

Ebből a stabilitás feltétele:

$$\lambda < 2\pi R \quad (13)$$

Az egyensúlyi helyzet feltétele:

$$\lambda_c = 2\pi R \quad (14)$$

Ahol λ_c a kritikus hullámhossz. Zavarások, amelyek nagyobbak, mint a kritikus hullámhossz, öngerjesztő módon nőni fognak, a folyamatos folyadék oszlopot cseppekre bontják. Megjegyzem, érdekes, hogy a kritikus hullámhossz nem függ a felületi feszültségtől, pedig azt gondolnánk, hogy mivel az a hőmérséklet növelésével csökken, befolyásolná a Pinch effektust. A fenti analógiára árammal átjárt vezető (ömladék) esetén is a fent levezetett összefüggések alkalmazhatóak. Ebben az esetben egy további, az elektromágneses indukció által keletkezett nyomásértéket is figyelembe kell venni.

$$\frac{R^2 + \varepsilon^2}{(R^2 - \varepsilon^2)^2} + \frac{\mu_0 I^2 R (R^2 + 3\varepsilon^2)}{2\pi^2 \gamma (R^2 - \varepsilon^2)} \geq \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \quad (15)$$

Így a tökéletes henger esetén a hullámhossz:

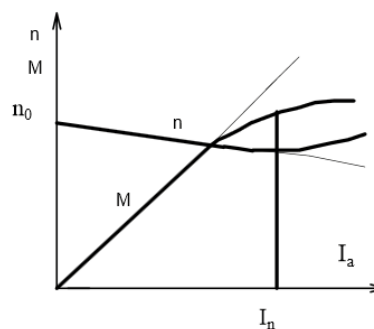
$$\lambda_c = \frac{2\pi R}{\left(1 + \frac{\mu_0 I^2}{2\pi^2 R \gamma}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (16)$$

Ami azt fejezi ki, hogy – ellentétben a folyadékkal – az elektromos árammal átjárt vezető esetében a kritikus hullámhossz, ahol az oszlop instabillá válik, kisebb. Hasonlóképpen, kisebb átmérőjű oszlopok sokkal könnyebben bomlanak cseppekre, mint a nagyobbak.

3. A HUZAL VISSZAHÚZÁSA SORÁN LEJÁT-SZÓDÓ FOLYAMATOK, ERŐK A HUZALON

Az eljárás villamos paramétereinek és a keletkezett szög geometriájának feltárása után szükségesnek látszik a huzal visszahúzás időbeni lefolyásának, valamint a huzalon ébredő erők és a szög geometriájának kapcsolatát vizsgálni. Problémát okoz, hogy a huzal mikro környezetben az erők nehezen mérhetők. Ezért először egy villamos erőmérőből állítottunk össze egy mérőállomást úgy, hogy az alaplemez – amelyre a szögek hegesztése történt – súlyát mértük a hegesztési folyamat közben egy nagy felbontású oszcilloszkóppal.

Azonban az inverteres hegesztőgép, amely működési frekvenciája 100 kHz, olyan mértékű villamos zavarjelet állított elő, ami az erőmérő elektronikáját megzavarta és a mérést lehetetlenné tette. Nyilvánvaló volt, hogy más, a huzalra ható erővel arányos jelet kell keresnem. Kézenfekvő volt az hegesztő gép előtölő motorának áramfelvételét oszcilloszkóp kimenettel rendelkező lakatfogóval regisztrálni, hiszen az egyáramú motor nyomaték-áramfelvétel görbéje a vizsgált tartományban lineáris. (3. ábra) A nyomaték pedig arányos a huzalon fellépő erővel. A lakatfogót az előtölő motor áramkábélre csatlakoztattuk.



3. ábra. Egyenáramú motor nyomaték – áramfelvétel jelleggörbéje

A mérés során felhasznált anyagok, berendezések:

- Fronius 3200 CMT hegesztő berendezés,
- RCU 5000i távszabályzó,
- Fronius RS232 LocalNet interfész,
- ABB IRB 1200 hegesztő robot,
- G3Si hegesztő huzal, 1,2 mm átmérő,
- S355J2 alapanyag,
- M21 védőgáz,
- PICO TA018 gyártmányú, oszcilloszkóp kimenettel rendelkező lakatfogó,
- Hantek 6022BL gyártmányú USB oszcilloszkóp.

A mérés során nem a konkrét erőt mértük, csak az azzal arányos jel időbeli lefolyását. A további mérések során szükségesnek mutatkozik a kísérleti berendezést kalibrálni és a valós erőfolyamatokat feltárni.

Mivel az alkalmazott oszcilloszkóp mintavételezési frekvenciája 200 kHz, a szög létrehozásának ideje pedig a 2 másodperces tartományba esik, hatalmas mennyiségű adat keletkezett. Az Excel nem képes ennyi adat kezelésére, egyrészt a táblázat sorainak korlátja miatt, másrészt nagy erőforrás igényű számítógépre van szükség az adatok, grafikonok létrehozására és kezelésére. Itt jött segítségül a – más feladatoknál használt – R statisztikai program csomag. Ez egy magas szintű széles körben használható, erős program csomag, amely a Windows, MacOS operációs rendszereken kívül működik Unix platformon (Linux) is. Különösen alkalmas statisztikai számítások és grafikai megjelenítési feladatok megvalósítására, de általános program nyelvként is használható. Számos kiegészítő csomag létezik hozzá, a

fejlesztő közösség nagyon aktív, minden felmerülő kérdésre gyorsan választ lehet kapni. Leginkább a MatLab-hez hasonlítható, vektoros alapon működő, nagyon gyors bonyolult számítások elvégzésére. És, nem utolsósorban teljesen ingyenes, így mindenkit csak bátoríthatunk a használatára.

A hegesztéseket vízszintes pozícióban végeztük. Alaplemezként egy nagy tömegű lemezt alkalmaztunk, hogy annak hőmérséklet változása a mérést ne befolyásolja.



4. ábra. A motor áramfelvételének mérése és rögzítése

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK

Az egyik feltételezés szerint a gömbszerű geometria kialakításakor a folyamatban szerepet játszik a nulla feszültséghez tartozó hőmérséklet (NST). A másik feltételezés szerint a legnagyobb erő a hengeres geometria kialakításakor lép fel.

