

# GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



**70 éves**  
a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke  
(ma: Anyagszerkezzettani és Anyagtechnológiai Intézet)  
**1950-2020**



**60 éves**  
a Hegesztő Szakmérnök-képzés Miskolcon

**2020/5-6.**

**nka**  
Nemzeti Kulturális Alap

116 oldal  
LXXI. évfolyam

Making our world more productive



# Lángtechnológiák

A hegesztés előtti előmelegítési folyamatok hatékony és gyors végrehajtása acetilén-sűrített levegő üzemű égőkkel, az alapanyag szerkezetének károsodási veszélye nélkül.

Az eljáráshoz szükséges berendezéseket és gázokat a Linde Gáz Magyarország Zrt. biztosítja Önöknek.

Linde Gáz Magyarország Zrt.  
Alkalmazástechnika  
1097 Budapest, Illatos út 17.  
lindehu@linde.com  
www.lindegas.hu

# GÉP

## A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

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

### SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám

**elnök**

Vesza József

**főszerkesztő**

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

**főszerkesztő-helyettesek**

Dr. Barkóczi 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. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Timár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

### A szerkesztésben közreműködött:

Dr. Lukács János

Dr. Koncsik Zsuzsanna

Dr. Török Imre

Szegeczki Tiborné

### TISZTELT OLVASÓ!

Ez a lapszám egy számunkra különleges egyetemi tanév, a 2019/2020-as tanév zárását követően jelenik meg.

A Nehézipari Műszaki Egyetemen, így annak Gépészmérnöki Karán is, a képzés 1949-ben kezdődött, a „70 éves a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kara” című kari jubileumi rendezvényre a tanév első szemeszterében, 2019. október 18-án került sor. A rendezvényen elhangzott múltidéző és szakmai előadások írásos változatai a „Multidiszciplináris Tudományok” című folyóirat „70 éves a Gépészmérnöki és Informatikai Kar” című célszámában (9. évfolyam, 4. szám, 2019) jelentek meg. Az Anyagszerkeztetani és Anyagtechnológiai Szekcióban elhangzott előadások, bemutatott poszterek közül összesen 15 dolgozat olvasható a folyóiratban.

A Gépészmérnöki Kar Mechanikai Technológiai Tanszéke, a Kar 1949-es miskolci alapítását követő évben, 1950-ben jött létre. Az Egyetem profiljának bővülése, a nem műszaki karok megjelenése, magával vonta az Egyetem nevének, a Kar képzési palettájának szélesedése pedig a Kar nevének a változását. Előbbi 1990-ben, utóbb pedig 2006-ban történt meg, a Mechanikai Technológiai Tanszék így a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának szervezeti egységeként folytatta tevékenységét. 2013-ban a Gépészmérnöki és Informatikai Kar tanszéki struktúrája intézeti struktúrává alakult át, a Mechanikai Technológiai Tanszékből két intézeti tanszék magába foglaló intézet alakult, az Anyagszerkeztetani és Anyagtechnológiai Intézet. A jogelőd tanszék alapítása óta tehát, a 2019/2020-as tanév második szemeszterére, 70 esztendő telt el.

Az 1960-ban lezajlott alapítási folyamat után, 1961-ben, a Mechanikai Technológiai Tanszék szervezésében, hazánkban elsőként elindult a Hegesztő szakmérnök-képzés. A képzés, több reformon átesve, a nemzetközi elismerést fokozatosan megszerezve, napjainkban Nemzetközi hegesztő szakirányú továbbképzési szakként, egyben nemzetközi/európai IWE/EWE képzésként is működik, hazai és nemzetközi elismerésű diplomát adva a résztvevőknek. Az alapítástól 60 esztendő telt el, a 26. évfolyam hallgatói a 2019/2020. tanév második szemeszterében vehették át a szakterület legkorszerűbb ismereteinek elsajátítását igazoló okleveleiket.

A tanév második szemeszterét alapvetően befolyásolta a koronavírus okozta világjárvány, az Egyetem – bő egy hét leforgása alatt – távoktatási formára állt át. Tekintettel arra, hogy a különböző szintű e-learning módszerek egyetemi képzésbe és továbbképzésbe való integrálását a Tanszék több évtizede megkezdte és azt – mind a Tanszék, mind az Intézet – szisztematikusan építette tovább, így viszonylag gyorsan és könnyen tudunk alkalmazkodni az aktuális kihívásokhoz.

Ez a dupla szám a Tanszék, illetve az Intézetet bemutató, áttekintő jellegű közlemények mellett, nagyobb részben szakmai publikációkat tartalmaz. Ezek segítségével adunk bepillantást az Intézet történetébe és életébe, szüntelenül utalva az egykori Mechanikai Technológiai Tanszék, a mai Anyagszerkeztetani és Anyagtechnológiai Intézet nemes hagyományaira, szakmai erejére.

*Prof. Dr. Lukács János  
intézetigazgató*

Miskolc, 2020. augusztus

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, 1147 Budapest, Czobor 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.gteportal.eu

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 Zrt. • Postacím: 1900 Budapest

Előfizetésben megrendelhető az ország bármely postáján, a hírlapot kézbesítőknél, [www.posta.hu](http://www.posta.hu) WEBSHOP-ban (<https://eshop.posta.hu/storefront/>), e-mailen a [hirlapelofizetes@posta.hu](mailto:hirlapelofizetes@posta.hu) címen, telefonon 06-1-767-8262 számon, levélben a MP Zrt. 1900 Budapest címen. Külföldre és külföldön előfizethető a Magyar Posta Zrt.-nél: [www.posta.hu](http://www.posta.hu) WEBSHOP-ban (<https://eshop.posta.hu/storefront/>), 1900 Budapest, 06-1-767-8262, [hirlapelofizetes@posta.hu](mailto:hirlapelofizetes@posta.hu)

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

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

**A megjelent cikkek lektoráltak.**

A kiadvány a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával jelenik meg.

# TARTALOM

1. Lukács J.:  
**Az Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet és jogelőd tanszékének hét évtizede**..... 5  
A közlemény különböző tárgykörök alapján tekinteti át a 2020-ban 70 éves Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet és jogelőd tanszéke, a Mechanikai Technológiai Tanszék történetét.
2. Tisza M.:  
**A 70 éves ME Mechanikai Technológiai Tanszék és jogutódja (ME ATI) kutatási tevékenységének áttekintése** ..... 13  
A cikk a hazai és nemzetközi kutatásokból és kutatási együttműködésekben mutat be szemelvényeket.
3. Kolozsváry Z.; Kocsisné Baán M.:  
**A műszaki/gazdasági fejlődés és a társadalmi felelősségvállalás ellentmondásai** ..... 23  
A globális paradigmaváltás szükségességét hangsúlyozza a cikk, rávilágítva a gazdasági és ipari fejlődés pozitív és negatív hatásaira.
4. Kocsisné Baán M.:  
**A mérnökképzés nemzetköziesítése és módszertani korszerűsítése** ..... 31  
A közlemény összefoglalja a mérnökképzésben alkalmazott hazai és nemzetközi módszereket, fókuszálva a hő- és felületkezelés területére.
5. Lukács Zs.:  
**Kutatási eredmények az alakítási folyamatok numerikus modellezése területén** ..... 37  
A cikk áttekintést kíván adni arról, hogy az alakítási folyamatok numerikus modellezésének milyen új kihívásai jelentek meg az utóbbi évtizedben.
6. Tisza M.:  
**Autóipari anyagfejlesztések** ..... 43  
Az elmúlt évtizedek acélfejlesztési irányai közül a nagyszilárdságú acélok három generációjára, azok autóipari alkalmazására fókuszál a közlemény.
7. Gál G.; Gál V.; Kovács P.Z.; Kuzsella L.; Lukács Zs.; Tisza M.:  
**Alakítástechnológiai kutatások a LOCOMATECH H-2020 projektben** ..... 51  
A cikk a LoCoMaTech – H-2020 projektben a Mechanikai Technológiai Intézet Tanszék közreműködésével végzett alakítástechnológiai kutatásokról ad rövid áttekintést.
8. Gáspár M.; Balogh A.; Bodorkós G.; Dobosy Á.; Németh A.; Sisodia R.P.S.; Török I.:  
**Kutatási eredmények a nagyszilárdságú acélok és alumíniumötvözetek hegesztése területén** ..... 59  
A cikk a nagyszilárdságú fém ötvözetek hegeszthetőségének elemzését, valamint a hegesztett kötések tulajdonságainak kísérleti vizsgálatát foglalja össze.
9. Dobosy Á.; Gáspár M.:  
**Az ívhegesztési folyamatok végeeselemes modellezésének alkalmazási lehetőségei** ..... 69  
Az ívhegesztés modellezésének nehézségeit és megoldásait, továbbá a végeeselemes modellezés lehetőségeit gyakorlati példákon keresztül bemutatva tartalmazza a közlemény.
10. Prém L.; Balogh A.:  
**A ferrit-martensites DP acélok ellenállásponthegesztett kötési dinamikusan viselkedésének vizsgálata saját tervezésű dinamikusan vizsgáló berendezéssel** ..... 75  
Autóipari acél ponthegesztett kötésének szívóssági tulajdonságainak speciális dinamikusan vizsgálati módszerrel végzett eredményeit tartalmazza a cikk.
11. Kovács J.; Lukács J.:  
**S1300 ultra-nagyszilárdságú acél hőhatás-övezetének fizikai szimulációs vizsgálatai** ..... 81  
Ultra-nagyszilárdságú (S1300) acélból kimunkált próbatestek, fizikai szimulációval létrehozott, különböző hőhatás-övezeti sávok vizsgálati eredményeit tartalmazza a cikk.
12. Lukács J.; Nagy Gy.; Török I.; Koncsik Zs.:  
**Kutatási eredmények a szénhidrogénszállító csőtávvezetékek integritása területén** ..... 87  
Szerzők szándéka a csövek, csővezetékek, csővezeték rendszerek területén, folyt és folyó kutató-fejlesztő munkákba való bepillantás nyújtása.
13. Molnár A.; Balogh A.:  
**Kopásálló bevonatok létrehozása C45E minőségű acélon nagysebességű termikus láng-porszórással és kevert hullámhosszú lézersugaras újraolvasztással** ..... 95  
A kísérleti munka során létrehozott NiCrBSi ötvözet réteg anyagszerkezeti és tribológiai tulajdonságait mutatja be a cikk.
14. Nagy N.; Kovács A.:  
**Élelmiszeripari berendezéseknél alkalmazott korrózióálló acélszegmens károsodásának vizsgálata** ..... 101  
A közlemény elemzi egy alkohol lepárló edény üzem közbeni károsodását.
15. Kovács P.Z.; Gál V.; Rónai L.; Várkuliné Szarka Á.:  
**Ventillátor járókerék kiegyensúlyozására szolgáló klipszek fejlesztése** ..... 105  
A kutatómunka, ipari együttműködés fejlesztésének eredményeképpen, kiegyensúlyozó klipszek végeeselemes modellezését mutatja be.

# AZ ANYAGSZERKEZETTANI ÉS ANYAGTECHNOLÓGIAI INTÉZET ÉS JOGELŐD TANSZÉKÉNEK HÉT ÉVTIZEDE

## SEVEN-DECADE HISTORY OF THE INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY AND ITS PREDECESSOR DEPARTMENT

Lukács János\*

### ABSTRACT

*The article introduces shortly the seven-decade history of the Institute of Materials Science and Technology and its predecessor department, the Department of Mechanical Technology. The paper summarizes the complex activity of the organizations, based on institutional frames, physical locations, educational activities, laboratorial background, and different types of publications.*

### 1. BEVEZETÉS

Az egykori Mechanikai Technológiai Tanszék (MTT) jelentős szervezeti változásokon átesve működik napjainkban. Jelen közlemény szakít a korábbi gyakorlattal, vagyis a hasonló tartalmú írásokkal, nem pusztán arra tesz kísérletet, hogy időrendi sorrendben tekintse át az elmúlt 70 esztendőt, hanem arra is, hogy különböző tárgykörök mentén foglalja össze a legfontosabb történéseket. Nem tárgyalja ez a cikk a hazai és a nemzetközi kutatások, kutatási együttműködések témakört, arról Tisza Miklós *A 70 éves ME Mechanikai Technológiai Tanszék és jogutódja (ME ATI) kutatási tevékenységének áttekintése* című, ebben a lapszámban megjelenő cikkében olvashatunk. A közlemény hivatkozik azokra a folyóirat lapszámokra és kiadványokra, amelyekből a Mechanikai Technológiai Tanszék, illetve az Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet (ATI) teljes története részletesebben is megismerhető, a töretlen fejlődés és a végzett munka nyomon követhető.

### 2. A TANSZÉK ÉS AZ INTÉZET TÖRTÉNETE

#### 2.1. Szervezeti keretek

A Mechanikai Technológiai Tanszék a Nehézipari Műszaki Egyetem (NME) Gépészmérnöki Karának

(GÉK) 1949-es miskolci alapítását követő évében, 1950. február 4-ei dátummal jött létre. 1952-ben a Tanszékből kivált az akkori Mechanikai Technológiai II. Tanszék, amelyből később megalakult az egykori Gépgyártástechnológiai Tanszék (ma Gyártástudományi Intézet) és az egykori Szerszámgépek Tanszéke (ma Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet, illetve Szerszámgépek Intézeti Tanszék). Az 1970-es években, több lépésben alakult ki a Tanszéken belül a szakcsoporti rendszer, a napjainkig fennálló hegesztő, hideg-képlékenyalakító, hőkezelő, valamint a mára már átalakult anyagvizsgáló szakcsoportokkal. Követve az oktatási és a tudományos profilban bekövetkezett változásokat, a Nehézipari Műszaki Egyetem neve 1990-ben Miskolci Egyetemre (ME), a Gépészmérnöki Kar neve pedig 2006-ban Gépészmérnöki és Informatikai Karra (GÉIK) változott. Ezek a névváltozások még nem érintették a Tanszék szervezetét. 2013-ban, az egyetemi struktúraváltási program részeként, a Gépészmérnöki és Informatikai Kar tanszéki struktúrája teljes egészében intézeti struktúrává alakult át. Ez a szervezeti változás három módon ment végbe: korábbi tanszékek intézetekké való egyesülésével, korábbi tanszékek lényegében változatlan formájú intézetekké válásával, illetve egy tanszék két intézeti tanszékét magába foglaló intézetté alakulásával, ami egyedül az egykori Mechanikai Technológiai Tanszékkal történt meg. A 2013. november 1-jétől működő Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet tehát 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 Szerkezetintegritási Intézeti Tanszék, amely tudomásunk szerint az első és napjainkig az egyetlen ilyen nevű szervezeti egység a hazai felsőoktatásban. A Mechanikai Technológiai Intézeti Tanszék magába foglalja a három technológiai szakcsoportot, a Szerkezetintegritási Intézeti Tanszék pedig a nevével jelzett, integráló jellegű diszciplínára fókuszál, túllépve az egykori anyagvizsgáló szakcsoport kereteit.

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

A Tanszék keretei között, többségében tanszéki erőforrásokkal, három további kutatási csoport is működött. 1958-ban, a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) kezdeményezésére, Nehézgépeszteti 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. A Munkaközösség 1978-ban, átszervezés következtében megszűnt, munkatársai TKFA kereten és az illetékes tanszékek státuszain folytatták tevékenységüket. 1970-ben jött létre a Gépipari Technológiai Intézet (GTI) hegesztő kutatócsoportja, amely 1995-ig működött, továbbá 1996 és 2003 között a Tanszék adott keretet és helyet az MTA-ME Mechanikai Technológiai Kutatócsoportnak.

A Mechanikai Technológiai Tanszéket az 1950-es alapítás és 1968 között Prof. Dr. Zorkóczy Béla (1898. március 3. – 1975. november 18.), 1968 és 1990 között Prof. Dr. Romvári Pál (1929. június 27. – 2008. december 25.), 1991-től a 2013-as átalakulásig pedig Prof. Dr. Tisza Miklós vezette. Zorkóczy és Romvári professzorok portréi az 1. ábrán láthatók.



1. ábra A tanszékalapító Prof. Dr. Zorkóczy Béla [1] és Prof. Dr. Romvári Pál

Az Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet igazgatója az alapítás évében Prof. Dr. Tisza Miklós volt, 2014. január 1-től ezt a feladatot Prof. Dr. Lukács János látja el.

## 2.2. Fizikai elhelyezkedés

Az oktató, nevelő munka megszervezése és megvalósítása a mai Földes Ferenc Gimnázium épületében kezdődött. A Tanszék 1951-ben költözött át az akkor még javában épülő Egyetemvárosba, az akkori főépület (A/1., régi főépület) oldalszárnyába (ma A/2. épület, Kőolaj és Földgáz Intézet), ahol egyben az első műhelylabor rész is kialakításra került. Az Egyetem, illetve az Egyetemváros folyamatos fejlődése újabb épületek megépítését is eredményezte, így 1960-ban adták át a C/3., 1963-ban pedig a C/2. műhelylabor épületeket, 1966-ban pedig az új főépületet (A/4. épület). A

Tanszék ezek okán került a jelenlegi helyére, az A/4. épület földszintjére és alagsorába, a C/2. épület egyik hajójába (4. hajó, északi oldal) és a C/3. épület három hajójába (5., 6. és 7. hajók), megtartva egy laboratóriumi egységét a régi főépületben (A/1. épület) is.

Az A/4. épület teljes átalakítása és megújítása 2015-re fejeződött be, amelynek során a Tanszék újabb alagsori helyiségeket kapott, egyúttal leadta az A/1. épületben még meglévő laboratóriumi egységét. A C/2. épület első – ház a házban koncepció szerinti – átalakítására 2008-ban került sor, ekkor a Tanszék új, kisebb hallgatói létszámok befogadására alkalmas tantermekhez jutott. Az épület 2012-ben lezajlott második átalakítása során a műhely részek megújítására került sor, ekkor a Tanszék megvált az elavult berendezéseinek és eszközeinek jelentős részétől. Az épület 2019-re befejeződött harmadik átalakítása annyiban érintette akkor már az Intézetet, hogy egyes, kihasználatlan helyiségeit átadta a Felsőoktatási és Ipari Együttműködési Központnak (FIEK) és ez történt a C/3. épület 6. hajójával is, szintén 2019-ben.

## 2.3. Képzési szerkezet és oktatási tevékenység

A hagyományos, öt éves (10 féléves) gépészmérnök-képzés szakon, majd szakokon folyt. 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. Az 1980-as 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 kapott kisebb-nagyobb szerepet. Az évtized közepétől megindult angol nyelvű képzés (jordán hallgatók), újabb oktatási feladatokat jelentve, így a Tanszék tárgyainak egy része ezen az oktatási palettán is megjelent.

A XXI. század első évtizedének legfontosabb változását az egész magyar felsőoktatás, így a Tanszék életében is, a bolognai rendszerű képzés bevezetése jelentette. A korábbi, osztatlan egyetemi képzést az alap- és mesterképzés (BSc és MSc, 7 féléves és 4 féléves) 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 hegesztéstechnológiai szakirányok vezetője lett, és további jelentős szerepet vállalt a CAD/CAM szakirányban. A 2010-es évek meghozták az angol nyelvű képzés újabb felfutását (Stipendium Hungaricum

(SH) ösztöndíjak), 2015-ben pedig lezajlott a BSC képzés első reformja. Az MSc tantervek 2011-es áttekintése során a Tanszék az alkalmazott anyagtudományi és az anyagtechnológiai szakirányát egyesítette, korszerű anyagok és technológiák, 2014-ben pedig a megmaradt két szakirányt, anyagtechnológiai és hegesztéstechnológiai szakirány néven. Mindezek közben a szakirány megnevezés specializációra változott és 2019-ben megkezdődött az MSc képzés első reformja is.

Hazánkban, a bolognai rendszerű képzés harmadik szintjeként, 1993-tól vezették be, fokozatosan, a doktori (PhD) képzést és fokozatszerzést. A Tanszék a Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola [2] programjában vállalt és vállalt jelentősebb szerepet, részt vett és – lényegesen kisebb mértékben ugyan – de ma is részt vesz a Hatvány József Informatikai Tudományok Doktori Iskola [3] tevékenységében is.

1961-ben, a Tanszék szervezésében és irányításával, hazánkban elsőként elindult a Hegesztő szakmérnök képzés, amelynek az első reformja 1976-ben zajlott le. A nemzetközi elismertetés terén az első lépés 1993-ban történt meg, ekkortól volt lehetőség a Bécsi Hegesztési Intézettel (*Schweißtechnische Zentralanstalt (SZA)* [4]) közös európai hegesztőmérnöki diploma (*European Welding Engineer (EWE)*) kiadására, amelyre saját jogon – második lépésként – 1998-tól kerülhetett sor. Az évtized végére (2009) a hegesztő szakmérnök képzés Nemzetközi Hegesztő Mérnök (*International/European Welding Engineer (IWE/EWE)*) képzéssé alakult át.

Az 1980-as évekre kidolgozásra került a Képlékenyalakító szakmérnöki szak tanterve és 1984-ben ezen a szakmérnöki szakon is indult képzés. A 2000-es évek első évtizedének végén a Tanszék bekapcsolódott a Nemzetközi Hegesztett Szerkezet Tervező Mérnök (*International Welded Structures Designer (IWSD)*) képzésbe, mind a 2010-ben, mind a 2013-ban indult évfolyamokon oktatta a kompetenciájába eső tantárgyakat. Egy Erasmus+ projekt keretében részt vettünk a *Risk Management in Welding Fabrication (RMWF)* képzés tananyagának kidolgozásában (*ERWF Special Course*) és az első két tanfolyam megtartásában, Temesváron és Miskolcon, 2018-ban, angol nyelven. Az ellenálláshegesztés területéről két szinten, a specialista és a kiemelt hegesztő szintjén (*European Welding Specialist for Resistance Welding (EWS-RW)* és *European Welding Practitioner for Resistance Welding (EWS-RW)*) akkreditáltunk képzéseket, az első pilot kurzusra 2019-ben került sor.

A jellemzően rövid idejű szakirányú (mérnök) továbbképzések keretében hagyományosnak nevezhető, ismeretmegújító (például ellenálláshegesztés, gázipari felelős mérnök, alakítástechnológiák), valamint új ismereteket adó (például AutoForm rendszer, DEFORM rendszer, szerkezetintegritás) képzéseket tartottunk és tartunk, kezdetben tanszéki szervezésben, majd az egyetemi felnőttképzési szervezetek koordinálásával.

A számítógépek elterjedése és az informatikai technológiák folyamatos fejlődése magával hozta a különböző szintű e-learning módszerek egyetemi képzésbe és továbbképzésbe való integrálódását, amelybe a Tanszék – és így az Intézet is – a kezdetektől fogva aktívan kapcsolódott be. Ez a tudás volt az alapja annak, hogy az Intézet viszonylag gyorsan és könnyen alkalmazkodott a koronavírus okozta (táv)oktatási kihívásokhoz, a 2019/2020. tanév tavaszi félévében.

## 2.4. Laboratóriumi háttér

A tanszéki oktatási-kutatási infrastruktúra kialakítása az alapítás pillanatában elkezdődött, szinten tartására, illetve fejlesztésére az új épületek átadásai, az egyes épületek felújításai és – leginkább – a különböző pályázatok és projektek nyújtotta lehetőségek szolgálták. Nem volt olyan projekt, amelynek ne lett volna ilyen eleme és több projekt is szerveződött kifejezetten ilyen szándékkal és célokkal. Az 1980-as évek közepétől az informatikai eszközök és a szoftverek beszerzése, fenntartása és megújítása további, nem kis feladatot jelentett és jelent napjainkban is.

Az intézet laboratóriumi, számos átalakuláson átesve, napjainkban 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 (alapvetően a Gleeble 3500 fizikai szimulátor), valamint a Hő- és felületkezelő laboratórium és a Felületvizsgáló laboratórium együtt, Hőkezelő és Műszaki Felülettudományi Laboratórium néven regisztrált kutatási infrastruktúra (RKI) minősítést szerzett [5].

Lényegi sajátossága a kutatási területeknek és témáknak, hogy azokat az Intézet komplex módon közelíti meg, jellemzően olyan projekteket indít, amelyek több területet és/vagy témakört, illetve témát ölelnek fel. Az infrastruktúrát a két intézeti tanszék közösen használja, aminek egyenes következménye az, hogy az Intézet nem oktató munkatársai mindkét intézeti tanszékhez tartozóan, azok feladataiból egyformán veszik ki a részüket.

## 3. PUBLIKÁCIÓS TEVÉKENYSÉG

### 3.1. Jegyzetek, tankönyvek és szakkönyvek

A gépészmérnök-képzés kezdeti időszakában a képzés egyetemi jegyzetekkel (kéziratokkal) való ellátása

egyszerre volt szándék és elvárás. A nyomdailag esetenként nem túl igényes, de viszonylag olcsón előállítható jegyzetek a Tanszék által oktatott minden szakterületen készültek. Példaként álljanak itt a következők: *Anyagismeret és technológia III. (Anyagvizsgáló gyakorlatok)* [6]; *Hőkezelés – Gyakorlati segédlet* [7]; *Forgácsolás nélküli megmunkálás technológiája és szerszámai* [8]; *Hegesztési anyagismeret* [9]; *Hegesztéstechnológia – I. rész – A hegesztés fizikai és metallurgiai alapjai* [10]; *Gázhegesztés, lángvágás – Hegesztéstechnológia* [11]. Az ilyen típusú jegyzetek mellett kiemelkedő jelentőségű volt a mérnök generációk által, több tantárgyhoz használt *Metallográfia és anyagvizsgálat* [12] című tankönyv, a mindenkori hallgatók nyelvén ”a Zorkóczy”, amely több évtizeden keresztül alapműnek számított.