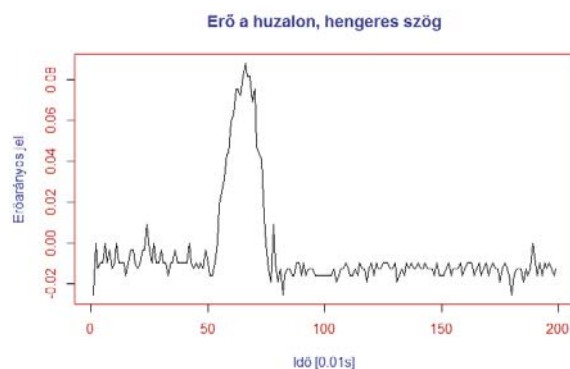
Az erőarányos jel időbeli lefutása a három különböző geometriájú szög hegesztése esetén szignifikáns különbséget mutat. Az alábbi következtetések vonhatók le:

- A hengeres szög esetén a maximális erő harmada a csúcsos szög esetén fellépő erőnek (5. ábra).
- A csúcsos kialakítású szög esetén képlékeny alakváltozásra emlékeztető szakasz figyelhető meg (6. ábra).
- A gömbszerű kialakítású szög esetén gyakorlatilag az erő zérus (7. ábra).
- A gömbszerű kialakítású szög esetén az eredeti feltételezés az NST hőmérséklet szerepéről helyes.
- Az erők nagyságára vonatkozó feltételezés arról, hogy az erő a hengeres szög kialakításánál a legnagyobb, helytelen.

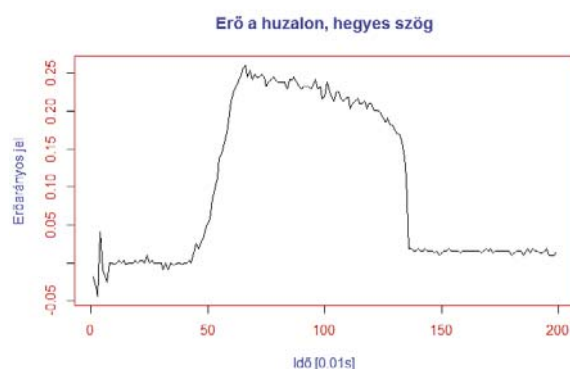
A geometriát befolyásoló tényezők feltárásában szükség lesz a hőmérséklet időbeli lefolyásának mérésére és rögzítésére is. A következő lépés a folyamat véges elem modelljének felállítása [4].

IRODALOMJEGYZÉK

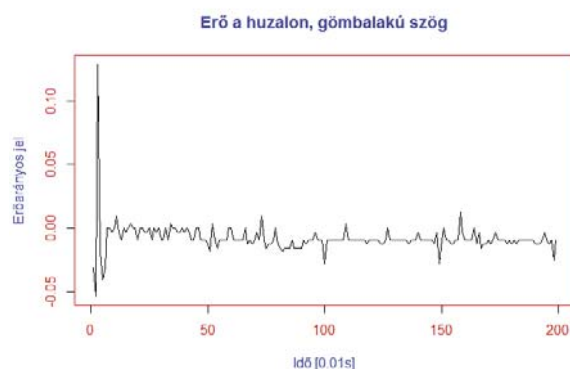
- [1] W.S. Miller, et al.: Recent development in aluminium alloys for the automotive industry, Materials Science and Engineering A280, 2000 pp. 37-49.
- [2] Somoskői, G.: A CMT eljárás elméleti alapjai és gyakorlati alkalmazási lehetőségei, 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, 2010. pp. 271-281.
- [3] Lancaster, J.: The Physics of Welding (Pergamon International



5. ábra. Az erőarányos jel időbeli lefutása hengeres geometriájú szög hegesztése esetén



6. ábra. Az erőarányos jel időbeli lefutása hegyes geometriájú szög hegesztése esetén



7. ábra. Az erőarányos jel időbeli lefutása gömbszerű geometriájú szög hegesztése esetén

További lehetőséget nyújt a nagyszámú mérési érték adatbányászati eszközökkel történő feldolgozása.

- Library of Science, Technology, Engin), ISBN-13: 978-0080305554, 1984. pp. 69-74.
- [4] Wittwer, L., Enzinger, N.: Simulating the welding process of pin structures, Sysweld Forum 2011, 25-26. October 2011, pp. 45-54.
 - [5] Rosado, T., et al.: Innovations in Arc Welding, 5^o Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, Maputo, 2-4 Setembro 2008,
 - [6] Era, T., Ueyama, T., Brooks, M.: Welding Steel Sheet with a Modified Short Circuiting Process, AWS Detroit Section's Sheet Metal Welding Conference XIII, Livonia, Mich., 2008. pp. 28-33.

A 6082-T6 NAGYSZILÁRDSÁGÚ ALUMÍNIUM-ÖTVÖZET HEGESZTHETŐSÉGI PROBLÉMÁI ÉS HEGESZTETT KÖTÉS TULAJDONSÁGAI

WELDABILITY PROBLEMS OF 6082-T6 HIGH STRENGTH ALUMINIUM ALLOY AND THE PROPERTIES OF WELDED JOINTS

Pósalaky Dóra, Dr. Lukács János**, Dr. Török Imre****

ABSTRACT

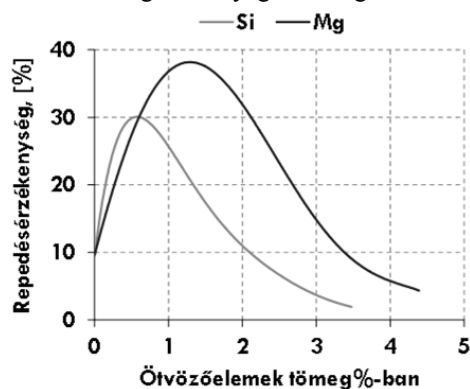
The magnitude of different aluminium alloys especially the ones with higher strength, are increasing in the structural engineering, not just its usual applications (like the aerospace industry) but more likely in the automotive industry. There are more assumption of the effective use, we should highlight two important factors and these are the technological and the applicability criterions. The technological criterion is the bonding of structures, frequently with welding thus the technological assumption ultimately is the weldability. The applicability criterion comes from loading capability of these structures, which is typically cyclic loading so the key issue is the point of view of applicability is the resistance to this kind of loads. This article represents the properties of the 6082-T6 alloy and the weldability problems, advanced welding technologies which can be use to join aluminium parts and reveal differences between these technologies.