A differenciálódó ismeretek, a részben azokhoz is köthető tantervi változások (szakirány, modul, specializáció), a megváltozott informatikai, nyomdai és kiadói lehetőségek tartalmilag átfogóbb, formailag pedig igényesebb tankönyvek megírását is lehetővé tették. Példaként álljanak itt a következők: *Gépipari anyagismeret* [13]; *Metallográfia* [14]; *Mechanikai technológiák* [15]; *Anyagvizsgálat* [16]; *Az anyagtudomány alapjai* [17]. Az angol nyelven folyó oktatáshoz is készültek tankönyvek (például: *Metal Forming* [18]; *Physical Metallurgy for Engineers* [19]; *Introduction to Materials Sciences* [20]), illetve egyedi ritkaságnak tekinthető a perzsa nyelven is kiadott *Physical Metallurgy for Engineers* [21] című munka.

Az egyetemi jegyzetek és tankönyvek mellett egy-egy szakterület mélyebb bemutatására adtak lehetőséget a különböző szakkönyvek, kézikönyvek, illetve zsebkönyvek. A Tanszék oktatóinak-kutatóinak teljes, illetve részleges szerzői érintettségével a következő munkák készültek: *Fémek technológiája* [22]; *Sínek hegesztése* [23]; *Hegesztési kézikönyv* [24]; *Javító és felrakó-hegesztés* [25]; *Acélok, öntöttvasak javító- és felrakó-hegesztése* [26]; *Anyagválasztási útmutató és példatár* [27]; *Hegesztési zsebkönyv* [28],[29]; *Hegesztés és rokon technológiák (kézikönyv)* [30].

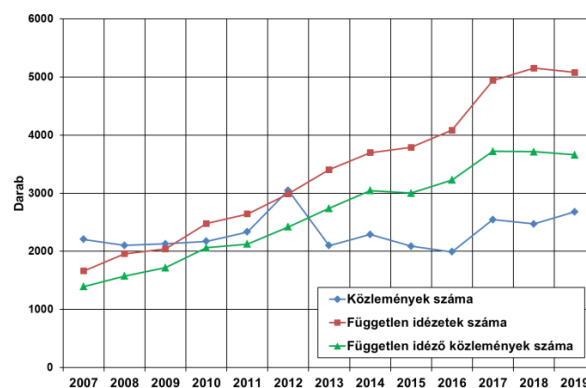
A különböző pályázatok szakmai és finanszírozási oldalról egyaránt lehetőségeket kínáltak arra, hogy a kutatásokról, azok eredményeiről szakkönyvekben adjunk számot. Ilyen könyvek készültek mind a Tanszék / Intézet, mind pedig a résztvevő partnerek oldaláról, önálló, illetve közös munkák formájában. A GVOP-3.1.1.-2004-05-0215/3.0 [31] projekt kutatásait mutatta be a *Polimer mátrixú hibrid csövek integritása* című munka [32]; a Mechatronikai és Logisztikai Rendszerek Regionális Egyetemi Tudásközpont (MLR-RET) projektben [33] készült a *Szemelvények az élettartam gazdálkodás témaköréből* című könyv [34]. A TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 [35] projekt „Alkalmazott Anyagtudományi és Nanotechnológiai Kiválósági Központ”-jában kapott lehetőséggel élve jelent meg a

*Szemelvények a mérnöki szerkezetek integritása témaköréből* című könyv [36]. A TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029 [37] projekt kutatásainak három fő témakörét a hegesztési, hő- és felületkezelési és alakítási technológiai területeken végzett alap kutatások képezték. A kutató munka egészéről, a projektben végzett tevékenységekről, az egyes tématerületeken elért eredményekről a projektben készült könyvsorozat [38-43] ad teljes képet. A három fő témakör monográfiáinak címei a következők: *Hegeszthetőség és a hegesztett kötések tulajdonságai* [38], *Képlékenyalakítás a járműiparban* [39] és *Nitridálás – korszerű eljárások és vizsgálati módszerek* [40].

### 3.2. Szakmai közlemények

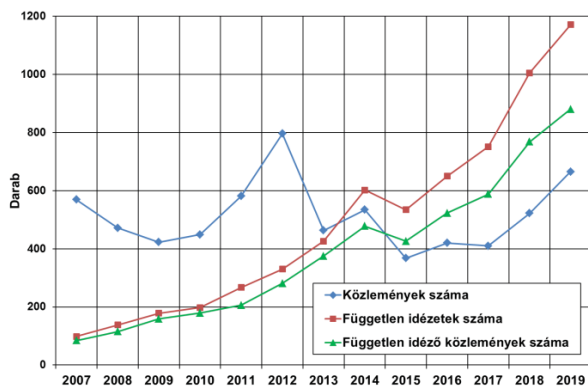
A Tanszék / Intézet oktatói-kutatói tudományos, illetve szakmai munkáikról rendszeresen, magyar és idegen nyelvű közleményekben számoltak be. Három kiadvány [44]-[46] összegzi a vonatkozó időszakok (1950-1985, 1986-1990 és 1991-1995) tanszéki publikációit, pályázati kutatások eredményeiről számolnak be a [47]-[49] folyóirat célszámok, és három további forrásban [50]-[52] található információkat a publikációs aktivitásról. A *Multidiszciplináris Tudományok* című folyóirat 9. évfolyamának 4. száma *70 éves a Gépészmérnöki és Informatikai Kar* címmel, 2020. április 29-ei dátummal jelent meg [53], amelyben az Intézet munkatársai 15 cikkben adnak átfogó képet az utóbbi évek kutatásairól.

A Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) [54] 2007-től ad lehetőséget arra, hogy több mutató alapján, tágabb összefüggésekben is elhelyezhessük a Tanszék, majd az Intézet publikációs tevékenységét. A 2. ábra a Miskolci Egyetem, a 3. ábra a Gépészmérnöki és Informatikai Kar, a 4. ábra pedig a Tanszék, majd Intézet publikációs teljesítményét mutatja be, három mutató segítségével. (Az adatok letöltése 2020. július 15-én történt, a 2020-as, nem teljes esztendő adatai nélkül.)

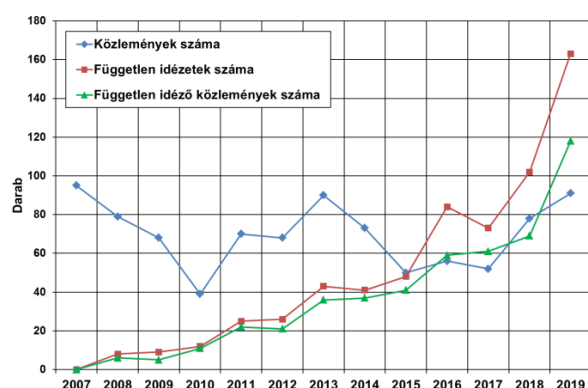


2. ábra A Miskolci Egyetem publikációs teljesítménye 2007 és 2019 között, a Magyar Tudományos Művek Tárában [54] található három mutató alapján





3. ábra A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Karának publikációs teljesítménye 2007 és 2019 között, a Magyar Tudományos Művek Tárában [54] található három mutató alapján



4. ábra A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kara Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézetének (korábban Mechanikai Technológiai Tanszékének) publikációs teljesítménye 2007 és 2019 között, a Magyar Tudományos Művek Tárában [54] található három mutató alapján

A három ábrához két megjegyzés mindenképpen kíváncsok. Az első az az, hogy az adatok abszolút számok, nem veszik figyelembe az aktuális – és az utóbbi években csökkenő – oktatói-kutatói létszámokat; a második pedig az, hogy mélyebb (például minőségi) elemzéshez további és részletesebb adatok is szükségesek lennének, hiszen az ábrák csupán mennyiségi adatokat szemléltetnek. A megfogalmazott két megjegyzés mellett is megállapítható a hullámzó teljesítmény, valamint az intézményi, a kari és a tanszéki / intézeti adatok tendenciáinak részleges eltérése.

#### 4. ÖSSZEGZÉS

A közlemény különböző tárgykörök – szervezeti keretek, fizikai elhelyezkedés, képzési szerkezet és oktatási tevékenység, laboratóriumi háttér, jegyzetek,

tankönyvek, szakkönyvek és publikációk – alapján tekintette át a 2020-ban 70 éves Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet és jogelőd tanszéke, a Mechanikai Technológiai Tanszék történetét. Nem tért ki a hazai és a nemzetközi kutatások, kutatási együttműködések témakörére, meghagyva annak kifejtését egy másik cikk számára.

A közlemény, minden törekvés ellenére sem lehetett teljes, nem tárgyalhatott ki minden részletet. A Tanszék és a hegesztő szakmérnök képzés történetéről bővebben olvashatunk az [55-58] folyóiratokban, valamint a [50] és az [59] kiadványokban. Újabb részletek ismerhetők meg annak a tudományos emlékülésnek az anyagából [51], amelyre a Miskolci Egyetem alapításának 50 évében, Romvári professzor 70 éves köszöntése alkalmából került sor (1999. június 29.), az ugyanezen alkalomra írott cikkből [60], valamint a Romvári professzor halálakor megjelent méltatásból [61] és a halálának évfordulóján, a tiszteletére megrendezett emlékülés (2010. január 22.) és emlékkiállítás anyagából [62]. További adalékok találhatóak abban a kiadványban is [52], amely Béres Lajos, Kovács Ferenc és Pirkó József születésének 70. évfordulója alkalmából megtartott tudományos ülésre (2002. június 6.) készült. Érdekes részletek hangzottak el a *MultiScience – XXX. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference* [63] *Innovative Mechanical Technologies szekciójának jubileumi köszöntők* részében (2016. április 22.), a *MultiScience – XXXIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference* [64] *70th Anniversary of Professor Dr. Miklós Tisza* című tisztelegő szekciójában (2019. május 23.), valamint a *70 éves a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kara KARI JUBILEUMI EMLÉKÜLÉS* [65] *Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Szekciójában* (2019. október 18.)

A cikk végén, immár hagyományosan, álljon az Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet kollektívájának névsora, a jubileumi tanév (2019/2020) második félévében.

**Mechanikai Technológiai Intézeti Tanszék (intézeti tanszékvezető: Dr. Lukács Zsolt)**

*Hegesztő Szakcsoport*

- Dr. Balogh András c. egyetemi tanár
- Dr. Béres Lajos ny. egyetemi docens
- Dr. Dobosy Ádám adjunktus
- Dr. Gáspár Marcell Gyula egyetemi docens
- Gyura László levelező PhD hallgató
- Fodorné Cserépi Mariann tanársegéd
- Kovács Judit PhD hallgató
- Haidar Faisal Helal Mobark PhD hallgató (Irak)
- Dr. Molnár András, c. egyetemi docens
- Dr. Németh Alexandra Kitti adjunktus
- Raghawendra Pratap Singh Sisodia tudományos segédmunkatárs, PhD hallgató (India)

- Dr. Török Imre c. egyetemi tanár
- Varga Zsolt levelező PhD hallgató

#### *Hőkezelő Szakcsoport*

- Bassel Alsalamah PhD hallgató (Szíria)
- Dr. Frigyik Gábor ny. egyetemi docens
- Kocsisné dr. Baán Mária ny. egyetemi docens
- Dr. Kuzsella László egyetemi docens

#### *Képlékenyalakító Szakcsoport*

- Balogh Bence tudományos munkatárs (Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.), PhD hallgató
- Béres Gábor levelező PhD hallgató
- Dr. Gál Gaszton c. egyetemi docens
- Gál Viktor tudományos segédmunkatárs, PhD hallgató
- Dr. Kiss Antal c. egyetemi docens
- Dr. Kovács Péter Zoltán egyetemi docens
- Dr. Lukács Zsolt egyetemi docens
- Dr. Tisza Miklós Professor Emeritus
- Tóth Dénes PhD levelező hallgató
- Mehdi Mohammed Yassine levelező PhD hallgató (Algéria)
- Tatiane Wadas PhD hallgató

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

- Babcsánné Kiss Judit tudományos segédmunkatárs
- Cserjénné Sutyák Ágnes mesteroktató
- Ahmad Yasser Dakhel PhD hallgató (Szíria)
- Dr. Koncsik Zsuzsanna egyetemi docens
- Dr. Lukács János egyetemi tanár
- Dr. Marosné dr. Berkes Mária egyetemi tanár
- Dr. Nagy Gyula c. egyetemi tanár († 2020. 06. 27.)
- Nagy Nóra tanársegéd
- Houssam Sabbabi PhD hallgató (Marokkó)
- Shiraz Ahmed Siddiqui PhD hallgató (India)

#### **Nem oktató munkatársak**

- Bartók András műszaki szolgáltató
- Csukás Géza tanszéki mérnök
- Csurilláné Balogh Ágnes laboráns
- Kecskés-Kristóf Sándor műszaki ügyintéző
- Kőmíves Mariann ügyvivő szakértő
- Kovács Ferencné ny. laboráns
- Petrovics András műszaki szolgáltató
- Szántó Lászlóné ny. tanszéki mérnök
- Szegeczki Tiborné gazdasági ügyintéző
- Szentpéteri László tanszéki mérnök

## 5. IRODALOM

- [1] <https://www.arcanum.hu/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-magyar-eletrajzi-lexikon-7428D/z-zs-787F8/zorkoczy-bela-788B3/>
- [2] <http://geik.uni-miskolc.hu/intezetek/SALYI/index.php>
- [3] <http://www.hjphd.iit.uni-miskolc.hu/>
- [4] <https://www.sza.at/>
- [5] [http://kaleidoszkop.nih.gov.hu/kfi-hirek/-/asset\\_publisher/W8yXop3Tdrzr/content/a-nekifut-regiszer-2014-felhivas-eredmenyei](http://kaleidoszkop.nih.gov.hu/kfi-hirek/-/asset_publisher/W8yXop3Tdrzr/content/a-nekifut-regiszer-2014-felhivas-eredmenyei)
- [6] *Anyagismeret és technológia III. (Anyagvizsgáló gyakorlatok)*. Szerk.: Gál, I.; Kóródy, L. Tankönyvkiadó, Budapest, 1992. (J 14-1413)
- [7] *Hőkezelés – Gyakorlati segédlet*. Szerk.: Lizák, J. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1996. (J 14-1618)
- [8] Pázsit, J.; Zolnay, G.; Sárvári, J.; Czabán, J.: *Forgácsolás nélküli megmunkálás technológiája és szerszámai*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967. (J 14-783)
- [9] Zorkóczy, B.: *Hegesztési anyagismeret*. Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Budapest, 1962.
- [10] Romvári, P.: *Hegesztéstechnológia – I. rész – A hegesztés fizikai és metallurgiai alapjai*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1989. (J 4-491 (1.))
- [11] Dénes, M.: *Gázhegesztés, lángvágás – Hegesztéstechnológia*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1962.
- [12] Zorkóczy, B.: *Metallográfia és anyagvizsgálat*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1978. (4. kiadás, ISBN 963 17 3705 5)
- [13] Komócsin, M.: *Gépipari anyagismeret*. COKOM Kft., Miskolc, 1997. (ISBN 963-04-8287-5)
- [14] Tisza, M.: *Metallográfia*. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 1998. (ISBN 963 661 338 9)
- [15] Balogh, A.; Sárvári, J.; Schäffer, J.; Tisza, M.: *Mechanikai technológiák*. Szerk.: Tisza, M. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2003. (ISBN 963 661 571 3)
- [16] Gál, I.; Kocsisné, B. M.; Lenkeyné, B. Gy.; Lukács, J.; Marosné, B. M.; Nagy, Gy.; Tisza, M.: *Anyagvizsgálat*. Szerk.: Tisza, M. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2001. (ISBN 963 661 452 0)
- [17] Tisza, M.: *Az anyagtudomány alapjai*. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2008. (ISBN 978 963 661 844 5)
- [18] Tisza, M.: *Metal Forming*. Miskolci Egyetem, Miskolc, 1996.
- [19] Tisza, M.: *Physical Metallurgy for Engineers*. American Society of Materials, Materials Park (OH), Amerikai Egyesült Államok, 2001. (ISBN 087170725X)
- [20] Tisza, M.: *Introduction to Materials Sciences*. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2003. (ISBN 963 661 437 7)
- [21] Tisza, M.: *Physical Metallurgy for Engineers*. Ahang-e-Ghalam Publishing House, Teherán, Irán, 2011. (ISBN 9786005452372)
- [22] Artinger, I.; Kator, L.; Rovári, P.: *Fémek technológiája*. Szerk.: Gillemot, L. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.
- [23] Béres, L.; Unyi, B.: *Sínek hegesztése*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.

- [24] *Hegesztési kézikönyv*. Főszerk.: Baránszky-Jób. I. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985. (ISBN 9631062457)
- [25] Romvári, P.; Béres, L.: *Javító és felrakóhegesztés*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984. (ISBN 9631057372)
- [26] Béres, L.; Komócsin, M.: *Acélok, öntöttvasak javító- és felrakóhegesztése*. Monteditio Kft., Budapest, 1993. (ISBN 963-7690-05-0)
- [27] Béres, L.; Csolák, A.; Kovács, A.: *Anyagválasztási útmutató és példatár*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982. (ISBN 9631044009)
- [28] *Hegesztési zsebkönyv*. Szerk.: Gáti, J. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1995. (ISBN 963-16-0536-1)
- [29] Béres, L.; Gáti, J.; Kovács, M.; Komócsin, M.; Gremesperger, G.: *Hegesztési zsebkönyv*. Szerk.: Gáti, J. Cokom Mérnökiroda Kft., Miskolc, 2003. (ISBN 963210742X)
- [30] *Hegesztés és rokon technológiák – Kézikönyv*. Főszerk.: Szunyogh, L. Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007. (ISBN 9789634209102)
- [31] <http://web.alt.uni-miskolc.hu/hikomp/>
- [32] *Polimer mátrixú kompozittal erősített hibrid csövek integritása – GVOP-3.1.1.-2004-05-0215/3.0*. Szerk.: Lukács, J. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2008. (ISBN 9789636618315)
- [33] <http://www.zrva.hu/mlrret.html>
- [34] Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.: *Szemelvények az élettartam gazdálkodás témaköréből*. Szerk.: Lukács, J. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2009. (ISBN 9789636618902)
- [35] <http://kivalosagi-kozpontok.uni-miskolc.hu/>
- [36] 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)
- [37] <http://www.autotech.uni-miskolc.hu/>
- [38] Balogh, A.; Dobosy, Á.; Frigyik, G.; Gáspár, M. Gy.; Kuzsella, L.; Lukács, J.; Meilinger, Á.; Nagy, Gy.; Pósalaky, D.; Prém, L.; Török, I.: *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)
- [39] Budai, D.; Danyi, J.; Gál, G.; Hegedűs, Gy.; Kiss, A.; Kovács, P. Z.; Lukács, Zs.; Marosné, B. M.; Tisza, M.: *Képlékenyalakítás a járműiparban*. Szerk.: Tisza, M. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2015. p. 294. (ISBN 978-963-358-082-0)
- [40] Cserjésné, S. Á.; Frigyik, G.; Kocsisné, B. M.; Kuzsella, L.; Marosné, B. M.; Szabó, E.; Szilágyiné, B. A.: *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)
- [41] Felde, I.; Kerekes, G.; Mucsi, A.: *Edzőközegek korszerű vizsgálati módszerei*. Szerk.: Felde, I.; Kerekes, G.; Mucsi, A. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2015. p. 94. (ISBN 978-963-358-083-7)
- [42] Beleznai, R.; Belina, K.; Dogossy, G.; Fülep, D.; Hargitai, H.; Hatos, I.; Kozma, I.; Kovács, J. G.; László, I.; Marosné, B. M.; Németh, A. K.; Pataki, T.; Szávai, Sz.; Szőlősi, Á.; Szűcs, A.; Szűcs, M.; Zsoldos, I.: *Fejezetek a nemfemes anyagok legújabb járműipari kutatási területeiből*. Szerk.: Zsoldos, I. Széchenyi István Egyetem, Győr, 2015. p. 330. (ISBN 978-615-5391-36-1)
- [43] Baptisza, B.; Beleznai, R.; Bézi, Z.; Csitkó, Zs.; Jónás, Sz.; Kelenföldi, B.; Lenkeyné, B. Gy.; Matusz, P.; Rózsahegyi, P.; Sóki, P.; Szávai, Sz.: *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)
- [44] *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.)
- [45] *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)
- [46] *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.)
- [47] Gépgyártás, XLI. évfolyam, 11. szám, 2001. november. p. 40. *A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke oktatóinak publikációi*. (ISSN 1587-4648)
- [48] Gép, LXIII. évfolyam, 11. szám, 2012. p. 80. *Innovációs gépészeti tervezés és technológiák. Innovatív anyagtechnológiák, számítógéppel segített technológiai folyamat-tervezés és folyamatmodellezés tudományos műhely*. (ISSN 0016-8572)
- [49] Gép, LXIV. évfolyam, 8. szám, 2013. p. 64. *AUTOTECH – „Járműipari anyagfejlesztések: célzott alapkutatás az alakíthatóság, hőkezelés és hegeszthetőség témaköreiben” TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029*. [www.autotech.uni-miskolc.hu](http://www.autotech.uni-miskolc.hu) Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet különszáma. (ISSN 0016-8572)
- [50] *60 éves a Mechanikai Technológiai Tanszék 1950-2010*. Felelős szerk.: Török, I. Miskolci Egyetem, Sokszorosító Üzem, Miskolc, 2011. p. 93. (Met. 2011-41/ME.)
- [51] *50 éves a Gépészmérnöki Kar. Prof. Dr. Romvári Pál 70 éves. Mechanikai Technológiai szakkonferencia jubileumi rendezvényei*

- sorozatában. Miskolci Egyetem, Sokszorosító Üzem, Miskolc, 1999. p. 47. (Met. 700-99/ME)
- [52] *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.)
- [53] <https://ojs.uni-miskolc.hu/index.php/multi/issue/view/12>
- [54] <https://www.mtmt.hu/>
- [55] *Zorkóczy Béla Tudományos Emlékkülés, Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszék, Miskolc, 1996. augusztus 30-31. Észak-Magyarországi Gazdaság – Kultúra – Tudomány, 1996. 7-8. p. B1-B28. (ISSN 1219-9540)*
- [56] *Gépjártástechnológia, XL. évfolyam, 8. szám, 2000. augusztus. p. 56. 50 éves a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke 1950-2000. (HU ISSN 0016-8580)*
- [57] *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)*
- [58] *Gép, LXVII. évfolyam, 1-2. szám, 2016. p. 86. 65 éves a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke (ma: Anyagszerkeztani és Anyatechnológiai Intézet) 1950-2015, 55 éves a Hegesztő Szakmérnök-képzés Miskolcon, 40 éve hunyt el Dr. Zorkóczy Béla, tanszékalapító professzor. (ISSN 0016-8572)*
- [59] *50 éves a Hegesztő Szakmérnök-képzés 1961-2011.* Felelős szerk.: Török, I. Miskolci Egyetem, Sokszorosító Üzem, Miskolc, 2011. p. 47. (Met. 2011-40/ME.)
- [60] *Tóth, L.: Prof. emeritus Dr. Romvári Pál 70 éves.* Anyagvizsgálók lapja, 9. évfolyam, 3. szám, 1999. p. 123-125. (ISSN 1215-8410)
- [61] *Tóth, L.: Dr. Romvári Pál 1929-2008.* Anyagvizsgálók lapja, 19. évfolyam, 1. szám, 2009. p. 46-48. (HU ISSN 1787-5072)
- [62] <http://kvt96.lib.uni-miskolc.hu/muzeum/kiallitas/romvari/>
- [63] [https://multiscience.uni-miskolc.hu/files/634/programfuzet\\_2016.pdf](https://multiscience.uni-miskolc.hu/files/634/programfuzet_2016.pdf)
- [64] [https://multiscience.uni-miskolc.hu/files/5142/2019\\_programfuzet.pdf](https://multiscience.uni-miskolc.hu/files/5142/2019_programfuzet.pdf)
- [65] <https://gepesz.uni-miskolc.hu/jubileum>



## 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 2021 februárjában indítja a következő évfolyamát a Nemzetközi Hegesztő Szakirányú Továbbképzési Szakán. A képzés 3 féléves, diplomaterv készítéssel és záróvizsgálóval 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: anyagok és viselkedésük a hegesztés során; 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 képzés, a gyakorlati munka és a diplomaterv konzultálásának díját, valamint a digitális tananyagok átadását. 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 2021. február második fele.

Bemeneti feltétel: gépészmérnöki (főiskolai, BSc, MSc szintű) diploma és két éves gyakorlat.