1. BEVEZETÉS

A hegeszthetőség megítélése hangsúlyos és komplex feladat, különösen igaz ez az iparban egyre szélesebb körben felhasználásra kerülő nagyszilárdságú alumínium-ötvözetekre. Egy anyag hegeszthetőségének körültekintő vizsgálata elengedhetetlen a megfelelő hegesztéstechnológia kidolgozásához. Félempirikus és empirikus összefüggések, különféle technológiai vizsgálatok és próbák, valamint a számítógépes, illetve újabban a fizikai szimuláció eszköztára egyaránt rendelkezésre áll a hegeszthetőséggel kapcsolatos összetett kérdések megválaszolására. Jelen közleményünkben egyrészt – jellemzően a járműiparban alkalmazott - 6082-T6 jelű nagyszilárdságú alumínium-ötvözet hegeszthetőségével kívánunk foglalkozni, másrészt a hegeszthetőségi vizsgálatokból levont következtetések megfontolása után a kialakított különböző hegesztési körülmények között készített kötések bemutatása a cél.

2. A 6082-T6 NAGYSZILÁRDSÁGÚ ALUMÍNIUM-ÖTVÖZET, MINT A KÍSÉRLETEK ALAPANYAGA

A 6xxx csoportba tartozó ötvözetek kis ötvöző tartalmúak, kiválasosan keményíthetők, de szilárdságuk nem növelhető olyan mértékig, mint a 2xxx és 7xxx csoportba tartozó alumínium-ötvözetek keménysége. Ebben a csoportba tartozó alumínium-ötvözetek két fő ötvöző eleme a szilícium és a magnézium, ezen ötvöző elemek fő hatása a szilárdságnövelésben jelentkezik. Erre a csoportra a nagy keménység mellett jellemző a jó alakíthatóság és hegeszthetőség, továbbá a kitűnő korrózióálló képesség. A magnézium és szilícium ötvözés optimális esetben jelentős repedésérzékenység csökkentő hatású, ezt szemlélteti az 1. ábra., és erre tekintettel kell a hegesztőanyagot is megválasztani.



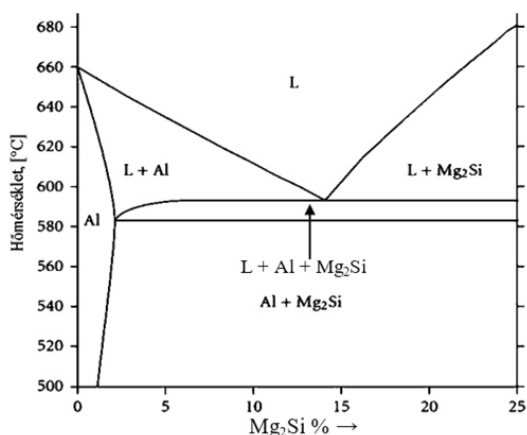
1. ábra. Mg és Si tartalom hatása [1]

A 6xxx csoportba tartozó ötvözetek háromalkotós rendszert képeznek. Az Al-Mg-Si rendszer viszonylag egyszerű és rendelkezik egy Al-Mg₂Si kvázibinér metszettel (2. ábra.). A magnéziummal és szilíciummal ötvözött alumínium-ötvözetek kiválasosan keményíthetők, köszönhetően, az ezek által alkotott Mg₂Si kiválásoknak, amelyek a keménységnövekedést eredményezik.

* PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezzetani és Anyagtechnológiai Intézet

** egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezzetani és Anyagtechnológiai Intézet

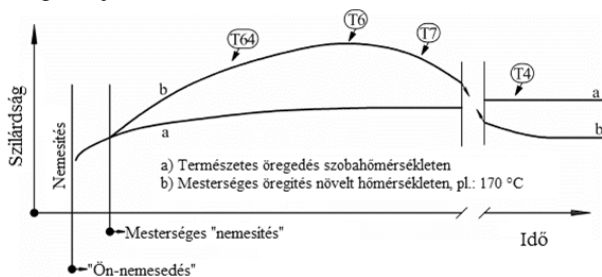
*** c. egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezzetani és Anyagtechnológiai Intézet



2. ábra. Al-Mg₂Si kvázibinér rendszer [2]

A 6082-es alumíniumötvözet jól megmunkálható és hidegalakítható, hőkezelhető. Fáradással szembeni ellenálló képessége közepes, nem alkalmas összetett szelvény szerkezetek kialakítására.

Hőkezelés alkalmazásával azonban jelentős mechanikai tulajdonságbeli változások érhetők el. A különböző hőkezelési állapotokat szemlélteti a 3. ábra., a T6 kiegészítő jelölés az ötvözet hőkezelési állapotára utal, jelen esetben ez kiválóan keményített, nemesíthető állapotot jelent.



3. ábra. A T6-os hőkezelési állapot [3]

A 6082-T6 ötvözet típust - családjához hasonlóan - jó korrózióállóság jellemzi, hegeszthető, de a hőhatás övezetben számottevő kilágylás jelentkezhet hegesztés során. A kísérletek során az alapanyag extrudált és kiválóan keményített állapotban került felhasználásra, annak tulajdonságait az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. A kísérletek során alkalmazott 6082-T6 ötvözet összetétele és tulajdonságai

Kémiai összetétel [tömeg %]							
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
1,1	0,19	0,02	0,46	0,6	0,08	0,03	0,03
Mechanikai tulajdonságok							
R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A [%]		HV [-]			
305	266	22		104			

3. HEGESZTHETŐSÉGI PROBLÉMÁK

Tekintettel a hegeszthetőség összetett problémakörére (anyagminőség, technológia, szerkezet stb.), nincs

egyetlen olyan vizsgálat vagy próba, amellyel az leírható lenne. Ebből következően a hegeszthetőség egyetlen vizsgálati mérőszámmal nem is fejezhető ki, ami bonyolítja a hegeszthetőség megítélését, hiszen a különböző problémaköröket külön-külön kell elemezni arra alkalmas vizsgálati módszerekkel [4], [5].

Az alumíniumötvözetek hegeszthetőségét nehezítik azok jellegzetes tulajdonságai:

- a nagy az oxigén iránti affinitás,
- a nagy fajhő,
- a jelentős hővezető-képesség,
- a jó villamosvezető-képesség,
- a nagy hőtágulási együttható továbbá,
- a változó hidrogén-oldó képesség.

Mindezen tulajdonságok mellett problémát jelent az alumíniumötvözet és a felületét borító oxidréteg olvadáspontja közötti jelentős hőmérséklet különbség is.

Az felsorolt tulajdonságok a következő problémákhoz vezethetnek, illetve vezetnek a hegesztés során:

- repedésérzékenység,
- porozitás,
- jelentős mechanikai tulajdonságbeli változások a hőhatásövezetben.

3.1. Nagy oxigén iránti affinitás

Az alumínium és oxidjának szignifikáns olvadáspontbeli különbsége ($T_{olv, 6082-T6} = 620 \text{ °C}$ és $T_{olv, Al_2O_3} = 2050 \text{ °C}$) végett hegesztés során az alumínium, már olvadt állapotban van, de a felületén lévő oxidhártya még szilárd, ami akadályozza a kötés létrehozását [6].

Az oxid a varratba kerülve rontja a kötés mechanikai tulajdonságait, zárványokat képez. Hegesztés előtt tehát szükséges az oxidhártyát eltávolítani (kémiai/mechanikai úton) vagy olyan hegesztő eljárást alkalmazni, amelynek során a technológiai folyamat részeként megvalósul az oxidbontás (katódporlasztás). Ügyelni kell arra, hogy az alumínium felületén szobahőmérsékleten is igen gyorsan újra képződik az oxidréteg.

3.2. Porozitási hajlam

Az alumíniumötvözetek kimondottan hajlamosak gázporozításra, különösen érzékenyek a hidrogénre. Az alumínium hidrogén oldó képessége a hőmérséklet növekedésével drasztikusan nő, így hegesztés során az ömledék gyors dermedése alatt a jelentős mennyiségű oldott hidrogén nem tud távozni a varratból, így gázporozitást képez. Ez a varratban rontja a korrózióállóságot, növeli a repedésérzékenységet, a ridegséget és jelentősen csökkenti az alakíthatóságot, valamint a szilárdságot [7]. A hidrogén okozta gázporozítás egyik legsúlyosabb következménye a hidegrepedés.

3.3. Melegrepedési hajlam

A melegrepedések esetében elsődlegesen metallurgiai problémáról beszélünk. A legfőbb oka a kristályosodási repedés kialakulásának az, hogy az elsődleges kristályosodás során a varrat szilárdulása közben az alakváltozás meghaladja a varrat (varratfém) alakváltozó képességét.

A megrepedésnek több különböző fajtáját is megkülönböztetjük: likvációs repedés, végkráter repedés [8], [9].

Fizikai szimulációk alkalmazásával vizsgálható és számszerűsíthető az alumíniumötvözetek hegesztése során fellépő megrepedési hajlam. Erre vonatkozó korábbi kísérleteink során megállapítottuk, hogy a 6082-T6 jelű nagyszilárdságú alumíniumötvözet zérus-szilárdsági hőmérséklete (NST – Nil Strength Temperature) 617 °C. Az NST meghatározása az első lépése a meleg-szakítóvizsgálatoknak (HTT – Hot Tensile Test), amelyek segítenek a megrepedés-érzékenység számszerűsítésében. Ezen kísérleteink még zajlanak, az eddigi eredmények azt mutatják, hogy a 6082-T6 ötvözet kevésbé hajlamos a megrepedésre [5], [10], [11].

3.4. A hőhatásövezet kilágyulása

A hőhatásövezet alapvetően a hővezetésnek köszönhetően alakul ki. A különböző hegesztő eljárások sajátosságaitól függően a hőhatásövezet eltérő módon alakul. Egy sajtoló hegesztéssel létrehozott kötés esetében (például dörzshegesztett kötés [12], [14]) jóval keskenyebb a hővel érintett zóna, mint az ömlesztő hegesztések esetében, de még ez utóbbi eljárásokkal készített varratok hőhatásövezete is eltérő lehet, illetve ötvözet csoporttól függően is változik [15].

A kiválóan keményített alumíniumötvözetek hőhatás-övezetében a következő zónák alakulnak ki (varrat középvonaltól kifelé haladva): öntött, újranevesedett, lágyított, kiválásos, nemesedett [16].

4. HEGESZTÉSI KÍSÉRLETEK

Az alumíniumötvözetek hegesztésére léteznek alkalmas eljárások az ömlesztő és a sajtoló hegesztések csoportjában egyaránt. A kísérletek során célkitűzés volt olyan eljárásokat vizsgálni, melyek megfelelnek az ipari követelményeknek, azaz gépesítettek és nagy termelékenységűek. Összehasonlítás céljából első lépésként két ömlesztő hegesztőeljárásra koncentráltunk: semleges védőgázos volfrámelektrodás ívhegesztés (SWI) és védőgázos fogyóelektrodás ívhegesztés (VFI). A gépesítésre és a termelékenységre vonatkozó kitételeknek megfelelően az SWI eljárás termelékenységének növelése céljából egy hideghuzalos kiegészítő egységet alkalmaztunk a kísérlet során ezzel megoldva a folyamatos hozaganyag hozzávezetést. Mindkét eljárás esetében szekátor segítségével valósítottuk meg az egyenletes pisztoly vezetést és hegesztési sebességet és mindkét eljárás esetében impulzusív technikát alkalmaztunk.

4.1. Hideghuzalos semleges védőgázos volfrámelektrodás ívhegesztés

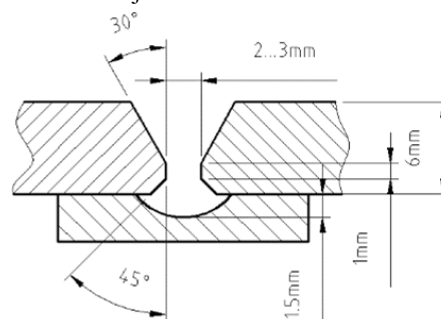
Az SWI kísérletek során argon monogázt alkalmaztunk védőgázként, ezzel védekezve az ötvözet nagy oxigén iránti affinitása ellen, alkalmazásának másik indoka az argon védőgáz atmoszférában megvalósuló katódporlasztással történő oxid bontás volt. Így elkerülhető a

felületi oxidréteg előzetes eltávolítása, ezzel csökkentve az ütemidőt, valamint kiküszöbölhető a felületi oxidréteg újra képződése a hegesztés során. Hozaganyagként a keletkező ömledék megfelelő magnézium és szilícium tartalmát (lásd 1. ábra.) figyelembe véve 5356 (AlMg5) jelű hozaganyagot alkalmaztunk. A paramétereket a hegeszhetőségi problémákat szem előtt tartva állítottuk be, amiket a 2. táblázat foglal össze.

2. táblázat. Hideghuzalos SWI paraméterei

Állandó paraméterek				
Védőgáz		Huzalelektroda		
100 % argon, 7 l/min		AlMg5, Ø 1,2 mm		
Alapáram	Indítóáram	Gáz elő- és utóáramlás	Kráter töltő áram	
50%	180%	1 s	90%	
Áram-lefutás	Áram-felfutás	Huzal visszahúzási sebesség	Áram és idő balansz	
0,2 s	0,3 s	0,2 m/min	70%	
Változó paraméterek				
Sor	Késleltetés	Csúcsáram	Huzal előtolás	Hegesztési sebesség
Gyök	6 s	270 A	1,4 m/min	1,6 m/min
1.	3 s	280 A	2 m/min	1,2 m/min
2.	3 s	280 A	2 m/min	1,2 m/min

A százalékos értékek (kivéve az áram- és idő balanszot) a csúcsáram százalékában vannak kifejezve. A hegesztés során aszimmetrikus X varratot alakítottunk ki és nem beolvadó gyökálátétet alkalmaztunk, amint azt a 4. ábra. mutatja.