A képzésre jelentkezni lehet: **Miskolci Egyetem, Mentorius Tudás- és Képzőközpont**

Cím: 3515 Miskolc-Egyetemváros, tel.: 06-46/565-484,

Web: [www.mentorius.hu](http://www.mentorius.hu), e-mail: [mentorius@uni-miskolc.hu](mailto:mentorius@uni-miskolc.hu) és [gasparm@uni-miskolc.hu](mailto:gasparm@uni-miskolc.hu).

Jelentkezési határidő: 2020. november 30.

# A 70 ÉVES ME MECHANIKAI TECHNOLÓGIAI TANSZÉK ÉS JOGUTÓDJA (ME ATI) KUTATÁSI TEVÉKENYSÉGÉNEK ÁTTEKINTÉSE

## OVERVIEW OF THE RESEARCH ACTIVITY OF THE DEPARTMENT OF MECHANICAL TECHNOLOGY ON THE 70<sup>TH</sup> ANNIVERSARY OF ITS FOUNDATION

Tisza Miklós\*

### ABSTRACT

*This paper is a short overview of the research activities of the Department of Mechanical Engineering and Technology on its 70<sup>th</sup> anniversary. The paper summarizes the domestic and international research activity and research cooperation of the Department of Mechanical Technology that was the predecessor of the Institute for Materials Science and Technology.*

### 1. BEVEZETÉS

A Mechanikai Technológiai Tanszék az 1949. évi XXIII. törvénnyel Miskolcon alapított Nehézipari Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán az elsők között létrehozott tanszékek közé tartozik. A tanszék az hazai és nemzetközi szinten is méltán elismert Zorkóczy Béla professzor alapította [1].

A Tanszék kutatási tevékenységét és a hazai és nemzetközi kutatási együttműködésekét négy fő időszakra osztva tekintjük át. E négy időszak kiválasztása, mint minden csoportosítás bizonyos szempontból önkényesnek is tekinthető, de valójában e négy időszak a tanszéki kutatások egyértelműen meghatározó időszakait fedi le, nevezetesen:

1. Az első időszak a Tanszék alapításától az 1960-as évek végéig terjedő időszakot jelenti. Ez az időszak alapvetően a tanszéki kutatási tevékenység kezdetét, az ipari-kutatási kapcsolatok kialakulását jelenti.
2. A második időszakot az 1970 – 1985 közötti időszak képezi: ez az időszak az intenzív ipari kutatási kapcsolatok domináns szakaszaként értékelhető.
3. A harmadik időszakot az 1986 – 2000 közötti időszak jelenti, amelyet a pályázati rendszerű hazai kutatási projektek, nemzetközi kutatások megjelenésével jellemezhetjük.
4. A negyedik időszak a 2000-tól napjainkig terjedő időszakot öleli fel. Ez az időszak a pályázati tevékenység domináns szakaszaként értékelhető, amely

jelentős hazai és nemzetközi kutatási együttműködésekkel, hazai és nemzetközi kutatási projektekkel jellemezhető.

A következőkben e négy időszak részletes elemzésével és az egyes időszakokból néhány kiemelt, jelentősebb kutatás rövid összefoglaló bemutatásával foglalkozunk.

### 2. A FŐBB KUTATÁSI IDŐSZAKOK

#### 2.1. A tanszéki kutatási tevékenység kezdete, az ipari kapcsolatok kialakulása (1950-1969)

Az alcímben jelzett időszakot a tanszékalapító Zorkóczy Béla professzor tanszékvezetői tevékenysége fémjelzi, aki a Tanszék alapításától nyugállományba vonulásáig, 1950 és 1968 között töltötte be ezt a tisztséget.

Zorkóczy professzor kiemelkedő ipari múltja törvényszerűen vezetett az ipari-vállalati kapcsolatok gyors kialakításához is. Zorkóczy professzor már a Tanszék alapításakor egyfajta küldetés nyilatkozatként fogalmazta meg „*a magyar ipar hathatós segítését a tudományos kutatás eszközeivel, a mindennapi ipari problémák megoldásában való tevékeny közreműködést az ipari kutatások révén*” [2].

Ennek alapján a vállalati kutatásokat illetően, rövid idő alatt az akkori legnagyobb hazai üzemek (Csepel Művek, Ganz Mávag, Láng Gépgyár, DIMÁVAG - Diósgyőri Gépgyár, Lenin Kohászati Művek, Ózdi Kohászati Üzemek, Magyar Gördülőcsapágy Művek, Hajdúsági Iparművek, Jászberényi Hűtőgépgyár, Mezőgép Vállalatok, BVK - Borsodi Vegyi Kombinát, TVK – Tiszai Vegyi Kombinát, MÁV Kiterőgyártó Vállalat – Gyöngyös, stb.) lettek a Tanszék napi ipari partnerei. Az ipari vállalati partnerek száma gyorsan elérte a 20-25 rendszeres éves kapcsolatot, amely az évek során tovább gyarapodott és az időszak végére elérte az évenkénti 30-40 ipari megbízási számot. Ezek között voltak tudományos igényű alap- és alkalmazott kutatások, valamint napi ipari problémák megoldására irányuló ipari szerződéses munkák is.

\* *professor emeritus, Miskolci Egyetem Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet*

Ezt az időszakot nemcsak az ipari kutatások számának folyamatos bővülése jellemezte. A kezdetben alig néhány fős tanszékből az első időszak végére a Gépészmérnöki Kar egyik mindmáig meghatározó tanszéke lett, mind a kutatások személyi, mind pedig az infrastrukturális hátterét tekintve. Figyelemre méltó a személyi háttér minőségi fejlődése is, hiszen a kutatási tevékenység erősödésének fontos feltétele volt a tanszéki oktatók, kutatók tudományos előre haladása (bár ez ebben az időszakban még korántsem volt olyan erőteljes követelmény, mint a későbbiekben, különösen napjainkban). A személyi állomány minőségi fejlődését fémjelezték az ebben az időben született egyetemi doktori (2 Dr. techn.) és kandidátusi (4 CSc) értekezések. Név szerint is érdemes megemlíteni a tudományos fokozatszerzésben kiemelkedően szereplő akkori tanszéki munkatársakat:

- Kandidátusi (CSc) címet szereztek
  - 1952: Zorkóczy Béla (Hőkezelés témakörben)
  - 1960: Herendovics Imre (Hegesztés témakörben)
  - 1961: Túri Aladár (Hegesztés témakörben)
  - 1962: Romvári Pál (Hegesztés témakörben)
- Egyetemi doktori (Dr. techn.) címet szereztek:
  - 1966: Béres Lajos (Hegesztés témakörben)
  - 1968: Dénes Miklós (Hegesztés anyagvizsgálata témakörben).

## 2.2. A tanszéki kutatások második időszaka (1970 – 1985)

### 2.2.1. Ipari kapcsolatok

Ezt az időszakot a hazai ipar extenzív fejlődési szakaszaként tekinthetjük, amely a tanszéki ipari kutatások jelentős bővülésével járt: ez az ipari kutatások éves számának jelentős növekedésében is megnyilvánult.

Az ipari kutatások mellett már egyre nagyobb hangsúlyt fordított a Tanszék a tudományos kutatásokra is. Kialakult a lényegében mai napig is fennálló szakcsoport rendszer (előbb 3, majd 4 szakcsoport keretein belül), nevezetesen, a tanszéki kutatások az Anyagvizsgálat, a Hegesztés, a Hőkezelés és a Képlékenyalakítás tématerületein folytak.

A szakcsoport kutatások fő területeit a fentiekben leírt szakcsoport kutatási tématerületekhez kapcsolódóan az alábbi, főbb témakörök jellemezték, amelyek nagyrészt a későbbi időszakokban is meghatározták a szakcsoportok kutatási tevékenységét, nevezetesen:

- az Anyagvizsgálat területén
  - Hagyományos mechanikai anyagvizsgálatok,
  - Törésmechanikai vizsgálatok,
  - Kis- és nagyciklusú fárasztó vizsgálatok,
- a Hegesztés területén
  - A védőgázos hegesztések komplex kutatása, a teljesítmény növelés módszereinek vizsgálata,
  - Felrakó- és javító hegesztések,
  - Melegsziárd acélok hegesztése,

- Alumínium és ötvözeteinek hegesztése,
- a Hőkezelés területén
  - Igénybevétel szerinti felületi réteget biztosító felületötvöző hőkezelések vizsgálata,
  - Szerszámacélok hőkezelésének kutatása,
- a Képlékenyalakítás területén
  - Hagyományos alakító technológiák és szerszámaik fejlesztése
  - Innovatív új alakító technológiák kutatása (pl. Síkfolytatásos darabolás vizsgálata, az Ultrahangos alakítás alakváltozási mechanizmusainak és technológiai megvalósításának kutatása, A szuperképlékeny alakítás elméleti és kísérleti vizsgálata)
  - Ebben az időszakban kezdődtek meg a kutatások a későbbiekben a tanszéken meghatározó területté váló számítógépes tervezési módszerek fejlesztése témakörökben is.

### 2.2.2. Tudományos kutatások, pályázati tevékenység

A tanszéki kutatások második időszakának néhány kiemelt jellemzője:

- Az ipari-vállalkozási tevékenység bővülése mellett egyre nagyobb teret nyertek a különböző pályázati tevékenységgel elnyerhető tudományos kutatások. Ebbe a csoportba tartoznak az ÁMSZ típusú projektek, mint pl.
  - az ÁMSZ 225: A bevont elektródás és a védőgázos ívhegesztés teljesítményének növelése (vezető: Romvári Pál) [3].
  - az OTKA kutatások, amelyek között az első nagyobb projekt az OTKA 1685 volt *A szuperképlékeny alakítás elméleti és kísérleti vizsgálata címmel* (vezető: Tisza Miklós) [4].

Ez utóbbi, alapkutatási témához kapcsolódóan feltétlenül meg kell említeni, hogy a British Council támogatásával már ekkor gyümölcsöző együttműködést folytattunk a UMIST – University of Manchester Institute of Science & Technology intézménnyel a szuperképlékeny alakítás és a diffúziós kötés alkalmazásának fejlesztésében, amely különösen a repülőgépiparban nyer széles alkalmazást, de más területeken is eredményesen alkalmazható.

### 2.2.3. Nemzetközi kutatási együttműködések

Az előzők mellett egyre nagyobb teret nyertek a különféle nemzetközi kutatási kapcsolatok, amelyekre ebben az időszakban elsősorban a volt szocialista országokkal folytatott kutatási együttműködések voltak leginkább jellemzők, bár már ekkor is voltak – még ha jóval szerényebb mértékben is – Nyugat-Európai országokkal megvalósult kutatási együttműködések is.

A legfontosabb kutatási együttműködések a Kelet-Közép Európai országokkal az alábbiak voltak:

- Jelentős kutatási együttműködések, kutatócserék zajlottak a volt Szovjetunió egyetemeivel: Harkov,

Kijev, Moszkva: elsősorban hegesztési témákban; Leningrád, Minszk: képlékenyalakítás; Moszkva, Baumann Intézet: hőkezelési területen

- Lengyelországban: Krakkó, gyakorlatilag a teljes mechanikai technológiai vonal épített ki és tartott fenn kutatási kapcsolatokat; Varsó, elsősorban a képlékenyalakítás és a hegesztés területén voltak kutatási együtt működések;
- Csehszlovákia: Kassa és Pozsony mindkét esetben hegesztési, képlékenyalakítási témákban
- Német nyelvterületen: a kapcsolatok elsősorban a volt NDK egyetemeire korlátozódtak. Hosszú és gyümölcsöző kapcsolatok alakultak ki és működtek a Magdeburgi Egyetemen (Otto von Guericke Universität), amelynek 50 éves jubileumát 2006-ban [5] közösen ünnepeltük a társintézmény oktatóival, kutatóival a Miskolci Egyetemen rendezett Jubileumi Tudományos Ülészak keretében. Hasonlóan eredményes együttműködést valósítottunk meg a Freibergi Egyetemen (TU Bergakademie Freiberg) elsősorban anyagvizsgálati kutatási témákban. Az NDK egyetemei mellett ebben az időszakban ígéretes kapcsolatok kezdtek kialakulni Nyugat-Németországi egyetemekkel (Aachen, Dortmund, Erlangen) elsősorban a képlékenyalakítás területén. Ezek a kapcsolatok később fontos kutatási együttműködések, nemzetközi projektek alapját képezték.
- Hasonlóan intenzív kapcsolatépítés kezdődött angol nyelvterületen is, ebben az időszakban még szinte kizárólag az Egyesült Királyság egyetemeivel (ICL – Imperial College London, UMIST – University of Manchester Institute of Science and Technology, University of Bath). A kapcsolatépítés ebben az időszakban még kizárólag a képlékenyalakítás különböző területeire irányult.

#### 2.2.4. *A tudományos minősítés, tudományos fokozatok szerzése*

Ebben az időszakban a tudományos fokozatok, címek szerzése már a tanszéki kutatások fontos területévé vált

- Poszthumusz akadémiai doktori fokozatot kapott a tanszékalapító Zorkóczy professzor (1976)
- Jelentős számú (18) új egyetemi doktori értekezés született. Egyetemi doktori címet (dr. univ) szereztek ebben az időszakban: Balogh András, Bodorkós Gellért, Farkasné Gábry Gabriella, Frigyük Ernő Gábor, Gál Gaszton, Gál István, Kiss Antal, Komócsin Mihály, Lukács János, Molnár András, Nagy Gyula, Pirkó József, Rácz Pál, Sárvári József, Tisza Miklós, Tóth László, Török Imre, Zolnai Gábor.
- Közülük 3 fő rövid időn belül a műszaki tudomány kandidátusa (CSc) fokozatot is megszerezte, név szerint Komócsin Mihály, Tisza Miklós és Tóth László.

### 2.3. **A tanszéki kutatások harmadik időszaka (1986 – 2000)**

Erre az időszakra jelentős tudományos kutatási paradigmaváltás következett be, amelyhez új tanszéki kutatási filozófiát fogalmaztunk meg. Ennek lényege az alábbiakban foglalható össze: a tanszéki kutatások a felsőoktatási kutatóhely jellegből következően a tanszékhez kapcsolódó tudományterületek minél szélesebb területét fedjék le, ugyanakkor egy-egy szűkebb szakterületen olyan mélységű tudományos kutatómunka folyjon, amely lehetővé teszi, hogy a tanszék az adott területen országosan – lehetőség szerint nemzetközi szinten is – elismert kutatóhelyé váljon.

Ez a koncepció teszi lehetővé a korszerű oktatáshoz, az oktatásfejlesztéshez szükséges átfogó szakmai ismeretek és eredmények rendelkezésre állását, továbbá biztosítja egy viszonylag széles szakmai területre kiterjedő vállalkezési tevékenység feltételeit és egyúttal egy-egy szűkebb területen a tudományos iskolateremtés, az új tudományos eredmények elérésének lehetőségét, a tanszéki oktatók-kutatók részére a tudományos fokozat szerzését is.

Ezt az időszakot már mind a hazai, mind pedig a nemzetközi kutatások terén az egyre erőteljesebb pályázati és projekt tevékenység jellemzi. A hazai kutatások terén az OTKA pályázatok mellett új pályázati formák, típusok jelentek meg, így például az OKKFT (Országos Középtávú Kutatási-Fejlesztési Tárca programok) elnevezésű programokban meghirdetett kutatási programok.

Felsőoktatási-kutatóhelyként fontos változás volt a hazai kutatás-fejlesztés irányítói részéről, hogy több olyan program látott napvilágot, amelyek célzottan a felsőoktatási intézmények kutató tevékenységének támogatására irányultak. Ezek a programok összefoglalóan az ún. Felsőoktatás Fejlesztési Programok voltak, amelyekben belül voltak kimondottan a felsőoktatási kutatást támogató programok (az ún. Felsőoktatási Kutatási Programok – FKP), de voltak olyan programok is, amelyek elsősorban a felsőoktatás valamelyik területének a célzott támogatását valósították meg: ezek voltak az ún. Program Finanszírozási Programok (PFP). Ezek mellett feltétlenül meg kell említeni a különféle OMFB pályázatokat, továbbá az MTA kutatási pályázatokat, valamint a kutatási infrastruktúra fejlesztését megalapozó nagyműszer pályázatokat.

#### 2.3.1. *Ipari kutatások, ipari kapcsolatok*

Ebben az időszakban már több mint 100 ipari partnerrel volt rendszeres kapcsolat, ipari feladatok megoldása, kutatási-fejlesztési tevékenység végzése keretében. A több mint 100 ipari partner közül 30-40 vállalattal volt évente rendszeresen ismétlődő kapcsolat. Kiemelt partnereink között rendszeresen megtaláljuk a következő hazai nagyvállalatokat: Alcoa- KÖFÉM Kft., Bakony Művek, DunaFerr Zrt., Diósgyőri Fogaskerékgyártó Kft., Electrolux Kft, Hajdúsági Iparművek Zrt., Knorr-Bremse Hungary Kft., MAL Rt., Mátrai Erőmű

Zrt., MOL Magyar Olaj és Gázipari Tröszt és különböző leányvállalatai, Protetím Orvosi Műszergyártó Kft., Videoton Zrt. Az előzőkön túlmenően a Tanszék mindig is fontos feladatának tekintette a hazai iparvállalatoknál felmerülő, napi ipari problémák megoldásában való közreműködést is.

### 2.3.2. Tudományos kutatás, pályázati tevékenység

Ezen időszak kutatási tevékenységének jellemzésekor hangsúlyoztuk a pályázati támogatások keretében végzett tudományos kutatások súlyának jelentős növekedését. A felsőoktatás – miután mindig is alulfinanszírozott ágazat volt – saját jól felfogott érdeke, megfelelő színvonalon való túlélése szempontjából is alapvető fontosságú volt a különféle elérhető pályázati források minél magasabb szintű hasznosítása. A Mechanikai Technológiai Tanszék mindig is élenjárt az ezekből a forrásokból megszerezhető kutatási támogatások hasznosításában. A különféle pályázati formákban végzett eredményes kutatómunkát az alábbiakban a támogatási formák szerinti rendszerezésben ismertetjük.

#### 2.3.2.1. OTKA kutatások, pályázatok

Az OTKA pályázati kutatások fontos szerepet töltek és töltenek be az alapkutatás jellegű tanszéki kutatásokban. Ebben az időszakban ez a tevékenység is megerősödött és további tanszéki kutatási területekre terjedt ki. Az alábbiakban a tanszéki szakcsoporti rendszer szerinti csoportosításban mutatjuk be.

- *Anyagvizsgálat* témakörben A fáradásos repedés keletkezésének és terjedésének elemzése, vizsgálati módszerei [6], Szerkezetintegritás [7], Szerkezetoptimalás és szakértői rendszerek alkalmazási lehetőségei különböző mérnöki területeken [8].
- *Hegesztés* területén A repedésterjedés elméleti és kísérleti vizsgálata nagyszilárdságú acélban és hegesztett kötéseiben [9].
- *Képlékenyalakítás* területén A szerkezeti és környezeti szuperképlékenység elméleti vizsgálata és technológiai alkalmazásai [10].

#### 2.3.2.2. OKKFT – Országos Középtávú Kutatási-Fejlesztési Kutatási programok

A már az előző időszakban beindult számítógépes mérnöki módszerek kutatását az OKKFT programokban fejlesztettük tovább: ezek a kutatások alapvetően a képlékenyalakítás területére irányultak.

Ezen a területen ekkorra a Tanszék a hazai kutatások vezető kutatóhelyévé vált. Az ME Mechanikai Technológiai Tanszék vezetésével a BME Mechanikai Technológiai Tanszék (BME MTT) és a Gépipari Technológiai Intézet (GTI) közreműködésével létrejött konzorcium számítógépes szakértői rendszerek egész sorozatát dolgozta ki. A program keretében kidolgozott számítógépes tervezőrendszerek abban az időben egyedülálló újdonságot

jelentettek nemcsak a hazai ipar vonatkozásában, de nemzetközi téren is.

Számos alakítási területre dolgoztunk ki hazai iparvállalatok, sőt külföldi intézmények által is sikeresen alkalmazott programrendszereket. Ezek közül a legfontosabbakat az alábbiakban ismertetjük. Lemezalakító számítógépes technológiai és szerszámtervező rendszer vágólyukasztó, és hajlító műveletek tervezésére [11], Mélyhúzás szakértői rendszer hengersizmetrikus és dobozszzerű alkatrészek technológiai tervezésére [12], Térfo-gatalakító műveletek tervezése szakértői rendszerekkel [13].

A programrendszerek megfelelő működéséhez szükséges volt egy átfogó alapanyag és szerszámanyag adatbázis létrehozása is, amelyet szintén ebben az OKKFT programban dolgoztunk ki [14].

Ehhez az OKKFT programhoz kapcsolódóan indult egy kimondottan oktatásfejlesztési célkitűzések megvalósítását szolgáló alprogram is, amely a G/6.-V. Oktatási alprogram nevet viselte: a Mechanikai Technológiai Tanszék ebben az alprogramban is jelentős szerepet vállalt. A számítógépes tervezés mellett ennek az oktatási alprogramnak fontos része volt az a gyártásautomatizálási program, amelynek keretében a hegesztési laboratóriumban egy 5D pályavezérléssel és forgatásztallal ellátott, REKARD gyártmányú ívhegesztő robot telepítése valósult meg [15].

Ugyancsak ebben az oktatási alprogramban dolgoztunk ki egy alakító gyártócella koncepcióját és a program támogatásával a hazai felsőoktatásban egyedülálló robotizált mintarendszert létesítettünk a Tanszék képlékenyalakító laboratóriumában. A robotizált, alakító gyártócella egy DKS-40 típusú, DIGÉP gyártmányú mechanikus sajtóból, egy hazai gyártású, PRC-1 típusú hengerkoordinátás alakító robotból és a rendszert kiszolgáló FESTO gyártmányú lemezadagoló rendszerből állt és több évtizeden át szolgálta az alakító szakirányos hallgatók képzése mellett bemutató funkciókkal a hazai alakító ipar automatizálási törekvéseinek megvalósítását is [16].

#### 2.3.2.3. Felsőoktatás Fejlesztési Programok

Ez volt az az időszak, amikor a felsőoktatás irányítói is felismerték, hogy a felsőoktatást is kell kutatási programokkal támogatni. Ebben az időszakban a korábbi számítógépes mérnöki tervezés irányok kibővültek az egyre hatékonyabb numerikus modellezés és végeselemes szimuláció kutatásával. Ennek egyik első jelentősebb projektje az FKP-1142 számú, *A végeselemes módszerek alkalmazása a képlékenyalakításban* című kutatási programja volt, amelyet a későbbiekben további hasonló projektek követtek [17].

A Felsőoktatás Fejlesztési Programokban más tanszéki kutatási területek is sikeresen szerepeltek. Az FKFP 1285/1997 számú projekt *Csővezetékek és nyomástartó*



*edények integritásának vizsgálata* címmel szerepelt ebben a sorban [18].

A Felsőoktatás Fejlesztési Programokon belül, külön csoportot képeztek az ún. Program Finanszírozási Programok (PFP), amelyek elsősorban különféle kurzusok és tananyagaik kidolgozását támogatták. E programcsoporton belül kiemelt hangsúlyt kapott az idegen nyelvű szakmai kurzusok és idegen nyelvű tananyagaik kidolgozása. A Mechanikai Technológiai Tanszék ezekben a programokban is sikeresen szerepelt két nagyobb lélegzetű programfinanszírozási projekttel. Az első ilyen projektben (PFP-319) más tanszékek közreműködésével *Az idegen nyelvű szakképzés fejlesztése a Miskolci Egyetemen* címmel dolgoztunk ki idegen nyelvű keretprogramokat [19]. Egy következő programfinanszírozási projektben (PFP-571) a Tanszék technológiai területeihez kapcsolódó idegen nyelvű kurzusok tematikáját és tananyagait dolgoztuk ki *Advanced Materials Processing Technologies* címmel [20].

A Felsőoktatás Fejlesztési Programok között feltétlenül meg kell említeni az Oktatási Minisztérium Oktatási-kutatási nagyműszerek és nagyberendezések korszerűsítése című pályázati programját [21]. Az ME-MTT-1/99 számú projektben, a tanszéki oktatási-kutatási infrastruktúra jelentős megújítását tudtuk végrehajtani. E projekt pénzügyi forrásainak felhasználásával korszerűsítettük a Tanszék technológiai laboratóriumi infrastruktúráját, anyagvizsgáló és anyagtudományi laboratóriumait is.

#### 2.3.2.4. A Magyar Tudományos Akadémia Alkalmazott Kutatási Programja – MTA-AKP

A pályázati tevékenység egy új dimenzióját jelentette a Magyar Tudományos Akadémia által meghirdetett Alkalmazott Kutatási Program (MTA-AKP), amelyen a Tanszék addigra már hazai és nemzetközi szinten is elismert, kiemelt kutatási témájával a *Numerikus modellezés a mechanikai technológiákban* címmel pályáztunk [22].

A sikeres pályázat alapján a Mechanikai Technológiai Tanszéken MTA Akadémiai Kutatóhely létesült, amelynek központi témája – a korábbi eredményekre alapozva – a képlékenyalakítás volt, de a hegesztés és a hőkezelés tématerületei is bekapcsolódtak.