4. ábra. SWI-hez alkalmazott leélezés

A kísérlet során Migatron Pi 500 hegesztő áramforrást alkalmaztunk TIG ENERGO 401 kábelköteggel és pisztollyal, valamint CWF Multi hideg huzalos előtoló egységgel kiegészítve.

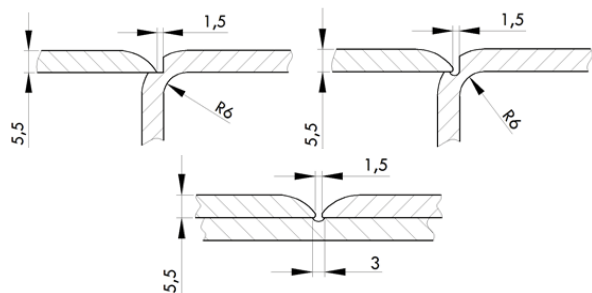
4.2. Védőgázos fogyóelektrodás ívhegesztés

A fogyóelektrodás ívhegesztéssel végzett kísérlet során semleges védőgázt alkalmaztunk, az SWI-hez hasonlóan argont. A kísérletekhez REHM MegaPulse áramforrást és TBi 9-es pisztolyt alkalmaztunk. A MegaPulse gépek előre programozott paraméter kombinációkat ajánlanak adott minőségű alumíniumötvözetek impulzusív hegesztéséhez. A gépen csak bizonyos paramétereket volt lehetőség állítani, ezeket mutatják a 3. táblázat csillaggal jelölt oszlopai.

3. táblázat. VFI paramétereit

Átlag-áram*	Ív feszültség	Előtolási sebesség	Hegesztési sebesség	Gáz-áramlás*
180 A	23 V	11 m/min	2,5 m/min	17 l/min

A MegaPulse gép szinergikus vezérlésének köszönhetően az alapanyag, a védőgáz és a huzalvastagság megadását követően összehangolja a hegesztési paramétereket. A kísérletek során három egymástól eltérő leélezést valósítottunk meg, ahogyan azt az 5. ábra szemlélteti.



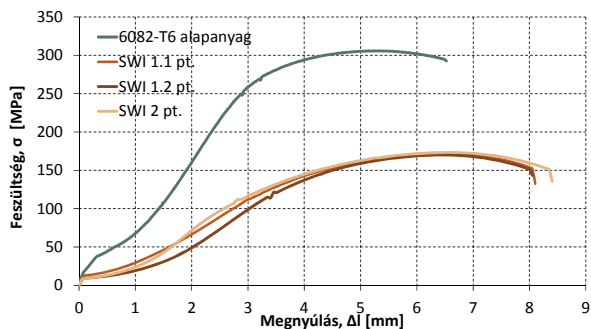
5. ábra. VFI-hez alkalmazott leélezések

A bal felső ábra szerinti leélezéshez kétféle pisztoly tartással (merőleges és döntött – A és B jelű próba) készítettünk varratokat, a jobb felső ábra az F jelű az első pedig a J jelű próba a továbbiakban.

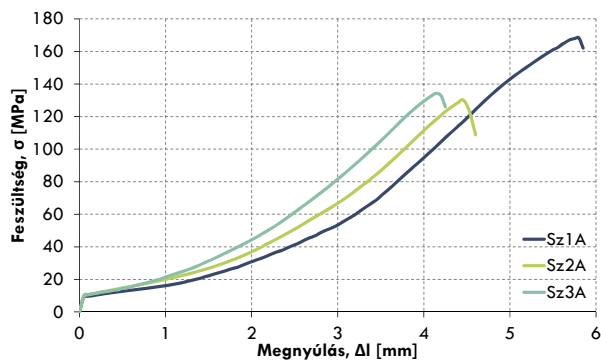
4.3. A vizsgálatok eredményei

Az elkészített varratokat az MSZ EN ISO 15614-2 szabványban előírtaknak megfelelően megvizsgáltuk. A vizsgálatok elvégzését megelőzte a hegesztést követően az ismételt természetes öregedési folyamat lejátszódásához elegendő „pihentetési idő”, ami stabil állapot eléréséig 4 nap, a mi esetünkben pedig 6 nap volt.

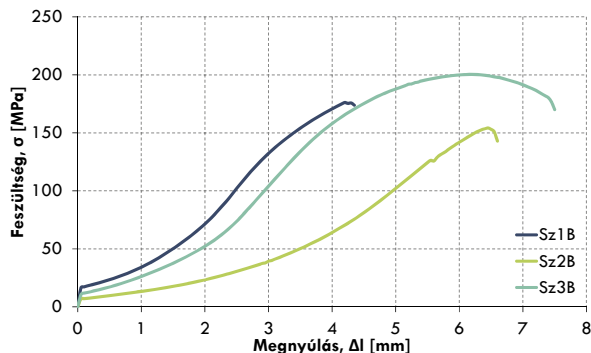
A következő ábrarozat (6. ábra. - 10. ábra.) szemlélteti a szakítóvizsgálatok eredményeit.



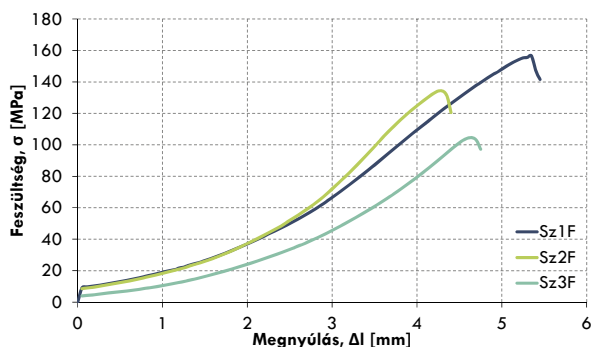
6. ábra. Az alapanyag és az SWI kötések szakítódiagramjai



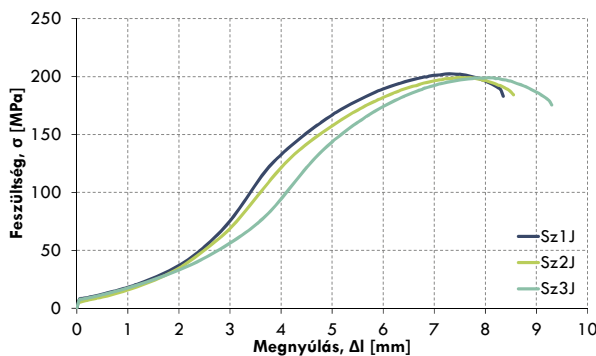
7. ábra. VFI kötések szakítódiagramjai az A jelű próbán, az első leélezésnél merőleges pisztolytartással



8. ábra. VFI kötések szakítódiagramjai a B jelű próbán az első leélezésnél döntött pisztolytartással

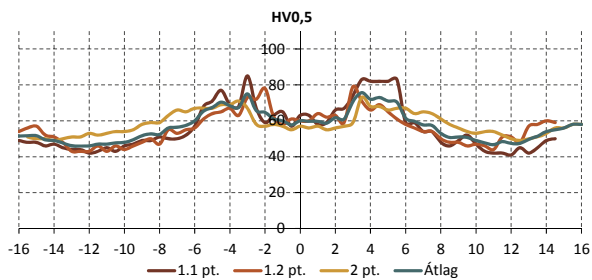


9. ábra. VFI kötések szakítódiagramja az F jelű próbán, a második leélezésnél

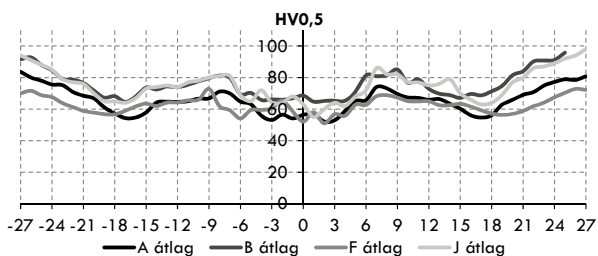


10. ábra. VFI kötések szakítódiagramjai a J jelű próbán, a harmadik leélezésnél

A keménység mérések (HV 0,5) eredményeit szemlélteti a 11. ábra. és 12. ábra..



11. ábra. SWI kötések keménység eloszlása a varratközepvonalától mérve



12. ábra. A VFI kötések átlagos keménység eloszlása a varratközepvonalától mérve

5. ÖSSZEGZÉS, MEGÁLLAPÍTÁSOK

A gépesített hideghuzalos argon védőgázos volfrám elektródos ívhegesztés (SWI) és a gépesített argon védőgázos fogyóelektródás ívhegesztés (VFI) során elkészített kötések hőhatásövezetében megfigyelhető volt a kilágyulás, a kötések szakítószilárdsága általában véve megközelítette az előírt 60%-os szintet az alapanyag szakítószilárdságához viszonyítva.

A vizsgált SWI kötések szakítószilárdsága átlagosan 171 MPa volt; az átlagos keménység a kötés középvonalában 60 HV, a hőhatásövezet egyes részein pedig 75 HV és 48 HV között változott.

A VFI kötések átlagos szakítószilárdsága 163 MPa, a legjobb eredményeket a B és a J jelű próbákon mértük, ezek esetében a szakítószilárdság értéke 177 MPa és 199 MPa volt. Elmondható, hogy a B és a J jelű kísérleti kialakítással készített kötések megfelelnek a szabványban előírt kritériumoknak. Ezeknek az eredményeknek az alapján célszerű a további kísérleteket is olyan kialakítású próbákra folytatni, mint a B és a J jelű kísérleteké volt. A VFI kötések átlagos keménysége az A, a B, az F és a J jelű próbákban a varrat középvonalában 56 HV, 69 HV, 52 HV és 55 HV volt.

Az alumíniumötvözetek hővezető-képességéből fakadó problémákat még az impulzus íves hegesztéssel sem lehet minden esetben kiküszöbölni, pedig annak éppen a csúcspont és az alapáram közötti átlagáram értékének alacsonyan tartásának köszönhetően már csökkentett a hőbevitel. A paraméterek pontos beállításához további kísérletekre van szükség.

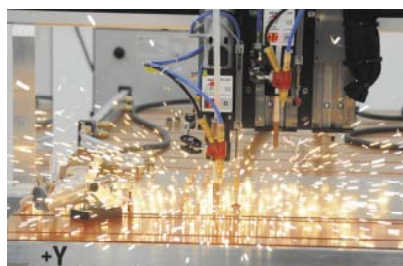
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A közleményben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt valamint a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Török I.; Juhász K.; Meilinger Á.; Balogh A.: *Main characteristics of fusion and pressure welding of aluminium alloys*, Production Processes and Systems, Vol. 5. No. 1., 2012. pp. 91-106.
- [2] Zhang, J.; Fan, Z.; Wang, Y. Q.; Zhou, B. L.: *Equilibrium pseudobinary Al-Mg₂Si phase diagram*, Materials Science and technology, Vol. 17., 2001. pp. 494-496.
- [3] Gitter, R.: *Design of Aluminium structures: Selection of Structural Alloys*, Eurocodes – Background and Applications, Brussels, 2008. pp. 1-29.
- [4] Lukács J.; Nagy Gy.; Harmati I.; Koritárné F. R.; Kuzsella Lné K. Zs.: *Szemelvények a mérnöki szerkezetek integritása témaköréből*, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2012. pp. 210-218.
- [5] Lukács J.; Kuzsella L.; Dobosy Á.; Pósalaky D.: *Hegesztési melegrepedés-érzékenység megítélése fizikai szimuláció segítségével*, GÉP, LXIV. évfolyam, 8. szám, 2013, p. 45-50.
- [6] Easterling, K. E.: *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding*. Butterworths Monographs in Materials (BMM). Butterworths & Co (Publishers) Ltd., 1983. pp. 1-54., 191-263.
- [7] Török I.: *Alumíniumötvözetek hegeszthetősége*, Oktatási segédlet, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2001. pp. 1-42.
- [8] Köves E.: *Alumínium kézikönyv*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984. pp. 79-169., 474-504.
- [9] Romvári P.: *Hegesztéstechnológia. I. rész. A hegesztés fizikai és metallurgiai alapjai*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1980. pp. 5-148.
- [10] Pósalaky D.; Lukács J.: *Weldability research on aluminium alloys with physical simulation*, Production Processes and System, Vol. 7., (2014), No. 1., pp. 53-62.
- [11] Pósalaky D.; Kuzsella L.; Lukács J.; Török I.: *Nagyzilárdságú alumíniumötvözetek hegeszthetőségének egyes kérdései valamint a kötések mechanikai tulajdonságai*, X. OATK, 2015. 10. 11-13., Balatonalmádi