#### 2.3.3. Nemzetközi kapcsolatok, kutatási együttműködések

##### 2.3.3.1. Európai Unió kutatási együttműködések az EU keretprogramokban

Ebben az időszakban a korábbi nemzetközi kapcsolatrendszer jelentősen kibővült: különösen a Nyugat-Európai egyetemekkel, sőt távoli földrészekre lévő egyetemekkel jöttek létre új kapcsolatok és nemzetközi kutatási projektekbe és Európai Unió keretprogramokba is bekapcsolódtunk.

Az 1990-es évektől kezdődően az EU Framework programjaiban is folyamatosan részt vettünk. Ahogy a nemzetközi kapcsolataink egészére is jellemző volt, a Framework

programokban is a képlékenyalakítás volt az első terület. Az EU FP5 keretprogramban a francia Ecole des Mines de Paris, Sophia Antipolis intézmény koordinálásával vettünk részt a *Numerical and Physical Modelling in Materials Processing* (NuPhyMat, ERBDCIPT 740632) projektben a lemez- és térfogat-alakítás numerikus modellezésének vizsgálatával [23].

Egy egészen új nemzetközi kutatási együttműködés valósult meg a *Lifetime management of transit oil and gas pipelines* (LIMATOG, ERB C15CT960715) projektben, amelynek a koordinálását a University of Bradford, UK látta el [24]. E projektben való részvételünket kiválóan megalapozták azok a hazai kutatások, amelyeket a MOL Nyrt és elődállalatai (a Siófoki székhelyű Kőolajvezeték Vállalat, vagy a Földgázszállító Kft.) részére évtizedeken át végeztünk.

Hasonlóan a nemzetközi kutatási programjaink többségéhez, a képlékenyalakítás területére fókuszált az Inco-Copernicus program keretében elnyert *RashTool – Rapid Sheet Metal Product Development Chain by Laser Sintered Prototype Tools* project (1995-1996), amelyben a Friedrich Alexander University of Erlangen, a University of Ljubljana, a Catholic University of Leuven, a Tecos Szlovén Alkalmazott Kutatóintézet, valamint magyar részről a Bay Zoltán Intézet és a Dexter Co. voltak a partnereink [25].

##### 2.3.3.2. Kétoldalú nemzetközi kutatási kapcsolatok

Az Európai Unió projektjei mellett fontos szerepet tölthettek be a kétoldalú nemzetközi kutatási kapcsolatok is, amelyek alapvetően az OMF B Tét pályázati rendszerén belül valósultak meg. Ezek közül különösen kiemelendők az alábbi Tét pályázatok:

- Magyar-Német Tét (1996-97): *AutoForm in Sheet Metal Forming*, Miskolci Egyetem-University of Dortmund, (A tanszéki AutoForm kutatásokat megalapozó együttműködés) [26].
- Magyar-Szlovén Tét (1997-98): *Theoretical, Experimental and Finite Element Evaluation of Sheet Metal Forming Processes*, Miskolci Egyetem-University of Ljubljana [27].
- Magyar-Ukrán Tét (1999-2000): *Gáz- és olaj távvezetékek élettartam menedzselése*, Miskolci Egyetem-Institute of Problems of Strength of Materials, Kiev, amely szorosan kapcsolódott az EU nemzetközi kutatásoknál ismertett LIMATOG projekthez [28].
- Magyar-Német Tét (1998-2001): *Experimental study and finite element adaptation of material laws and yield criteria for modern materials*, Miskolci Egyetem-University of Dortmund [29].
- Magyar-Angol relációban (1995-1997) Creame-HALP: *Curriculum development in interdisciplinary engineering studies and PhD cooperation in mechanical engineering*, University of Bath-University of Miskolc, UK, British-Hungarian project [30].

### 2.3.4. Tudományos minősítés, tudományos fokozatszerzés

Ebben az időszakban jelentősen fokozódott a tudományos fokozatok szerzésének követelménye, amely a tanszéki tudományos fokozatszerzésekben is megmutatkozott.

- Egyetemi doktori (Dr. univ.) fokozatot szerzett 7 fő
  - 1987: Gál Gaszton György (Képlékenyalakítás), Schäffer József (Hőkezelés)
  - 1988: Lenkeyné Biró Gyöngyvér (Anyagvizsgálat), Székely Ferenc (Hegesztés)
  - 1989: Lizák József (Hőkezelés)
  - 1991: Kocsisné Baán Mária (Hőkezelés)
  - 1997: Marosné Berkes Mária (Anyagvizsgálat)
- Kandidátusi fokozatot (CSc) szerzett 4 fő
  - 1983: Pirkó József (Hegesztés)
  - 1988: Nagy Gyula (Anyagvizsgálat)
  - 1994: Lukács János (Anyagvizsgálat)
  - 1995: Lenkeyné Biró Gyöngyvér (Anyagvizsgálat)
- Műszaki tudomány doktora (DSc) címet szerzett 2 fő:
  - 1995: Tisza Miklós (Anyagtudomány, Képlékenyalakítás)
  - 1995: Tóth László (Anyagvizsgálat)

A korábbi tudományos címek mellett, ennek az időszaknak a végére új tudományos fokozatként megjelent az új tudományos képzési forma alapján szerzhető PhD fokozat is. A Miskolci Egyetem a hazai felsőoktatási intézmények között az elsők között vezette be a PhD doktori fokozatszerzés lehetőségét.

A Gépészmérnöki és Informatikai Kar két Doktori Iskolát létesített: a gépészmérnöki tudományok területén a Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskolában, az informatikai tudományokban pedig a Hatvani József Informatikai Tudományok Doktori Iskolában nyílt lehetőség PhD fokozatszerzésre.

A Doktori Iskolák megalapítása új korszakot nyitott a tudományos fokozatszerzésben. Ettől az időszaktól kezdve a korábbi, egyetemi doktori cím (dr. univ.) szerzésének lehetősége megszűnt, helyét és szerepét a PhD doktori fokozat vette át.

A Sályi István Doktori Iskolában a Mechanikai Technológiai Tanszéken doktori képzésben résztvevő Fülöp Tibor (tudományos vezető: Prof. Dr. Tisza Miklós, DSC) szerzett elsőként PhD doktori fokozatot.

Az új PhD doktori képzés első éveiben lehetőség nyílt arra, hogy azok a korábban egyetemi doktori címet szerzett munkatársak, akiknek a doktori értekezés bírálatában egyértelműen megállapításra került, hogy új tudományos eredményt tartalmazott, egy összefoglaló tézisfüzet elkészítésével és megvédésével PhD doktori fokozattá átváltozíthatták az egyetemi doktori címet. Ezzel a lehetőséggel tanszékünkön is több fő élt. Így 1995-ben PhD fokozatot szerzett Rácz Pál, 1996-ban Balogh András és Török Imre, 1997-ben Kocsisné Baán Mária és Frigyk Gábor, majd 1998-ban Marosné Berkes Mária is.

### 2.4. A tanszéki kutatások negyedik időszaka (2001 – 2019)

Ez az időszak a 2000-es évek kezdetétől napjainkig tartó időszakát öleli fel. Ennek az időszaknak a bemutatását is a korábbi időszakokban alkalmazott felépítés szerint ismertetjük.

#### 2.4.1. Ipari kutatások, ipari kapcsolatok

Az ipari kapcsolatokra továbbra is a sokszínűség a jellemző. A korábbi évtizedekben kialakult ipari kapcsolatok többsége továbbra is megmaradt, sőt tovább bővült. Az ipari-kutatási megbízások száma rendszeresen 30-40 évenkénti vállalati kutatás-fejlesztési feladatot jelentett. Továbbra is kiemelt vállalati partnereink voltak az Alcoa-Arconic-KÖFÉM változó névvel, a MOL Magyar Olaj és Gázipari Tröszt és különböző leányvállalatai, de változatlan szakmai tartalommal működő egységei, az Electrolux Kft, a Hajdú Ipari Zrt. és tagvállalatai, a Fortaco Zrt. és még hosszan sorolhatnánk számos kisebb-nagyobb hazai vállalkozással.

A hagyományos ipari partnerek mellett új szint jelentettek az ipari kutatásokban, a hazai iparban is egyre nagyobb szerepet játszó multinacionális vállalatok. Ezek között is külön kiemelés érdemelnek a Magyarországon az 1990-es évektől megjelenő és egyre nagyobb gazdasági jelentőségre szert tevő OEM autóiipari vállalatok és beszállítóik, mint az AUDI, a Mercedes-Benz, a Suzuki, a Hajdu Autótechnika, a GNSZ Tervező Kft.

Új partneri viszonyok jöttek létre a FIEK-Felsőoktatás Ipar Együttműködési Központ keretében, amelyek közül a Bosch, a BorsodChem, az ÉMI vállalatokat, intézeteket kell elsősorban megemlíteni. Fontos régi/új partnerségi viszonyként kell szólnunk a Mátrametal Kft-vel való együttműködésről, amelyet a projekt tevékenységek között fogunk részletesebben tárgyalni.

Új potenciális partneri lehetőségek is keletkeztek: ezek közül elsőként szintén néhány autóiipari vállalatot kell megemlítenünk, amelyekkel ígéretes kapcsolatfelvétel után sikeres együttműködésekre számítnak. Ebből a szempontból a Miskolcon a közelmúltban igen jelentős beruházással létrehozott, 100%-ban magyar tulajdonú Spinto Kft-t, a Mercedes-Benz kecskeméti gyárához közeli, hasonlóan 100%-ban magyar tulajdonú Pata Kft-t, valamint az acélok megalakításában kiemelt szerepet játszó, 100%-ban német tulajdonú, esztergomi székhelyű Kirchoff Automotive Kft-t kell megemlíteni.

#### 2.4.2. Tudományos kutatás, pályázati tevékenység

Ezt az időszakot a pályázati alapú projekt tevékenység domináns időszakának tekinthetjük mind a hazai, mind pedig a nemzetközi kutatások területén. Ez alapvetően a következőkkel indokolható:

- A hazai felsőoktatás irányítói – szemben a nemzetközi tapasztalatokkal és azok egyértelmű eredményeivel – az elmúlt években, évtizedekben a felsőoktatás

közvetlen finanszírozásából egyre nagyobb összegeket vontak ki, következésképpen a felsőoktatási intézmények tevékenységüket megfelelő színvonalon végezni (olykor a fennmaradásukat biztosítani!) csak jelentős pályázati források bevonásával tudják.

- Másrészt a nemzetközi kutatási vérkeringésbe való bekapcsolódás is parancsoló szükségszerűségként igényli a magas szintű pályázati és projekt tevékenységet: ez utóbbi természetesen a tudományos kutatások szempontjából rendkívül pozitív változásként értékelhető.

A kutatások alapvetően az évtizedekkel ezelőtt kialakított szakcsoportos kutatási szerkezetben folynak, de egyre inkább az interdiszciplináris megközelítés érvényesül, amely a kutatások jelentős részében a szakcsoportos rendszeren túlnyúló szervezeti kereteket igényel.

#### 2.4.2.1. OTKA kutatások, pályázatok

Az OTKA pályázati források továbbra is fontos szerepet töltenek be a felsőoktatási kutatóhelyek alapkutatási tevékenységében. Ebben az időszakban is eredményesnek minősíthető a tanszéki OTKA pályázati tevékenység az elnyert és sikeresen teljesített OTKA pályázatokkal, amelyek a következő témaköröket fedték le:

- 1999-2001: A termikusan aktivált folyamatok szerepe a fémek kisciklusú fáradásában (OTKA T 030779) [31].
- 2001-2004: A kis- és a nagyciklusú fáradás és a fáradásos repedésterjedés közötti kapcsolat vizsgálata (OTKA T 034503) [32].
- 2002-2005: Numerikus modellezés és szimuláció az anyagtudományban és az anyagtechnológiákban (OTKA T037437) [33].
- 2004-2008: Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> alapú kerámiák tribológiai és törési viselkedésének vizsgálata és modellezése (OTKA T046467) [34].
- 2005-2009: Fém-polimer hibrid csövek élettartam gazdálkodása (OTKA T049126) [35].
- 2005-2009: Végeselemes modellezés az anyagtudományban és az anyagtechnológiákban (OTKA-NI 61724) [36].

#### 2.4.2.2. Felsőoktatás Fejlesztési Programok

Hasonlóképpen az OTKA pályázatokhoz a Felsőoktatási Fejlesztési Programok is – bár más megnevezésekkel – de tovább folytatódtak és számos sikeres tanszéki projektet jegyezhetünk fel ebben az időszakban is.

- 2000-2002: Kompozit szerkezetek és mechanikai tulajdonságaik optimalizálása (MKM FKFP-0633/2000) [37].
- 2003-2004: Advanced Engineering – Korszerű műszaki ismeretek angolul (Phare HU0008-02-01-0071) [38].
- 2004-2008: Tudásintenzív mechatronikai és logisztikai rendszerek (RET 2004 Regionális Egyetemi Tudásközpontok) [39].
- 2004-2006: Moduláris rendszerű CAD/CAM/FEM kompetencia kurzusok szervezése és lebonyolítása felsőfokú végzettséggel rendelkezők át-, illetve

továbbképzésére (HEFOP-3.3.1.-P.-2004-06-0012 /1.0) [40].

- 2005-2006: Többnyelvű e-learning tananyagok és kurzusok fejlesztése és tesztelése a korszerű mérnöki tudományok területén (Leonardo HU/04/B/F/PP-170029) [41].
- 2005-2006: Anyagtechnológiai folyamatok számítógépes tervezése (HEFOP-3.3.1-P.-2004-06-0039/1.0) [42].

#### 2.4.2.3. Hazai kutatási projektek az Európai Unió támogatásával a 2000-2019 közötti időszakban

Ebben az időszakban, az Európai Unió támogatásával új típusú, gazdaságfejlesztési és társadalmi operatív programok keretében folytattunk fontos kutatásokat az alábbi projektekben:

- 2005-2008: GVOP-3.1.1.-2004-05-0215/3.0 Polimer mátrixú kompozittal erősített hibrid csövek integrálása [43].
- 2011-2013: TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-001 A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági központok fejlesztésére alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein [44].
- 2012-2014: TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-002 JEM – Járműipari felsőoktatási és kutatási együttműködés [45].
- 2013-2015: TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-029 Járműipari anyagfejlesztések: célzott alap kutatás az alakíthatóság, hőkezelés és hegeszthetőség témaköreiben [46].
- 2016-2020: GINOP-2.3.4-15-2016-00004 Korszerű anyagok és intelligens technológiák - FIEK létrehozása a Miskolci Egyetemen [47].
- 2017-2019: GINOP-2.2.1-15-2017-00035 Alumínium csomagolóeszközök (aeroszolos palackok) gyártásának fejlesztése [48].

#### 2.4.3. Nemzetközi kutatási együttműködések

##### 2.4.3.1. EU Framework projektek

- 2001-2004: FP6 ENFORM – Environment Friendly Lubricants in Sheet Metal Forming [49].
- 2007-2011: FP7 NMP2-CT-2004-507331 VIF-CA – Virtual Intelligent Forging [50].
- 2008-2001: FP6 EUREKA-HU-ISMFP-08 NMP2-CT-2005-014026 – Incremental Sheet Metal Forming Processes [51].
- 2017-2019: Horizon H-2020 LoCoMaTech – Low Cost Materials Processing Technologies for Mass Production of Lightweight Vehicles [52].

##### 2.4.3.2. Egyéb nemzetközi projektek

- 2001-2003: AMTT-II.-35 Influence of Surface Treatment on the Mechanical Performance of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> based Ceramics – Influence of Surface and Volume Treatment on Tribological Behaviour of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Ceramics [53].

- 2016-2018: Erasmus+: RO01-KA202-024450 Implementation of International Guidelines for Risk Management in Welding Fabrication [54].

#### 2.4.3.3. Kétoldalú nemzetközi kutatási projektek

A korábbi sikeres TÉT projektek mintájára ebben az időszakban is több kétoldalú együttműködési projektet indítottunk az OMFb támogatásával:

- 1998-2001: Magyar-Japán TÉT *Study of mechanical properties of transition zone in ceramic layered metals* (anyagtudomány)
- 2001-2002: Magyar-Korea TÉT *Inverse Finite Element Determination of Material and Yield Constants of Sheet Materials* (képlékenyalakítás)
- 2004-2005: Magyar-Német TÉT *Enhanced and more reliable FEM codes for analysing sheet metal forming processes* (képlékenyalakítás)
- 2004-2005: Magyar-Szlovén TÉT *Integral Control of Sheet Metal Forming Processes by FEM Simulations* (képlékenyalakítás)

#### 2.4.3.4. Projektektől független kétoldalú nemzetközi kapcsolatok

A projekt jellegű kétoldalú, bilaterális nemzetközi kapcsolatok mellett – részben hasonló projektek továbbvitelével, részben attól függetlenül – számos kétoldalú nemzetközi kapcsolatot ápol az intézet, a tanszék. Ezeket nyelvcsoportonként soroljuk fel:

- Angol nyelvterületi kapcsolatok: University of Birmingham, UK; University of Bath, UK; University of Cambridge, Cambridge, UK; University of Manchester Institute of Science & Technology, Manchester, UK; Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, UK; Ohio State University, Ohio, USA.
- Német nyelvterületi kapcsolatok: University of Erlangen, University of Dortmund, University of Aachen, Otto von Guericke Universität Magdeburg, TU Bergakademie Freiberg, University of Berlin; Technical University of Wien, Montanuniversität Leoben, University of Graz, Ausztria.
- Kétoldalú kapcsolatok a környező országokkal: Technical University of Kosice, IMR, Slovak Academy of Science, Kosice, Szlovákia; Technical University of Cluj-Napoca, Románia; University of Ljubljana, Szlovénia.
- Kétoldalú kapcsolatok egyéb nyelvterületeken: Helsinki University of Technology, Helsinki, Finnország; University of Nagaoka, Nagaoka, Japán; Technical University of Athens, Athén, Görögország; University of Beijing, Peking, Kína; Kyongpook University, Taegu, Korea.

#### 2.4.3.5. Hazai kutatási kapcsolatok, együttműködések

A nemzetközi kapcsolatok mellett a hazai kutatási együttműködések is fontos szerepet játszottak és játszanak

a tanszék, illetve az intézet életében. Ezek közül feltétlen kiemelésre érdemesek az alábbiak:

- Felsőoktatási intézmények: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudományi és Technológiai Tanszék; Széchenyi István Egyetem, Anyagismereti és Járműgyártási Tanszék; Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar; Neumann János Egyetem, Gépipari Automatizálási Műszaki Főiskola.
- Kutatóintézetek: Bay Zoltán Logisztikai és Gyártástechnikai Intézet, Bay-LOGI; Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológiai Intézet, Bay-ATI; MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet, MTA MFA.

#### 2.4.4. A tudományos minősítés, tudományos fokozatok szerzése

Ebben az időszakban már csak PhD fokozatszerzések szerepelnek: eddig ebben az időszakban összesen 15 szerzett PhD fokozatot és további fokozatszerzések vannak rövidtávon is kilátásban. A megszerzett PhD fokozatok a tudományterületek megnevezésével:

- 2003: Szabó Péter (Hegesztés)
- 2003: Kirchfeld Mária (Képlékenyalakítás)
- 2007: Reza Rowshan (Hőkezelés)
- 2011: Kuzsella László (Anyagtudomány)
- 2012: Szávai Szabolcs (Tribológia)
- 2013: Kovács Péter Zoltán (Képlékenyalakítás)
- 2014: Koncsik Zsuzsanna (Kerámiák, Tribológia)
- 2014: Lukács Zsolt (Képlékenyalakítás)
- 2016: Gáspár Marcell (Hegesztés),
- 2016: Meilinger Ákos (Hegesztés)
- 2017: Dobosy Ádám (Hegesztés)
- 2018: Szilágyiné Bíró Andrea (Hőkezelés)
- 2019: Molnár András (Hegesztés)
- 2019: Németh Alexandra (Tribológia)
- 2020: Haidar Faisal Hela Mobark (Hegesztés)

### 3. A TANSZÉKI/INTÉZETI PUBLIKÁCIÓS TEVÉKENYSÉG

Egy kutatóhely kutatási tevékenységét a publikációs tevékenysége is jól jellemzi. A publikációs tevékenység összefoglaló áttekintéséből a 2000-2019 évekre a következő főbb megállapítások tehetők [55].

- Bár az évenkénti publikációk száma időnként jelentősen ingadozik, a tanszék/intézet publikációs intenzitását évi átlagban 70-72 publikációval jellemezhetjük: ebben az éves összesített publikációk száma szerepel, nyelvi és típusbeli megkülönböztetés nélkül.
- A publikációs tevékenység áttekintéséből az is egyértelműen megállapítható, hogy kiugróan magas a publikációk száma azokban az években, amikor egy-egy jelentősebb projekt kutatásai folytak, hiszen ezek eredményei kiváló publikációs lehetőségeket teremtettek.

Az előző pontokban összefoglalt főbb következtetések részletes, diagramokkal alátámasztott bemutatása megtalálható az [56] cikkben.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a közleményben a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszék alapításának 70. évfordulója alkalmából tekintettük át a Tanszék és jogutód intézete, az Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet kutatási tevékenységének történetét a hazai és nemzetközi kutatási együttműködések tükrében. A 70 év története alapvetően az Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet jogelődje, a Mechanikai Technológiai Tanszék keretében megvalósult hazai és nemzetközi kutatásokból és kutatási együttműködések-ből mutat be szemelvényeket a 70 év időrendjét követve.

A cikkben a tanszéki kutatási tevékenység és kutatási együttműködések négy jelentős szakaszát elemeztük külön-külön bemutatva az egyes időszakokban az ipari kutatásokat, ipari kapcsolatokat, a tudományos kutatások főbb mutatóit, az elnyert és megvalósított hazai és nemzetközi projekteket, valamint a tudományos kutatás fontos részét képező tudományos fokozatszerzések eredményeit is.