- [13] Meilinger Á.; Török I.: *The Effect of Welding Heat Cycle on the Properties of Friction Stir Welded Joints*, Production Processes and Systems Vol. 7., 2014. pp. 19-30.
- [14] Meilinger Á.; Török I.: *Effect of Temperature Field and Pressure Force on the Inhomogeneity of 5754-H22 and 6082-T6 FSW joints*, Material Science Forum Vols 794-796, 2014. pp. 377-382.
- [15] Balogh A.; Dobosy Á.; Frigyk G.; Gáspár M.; Kuzsella L.; Lukács J.; Meilinger Á.; Nagy Gy.; Pósalaky D.; Prém L.; Török I.: *Hegeszthetőség és a hegesztett kötések tulajdonságai*, Miskolci Egyetem, 2015, p 324, ISBN 978-963-358-081-3
- [16] Baránszky-Jób I.; Konkoly T.; Romvári P.: *Hegesztési kézikönyv*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985. pp. 719-749.



Soyer Magyarország Kft.

Alba Ipari Zóna
8000 Székesfehérvár Babér u. 14.
Tel: 22/504-427
info@soyer.hu
www.soyer.hu



Az újonnan épült csarnokban, lehetőség nyílik telepített KTS-1550 CNC munkaállomáson történő, dokumentált minőségű bér munka végzésére. Kérje, személyre szabott ajánlatunkat.

Három az egyben – ismét a szakma lejjebbja lettünk!

A Münchenben megtartott IHM 2014-en cégünk újra elnyerte a „kézművesipar kiváló innovatív teljesítményének tartományi díját”. A kitüntetést a kiállításon bemutatott HesoMatic-9 berendezés nyerte el.



Az új Soyer gyártmányú HesoMatic-9 típusú csaphegesztő berendezés egy úttörő találmány, amely egyesíti az áramforrást, a vezérlő berendezést és az adagoló egységet, mindezt egy készülékben, egy burkolati ház alatt. A 3–8 mm átmérőjű illetve 8–40 mm hosszúságú hegesztőcsapok illesztése így fele akkora helyigényrel, és sokkal barátságosabb kezelés mellett lehetséges kiváló ár-értékben.

CONTENTS

1. Lukács J.:

Department of Mechanical Technology, Institute of Materials Science and Technology is 65 years old..... 5

The present state of the Institute of Materials Science and Technology was established in 2013 in the framework of the faculty restructuring. In the new structure the institute joining two departments is committed to continue the successful education and research work of the Department of Mechanical Technology looking back on the 65 year old history.

2. Tisza M.; Török I.:

Postgraduate course for welding engineering was organised 55 years ago In Hungary 11

In 1960 at the Technical University of Heavy Industry Professor Béla Zorkóczy, founder head of the department of the Mechanical Technology organised the postgraduate course for welding engineering. The postgraduate course carrying out on the basis of the many times changed curriculum gives students IWE diploma has already been accepted all over the world.

3. Gáspár M.; Balogh A.:

Development of a Gleeble specimen for impact testing of simulated HAZ 19

Using the Gleeble 3500 physical simulator, authors investigated the different strips of the heat affected zone of the high strength steels (HSS). Standard specimens were not suitable for realising high cooling rates necessary for simulation of welding HSS. The developed new specimen containing cooling boreholes at both ends gives possibility to achieve more intensive inner cooling.

4. Budai D.; Tisza M.; Kovács P. Z.:

Investigation of aluminium alloys' formability at elevated temperatures 23

Applying aluminium alloys in automotive industry the weight of cars can be decreased more degree than using high strength steels. However, forming and welding operations of these alloys are much more difficult than the same of steels. Authors investigated the formability of aluminium alloy of EN AW 5754 (Al-Mg₃) at elevated temperatures. Formability of this alloy at 200 °C was double than the same at room temperature.

5. Tóth D.; Kovács P. Z.; Tisza M.:

The examination and optimization of 3D printing (FDM) parameters 29

The FDM (Fused Deposition Modelling) process using polymer filament is one of the cheapest and most practical processes, by which a few products can be manufactured without expensive dies or tools. Investigations carried out using PLA (polylactide) filament proved that strength and formability characteristics of products can considerably be improved with optimal setting of printing parameters.

6. Szilágyiné Biró A.; Tisza M.:

Decreasing the porosity of nitrated layer applying cyclic Floe process 33

Gas nitriding is one of the well-known thermochemical processes, which is suitable for improving the surface properties of machine elements or tools and dies. Improving the Floe process authors developed and applied a new cyclical technological procedure, by which the thickness and the rate of porosity of compound (so-called white) layer can be decreased.

7. Kerekes G.; Felde I.; Kocsisné Baán M.:

Investigation of the parameter-dependency of cooling performance of liquid quenchants 39

Microstructure of the quenched parts strongly depends on the applied quenchant. On the basis of the standardised method described in ISO 9950 authors compared different quenchants like water, aqueous polymer solution, mineral oil and vegetable oils. According to their substantial conclusion mineral oils can well be substituted with vegetable oils.

8. Prém L.; Bézi Z.; Balogh A.:

Development of resistant spot welding technology for automotive ferrite-martensitic DP steels with joint application of finite element modelling and experimental research 45

Because of their hardening effect, resistance spot welding of automotive ferrite-martensitic DP steels should be carried out differently from mild steels. According to the authors' investigation appropriate spot welds can be made by pulsed energy input. In order to decreasing experimental costs applying the finite element modelling for selection of parameters of pulsed energy input would be effective.

9. Dobosy Á.; Lukács J.:

Determination of the optimal welding lobe of the thermomechanical high strength steels 55

In spite of the well-known fact that welded structures loaded in general by cyclic forces, the weldments are designed and sized for static load. In their paper authors analyse the experimental results obtained from the investigation carried out for determination of optimum welding lobe of the thermomechanical high strength steels of S960M.

10. Meilinger Á.; Török I.:

Properties of friction stir welded joints under low cyclic loading conditions 63

Fusion welding of aluminium alloys is more difficult task than the same of different steel grades. Friction stir welding belonging to the group of pressure welding helps to eliminate the weldability difficulties. Authors analyse the behaviour of friction stir welded joints of aluminium alloys under low cyclic loading.

11. Somoskői G.; Török I.:

Theoretical and practical investigation of the CMT welded pin 73

Applying Cold Metal Transfer (CMT) (one of the process versions of GMAW) small wire pieces (pins) can be welded to the metal surfaces. The pins improve the strength of the adhesive joint created between metal and polymer elements. Authors analyse the welding parameters affecting on the pin geometry.