#### 5. IRODALOM

- [1] Tisza, M.: Dr. Zorkóczy Béla, az iskolateremtő tudós professzor, Gépgyártástechnológia, 1996. (36. évf.) 9-10. sz. 3-6. old.
- [2] Zorkóczy, B.: Tudományos életrajzom, Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, III. sorozat: Gépészet, 1976. 22. kötet. 4. sz., 187-200. old.
- [3] Romvári, P.: A bevont elektródás és a védőgázos ívhegesztés teljesítményének növelése, ÁMSZ 225. projekt, 1980-1984.
- [4] A szuperképlékeny alakítás elméleti és kísérleti vizsgálata, OTKA 1685. alapkutatói projekt, 1981-1985. (Témavezető: Tisza Miklós)
- [5] Dudás, I.-Tisza, M.- Voith, M.: Scientific cooperation between the University of Miskolc and Otto von Guericke Universität Magdeburg, Jubilee Scientific Conference, Miskolc, 2006.
- [6] A fázis repedésterjedés vizsgálati módszerei egy- és többtengelyű igénybevétel esetén, OTKA F-4418, 1992-1994 (Témavezető: Lukács János)
- [7] A terhelési sebesség hatása fémek törésmechanikai jellemzőire, OTKA T 015569, 1995-1997.
- [8] Szerkezetoptimalás és szakértői rendszerek alkalmazási lehetőségei különböző mérnöki területeken, OTKA T 022846, 1997-2000. (Témavezető: Lukács János)
- [9] A repedésterjedés elméleti és kísérleti vizsgálata nagy-szilárdságú acélban és hegesztett kötéseiben, egyszerű és összetett terhelési mód esetén, OTKA T 022020, 1997-2000 (Témavezető: Lukács János)
- [10] A szerkezeti és környezeti szuperképlékenység elméleti vizsgálata és technológiai alkalmazásai, OTKA 1685, 1981-1985. (Témavezető: Tisza Miklós)
- [11] Lemezalakító számítógépes technológiai és szerszámtervező rendszer kidolgozása, OKKFT G-IV. projekt, 1986-1989 (Témavezető: Tisza Miklós).
- [12] Hengeres és négyszögszelvényű alkatrészek számítógépes technológiai tervezésére alkalmas számítógépes programrendszerek kidolgozása, OKKFT G/6-IV. projekt, 1986-1989 (Témavezető: Tisza Miklós).
- [13] Térfogatalakító szakértői rendszer kidolgozása, OKKFT G/6-IV. projekt, 1986-1989 (Témavezető: Tisza Miklós)
- [14] Anyagadatbázis kidolgozása képlékenyalakító technológiák számítógépes tervezéséhez, OKKFT G/6-IV. projekt, 1986-1989 (Témavezető: Lukács János).
- [15] Robottechnika a hegesztésben, OKKFT G/6-V. oktatási alprogram, 1986-1989 (Témavezető: Komócsin Mihály).
- [16] Rugalmas alakító gyártócella koncepciójának kidolgozása és megvalósítása az ME MTT-n, OKKFT G/6-V. oktatási alprogram, 1986-1989 (Témavezető: Tisza Miklós)
- [17] Végeselemes módszerek alkalmazása a mechanikai technológiákban, FKFP 1142 projekt, Miskolci Egyetem, 1997-2000 (Témavezető: Tisza Miklós).
- [18] Csővezetékek és nyomástartó edények integritásának vizsgálata, értékelése, FKFP 1285 projekt, Miskolci Egyetem, 1997-1999 (Témavezető: Lukács János).
- [19] Az idegen nyelvű szakképzés fejlesztése a Miskolci Egyetemen, PFP-319 projekt (Témavezető: Tisza Miklós)
- [20] Advanced Materials Processing Technologies, PFP-571 projekt (Témavezető: Tisza Miklós)
- [21] Oktatási-kutatási nagyműszerek és nagyberendezések működtetési költség támogatása, ME-MTT 1/99, OM Nagyműszer beszerzési pályázat, 1999-2000 (Témavezető: Lukács János).
- [22] Numerikus modellezés a mechanikai technológiákban, Támogatott Akadémiai Kutatóhelyek létrehozása, MTA AKP pályázat, 1996-2006 (Kutatóhely vezető: Tisza Miklós)
- [23] NuPhyMat – Numerical and Physical Modelling of Materials Processing, PECO-NIS FP5 projekt, ERBDCIPT 740632, 1994-1998 (Témavezető: Tisza Miklós)
- [24] Lifetime Management of Transit Oil and Gas Pipelines in CCE/NIS Countries - Development of Knowledge Based Multimedia Software for Lifetime Management, INCO/COPERNICUS LIMATOG ERBIC 15CT960715

- [25] RashTool – Rapid Sheet Metal Product Development Chain-by Laser Sintered Prototype Tools, INCO-Copernicus project, 1995-1996
- [26] AutoForm in Sheet Metal Forming, Magyar-Német Tét projekt, Miskolci Egyetem-University of Dortmund, 1996-1997
- [27] Theoretical, Experimental and Finite Element Evaluation of Sheet Metal Forming Processes, Miskolci Egyetem-University of Ljubljana, Magyar-Szlovén Tét projekt, 1997-1998
- [28] Gáz- és olaj távvezetékek élettartam menedzselése, Magyar-Ukrán Tét projekt, Miskolci Egyetem-Institute of Problems of Strength of Materials, Kiev, 1999-2000
- [29] Experimental study and finite element adaptation of material laws and yield criteria for modern materials, Magyar-Német Tét projekt, Miskolci Egyetem-University of Dortmund 1998-2001
- [30] Curriculum development in interdisciplinary engineering studies and PhD cooperation in mechanical engineering, Creame-HALP, Magyar-Angol bilaterális projekt, British-Hungarian project, Miskolci Egyetem-University of Bath, UK, 1995-1997
- [31] A termikusan aktivált folyamatok szerepe a fémek kisciklusú fáradásában, OTKA T 030779, 1999-2001 (Témavezető: Lukács János)
- [32] A kis- és a nagyciklusú fáradás és a fáradásos repedésterjedés közötti kapcsolat vizsgálata, OTKA T 034503, 2001-2004 (Témavezető: Lukács János)
- [33] Numerikus modellezés és szimuláció az anyagtudományban és az anyagtechnológiákban, OTKA T037437, 2002-2005 (Témavezető: Tisza Miklós)
- [34] Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> alapú kerámiák tribológiai és törési viselkedésének vizsgálata és modellezése, OTKA T046467, 2004-2008 (Témavezető: Marosné Berkes Mária)
- [35] Fém-polimer hibrid csövek élettartam gazdálkodása, OTKA T049126, 2005-2009 (Témavezető: Lukács János)
- [36] Végeselemes modellezés az anyagtudományban és az anyagtechnológiákban, OTKA-NI 61724, 2005-2009 (Témavezető: Tisza Miklós)
- [37] Kompozit szerkezetek és mechanikai tulajdonságaik optimalizálása, MKM FKFP-0633/2000, 2000-2002 (Témavezető: Lukács János)
- [38] Advanced Engineering – Korszerű műszaki ismeretek angolul, Phare HU0008-02-01-0071, 2003-2004 (Témavezető: Kocsisné Baán Mária)
- [39] Tudásintenzív mechatronikai és logisztikai rendszerek, RET 2004 Regionális Egyetemi Tudásközpontok, 2004-2008
- [40] Moduláris rendszerű CAD/CAM/FEM kompetencia kurzusok szervezése és lebonyolítása felsőfokú végzettséggel rendelkezők át-, illetve továbbképzésére, HEFOP-3.3.1.-P.-2004-06-0012/1.0, 2004-2006 (Témavezető: Tisza Miklós)
- [41] Többszövegű e-learning tananyagok és kurzusok fejlesztése és tesztelése a korszerű mérnöki tudományok területén, Leonardo HU/04/B/F/PP-170029, 2005-2006 (Témavezető: Kocsisné Baán Mária)
- [42] Anyagtechnológiai folyamatok számítógépes tervezése, HEFOP-3.3.1.-P.-2004-06-0039/1.0, 2005-2006 (Témavezető: Tisza Miklós)
- [43] Polimer mátrixú kompozittal erősített hibrid csövek integritása, GVOP-3.1.1.-2004-05-0215/3.0, 2005-2008 (Témavezető: Lukács János)
- [44] A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági központok fejlesztésére alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein, TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001, 2011-2013 (Témavezető: Gács Zoltán)
- [45] JEM – Járműipari felsőoktatási és kutatási együttműködés, TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002, 2012-2014 (Témavezető: Czap László)
- [46] Járműipari anyagfejlesztések: célzott alapkutatás az alakíthatóság, hőkezelés és hegeszthetőség témakörében, TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029, 2013-2015 (Témavezető: Tisza Miklós)
- [47] Korszerű anyagok és intelligens technológiák FIEK létrehozása a Miskolci Egyetemen, GINOP-2.3.4-15-2016-00004, 2016-2020 (Témavezető: Lukács János)
- [48] Alumínium csomagolóeszközök (aeroszolos palackok) gyártásának fejlesztése, GINOP-2.2.1-15-2017-00035, 2017-2019 (Témavezető: Lukács Zsolt)
- [49] ENFORM – Environment Friendly Lubricants in Sheet Metal Forming, FP6, 2001-2004 (Témavezető: Tisza Miklós)
- [50] Virtual Intelligent Forging – VIF CA, FP7 NMP2-CT-2004-507331 2007-2011 (Témavezető: Tisza Miklós)
- [51] Incremental Sheet Metal Forming Processes, FP6 EUREKA-HU-ISMFP-08 NMP2-CT-2005-014026, 2008-2001 (Témavezető: Tisza Miklós)
- [52] LoCoMaTech – Low Cost Materials Processing Technologies for Mass Production of Lightweight Vehicles, Horizon H-2020, 2017-2019 (Témavezető: Tisza Miklós)
- [53] Influence of Surface Treatment on the Mechanical Performance of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> based Ceramics – Influence of Surface and Volume Treatment on Tribological Behaviour of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Ceramics, AMTT-II.-35, 2001-2003 (Témavezető: Marosné Berkes Mária)
- [54] Implementation of International Guidelines for Risk Management in Welding Fabrication, Erasmus+: RO01-KA202-024450, 2016-2018 (Témavezető: Lukács János)
- [55] A Mechanikai Technológiai Tanszék publikációs tevékenysége (szerk: Tisza Miklósné), Miskolc, 2014
- [56] Tisza, M.: Hazai és nemzetközi kutatások, kutatási együttműködések a Mechanikai Technológiai Tanszék 70 éves történetében, Multidiszciplináris Tudományok, 9. k. (2019) 4. sz. pp. 19-39.

# A MŰSZAKI/GAZDASÁGI FEJLŐDÉS ÉS A TÁRSADALMI FELELŐSSÉGVÁLLALÁS ELLENTMONDÁSAI

## CONTRADICTIONS OF TECHNICAL/ECONOMICAL DEVELOPMENT AND SOCIAL RESPONSIBILITY

Kolozsváry Zoltán\*, Kocsisné Baán Mária\*\*

### ABSTRACT

*The beginning of the twenty first century witnesses an unprecedented rate in development of science in almost every known field. The sophisticated investigation possibilities, the level and speed of communication and the basic knowledge of the physical world all contribute to an ascending spiral of development. However, a paradox appeared: the basic knowledge on the general level of the society is dropping alarmingly, and the concept of sustainable development is less and less understood by large groups of people. The race for profit and power is increasingly dominate almost any area of human activities and may lead to catastrophic consequences by destroying our environment.*

sorban a tömeges pusztításra, a környezetünk drasztikus megsemmisítésére, a Föld tartalékainak egyre gyorsuló kimerítésére, a mértéktelen pazarlásra. A "National Geography egyik utolsó száma is ennek a kérdésnek szenteli tartalmát [1]. Tulajdonképpen ez, valamint a Michael Ashby könyve [2] indította a gondolatot, hogy próbáljuk meg ezt a kérdést kritikusabb módon felvetni, és próbáljunk meg egy olyan hangulat kialakításához szerényen hozzájárulni, amely még időben elvezethet a megsemmisülés megakadályozásához. Természetesen tisztában vagyunk azzal, hogy a változtatások radikális szemléletváltást kell, hogy eredményezzenek és ehhez globális összefogás kell. Úgy éreztük azonban, hogy minden, szerény kis lépés is hozzájárulhat az "EGÉSZhez" és meg kell próbálnunk átfogó társadalmi változásokat inspirálni globális szinten.

### 1. BEVEZETÉS

Cikkünk gondolatát némi történelmi jellegű olvasmányok hozták felszínre. Mióta az emberi történelmet ismerjük a változás tulajdonképpen állandó volt, kisebb-nagyobb sebességgel és kihatásokkal. A több ezer éves egyiptomi kultúrától, a kínain keresztül az ipari forradalomig a változás szükségessége és sebessége meghatározta az emberiség történetét, kisebb vagy nagyobb mértékben. Ezt mindannyian nemcsak elfogadtuk, hanem természetesnek tartottuk, a fejlődés természetes gyakorlatának. A múlt század vége, a XXI. század eleje azonban olyan látványos változásokat hozott, amelyek nem csak el kell gondoloznunk, hanem gyors és határozott válaszokra kényszerítenek a teljes emberiség szintjén, ha nem akarjuk globális jövőnket veszélyesen kockáztatni. Az eddigi váltások, beleértve az ipari forradalmat is, kevésbé változtatták meg az emberi élet mibenlétét és perspektíváját, hiszen minden változás hatása bizonyos fokig korlátozott volt. Most először találjuk szembe magunkkal egy olyan szintű és ütemű változás kihívásaival, amely radikális változásokat kell, hogy kiprovokáljon az emberiség közös magatartásából, az értékrendünkkel és a környezetünkkel kapcsolatos társadalmi magatartásunkból. Gondolnunk kell első-

### 2. A TÁRSADALMI ÉRTÉKEK ÉS A KÖRNYEZET VESZÉLYEZTETETTSÉGÉNEK GLOBALITÁSA

Mondanivalónkat legcélszerűbben Albert Einstein, egyik – 1939-ben, a New York-i világi kiállításon mondott – mondatával kell kezdenünk. A világi kiállítás mottója: "The World tomorrow" (A Világ holnap, avagy magyarul talán jobban hangzik: „a Holnap Világa”). Ez volt az első olyan nagyszabású esemény, ahol – a szakadó eső dacára – mintegy 200 000 ember hallgatta meg és láthatta azon újdonságokat, amelyek az emberiség sorsának látványos javítására voltak hivatottak. Idézve Einstein-t „A tudományban, akárcsak a művészetben a feladatot teljességében és valóságában kell teljesítenünk. Eredményei nem csak a felületen kell, hogy hassanak, hanem valóságukban kell eljutniuk az emberek tudatának mélyére” [1]. Ez volt mindig – és maradt ma is – a cél, hogy lefordítsuk a "szakmai zsargont" a mindennapok nyelvezetére..., hogy képesek legyünk ezeket szívünkbe fogadni és személyesen felfogni ezt a sok csodát, és megtalálnunk utunkat és helyünket a Világmindenségben.

\* ügyvezető igazgató, Plasmaterm Rt., egyetemi tanár, Sapientia EMTE Marosvásárhelyi Kara, a Miskolci Egyetem díszdoktora

\*\* ny. egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezteti és Anyagtechnológiai Intézet

Napjaink fejlődéséről beszélni nem kevésbé bonyolult, mint 80 évvel ezelőtt, és – sajnos – egyáltalán nem egyértelmű. Mint már több korábbi tanulmányban kifejtésre került [3],[4], az adatfeldolgozás és adatátvitel, valamint számos egyéb radikális újdonság hihetetlen fejlődése nem érte felkészülten a társadalmat és egy jelentős időrés jelent meg a tudomány és a társadalom között. Sajnálatos módon a fokozott fejlődési ritmus – úgy tűnik – nem hozott számottevő eredményt az emberiség társadalmi fejlődésében. Túl sok a megoldatlan vagy feldolgozatlan ellentmondás és ezek kezelésére sem a társadalom, sem pedig a politikai hangadók nincsenek igazán felkészülve.

Miközben a digitalizáció az ismeretek széles köréhez való hozzáférést rendkívüli mértékben megkönnyítette, a valós képzetlenség egyre nagyobb mértéket ölt. A robotizálás és nagyfokú automatizálás láthatólag csökkentik a széles munkástömegek szakmai felkészültségét és ezzel jelentősen hozzájárulhatnak a társadalmi szint általános csökkenéséhez. Lassanként a magas szakmai képzettség egyre kevésbé értékelt, és egy olyan közhangulat nyer hitelt, hogy a gép mindent tud, az ember csak működteti a gépet! Egy lépéssel továbbmenve a tanulás egyre inkább felületessé válik a nagy tömegek számára, azaz az általános szint sajnálatosan zuhan.

A másik oldalon ugyanakkor megkülönböztethető egy igen magasán képzett, szűk csoport, amely hihetetlen szintet ér el a tudomány minden területén. És itt ismét van egy probléma: nem elég egy adott területen igen magas szakosított képzést szereznünk, ha nem vagyunk tisztában azzal, hogy ennek a szakterületnek milyen hatásai vannak az általános emberi fejlődésre és környezetünkre. Rengeteg példát hozhatnánk fel, de elég a járművekre gondolnunk, hogy megértsük a fejlődés visszasságait.

Az emberiséget a Föld többi lakójától a kultúrája különbözteti meg, amely több ezer éves fejlődés eredménye és amelyet nem pótolhat semmilyen digitális fejlődés. Nagyon röviden összefoglalva az a benyomás jelenik meg egyre élesebben, hogy a gyorsuló műszaki és tudományos fejlődés nem csak hogy nem von magával egy gyorsuló társadalmi előrelépést, hanem ennek épp ellenkezője igaz az általános műveltségi szint drasztikusan csökken, és mindinkább egy egyre szűkebb rétegre korlátozódik.

A társadalmi értékek devalvációja, a kultúra elsivatosodása csak az egyik aspektusa a fejlődéssel járó ellentmondások körének. A másik aspektus, amelyről sohasem feledkezhetünk meg: *a környezetünk*, és ez hosszabb távon nemcsak az emberiségre veszélyes, hanem az egész Föld jövőjét veszélyezteti. Bármennyire is közhelynek számít, valós veszély környezetünk egyre gyorsuló ütemben való le-rombolása, beleértve a biodiverzitást is. Elég csak arra gondolnunk, hogy szakvélemények szerint még a mi életünkben eltűnhet a Amazonas őserdeje, amely a Föld legnagyobb oxigén-

gyára. Az alapvető lételemeink víz, levegő szűkössége sajnos egyre inkább növekvő veszély, mely nem csak Dél Amerikát, de Afrikát, Ázsiát, Ausztráliát sőt Európát is egyaránt érinti.

Fel kell tennünk a kérdést, mi a magyarázata ennek az igen aggasztó helyzetnek? Erre nehéz egyértelmű választ találnunk, de semmiképp sem állunk messze attól a tényről, hogy a legerősebb hajtóerő a korlátlan kapzsiság és az egyre növekvő törekvés a pénz korlátlan hatalmára. Lassanként kijelenthetjük, hogy az egyedüli valós hajtóerő a társadalomban a korlátlan hatalom és az egyre több, nagyobb felhalmozott vagyon.

Környezetünk lerombolásáról szólva fontos beszélünk a biodiverzitás egyre aggasztóbb csökkenéséről. Hangsúlyozni szeretnénk, hogy nem tekintjük magunkat a tárgykör szakembereinek, csak valakinek, akinek fontos a környezete, valakinek, kinek Isten megadta a lehetőséget, hogy meglehetősen átfogó képet kapjon a Föld ökoszisztémájáról Ausztráliától az Északi Sarkig, és akinek még megadatott, hogy láthassa az Amazonas őserdejét épp úgy, mint a Serengeti világát, és mindez azt alakította ki bennünk, hogy természeti világunk, teljes biodiverzitásával legnagyobb értékünk, amelyért minden lehető, esetenként a szinte lehetlent is meg kell tennünk.

Hangsúlyozni szeretnénk, hogy nem óhajunk egy lehangoló, pesszimista képet festeni, csak szeretnénk tudatosítani, hogy igen fontos szerep vár ránk, ha valóban szeretnénk egy fejlett, tudatos és jövőbe látó társadalmat építeni, amely környezetét nem elhanyagolhatóan vagy rosszabb esetben csakis kizsákmányolhatóan tekinti, hanem létünk szerves részének, amely nélkül tehát legfennebb robotok lehetünk és tönkre tehetjük élőközegünket. ***Feladatunk alapvető része tehát a kérdés, hogy mit kell tennünk ennek elkerülésére, egy kiegyensúlyozottabb jövő megteremtésére – nem elfelejtve, hogy időnk egyre fogy!***

Önmagától tevődik fel a kérdés: le kell-e fékeznünk a műszaki haladást ...? ***Semmiképpen sem! A válasz egyértelmű NEM!***

Csak a társadalmi szemléletet kellene megváltoztatnunk, hogy az anyagi értékek helyett a környezeti értékre is fordítson figyelmet, hogy az egyedüli érték-mérő ne a pénz legyen, hanem ***a környezet fenntartása és a valós szellemi érték, amelynek megteremtésére a Föld minden lényé közül egyedül az ember képes.*** Persze – magunk is látjuk – mindez meglehetősen utópisztikus, de nem hisszük, hogy szükségessége vitatható lenne!

Úgy érzük, két alapvető pólusról kell elindulnunk, melyek közül egyik sem könnyű, de a nehezebb mindenképpen a társadalmi értékrend megváltoztatása, vagy legalábbis némi korrekciója. Amivel kezdenünk kell, az úgy gondoljuk alapvető fontosságú és nem korlátozódhat csak a fejlett országokra. Bizonyára senkit sem lep meg, hogy ez elsősorban az edukáció, a ***nevelés.*** A



nevelés... minden szinten, az óvodától kezdve. A nevelés, amely semmiképpen sem jelentheti a mobiltelefonok nyomkodását egész kis gyerekkortól, sem a televízió szemlélését, hanem a gyerekeknek egy kiegyensúlyozott rávezetését a felnőttek által a világ értékrendjére és benne a mi egyéni és kollektív szerepünkre és feladatainkra. Persze mindez szlogennek tűnik, de ha kissé utána gondolunk, rá kell jönnünk, hogy nincs más megoldás, még ha ez bonyolult és hosszú időt vesz is igénybe, ugyanakkor számtalan nehézséggel találkozunk szembe, mind az egyes emberek, mind pedig az egyes államok szintjén! *A Földünk megmentése élehetővé tételének hosszabb távon nincs alternatívája. Újra kell ültetnünk a kivágott erdőket, meg kell ismét teremtenünk az élhető világot Isten minden teremtménye számára, még akkor is, ha esetleg szükséges lemondani némi kényelméről a társadalom egy-egy részének.*

### 3. VALÓS PROBLÉMÁK ÉS ÁLMEGOLDÁSOK A „ZÖLD” POLITIKÁBAN

A továbbiakban megpróbálunk egy-két példát idézni mondanivalónk érthetőbbé tétele érdekében.

Kezdjük mindjárt egy napjainkban igen sokat emlegetett témával, a járművek, pontosabban az autók CO<sub>2</sub> kibocsájtásának kérdésével. Egyre előnyösebbnek tekintik az elektromos meghajtást a belsőégésű motorok helyett. De mi is a valós helyzet e témával kapcsolatban? Kétségkívül, a villamos meghajtásnak nincs káros, szennyező kibocsátása! De.... Ha egy alaposabb elemzést végzünk, néhány dolog azonnal szembetűnik. Kezdjük mindjárt az akkumulátorral. Jól ismert, hogy a villamos rendszereknek egyik legérzékenyebb pontja az energia tárolása. A Lithium akkumulátorok nyersanyaga egyike a nehezen hozzáférhető fémeknek, (Dod Frank act) arról nem is beszélve, hogy előállításuk mennyire energiaigényes, azaz szennyező. Jól ismert, hogy ha a Szaharának csak 15%-át borítanánk solar panelekkel (csak a mai szinten és nem eljövendő látványosabb megoldásokkal), akkor a világ teljes energiaszükségletét biztosítani tudnánk napenergiából... de nem tudjuk megfelelő hatékonysággal szállítani és – főleg – tárolni. Nemrégiben egy hamburgi konferencián egyértelműen kiderült, hogy az elektromos meghajtás - még ha el is tekintünk a Li akkumulátoroktól, a gyártás során sokkal nagyobb mennyiségű CO<sub>2</sub> kibocsájtású, mint a jelenlegi diesel autók! Nem árt felidézni, hogy a hetvenes évek kőolajválsága miatt, majd az ezredforduló idején az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését remélve a bioüzemanyagokra való áttérést szorgalmazták. Mint bebizonyosodott, a karbonsemlegesség be nem váltott reménye mellett az elképzelés jelentős veszélyt jelentett azáltal is, ha földterületeket vonnak el az élelmiszerek termelésétől, és/vagy újabb területeket

vonnak be a termelésbe az esőerők kiirtásával, csökkentve ezzel a biodiverzitást is. Mai tudásunk szerint legjobb megoldásnak a hidrogén cella tűnik, azaz a hidrogén meghajtás, amely szennyező anyagot egyáltalán nem bocsájt ki. További előnye lehet, hogy az autókön kívül igen megbízható és jó teljesítményű hajtóanyag a repülőgépek számára is, amely az egyre növekvő légiforgalom mellett egyáltalán nem elhanyagolható tényező. A hidrogén cella technológiája jól ismert, további fejlesztése és alkalmazása nagy valószínűséggel nem ütközik különös nehézségbe.

Az üzemanyag kérdésénél azonban van más, kritikussabb probléma is: ez az ivóvíz kérdése. Senki előtt sem lehet kétséges, hogy az ivóvíz az élet egyik alapeleme. Már ma is komoly gondok adódnak a világ számtalan pontján és ezek a problémák egyre csak sokasodnak a népesség növekedésével. Ismert eljárás az ivóvíz tenger vízből történő gyártása, de ez is csak részleges megoldás és nem biztosíthatjuk a Föld teljes lakosságának a vízszükségletét. Tovább haladva az élelmiszerláncban, a problémák csak sokasodnak. Számtalan régiójában a Földnek igen nehéz az élelmiszer biztosítása a lakosság számára. Ez a kérdés is egyszerre tudományos, műszaki, de elsősorban politikai kérdés.

### 4. MÉRNÖKI ETIKA

Minden emberi tevékenység esetén, de kiváltképp az értelmiségi hivatásokat illetően magától értetődőnek kell lennie, hogy munkánk eredményeiért és hatásaiért felelősséggel tartozunk. A hétköznapi életben érthető okokból leginkább az orvosokon kérjük számon a jól ismert hippokratészi esküben foglalt elvárások betartását. A mérnöki diplomájuk átvételét megelőzően ifjú mérnökeink is esküt tesznek, ez azonban inkább csak egy ünnepi esemény kellékeként van jelen életünkben, mintsem mindennapi gyakorlatuk irányítójaként.

A mérnöki munka sok esetben komoly, életünket, biztonságunkat befolyásoló hatásokkal járhat, de többnyire csak katasztrofális események esetén vetjük fel a felelősség kérdését, s sok esetben akkor sem vezet eredményre annak egyértelmű megállapítása. Ennek okai közé sorolható, hogy a mérnöki tevékenység többnyire olyan csapatmunka, ahol az egyéni döntések kevésbé dominálnak, a folyamatok komplexitása és a hatások jelentkezésének jelentős időtávja szintén a felelősség megállapítását, egyénekre való lebontását nehezíti. Annál inkább fontos lenne, hogy egy belső, lelkiismereti vezérlés által folyamatosan érvényesülő iránymutatásként, legyen jelen minden mérnök tevékenységében az a néhány jóllehet nagyon általánosan megfogalmazott elvárás, amelyet a mérnöki fogadalom szövege [5] így tartalmaz:

*„...védem az emberek biztonságát, egészségét, a természeti és az épített környezetet... Szakmai tevékeny-*

**ségemet mindig... a szakmai etika szabályainak betartásával végzem.”**

El kellene azonban gondolkodnunk azon, vajon eleget és eléggé hitelesen hallanak-e hallgatónk a szakmai etika kérdéseiről, sőt, a gyakorló mérnökök kapnak-e útmutatót a változó világban felmerülő jelenségekről. Etikailag kifogásolható-e, ha a gazdasági érdekek, a termékeik iránti kereslet fokozása érdekében pl. a garanciális időszakot alig meghaladó élettartamra méreteznek egyes alkatrészeket a háztartási vagy irodai berendezéseinkben, majd amikor szervízhez fordulunk, kiderül, hogy nem javítható, dobjuk el, vegyünk újat helyette. Hasonlóan csökkenthető lenne a környezeti terhelés fokozottabb, ésszerűbb szabványosítással. Vajon hány, a jelenlegi berendezésekhez már használhatatlan mobil-töltő, laptop-tápegység kerül kidobásra, mi indokolja, hogy a nyomtatókhoz még az azonos gyártótól származó kellékanyagok sem kompatibilisek egymással, s itt is folyamatosan az újak vásárlására ösztönöznek, az utántöltött tonerek veszélyeire való figyelmeztetéssel. A mindennapi példákban felsoroltakra persze legyinthetünk de a magyar közmondás szerint „sok kicsi sokra megy”, s ha mindennapi rutinná válik a pazarlás, összességében ezzel még akkor is komoly környezeti károkat okozhatunk, ha többé-kevésbé megszervezzük a hulladékok szelektív gyűjtését és bizonyos mértékű újrahasznosítását.