12. Pósalaky D.; Lukács J.; Török I.:

Weldability problems of 6082-T6 high strength aluminium alloy and the properties of welded joints 77

Paper deals with the weldability problems of the 6082-T6 (Al-Mg-Si) high strength aluminium alloy, which is one of the widely used Al alloys in automotive industry. Main goal of the investigation is to realise welded joints, which are able to resist cyclic force, loading the welded structure.

GÉP

INFORMATIVE JOURNAL

for Technics, Enterprises, Investments, Sales, Research-Development, Market of the Scientific Society of
Mechanical Engineering

Dr. Döbröczöni Ádám
President of Editorial Board

Vesza József
General Editor

Dr. Jármái Károly
Dr. Péter József
Dr. Szabó Szilárd
Deputy

Dr. Barkóczi István
Bányai Zoltán
Dr. Beke János
Dr. Bercesy Tibor
Dr. Bukoveczky György
Dr. Czitán Gábor
Dr. Danyi József
Dr. Dudás Illés
Dr. Gáti József
Dr. Horváth Sándor
Dr. Illés Béla
Kármán Antal
Dr. Kalmár Ferenc
Dr. Orbán Ferenc
Dr. Pálincás István
Dr. Patkó Gyula
Dr. Péter László
Dr. Penninger Antal
Dr. Szabó István
Dr. Szántó Jenő
Dr. Szűcs Edit
Dr. Tímár Imre
Dr. Tóth László
Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Erika

Cooperation in the editing:

Dr. Balogh András
Dr. Lukács János
Dr. Nagy Gyula
Dr. Tisza Miklós
Dr. Török Imre

DEAR READER,

Publishing this Number of GÉP was motivated by three anniversaries.

Department of Mechanical Technology at the Technical University of Heavy Industry was founded in 1950, one year later than the foundation year (1949) of the faculty. The first as the same time founder head of the Department was Professor Béla Zorkóczy, who stood at the head of the Department until 1968. He was followed by Professor Pál Romvári from 1968 to 1990, then Professor Miklós Tisza between 1991 and 2013. Enlarging of the University profile, appearance of technological faculties in addition to three technological faculties involved the name change of the University in 1990, while widening of the education palette of the Faculty involved the name change of the faculty done in 2006. In this way the Department of the Mechanical Technology became a structural unit of the Faculty of Mechanical Engineering and Informatics. In the year of 2013, as a part of the structure change of the University, the department structure of the Faculty of Mechanical Engineering and Informatics turned into institute structure. From the Department of the Mechanical Technology an institute of two departments established, thus the Institute of Materials Science and Technology existing from November 1 of 2013 can be considered the legal successor of the Department. In the foundation year Professor Miklós Tisza was the director of the institute. The first anniversary connecting to this Number of GÉP is the 65 years have passed since the foundation of the Department (the Institute).

In 1961, firstly in Hungary, postgraduate course for welding engineering was launched in organisation and leadership of Professor Zorkóczy. Course after a few reforms, continuously gaining the international admission now exists as an international postgraduate welding course, as well as the IWE/EWE course, which gives nationally and internationally accepted diplomas to participants. Starting from foundation, nowadays the students of the 24th years study the most advanced knowledge of welding and relative joining and cutting processes. The second motivation belonging to this Number of GÉP is the 55 year anniversary of establishing the course for welding engineering.

Founder of the Department and establisher of the postgraduate course for welding engineering, Professor Zorkóczy died in 1975. After 40 years of his death the present successors respectfully keep his remembrance, turn over now already yellow pages of his books, end – who knew him personally – recall memories concerning him with affection.

Content of this Number of GÉP was compiled in the spirit of these three anniversaries. Besides papers deal with the history of the Institute and the course for welding engineering, this Number contains mainly scientific publications. These papers give an overview of the research work of our young colleagues and allow obtaining an insight into the life of the Institute as well. Talent, diligence and persistent work of our youngest colleagues, together with the experience and instruction of their doctoral supervisors predict successful PhD thesis defences, keeping noble tradition and professional strength of the present Institute of Materials Science and Technology.

*Prof. Dr. János Lukács
Director of institute*

Miskolc, 2016. január

Managing Editor: Vesza József. Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.
Postage-address: 3501. Pf. 55. Phone/fax: (+36-46) 379-530, (+36-30) 9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1027 Budapest, Fő u. 68.
Postage-address: 1371, Bp, Pf. 433
Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: a.gaby@gteportal.eu, Internet: www.gte.mtesz.hu
Responsible Publishere: Dr. Igaz Jenő Managing Director

<http://www.gepujsag.hu>
Printed by Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67.
Price per month: 1260 Ft.

Distribution in foreign countries by Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat H-1389
Budapest, Pf. 149. and Magyar Média H-1392 Budapest, Pf. 272.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

MEGA.PULS FOCUS

30% nagyobb termelékenység

30% kevesebb füst

30% kevesebb energia

3X30% haszon

A MEGA.PULS FOCUS

több, mint gyors!

A FOCUSzal könnyű kiváló varratokat hegeszteni.

A FOCUSzal a "betanított" hegesztők is profi munkát tudnak végezni.

A FOCUSzal sok pénzt takaríthat meg...
De tényleg...
Rengeteg pénzt!
Nem vicc.

A REHM MEGA.PULS FOCUS egy kincsesbánya a felhasználója számára...

... és mi segítünk ezt a bányát kiaknázni!

Rehm-Partner-Program

PROFITÁLHAT BELŐLE!

Az Ön Partnere a hegesztésben
www.rehm.hu

REHM
Hegesztéstechnika

froweld

www.froweld.hu

Fronius

SHIFTING THE LIMITS



A TÖKÉLETES KÖTÉS MA MÁR LEHETSÉGES. MERT A TPS/i ROBOTICS TÖKÉLETESÍTI AZ INTELLIGENS FORRADALMAT.

Érdeklő?



www.tps-i.com

TPS/i Robotics - az intelligencia forradalmának csúcsa

A robotok TPS/i platformja tökéletes kapcsolatot teremt ember, gép és gyártási környezet között.

Maximális személyre szabhatóság, a számos javított részlet és az egyszerűsített interakció következtében a TPS/i új mércét állít a robohegesztés területén. Az eredmény:

/ Kiváló hegesztési minőség

/ Maximális biztonság

/ Kiemelkedő hatékonyság

Összességében a legjobb hegesztési folyamatokat biztosítja minden automatizált sorozatgyártáshoz.