A mérnökképző felsőoktatási intézményeknek, csak úgy, mint a szakmai szervezeteknek véleményünk szerint több figyelmet kellene fordítaniuk a szakmai etika kérdéseinek oktatására és elemzésére, s olyan példaképeket kell állítaniuk a jövő mérnökei elé, mint például Pattantyús Ábrahám Géza, aki a következőkben fogalmazta meg a mérnökökkel szembeni elvárásokat: „*A mérnöki hivatás felelősségteljes gyakorlásához az alapos szaktudáson felül széles látókörre, erkölcsi érzékkel párosult jellemerőre és felelősségtudásra van szükség*” [6].

## **5. A PARADIGMAVÁLTÁS SZÜKSÉGESSÉGE AZ OKTATÁSBAN**

Visszatérve a nevelés kérdésre, meggyőződésünk, hogy alapjaiban igényel felülvizsgálatot, elsősorban nem az oktatott tananyagot, hanem a szemléletet illetően. A ma emberére az a hozzáállás jellemző, hogy önmagát a természet legfelsőbb szintjére helyezi, amolyan “mindenhatónak” tekinti, aki bármit megtehet a természettel szemben, minden következmény nélkül. Csak a legutóbbi időben kezdenek megjelenni olyan nézetek is, hogy az ember valóban felelős a Föld sorsáért és a természetnek a hasznoszerzésből fakadó korlátlan kizsákmányolása hosszabb távon nem csak az emberiség, de a Föld jövőjét is veszélyezteti. Nem elég megtanulnunk a fizika, matematika és kémia törvényeit, hanem elsősor-

ban azt kell megtanulnunk, hogy ezek milyen kölcsönhatásokat mutatnak és összességükben milyen hatást gyakorolnak hosszú távon, és természetesen globálisan. Ezért szükséges a nevelést igen korán kezdeni, hogy mikor már konkrétan a tantárgyakkal találja szemben magát az “emberpalánta”, már ne lehessen kétséges a “miért” megközelítése.

A nevelés hangsúlyozásával alapvető fontosságú megérteni, **hogy a fejlődés és a környezet nem elválasztható tényezők, ezek igen komplex és bonyolult ok és okozat rendszerben függenek össze, amely magában foglalja a gazdasági, ökológiai, technológiai és társadalmi tényezőket (nem elhanyagolva a politikaiakat sem!)** Szükséges felébrednünk, hogy tennünk kell valamit, hogy figyelmeztetnünk, nevelnünk kell gyerekeinket, hogy olyan kérdések várhatják, amelyekkel mi nem kellett, hogy találkozzunk. Nem sétálhatunk alvajáróként egy klíma- vagy nukleáris katasztrófába, amelyet nem lehet visszafordítani mielőtt mindannyiunkat megsemmisítene, embert és a Föld egyéb értékeit.

Visszatérve a korábbi kijelentésre, igen könnyen érthető, hogy a nevelés alapfontosságú a fenti célok eléréséhez. Meg kell a társadalom eljövendő alkotóival értetnünk, hogy a Föld és annak minden összetevője egy komplex, de nem elhanyagolható összefüggésrendszerben létezik, amelyből kilépni csak a totális rombolás árán lehet!

Aligha vonható kétségbe, hogy a nevelés nem az egyetemen, nem is a középiskolában kezdődik, hanem az első lépéseknél. Ez azonban nem mentesíti a felsőoktatást az alól a feladat és felelősség alól, hogy megváltozott szerepkörében az ismeretek átadása helyett kritikai gondolkodásra neveljen, szemléletet formáljon. Jóllehet a gyermekkor rendkívül fontos a szocializáció folyamatában, de épp napjainkban láthatjuk, hogy felnőtt emberek szemléletmódját is milyen hatékony kommunikációs eszközökkel tudja befolyásolni – sajnos az esetek nem kis százalékában rossz irányba – a tömegkommunikáció és a közösségi média. Fel kell vennünk a kesztyűt, és a tekintély elefántcsont tornyába való visszahúzódás helyett azon a nyelven kell kommunikálnunk diákjainkkal, amelyet elfogadnak és megértenek. Álszent és hisztérikus indulatkeltés helyett józan érvekkel, jól átlátható, vizuálisan gyorsan felfogható tényadatokkal, tudományos érvekkel kell közvetítenünk feléjük mondanivalónkat. És ami még ennél is fontosabb, példamutatással. És itt fontosnak tartjuk egy, a mérnökképzésre speciálisan vonatkozó véleményünk kifejtését. A mérnöki munka eltérő szemléletmódot igényel a tudományos tevékenységhez képest. A tudományban az egyre nagyobb fokú specializáció jelenti a hatékonyság alapját, és az újdonság bír elsődleges értékkel. A mérnök feladata ezzel szemben, hogy valamennyi, ismert és innovatív tudományos elmélet és technológiai megoldás birtokában megtalálja azt az optimumot, amely egy adott feladat megoldására szolgálhat.

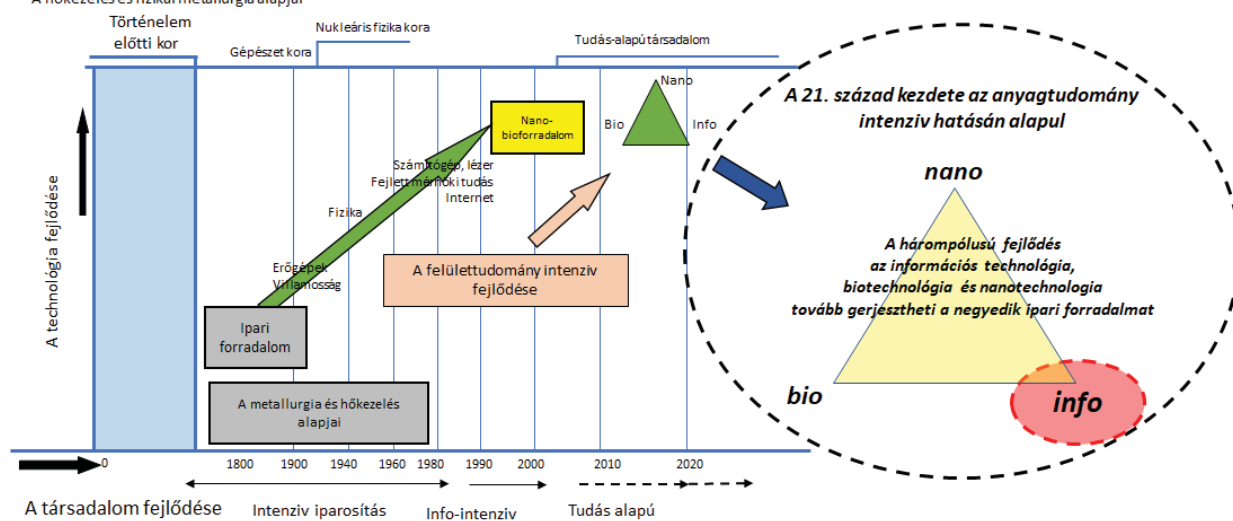
Kutatóként mondhatjuk: ez a kérdés nem tartozik az érdeklődési körömbé/a kutatási céljaim közé. De mérnök-ként semmire sem mondhatjuk, hogy ez nem az én szakterületem/érdeklődési körömhöz tartozó kérdés, ha egyszer az vezethet a jobb megoldáshoz. Felvetődik ugyanakkor a kérdés: tudunk-e megfelelő szemléletet formálni és példát mutatni diákjainknak, ha minket oktatókat az egységes felsőoktatási követelmény-rendszer a tudományos kutató szerepkörébe irányít, a gyakorló mérnöktől eltérő attitűdökkel? A felsőoktatási karrier szempontjából egy briliáns mérnöki megoldást kevésbé értékelünk, mint egy akár hasznavethetetlen, de újdonságnak számító tudományos eredményt, és az arra épülő tudomány-metriai mutatókat. Az ipari hasznosíthatóságot célzó kutatásfejlesztés eredménye, a mérnöki tudás versenyelőnyt kell jelentsen, akkor pedig kizárt, hogy publikációk formájában a K+F munkában részt vevők szakmai

karrierjét alapozza meg/építse tovább. Ily módon annak ellenére, hogy tanulási céljainkat gyakorlatorientált jelzővel illetjük hallgatónkba a tudományos kutató szemléletmódját oltjuk be, miközben kevesebb mint tíz százalékuk fog csak ilyen területen dolgozni. A duális képzési forma elvileg kedvező hatással lehetne erre, de ezzel sajnos tovább fokozzuk az amúgy is túlzott specializációt, mely már BSc szinten is megjelenik és a stabil, megalapozott általános mérnöki alapismereteket szorítja ki a tanulmányi programból. Tapasztalatunk szerint nagyon kevés sikerrel jártak azok a törekvések is, hogy több, ipari gyakorlattal rendelkező sikeres mérnök oktatson egyetemünk mérnöki karain. A műszaki felsőoktatásban sürgetően aktuálissá vált paradigmaváltás szükségessége nem csak hazai jelenség, ennek jelentőségére számos nemzetközi szervezet és szakértő felhívta a figyelmet [7],[8].

## 6. AZ ENERGIA ÉS A KÖRNYEZET ÖSSZEFÜGGÉSEI AZ ANYAGTUDOMÁNY, A HŐ- ÉS FELÜLETKEZELÉS SZEMSZÖGÉBŐL

A korábbi fejezetekben felvázolt problémák jelentős részben összefüggenek az ipari tevékenységekkel és megoldásuk is mérnöki tudást és közreműködést igényel.

A hőkezelés és fizikai metallurgia alapjai



1. ábra A társadalom és műszaki haladás összefüggései anyagtudományi megközelítésben

Külön figyelmet érdemel a "triád", amelyet az anyagtudomány határoz meg: a "nano-", "info-" és "bioanyagok" és amely voltaképpen korunk meghatározó tényezője. Nem túlzás kijelentnünk, hogy az utolsó négy évtized az anyagtudomány döntő hatására alakult a jelenlegi módon. Ma már közhelynek számít, ha kijelentjük, hogy a XX. század a fizika százada volt, gondoljunk csak Einstein relativitás elméletére, a kvantumfizika tételeire és a nukleáris energia felismerésére és felhasználására, bármennyire is vitatható annak iránya és módja. Csak remélni tudjuk, hogy egy ilyen ütemű fejlődés

rádöbbsenti az emberiséget, hogy a túlélésünk esélye a józan irányváltásban rejlik, amely megpróbálja helyreállítani a természet egyensúlyát és a Föld biodiverzitását. Természetesen az anyagtudomány jelentős szerepet játszhat egy ilyen irányváltásban, mivel az egyre performánsabb és célirányos anyagfejlesztések lehetőséget teremtenek a természetes anyagok megőrzésére és azok újrahaznosítására.

Voltaképpen röviden megfogalmazva az emberiség jövőjének kulskérdései közé tartozik az energia és környezet összefüggése. A hő- és felületkezelők szak-

mai világszervezete, az IFHTSE (International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering) "GLOBAL 21" előadás sorozatában [9] az alábbiakban foglalta össze néhány döntően fontos kérdést:

- Egyre növekvő igény az energia felhasználását illetően - de egyben egyre növekvő a veszteség is!
- Az emberi tevékenységek egyre hangsúlyozottabb méretei (az erdők kiirtása, növekvő földművelés, növekvő szállítási hálózat, urbanizáció és intenzív ipari növekedés).

Természetes, hogy mindez egyre növeli az energia iránti éhséget és annak minden mellékhatását. Ma a legtöbb emlegetett kérdés a káros szennyező anyagok kibocsájtásának mértéke, sokkal hangsúlyozottabban, mint maga az energia-kérdés. Közel 50 évvel ezelőtt (1976) Reid A. Bryson a klímakérdést tanulmányozva felhívta a figyelmet egy lehetséges új jégkorszak veszélyére. Azonos eredményre jutottak e kérdésben Hubert H.Lamb (East Anglia University) és Derek Winstranley is (Kanada), hogy csak egy néhány nevet említsünk. Ez annál érdekesebb, hogy abban az időben még igen kevés figyelmet fordítottak a klímaváltozásra, valószínűleg, mert annak jelei nem voltak annyira szembetűnőek, mint ma! Voltaképpen csak az utóbbi években vált egyre nyilvánvalóbbá a politikuskok és a nagy közönség számára, hogy a figyelmeztető jelek egyre gyarapodnak és egyre súlyosbodnak. (Beleértve az árvizeket, hurrikánokat, a sarki jégtakaró ijesztő ritmusú olvadását stb.) Sok a szöveg a tennivalókkal kapcsolatban, de: elsősorban a szükséges jelentős beruházás megtérülése igen lassú az elvárásokhoz képest, azaz a multinacionális cégek igen kevés érdeklődést mutatnak politikájuk hosszútávú hatásait illetően! Azt sem lehet elfelejteni, hogy a legtöbb politikai szervezet elsősorban csak retorikai szinten beszél a "bajokról", amelyek hosszú távon hatnak, azaz a választási időszakokon túl mutatnak.

Bár először Roger Levelle hívta fel a figyelmet a CO<sub>2</sub> ellenőrzésének szükségességére (1950-es évek) a Manua Loa Hawaii kitöréseit tekintve, de ma már nem lehet eléggé hangsúlyozni, hogy az USA, Európa, Kína, India és Latin-Amerika fejlődése a kérdést egyre inkább globálissá tette és nem lehet már figyelmen kívül hagyni. Ma már minden nemzetközi fórum hangsúlyozza a klímaváltozás veszélyeit, de sajnos - még mindig - a reális lépések messze elmaradnak a politikai szlogeneketől. Tulajdonképpen a "World Commission on Environment and Development" 1987-ben megfogalmazta a fenntartható fejlődés alapelveit: "fejlődés, amely kielégíti a jelen szükségleteit, anélkül, hogy veszélyeztetné az elkövetkező generációk szükségleteinek fenntartását". Összességében azt mondhatjuk, hogy ezek a fogalmak tulajdonképpen egy politikai konszenzust takarnak, de szükséges "lefordítani" őket a gazdasági, megfelelőképpen az ipari "valóságra" Ebben a tekintetben két elv tekinthető egyre elfogadottabbnak:

- a fenntarthatóság három alap-pillérét a gazdasági, társadalmi és környezeti szempontok képezik, az üzleti élet megközelítésében,
- "Eco-efficiency" azaz környezeti hatékonyság, amely voltaképpen azt jelenti, hogy termeljünk többet kevesebb "befektetéssel", azaz termeljünk megnövelt értéket csökkentve egyben a környezeti ártalmat és a társadalomra nehezedő nyomást.

Megdöbbenő, ha látjuk, hogy a különböző természetes anyagok, amelyeket a bolygónk szolgáltat nekünk, milyen hatalmas százalékban kerülnek szeméttel! A kibányászott anyag és energia több mint négyötöde kerül a hulladékba és igen alacsony az a százalék, amely újra-felhasználásra kerül [2].

Nem kívánunk ezen tanulmányban részletekbe merülni a jelenlegi környezetszennyezés adatairól, de az tény, hogy az elkövetkező időszak technológiai fejlesztésének csökkentenie kell a káros kibocsájtásokat, erőteljesebbé tenni a regionális és zonális együttműködések, fejlettebb szabványokat kell alkotni, valamint módosítani kell az adók és illetékek rendszerét és elveit is. Voltaképpen ez nem lehetetlen feladat egyáltalában, ha a Föld gazdasági adatait nézzük.

Érdekes megjegyeznünk, hogy az ipari fejlődés következtében, a XX. század végén a lakosság kb. 25% használta fel a teljes energia 70%-át. Ez az érték igen jelentősen változott már a XXI század első évtizedeiben, különösen Kína és India látványos fejlődésével.

Alapvetően fontos, hogy a fejlesztés minden szektorban a teljesítmény és élettartam növelését kell, hogy céllozza, hiszen ennek közvetlen következménye a nyersanyag- és energiaszükséglet csökkenése. Ez az a terület, amelyben a hőkezelés és felülettudomány- technológia jelentős hozzájárulást tud hozni. Teljes meggyőződéssel ki lehet jelteni, hogy a hőkezelés és felületkezelés energia-igényes, de hatása sokkal inkább energia-csökkentő, egyrészt a fajlagos termelés növelésével, másrészt az élettartam növelésével. Elég talán egyetlen adatot idéznünk: az acélgépjárműnél a primer energia, amely 1 kg acélban felhasználódik, az kb. 22,5 MJ/kg [2], amely nagyságrendekkel különbözik (nagyobb!) attól az energiától, amelyet bármely hőkezelő eljárás szükségessé tesz. (Érdekes megjegyeznünk, hogy az európai és japán ipar sokkal rugalmasabban reagál az energiával összefüggő változásokra, mint az USA.)

Számos tanulmány jelent meg világszerte, amely a fenntartható fejlődés kérdéseivel, stratégiájával foglalkozik (ASM Heat Treating Society "Vision 2020", IFHTSE "Global 21" initiative, Chinese Government Strategic Philosophy for Developing its Energy Industry, releváns Európai Unió programok stb. Az első valós próbálkozás egy egységes, átfogó elképzelésre az az "Agreement on the International Thermonuclear Experimental Reactor" (2006). Sajnos, a legoptimistább előrejelzések sem látják e kezdeményezés alkalmazhatóságának realitását 2050 előtt!

Befejezésül a témakör iránt érdeklődőknek ismét figyelmébe ajánljuk hasznos olvasmányként a Cambridge-i professzor, Michael F. Ashby "Materials and the Environment" - Eco-Informed Material Choice című könyvét [2]. Érdemes azt is megemlítenünk, hogy 2009 óta Cambridge-ben évente megrendezésre kerül a Materials Education Symposia rendezvény-sorozat, melynek kiemelt témakörei közé tartozik az anyagtudomány oktatása mellett a fenntarthatóság kérdésköre is [10].

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjaink műszaki/gazdasági fejlődésének megítélése nem csak igen bonyolult, de rendkívül ellentmondásos és a hagyományostól eltérő szemléletmódot igényel. Ennek fő oka, hogy kezdünk ráébredni, hogy a jelenleg tapasztalható tendenciák fennmaradása esetén a fejlődés környezetünkre gyakorolt hatása azt eredményezheti, hogy egyre gyorsabban rohanunk a beláthatatlan megsemmisülés felé. Egyértelmű minden józanul gondolkodó ember számára, hogy jelentős társadalmi szemléletváltásra van szükség, ha a katasztrófát el akarjuk kerülni. Alapvető fontosságú az értékrend váltás, vagy legalábbis módosítás. A mai pénz, vagyon és hatalom alapú társadalom nem tartható fenn tovább, a korlátlan pazarlásnak, erőforrásaink gátlástalan felélésének véget kell vetni. Ma már ismert, hogy a Földből termelt, vagy kibányászott anyagnak közel 85%-a hulladékba, szemétként kerül és az újrafelhasználás igen kismértékű [2].

Sajnos tisztában kell lennünk azzal, hogy a váltás igen nehézkes és bonyolult, elsősorban mert azok, akik a legtöbbet tehetnének a társadalom átformálásáért, a legkevésbé tűnnek érdekeltnek. Elsősorban egy globális politikai akarat volna elengedhetetlenül szükséges, amely legalább a jövő fejlődési irányjaiban egyetértést mutatna az egyéni érdekek helyett!

Fontosak ezért az olyan lehetőségek, mint például a Magyar Kormány kezdeményezésére már három alkalommal Budapesten megrendezett találkozók, "Conference on University and Business Cooperation in Central Europe" címmel, amelyeken döntő módon épp az itt felvetett kérdésekkel foglalkozhattunk [11],[12]. Ezeket a kezdeményezéseket a megfelelő módon nemcsak fejleszteni, hanem különböző szinteken szervezni kell, olyan programokkal, amelyek a célzott hallgatóság szintjének valóban megfelelnek.

Ha már mindezen kérdéseket érintettük, fontosnak tartjuk kihangsúlyozni, hogy mindezen tevékenységek csak a "RÉSZT" képezik. Ahhoz, hogy valós hatásuk lehessen, nem szabad megfeledkeznünk ezen tényezők összességéről, Werner Heisenberget idézve a rész csak akkor lehet hatásos, ha nem feledkezünk meg az "EGÉSZRŐL", azaz a rész és az egész viszonya egyértelműen döntő és eredményt csak akkor várhatunk, ha a "rész és az egész" harmóniát képez!

Összefoglalásként egyetlen megállapítást tehetünk: globális paradigmaváltás szükséges, ha szeretnénk az elkövetkező generációk számára egy élhető és komplexitásában legalább a mai Földünkkel összehasonlítható életteret hagyni, vagy méginkább megpróbálunk valamit helyrehozni abból, amit az utolsó évtizedekben leromboltunk.

## 8. IRODALOM

- [1] "The End of Trash", National Geography, 03.2020.
- [2] ASHBY M.F.: Materials and the environment- Eco-informed Material Choice, Butterworth-Heinemann, 2009, ISBN:978-1-85617-608-8
- [3] KOLOZSVÁRY Z. WOOD, R.B.: IFHTSE Global 21: Heat treatment and surface engineering in the first decades of the twenty-first century. A synthesis report as at December 2009 Proceedings of the 1<sup>st</sup> Mediterranean Conference on HT Sharm El Sheikh, Dec.1-3 2009 p.26:
- [4] KOLOZSVÁRY Z.: Effect of the fourth industrial revolution on materials science and surface engineering 26th International Conference on Materials and Technology, (26 ICMT) Portoroz, Slovenia. 3-5 October 2018
- [5] [http://gepesz.uni-miskolc.hu/mernoki%20fogadalom/#mernoki-fogadalom letoltve: 2020.07.10.](http://gepesz.uni-miskolc.hu/mernoki%20fogadalom/#mernoki-fogadalom%20letoltve%2020.07.10)
- [6] [https://hu.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9rn%C3%B6k\\_letoltve: 2020.07.10.](https://hu.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9rn%C3%B6k_letoltve: 2020.07.10)
- [7] Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development – UNESCO REPORT, 2010
- [8] AUER, M. E.: Present and Future Challenges in Engineering Education and the Strategies of IGIP, International Society for Engineering Education (IGIP) – 2013
- [9] KOLOZSVÁRY Z.: IFHTSE Global 21: heat treatment and surface engineering in the first decades of the twenty-first century. Part 3 – Energy and the environment Int.Heat Treat. and Surf.Eng. 2007,1, no.3 p. 1-9
- [10] KOLOZSVÁRY, Z. , KOCSIS BAÁN, M.: Effect of new developments in materials science on surface engineering and engineering education, 7<sup>th</sup> International Materials Education Symposium, University of Cambridge, 9-10 April, 2015
- [11] KOLOZSVÁRY Z.: "The Part and the Whole" – a complex relationship between education- innovation- production, presentation at Conference on Business University Cooperation in Central Europe (CUBCCE), Budapest, 28-29 January, 2016
- [12] KOLOZSVÁRY Z.: The critical role of education in the chain of innovation-education-production, presentation at Conference on Business University Cooperation in Central Europe (CUBCCE) Budapest, 4. December 2017

# OKOSABB, BIZTONSÁGOSABB HEGESZTÉS

az SSAB Weldcalc applikációval.

Az SSAB WeldCalc applikációja kiszámolja és részletezi a hegesztési ajánlásokat mind a Strenx® nagy szilárdságú szerkezeti acélokra, mind pedig a Hardox® kopásálló lemezekre vonatkozóan. Ingyenesen letölthető az Appstore és GooglePlay áruházakból



**SSAB**

# A MÉRNÖKKÉPZÉS NEMZETKÖZIESÍTÉSE ÉS MÓDSZERTANI KORSZERŰSÍTÉSE

## INTERNATIONALISATION AND METHODOLOGICAL MODERNISATION OF ENGINEERING EDUCATION

*Kocsisné Baán Mária\**

### ABSTRACT

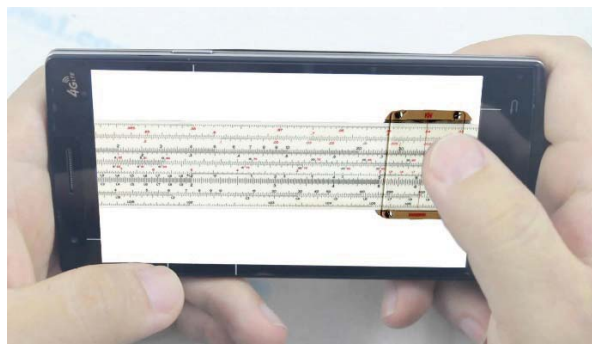
*Globalization and digitalization have dramatically changed the scenario of Higher Education in the last three decades. University of Miskolc has been involved in several international projects, building of long-term, strategic partnership with several HEIs and professional organisations all over the world. Simultaneous improvement of professional development and key competencies of our students were supported by versatile tools, i.e. collaboration within professional organisations, study tours and mobility programs, as well as application of advanced teaching and learning methodologies, based on innovative and pedagogically established application of ICT. Lessons learnt will be summarized, illustrating the appropriateness and success of e-learning and different other tools for meeting the challenges faced by the HEIs.*

### 1. BEVEZETÉS – A GLOBALIZÁCIÓ ÉS DIGITALIZÁCIÓ KIHÍVÁSAI

A felsőoktatási intézmények az ezredforduló éveiben számos kihívással kerültek szembe. A tudásalapú társadalom fokozódó elvárásaival összhangban, a lifelong learning szemlélet általánossá válásával megváltozott, kiteljesedett a felsőoktatás küldetése, a tudás a gazdaság versenyképességének kulcsfontosságú tényezőjévé vált. A folyamatosan gyorsuló technológiai fejlődésből eredően fel kell gyorsuljon a tudás-transzfer, követelménnyé vált a gazdaság igényeire való gyorsabb és hatékonyabb reagálás. Az oktatási "piac" globálissá válása, a munkaerőpiaci mobilitás kiaknázása egyaránt feltételezi az idegennyelvi, illetve szaknyelvi kompetenciák hatékony fejlesztését, és felértékeli a nemzetközi együttműködések jelentőségét.

Az elmúlt három évtized másik jelentős, az élet minden területét átható kihívása a digitalizáció. Az elektronikus tanulási környezet új lehetőségeket teremt, minden korábbinál hatékonyabb eszközöket biztosít, és ma még alig prognosztizálható hatású távlatokat nyit a képzés, az ismeretszerzés terén. Ugyanakkor fontos

hangsúlyozni, hogy ez nem egyszerűen a korszerű IKT eszközök használatában merül ki. A digitalizációban rejlő lehetőségek feltárása és hasznosítása szemléletmódbeli változást, korszerű pedagógiai módszerek (konstruktívizmus, konnektívizmus) megismerését, fejlesztését és alkalmazását is kívánja.



1. ábra

*Ha az IKT eszközökkel pusztán a hagyományos tankönyveinket tesszük elérhetővé, hagyományos oktatási módszereinket alkalmazzuk online formában, az épp annyit ér, mintha a CAD/CAM alkalmazások helyett mindössze egy digitalizált logarléccel (1. ábra) kívánánk korszerű mérnöki megoldásokat fejleszteni.*

Ebben a rövid összefoglalásban Intézetünk jubileumának okán három évtized eredményeiről kívánok rövid áttekintést adni, az egyidejű szakmai és szaknyelvi képzés formális és informális tanulási lehetőségeinek megteremtését, hatékony mérnökképzési módszerek fejlesztését célzó tevékenységeink bemutatásával.

### 2. NEMZETKÖZI SZAKMAI SZERVEZETEK

Az ASM (American Society for Materials) International hazai szervezeteinek létrehozására irányuló szándékkal 1990 nyarán egymástól függetlenül, párhuzamosan budapesti és miskolci szakemberek és diákok keresték meg levélben az ASM vezetőségét. Ennek eredményeként 1991 végén jött létre az országos hatókörű ASM Hungary, és az ASM Miskolci Hallgatói

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

Csoportja [1]. Az ASM e két hazai szervezete mintegy 10-12 éven át számos szakmai rendezvényt szervezett, és keretet adott különböző nemzetközi együttműködések kezdeményezésére, sikeres lebonyolítására. A miskolci diákok számára a legnagyobb élményeket kétségkívül a szakmai kirándulások jelentették. Nemzetközi konferenciák szervezésében és lebonyolításában közreműködtünk több alkalommal: diákjaink biztosították a technikai asszisztenciát az ASM 1993-ban megrendezett európai hőkezelési konferenciáján, Dortmundban, hasonlóan 1994-ben egy Miskolcon rendezett nemzetközi konferencián, 1995 tavaszán pedig az MTA Miskolci Akadémiai Bizottságával rendeztünk közös szakmai napot. Diákjainknak lehetősége nyílt néhány hazai nagyvállalat – pl. a Tungfram (1993), a Paksi Atomerőmű (1994) és az ALCOA (1995) – meglátogatására is. Vendégül láthattunk a világ minden tájáról neves szakembereket, akik a legmagasabb színvonalú előadásokban mutatták be a műszaki fejlesztések aktuális témaköreit, így többször visszatérő vendégünk volt Tom Bell (Anglia), Hans Portisch (Ausztria) és George Vander Voort (USA) is.

Vitathatatlanul a legvonzóbb programok a Lausanne-i Junior Euromat konferenciák voltak. Kétévente a miskolci, és néhány más egyetemről hozzájuk csatlakozó hallgatók és oktatók megtöltötték egy negyven fős autóbust, hogy előadásokkal, poszterekkel vegyenek részt e konferencia-sorozaton, a kiutazók kiválasztására pedig hazai diákkonferenciát rendeztünk, egy ilyen csoportról készült felvételt mutat be az alábbi kép.



1. kép A Junior Euromat legnagyobb nemzeti delegációját a magyar hallgatók képviselték 1992- 2000 között a kétévente megrendezett konferenciákon

Szakembereink hatékonyan bekapcsolódhattak a nemzetközi szakmai közéletbe, az ASM Hallgatói Csoportjának tanárvezetőjeként részt vehettem az ASM European Council munkájában, s meghívást kaptam az ASM Education Outreach Taskforce munkájába. Az ASM folyóiratai, szakkönyvei és videóra rögzített oktatási anyagai mindennapi szakmai munkánkat, oktatásunk színvonalát is jelentősen támogatták.

Az ASM Miskolci Hallgatói Csoportjának rendkívül aktív, sikeres első évtizedét követően az érdeklődés és lelkesedés lassanként alább hagyott, hallgatóink számára az EU programok hatékonyabb támogatási formákat

és lehetőségeket biztosítottak szakmai és szaknyelvi készségeik fejlesztésére nemzetközi környezetben.

Az Európai Unió támogatta a Human Capital and Mobility program keretében az "Establishing a Materials Science Education Network" projektet, melynek munkájában 1994-1996 között Magyarország, Bulgária és Románia referenseként vehettem részt. A projektet, melynek keretében széleskörű és sokoldalú kérdőíves felmérés készült az európai anyagtudományi felsőoktatási képzésről, Dr. Peter Paul Schepp, a FEMS (Federation of European Materials Societies) főtítkára irányította.

Az ASM kapcsolatrendszerének köszönhetően jött létre szűkebb szakmai területem, a hő- és felületkezelés terén sokéves, gyűlölcsozó munkakapcsolatunk Prof. Tom Bell-lel [2] és az IFHTSE (International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering) szervezetével, melynek eredményeit a 3.2 fejezetben részletezem.

### 3. TANANYAGFEJLESZTÉS ÉS MÓDSZERTANI KORSZERŰSÍTÉS EURÓPAI UNIÓS PROJEKTEKBEN

Oktatói munkám során a brit Open University anyagtudományi kurzusainak megismerése keltette fel érdeklődésemet a távoktatás, a rugalmas és hatékony oktatási módszerek fejlesztése iránt. A kilencvenes évek közepétől két évtizeden keresztül a Miskolci Egyetemen intézményi szinten irányítottam a távoktatás, majd az elearning fejlesztés feladatait, így természetesen az Egyetem valamennyi karának oktatásmódszertani fejlesztési programjaiban aktív szerepet vállaltam, ebben az összefoglalóban azonban csak a mérnöki területeken megvalósult legjelentősebb programokról adok rövid áttekintést.

#### 3.1. Többszövegű képzési programok

Elsőként egy PHARE program keretében elnyert két nemzetközi projektünkben alkalmaztuk a korszerű elektronikus, multimédia és on-line tanulási lehetőségeket. Mindkét projekt **többszövegű tananyagok** fejlesztését, adaptációját valósította meg (1997-1999): az **UNIPHORM** projekt multimédia CD-n megjelenített tananyagai a térinformatika, az **ENVIMAN** projekt on-line kurzusának adaptációja a környezetvédelem menedzsmentje témakörére irányult. Ez utóbbi fejlesztési koncepciójában jelent meg először az a törekvésünk, hogy *a nyelvi verziók egymástól ne függetlenül létező, a kurzus kezdetekor egyszeri választásként felkínált lehetőséget nyújtsanak, hanem az angol mesternyelven való tanulás során, bármely tartalmi elem elsajátítása közben, kattintással váljanak elérhetővé a hallgató anyanyelvén: magyarul, szlovákul*



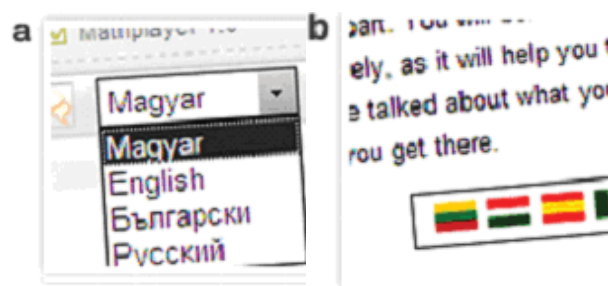
vagy lengyelül. Jelentős újszerűséget hozott a projektzáró videó-konferencia is, melynek során hat intézmény hallgatói egymás projektjeiről hallgattak meg rövid előadásokat, majd opponálták is egymás munkáját. A kísérleti kurzus résztvevői – köztük néhány erdélyi szakember is – az európai kredit-rendszerben érvényes kredit pontokat is szereztek (1999-ben) a FEANI által is elismert posztgraduális képzésben, melynek gesztora a HUT (Helsinki University of Technology) Dipoli volt.

Egy következő PHARE projekt az **ADVANCED ENGINEERING - Korszerű műszaki ismeretek angolul** címmel 2002-2004 között valósult meg, melyben műszaki ismeretek angol nyelven történő oktatására 300 órás kompetencia-képzést dolgoztunk ki és teszteltünk, saját fejlesztésű és egyedi arculatú on-line megoldásokat kínáló képzési modulokkal. A projekt partnerei között meghatározó szerepet kapott a Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Kereskedelmi és Iparkamara, az ÉRÁK, a Tiszaújvárosi Önkormányzat és az Ózdi Felsőoktatásért Alapítvány. A kísérleti képzés során 120 kontakt órában 10 modul tananyagait sajátíthatták el a hallgatók, a kontakt órák egy részét videó-konferencián keresztül bonyolítottuk a tiszaújvárosi és az ózdi partnerek segítségével. A képzésre hat regionális és négy régió kívüli vállalat mérnökei jelentkeztek, összesen 77 fő, akik közül sikeres vizsgát tett – önálló projekt-munkáját angol nyelven prezentálva – 42 fő. Mind a képzési igény aktualitásáról, mind az alkalmazott módszerekről a gazdasági szektorból pozitív visszajelzések érkeztek.

A harmadik említést érdemlő nemzetközi projekt az EU Leonardo programja keretében valósult meg **E2NGINEERING** (Development and testing of multilingual e-learning materials and courses in advanced engineering subjects) címmel (2004-2006). Újszerű fejlesztési módszerekkel többszintű, többnyelvű műszaki képzési programok kidolgozására vállalkoztunk partnereinkkel, a számítógéppel segített mérnöki feladatok széles spektrumából két fontosabb területet - tervezés és az anyagválasztás, anyagtechnológiák – kiemelve rövid, önálló képzési modulokat fejlesztettünk. Valamennyi kurzus azonos struktúrában épült fel: a törzsanyagot - melyet hiperlinkek, referenci anyagok, glosszárium és tesztek egészítenek ki – a COEDU Tudásháló e-learning keretrendszerébe integráltan alkalmaztuk. A kurzusok törzsanyagához magyar vagy angol nyelvű, szerkesztett videó-előadások és multimédia esettanulmányok kapcsolódtak – többségük platform-független multimédiás tartalmakként. A kísérleti képzés négy országban, angol, magyar, szlovák, román és lengyel nyelven valósult meg.

A COEDU rendszert, melyet 2003-2008 között alkalmaztunk a Miskolci Egyetemen – az országban elsőként létszámkorlát nélkül biztosítva az e-learning rendszerhez való hozzáférést – a fejlesztő informatikai

cég munkatársaival együttműködve fejlesztettük tovább a többnyelvűség kétszintű biztosítására (2. ábra).



2. ábra A többnyelvűség két szintjének biztosítása

- a) navigációs nyelv választása  
b) a tartalmi egységek egyidejűleg több nyelven is elérhetőek az ikonokra kattintva előugró pop-up ablakokban

### 3.2. Tananyagfejlesztés hő- és felületkezelés témakörben

Szűkebb szakterületem, a hő- és felületkezelés témakörében három egymásra épülő nemzetközi projektről érdemes szót ejtenünk.

A TEMPUS program keretében "**Establishment of new courses on Materials Engineering in Hungary**" címmel a miskolci anyagmérnök-képzés fejlesztésére nyert támogatást Egyetemünk (1994-97). A három alprogram egyikeként a Birmingham-i és a Freiberg-i egyetemekkel együttműködve a felülettechnológiák területén dolgoztunk ki angol és magyar nyelvű tananyagokat, készítettünk minta-darab sorozatot, rendeztünk szemináriumokat és műhelyvitákat. A Tempus program fontos elemeként számos tanulmányút keretében nyílt lehetőség a szakmai tapasztalatcserére, hallgatói rész képzésre, nyári hallgatói szakmai gyakorlat külföldön való teljesítésére.

A projekt befejezését követően az együttműködés néhány éven át informális módon folytatódott, majd 2001-2004 között egy Leonardo projekt keretében nyílt lehetőségünk ismét a közös tananyagfejlesztésre. Az **INNOV@TE – International On-Line Voc@tional Training in Surface Engineering** – projekt a Miskolci Egyetem kezdeményezésére és koordinálásával valósult meg, a projekt kontratora a londoni székhelyű, tekintélyes mérnökszervezet, az Institute of Materials, Minerals and Mining volt, a szakmai koordinációt az IFHTSE (International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering) biztosította. Jelentős mértékben épített a korábbi Tempus projekt eredményeire – részben az abban kifejlesztett tananyag-tartalmak e-learning formában való átdolgozására, részben egy szélesebb körű európai együttműködésben megvalósuló tananyagfejlesztésre irányult.

Olyan tananyag-elemek kidolgozását tűztük ki célunkul, melyekből egyfajta „LEGO” rendszerben különböző szintű és tematikájú képzések állíthatók össze. Három különböző e-learning keretrendszer párhuzamos alkalmazása mellett további módszertani érdekesség volt a Málta-Miskolc-Birmingham közötti videokonferencia és a videóra rögzített, a ppt-prezentációval szinkronban szerkesztett előadások alkalmazása, mely kettős előnyt jelent – az idegen nyelven hallgatott előadások egyes részleteinek újbóli meghallgatásával, nyelvi támogatásával a megértést és a nyelvi készségek fejlesztését is segíti, egyszersmind lehetőséget teremt arra, hogy egy-egy szakterület legavatottabb, legelismeretebb szakembereinek előadásaiból tanulhassanak a résztvevők.



3. ábra Prof. Tom Bell videóra rögzített előadása az Interneten, az INNOV@TE projekt keretében

Az Innovate projekt eredményeinek hazai disszeminációjára a Tempus Közalapítványtól nyertünk kiegészítő támogatást. Így valósulhatott meg több tananyagelem magyar adaptációja és ezekből egy koherens, 72 órás továbbképzési program kidolgozása és FAT akkreditációja. Az e-learning tananyagok többcélú alkalmazását jól illusztrálja, hogy hallgatóinknak a nappali képzésben, „kevert” oktatási módszer alkalmazásával – melyet a szakzsargonban „blended learning” néven ismernek – hozzáférést biztosítunk ehhez az on-line kurzushoz, kiegészítő jelleggel. Így világhírű szakemberek előadásaiból ismerhetők meg a tananyag egyes részletei.

A harmadik, e témakörben megvalósult nemzetközi projekt a **MinSE – European Master in Surface Engineering** – az EU ERASMUS programjában nyert támogatást (2006-2009). Célja egy mester szintű, nemzetközileg elismert, akkreditált képzési program kidolgozása és tesztelése volt, e-learning kiegészítő elemekkel támogatott blended learning formában. Hasonlóan az Innovate projekthez, a konzorcium meghatározó tagja volt az IFHTSE, a projektet a Málta Egyetem koordinálta. A konzorciumot öt-öt egyetem és iparvállalat alkotta, folyamatos együttműködésünk volt a garancia arra, hogy a képzési program messzemenően figyelembe vegye az ipar igényeit.

A képzés struktúráját a 4. ábra mutatja: 4 féléves, félévenként 30 kreditet jelentő programja 22 egyenként 4 kreditet érő tantárgyat tartalmaz.



4. ábra A MinSE kurzus struktúrája

A program szerint az első félév tantárgyait távoktatási formában tanulják a hallgatók – az elektronikus tanulási forma nagyfokú rugalmasságot biztosít arra is, hogy a feltehetőleg nagyon különböző előképzettséggel, szakmai háttérrel érkező hallgatói csoport „homogenizálódjon”. A második és harmadik félévben a tantárgyak a tervek szerint két hetes periódusokban kerülnek oktatásra, meghívott nemzetközi oktató-gárda közreműködésével, a Málta Egyetemen. A negyedik, egyben befejező félévben a hallgatók szakdolgozatot készítenek az egyes partnerintézményekben. Az elektronikus kapcsolat-tartás, a fogalomtár, a hasznos olvasmányok és linkek, továbbá az interaktív, multimédiás tananyagok a képzés teljes időtartama alatt elérhetőek a hallgatók számára a Moodle e-learning keretrendszerben, mely a világ legelterjedtebben használt, ingyenes keretrendszere, s melyet 2008 óta a Miskolci Egyetem is alkalmaz.

Bár a tananyagok kidolgozása és a képzési program nemzetközi akkreditációja sikerrel zárult, a 2008. évi gazdasági válság és a konzorciumban bekövetkezett személyi változások miatt a képzés végül ebben a formában nem valósult meg. A kidolgozott tananyag-elemek – éppen a rugalmas fejlesztési koncepciónak köszönhetően – a partnerintézmények saját oktatási programjaiban, így Miskolcon is, folyamatosan hasznosulnak.

### 3.3. Kreatív hallgatók, kreatív módszerek – az Alkalmazott anyagtudomány kísérleti képzése

Érdekes módszertani kísérletre nyílt lehetőségem 2011-2014 között a végzős műszaki menedzserek által választható tantárgy, az Alkalmazott anyagtudomány oktatása kapcsán. A tárgy célját úgy fogalmaztam meg, hogy a BSc tanulmányaik befejezése előtt álló hallgatókat lehetőség szerint a majdani munkavégzés feltételrendszeréhez hasonló szituációba helyezük. Az anyagtudomány és az anyagtechnológiák eddig tanult ismereteire építve, azokat célirányosan, egy konkrét témakör vonatkozásában bővítve az adott gazdasági szektorban megfelelő hatékonysággal tájékozódjanak, önálló és csapatmunka keretében kreatív, érdemi feladatokat legyenek képesek megoldani, a problémák felismerésétől az azok megoldásához szükséges információk

begyűjtésén és rendszerezésén keresztül, az egész életen át tartó tanulás képességeivel és motivációjával legyenek alkalmasak egy gazdálkodó szervezet keretében ismereteik kreatív alkalmazására.

Ennek elérése érdekében sokszínű oktatás-módszertani eszközrendszer igénybevételét és konstruktivista/konnektivista pedagógia alkalmazást valósítottunk meg:

- elektronikus tanulási környezet és tudás-megosztásra, illetve közösségi, hálózati együttműködésre alkalmas IKT eszközrendszer,
- forrásanyagok gyűjtése, rendszerezése, adaptációja,
- adatbázisok felépítése és feltöltése,
- eredmény-orientált, kreatív csoportmunka megszervezése és dokumentálása, az eredmények nyilvánossá és szabad elérhetőségűvé tétele.

Az egymást követő tanévekben az autópárra összpontosítva a feladatok dinamikusan változtak és messzemenően építettek a Moodle e-learning keretrendszer kollaboratív funkcióira, további online alkalmazásokra (wikipédia, google-map), illetve nyílt elérhetőségű online forrás-anyagokra (steeluniversity [3], WorldAutoSteel [4]). Hallgatóim élvezettel számoltak be vállalt feladataik megvalósításának lépéseiről a heti 4 órás tantermi órákon, és olyan kreatív egyéni és csoportos feladatokat mutattak be – részben idegen nyelven - a félévzáró beszámolóikban, mint pl. a magyar autópárra cégek interaktív térképe [5].

A kísérleti kurzus tapasztalatait bemutató poszter előadásommal [6], csakúgy, mint a **Járműipari felsőoktatási és kutatási együttműködés c. TÁMOP** projekt (JEM) keretében megtartott előadásaimmal [7],[8] számos kolléga érdeklődését is sikerült felkeltenem az alkalmazott korszerű mérnökképzési módszerek iránt.

#### 4. ÖSSZEGZÉS

A kifejezetten mérnöki tananyagfejlesztési programokon túl számos olyan kezdeményezésre és projektre érdemes még utalnunk, melyek sokoldalúan hozzájárultak szakmai oktatói munkánk fejlesztéséhez. Így említésre érdemes az ERASMUS mobilitási programok szervezését támogató platform-fejlesztésünk (VICADIS projekt), a virtuális szakmai gyakorlatok szervezését hatékonyabbá tevő projektünk (I2AGORA), vagy az európai jó gyakorlatok gyűjteményét összeállító és megosztó Open Educational Innovation and Incubation (OEII) projekt, melyben a MinSE program a korszerű mérnökképzés esettanulmányaként került bemutatásra.

A jövő mérnökeinek képzése szempontjából kiemelkedően fontosnak ítéljük a 2007-2018 között a beiskolázást támogató, képzési programjainkat rövid „kóstoló” kurzusokkal és tananyagokkal bemutató „Virtuális 0. évfolyam” portálunk fejlesztését is.

Innovatív projektjeink eredményeit elismerve számos nemzetközi konferenciára kaptunk meghívást tapasztalataink megosztása érdekében [9].

Különösképp felértékelődtek a kidolgozott módszerek és az online tananyagfejlesztésben, oktatásban szerzett tapasztalatok a COVID-19 járványhelyzet miatt kialakult helyzetben, amikor napok alatt át kellett állnia a felsőoktatásnak a digitális, távolléti oktatásra. A Miskolci Egyetem oktatói közösségén belül az Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet oktatóit az elmúlt évtizedek során az innovatív oktatási módszerek iránti nyitottság jellemezte, így meggyőződésem szerint a váratlan és nagyon rövid időn belüli áttérés nehézségeit az átlagosnál sokkal sikeresebben kezelték oktatóink. Bízom benne, hogy a kényszerhelyzet megszűnte után, a távolléti oktatás tapasztalatait is értékelve és feldolgozva, oktató kollégáim további sikereket fognak elérni a mérnökképzés előtt álló kihívások megoldásában, a korszerű és hatékony mérnökképzés feltételeinek megteremtésében.

#### 5. IRODALOM

- [1] Kocsisné Baán M.: *Képes krónika az ASM Hungary megalakulásáról és főbb eredményeiről*, Kónya I. (szerk.) Országos Anyagtudományi Konferenciasorozat 1997-2015 Jubileumi Kiadvány, Magyar Anyagtudományi Egyesület (2015); pp.95-100.
- [2] Baan, M.K.: *International projects in Surface Engineering in collaboration with Professor Tom Bell*, Surface Engineering 2010 vol.26 No 1-2. pp.12-14
- [3] <https://steeluniversity.org/>
- [4] <https://www.worldautosteel.org/>
- [5] <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1DTIPhVBIC3roiNmhwPI6Dxm0FWY&ll=47.11550410888994%2C19.746627234374955&z=8>
- [6] Kocsis Baán M.: Capillarity Effect of Openness and WEB2.0 on Educational Innovation, 6th International Materials Education Symposium, Cambridge, 10-11 Apr., 2014.
- [7] Kocsis Baán M.: Modernisation of Engineering Education by the Network of HEIs for Automotive Industry, Conference about the status and future of the educational and R&D services for the vehicle industry, MTA, Budapest, 2014. január 31.
- [8] Kocsisné Baán M.: A mérnökképzés korszerűsítése a Járműipari Felsőoktatási és Kutatási Együttműködés keretében, 411C Szakmai Konferencia és Fórum, Győr, 2015. április 1-2., JKK
- [9] Kocsis Baán M.: Internationalisation of European Higher Education, Proc. Ubiquitous Learning International Conference, Shanghai, 30-31 May, 2014, ISBN 978-7-900556-28-8



WEINBERG

# ACÉLSZERKEZET-GYÁRTÁS FORGÁCSOLÁS ÉS FELÜLETKEZELÉS



LÉZERVÁGÁS



# KUTATÁSI EREDMÉNYEK AZ ALAKÍTÁSI FOLYAMATOK NUMERIKUS MODELLEZÉSE TERÜLETÉN

## RESEARCH RESULTS IN THE FIELD OF NUMERICAL MODELLING OF FORMING PROCESSES

Lukács Zsolt\*

### ABSTRACT

*In this paper, we provide an overview of developments in the field of numerical modelling of forming processes over the last decade based on the industrial research projects of our Institute.*

*Basically, there are three challenging areas of development in this research field. The first of them is comprehensive design process planning. The second is compensation of springback and their strategies. This publication provides an overview of our activities in these areas through industrial examples.*

### 1. BEVEZETÉS

A Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetében komoly hagyománya van az alakítási folyamatok numerikus modellezéssel történő elemzésének. Az Intézetünk ezen a területén dolgozó kollégái, az alakítástechnológiai folyamatok ilyen módszerrel történő elemzésének elterjedésével egy időben kezdtek a terület iránt érdeklődni és kutatásokat végezni. A kor mindenkori színvonalának megfelelő számítógépi szoftver- és hardverkörnyezet segítségével számos figyelemreméltó eredmény született az utóbbi évtizedekben az alakítási folyamatok modellezése területén. Az intézet jogelődjének a Mechanikai és Technológiai Tanszék alapításának 60. évfordulójára megjelent GÉP különszámban [1] a szakcsoporthoz akkor vezetése áttekintette az addig a területen született ipari K+F munkákat, amelyeket a numerikus modellezés támogatásával sikerül megoldani. Az utódoknak ezért egy kellemes kötelessége továbbírni a történetet és áttekintést adni a rájuk eső évtizedek e területen végzett tevékenységeiről.

Mint ahogy a mérnöki tevékenységek minden területe, így az alakítási folyamatok numerikus modellezése is a folytonos fejlődés miatt folyamatosan változik. A 2000-es évek elejére kialakultak azok a piacvezető, célterületre orientált számítógépi alkalmazások, amelyek az ipari gyakorlat számára megfelelő pontossággal lehetővé tették, hogy az egyes szerszámkonceptiókat még a szer-

számelemek fizikai legyártása előtt egy virtuális környezetben ellenőrizhessük le. Ennek eredményeként a technológiai- és szerszámtervezés területének az ún. „próbálkozz és korrigálj” módszere a fizikai szerszám-módosítások helyett egy virtuális környezetben zajlott, növelve ezzel a költséghatékonyságot és csökkentve a szerszámépítés időszükségletét.

A 2010-es évek elejére az autóipar, mint a lemezalakító szerszámok egyik legnagyobb felhasználója, a folyamatos innovációs versenyben oda jutott, hogy az ún. virtuális szerszámpróbákra fordított időt is minimalizálni kívánta. Ezzel még intenzívebbé téve a szerszám koncepcionális kialakítására fordított fejlesztési idő csökkentését. Elérkezett az alakítási folyamatok modellezésének egy olyan korszaka, ahol már nem volt elég a szoftver részéről megfelelő pontossággal modellezni az alakítási folyamatokat, hanem egy előre meghatározott technológiafejlesztési ívet követve a próbálkozások helyett tudatosan történik az optimális technológiai- és szerszámkonceptió kialakítása. Az évtized végére napi rutinná vált a szerszámüzemekben az ún. Szisztematikus folyamatfejlesztés (*Systematic Process Improvement-SPI*) az AutoForm szoftver SPI moduljának használatával, aminek egy alkalmazási példáját mutatjuk be a 2. fejezetben.

Az alakítási folyamatok numerikus modellezésének az utóbbi évtizedben egy másik intenzíven fejlődő területe a lemezek szerszámnyitást követő visszarugózásának numerikus modellezése és ebből kiindulva visszarugózásra geometriai módszerrel kompenzált szerszámfelületek előállítására, még a gyártási fázis előtt. Ennek különösen nagy jelentősége van az autóipar nagyméretű karosszéria paneljainak technológiai és szerszámtervezése területén. a 3. fejezetben az e területen végzett modellezéseink tapasztalatait foglaljuk össze.

Bár ebben a publikációban nem részletezzük, de az utóbbi évek egyik intenzíven fejlődő területe, az autóiparban a tömeggyártásban történő bevezetés kapujában lévő új innovatív alakítási eljárások (PHS<sup>®</sup>, HFQ<sup>™</sup>) numerikus modellezésének kérdései. Ennek eredményeit számos cikkünkbe mutattuk már be [4], de itt tartalmi korlátok miatt nem térünk ki rá.

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

## 2. SZISZTEMATIKUS FOLYAMAT-FEJLESZTÉS A LEMEZALAKÍTÁSBAN

Amint a Bevezetésben is említettük az alakítási folyamatok modellezése területén napjaink kihívásai már nem korlátozódnak csak pusztán a szerszámban lejátszódó folyamatok modellezésére. A célterület piacvezető szoftvereinek, már sokkal komplexebb követelményrendszernek kell megfelelniük. ebben a fejezetben egy konkrét ipari alkatrész technológia fejlesztésén keresztül mutatjuk be a szisztematikus folyamatfejlesztés filozófiáját.

Az un. „próbáldozz és korrigálj” iteratív tervezési elvnek számos hátránya fogalmazható meg:

- többszöri technológiai módosításokat igényel,
- többszöri eredményértékelést igényel,
- az átláthatóság és megismételhetőség hiánya,
- nehéz szabványosítani a mérnöki folyamatot,
- nehéz megtalálni az optimális megoldást.

Ezen hátrányokkal szemben egy átlátható logikai ív mentén felépülő tudatos technológiai fejlesztés (SPI) elvitathatatlan előnyei a következők:

- szisztematikus megközelítés próbálkozások helyett,
- reprodukálható eredmények „szerencsés találatok” helyett,
- csökkenthető az eredmények értékelésének szubjektivitása,
- a lehető legjobb technológiai változat megtalálása egy csak jó technológiai változattal szemben,
- csökken a fejlesztése fordított idő.

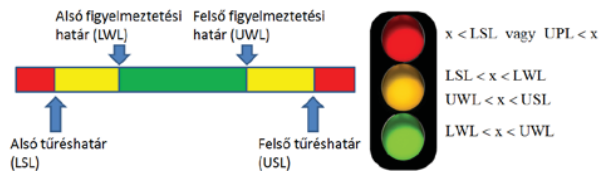
Az alapvető különbséget az jelenti a kétféle megközelítés között, hogy az un. elsődleges modellezések eredményváltozói az egyes bemeneti változók egy konkrét értékhez kerülnek kiszámításra. Ezt követően elemezzük az eredményeket és az eredmények tudatában módosítunk a bemeneti paraméterek értékeken. Ezt folyamatosan addig ismétljük, amíg az eredményváltozók kielégítik az előzetesen megfogalmazott átvételi követelményeket. Az így kapott nagyszámú eredményfájl és az abban található információk menedzselése meglehetősen nehéz.

Ezzel szembe a szisztematikus folyamatfejlesztés során a bemeneti paraméterekhez nem konkrét értéket, hanem egy értéktartományt rendelünk, amin belül a szoftver egy belső algoritmus szerint folyamatosan változtatja a bemeneti paraméter értékét. Ennek eredménye egy modellezési eredmény sorozat, ami automatikusan számítja ki az alkalmazás. A számítási folyamat végén egy fájlban foglaltan jelennek meg a különböző számítási eredmények. A változó bemeneti paraméterek egy felületen összefoglalva, az előzetesen beállított tartomány határok között, tetszőlegesen változtathatók és azok eredményváltozóikra vonatkoztatott hatása azonnal megjelennek a grafikus felhasználói felületen. Ezen folyamatot jól szemlélteti az 1. ábra.



1. ábra. Az AutoForm SPI logikai felépítése

A szisztematikus folyamatfejlesztéssel szoros összhangban van a kiértékelés szubjektivitását kiküszöbölő automatikus kiértékelő modul, ami az un. jelzőlámpa koncepcióra épül (*Traffic Light Concept*). A végeselemes modellező szoftverek mindenki által ismert sajátossága, hogy az egyes eredményváltozók térbeli eloszlása a vizsgált geometrián egy színskálára alapozva jelenítik meg. A színskála alsó és felső határa legtöbbször az eredményváltozók globális maximumához és minimumához vannak hozzárendelve. Ennek a szemléletnek a technológus szempontjából nézve az egyik hátránya, hogy önmagában az eredményváltozó értéke a technológiai megítélésénél nem releváns. Azt kell ismerni, hogy a megjelenített érték a követelményrendszerben megfogalmazott tartományhoz képest hol helyezkedik el. Ezen változattal a jelzőlámpa koncepció, aminek értelmezést mutatja a 2. ábra.



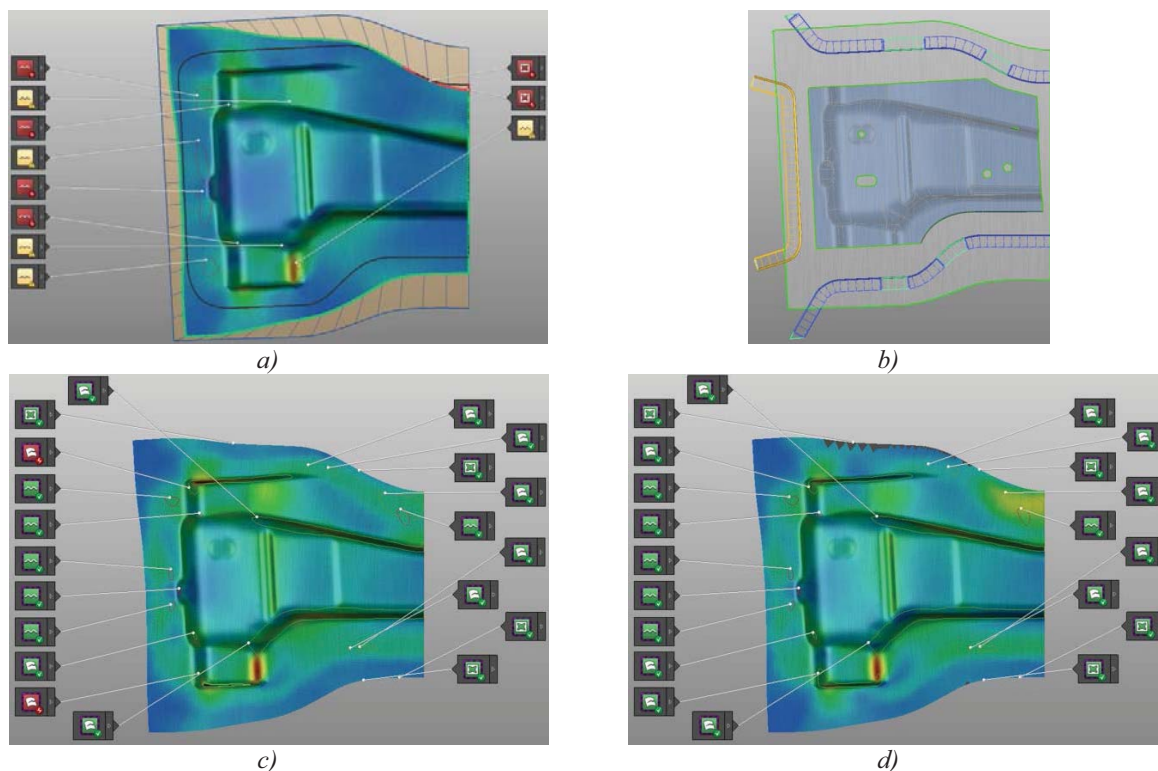
2. ábra. A jelzőlámpa koncepció értelmezése

Egy adott eredményváltozó értékének tekintetében a gyakorlatban mindig egy tartományt határoznak meg. A tartomány határain (alsó tűréshatár - LSL és felső tűréshatár - USL) belüli értékek megfelelőek. Ehhez a zöld jelzést rendelik a jelzőlámpa koncepcióban. A tartományon kívüli értékek a piros színjelölést kapják. Ha közelítünk a határértékekhez az a technológusnak egy figyelmeztetést jelent, mert bármilyen kisebb zavar, már tűréshatár átlépést okozhat. Ezért az alsó és felső tűréshatárok előtt un. figyelmeztetési határokat jelölnek ki (alsó figyelmeztetési határ - LWL és felső figyelmeztetési határ - UWL) és ehhez a sárga színt rendelik. Ha ezeket a határokat a technológia minősítése végett előzetesen rögzítjük, akkor az egyes eredményváltozókhöz az értékükön túl a tűrésmezőhöz viszonyított helyzetük is egyszerűen megjeleníthető. Ezzel a módszerrel az eredmények kiértékelése automatizálható.

Mind a szisztematikus folyamatfejlesztés, mind a jelzőlámpa módszer jobban megismerhető egy konkrét alkatrész technológiai fejlesztésén keresztül [2].

A 3. ábrán egy autóiipari lemezalkatrész (B-oszlop merevítő elem) alakítási modellezésének eredménye látható az első húzási művelet után. Jól megfigyelhető a terítékkontúr változása az alakadás hatására. A 3. ábra a) részletén az ún. elsődleges modellezés eredménye látható. Az automatikus kiértékelést elvégezve az alakítástechnológiai szempontból releváns eredményváltozókra (szakadás, vékonyodás, ráncosodás, terítékkontúr behúzás) megállapítható, hogy adott technológiai bemeneti paraméterek mellett az alkatrészen ráncosodott területek és a körülvágási kontúrhoz képest jobban behúzott terítékkontúr jelentkezik.

Ennek javítására a 3. ábra b) részletén bemutatott húzóborda koncepciót fogjuk alkalmazni. Ettől azt várjuk, hogy a ráncokat és a teríték kontúrbehúzási hibákat is kiküszöböli. A teríték egyes részeinek bordákkal történő visszatartása viszont az alkatrész egyes területein túlzott elvékonyodásokat esetleg szakadásokat okoznak. Ezért ha bordákat alkalmazunk, akkor azok geometriai kialakítása (ezzel egyenértékű visszatartó hatása) az egyes helyeken különböző is lehet. Így a szerszámtervezőket ez a megoldás egy olyan többkörös iterációs tervezési folyamatba kényszeríti, ami a „próbálgass és korrigálj” módszerrel előre nem becsülhető fejlesztési időt jelent.



3. ábra. A hibahelyek és hibafajták megjelenítését mutató címkék változása az AutoForm SPI modellezés során

Erre nyújt megoldást a szisztematikus folyamatfejlesztés. Elsőként a 3. ábra b) részletén bemutatott húzóborda koncepcióhoz azonos bordageometriai kialakítást társítunk. Ezzel modellezést végzünk, aminek eredménye a 3. ábra c) részletén látható. Az automatikus kiértékelés során a címkékhez rendelt eredményváltozók 3. ábra a) részletéhez képest a túrésmezőn belülre kerülnek (zöld színűre változnak). Azaz a várakozásainknak megfelelően a húzóborda a ráncokképződés megakadályozás és a túlzott teríték kontúr behúzás problémáit sikeresen megoldotta. De a magasabbra húzott falakon szakadásokat okoz. Ezt mutatja a 3. ábra c) részletén megjelenő piros színű címkék.

Ezt követően egy SPI modellezést készítettünk ahol az egyes bordaszakaszok geometriai kialakításával

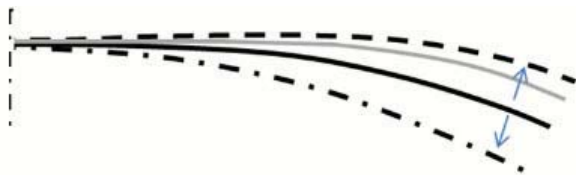
egyenértékű visszatartó faktor értékét két határérték között változtatható tartománnyá szélesítettük ki. Ezt követően a szoftver automatikusan variálva a bemeneti paraméter értékeket egy modellezési sorozatot hoz létre, amit a számítás után egyetlen adatfájlban foglal össze (ld. 1. ábra). Ezt megnyitva az egyes bordaszakaszok visszatartó faktor értékeinek változtatásával a szakadási helyek eltűnnek és a vékonyodások is a megengedett határértékek között lesznek. Ezt mutatja a 3. ábra d) részlete.

Ez a numerikus modellezési képesség messze túlmutat azon, hogy modellezzük a szerszámtervező kezébe egy előre definiált és így szabványosítható technológiafejlesztési megoldást ad.

### 3. VISSZARUGÓZÁS GEOMETRIAI KOMPENZÁCIÓJA

Lemezalkatrészek szerszámnyitás utáni visszaru- gó- zása egy, az alakadási kihívások megoldása utáni problé- mával állítja szembe az autói- pari lemezszerszámok tervezésével foglalkozó mérnököket. Az alap probléma a következő. A szerszám tervezése során az alkatrész 3D-s geometriai modelljét, a technológiai saját- ságok figyelembe vételével különböző felületi kiegészíté- sekkel látjuk el, ami az alapját képezi az aktív szerszám- elemek (bélyeg, matrica, ránc- tartó) geometriai modell- jének kialakításának. Ha az így elkészített szerszám- geometriával végezzük a modellezést, akkor a szerszámnyitást követő visszaru- gó- zás során a modellezett alkatrész geometriája és az alkatrész eredeti CAD modellje között eltérések lesznek. A célorientált numerikus modellező szoftverek a 2010-es években már realiztikusan tudták modellezni az alakítási szimulációt követő visszaru- gó- zást, az anyagmodellek fejlesztésének eredményeként. Ez jelentette az alapot ahhoz, hogy a visszaru- gó- zást a virtuális térben kompenzáljuk, így a szerszám- elemek fizikai gyártási folyamata, már egy olyan geometriával kezdődhetett el, ami visszaru- gó- zásra kompenzáltak.

A geometriai kompenzáció elve látható a 4. ábrán.



4. ábra. A geometriai kompenzáció elve

A 4. ábrán a folytonos fekete vonal jeleníti meg az al- katrész eredeti geometriáját. A visszaru- gó- zás numerikus modellezési eredménye a szaggatott fekete színű vonal. A kis nyíl a visszaru- gó- zás során az eltérést jeleníti meg az eredeti és a visszaru- gó- zott geometria között. Ez egy felület esetén egy pontról-pontra változó vektormező- t jelent. Ha ezzel a vektorral az eredeti geometriai mod- ellt a visszaru- gó- zás irányával ellentétesen módosítjuk, akkor a módosított szerszámfelületekkel végzett model- lezés visszaru- gó- zási eredményétől a módosítás előtti állapothoz képest kisebb eltéréseket várunk. Ezt szem- lélteti a 4. ábrán szürke színnel jelölt vonal. Ha az így kapott kisebb eltéréssel megismételjük a kompenzációt az eredeti modelltől mért geometriai eltérés az előze- tesen megfogalmazott tűrésmezőn belülre hozható.

Az autói- pari külső karosszéria panelek alakítását több lépésben hajtják végre. Egy általánosnak mondható műveleti sorrendterv a következő:

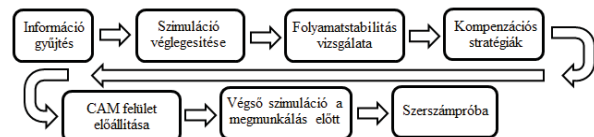
- Húzás, ránc- tartóval rendelkező szerszám- ban (D-20)
- Körülvágás szegmensek mentén, két lépésben (T-30, T-40)

Ezek a lépések egészülnek ki a virtuális térben a visszaru- gó- zás modellezésével (M-50).

A több műveletben készült alkatrész- nekél a kompen- záció nehézsége, hogy az M-50 visszaru- gó- zási számítás eredményével melyik szerszám- elemet kompenzáljuk vissza. Csak az alakadót (D-20)? Akkor a vágási műve- letek (T-30 és T-40) feladó és leszorító szerszám- elemei változatlanok maradnak és a már kompenzált munkada- rab geometriát ők tovább alakítják, még ha kis mérték- ben is, de befolyásolva az eredményeket. Mindegyik művelet szerszám- elemeit? Ennek az a problémája, hogy a kompenzált alakadó szerszám- okból (D-20) a nyitás utáni visszaru- gó- zott alkatrész már nem olyan alakú, mint az előző számításnál, de a további szerszám- elemek még az előző számítás eredményeivel vannak módosít- va. Összefoglalva, a kompenzáció eredményei nagyban függhetnek, az un. kompenzációs stratégiáktól. Ennek hatását vizsgáltuk egy konkrét autói- pari lemezalkatrész- sen, ami egy motorháztető belső lemezalkatrésze volt [3].

Az alkatrész technológiájának műveletei megfeleltek az általános problémafelvetés műveleteinek (D-20, T-30, T-40). A vizsgálat célkitűzése az volt, hogy tárjuk fel az ilyen jellegű alkatrész- sek geometriai kompenzáci- ó- ját miként befolyásolják a kompenzációs stratégiák megválasztása.

A virtuális térben (numerikus modellezéssel) végre- hajtott sikeres geometriai kompenzációhoz a kompen- zációs stratégiák megválasztása mellett az 5. ábra logi- kai lépései is elengedhetetlenek.

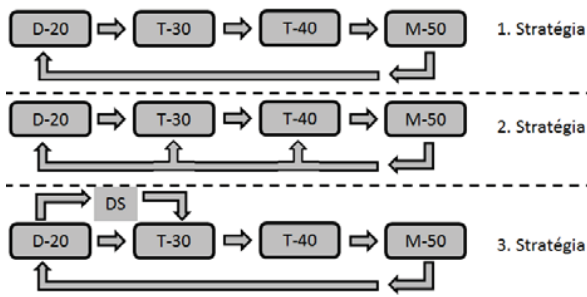


5. ábra. A geometriai kompenzáció menete az AutoForm rendszerben

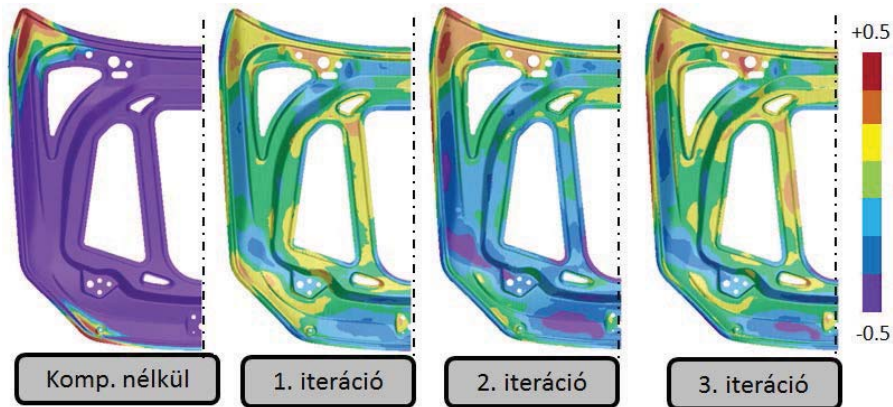
Az első és legfontosabb, hogy tisztába legyünk, hogy melyek a visszaru- gó- zás eredményét leginkább befolyá- soló bemeneti paraméterek (információ gyűjtés) és eze- ket a legkörültekintőbben válasszuk meg. A beállított paraméterekkel az átvételi kritériumoknak maradéktala- nul megfelelő modellezést kell létrehozni. Ennek ered- ménye az un. véglegesített szimuláció.

Ezt követi az un. folyamatstabilitási vizsgálat (*Robustness*) ami azt vizsgálja, hogy a véglegesített technológiai változat, lehetőleg a technológiai ablak olyan részén helyezkedjen el, hogy ha a bemeneti para- méterekben valamilyen előre becsülhető zavart tételez- zünk fel (súrlódás változása, anyagparaméterek szórása) még akkor is megfeleljen az előírt átvételi kritériu- moknak az alkatrész.



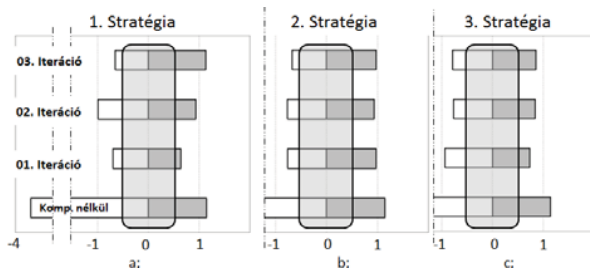


6. ábra. A vizsgált kompenzációs stratégiák



7. ábra. Visszarugás mértékének változása az első kompenzációs stratégia iterációinak függvényében

A 7. ábrán feltűnő lehet, hogy már az első iterációs hurok után az átvételi kritériumokban rögzített geometriai eltérés a megengedett  $\pm 0,5$  mm-es tartományon nagyrészt belül van, de az iterációs hurkok növelésével nem konvergál egy az előírt tartománytól kisebb sávba. Nagyon fontos megállapítás ez alapján, hogy egy iterációs hurok eredményéből még nem beszélhetünk sikeres kompenzációról. Ezt mutatja a 8. ábra a) részlete, ahol sötét téglalappal bejelöltük a  $\pm 0,5$  mm-es geometriai eltérésre vonatkozó tűréstartományt.



8. ábra. Az egyes stratégiák visszarugózási eredményei az iterációs hurkok függvényében

A 2. stratégiai, ahogy az a 6. ábrán látható a műveletek utáni visszarugózási eredményekkel az összes művelet szerszámfelületeit kompenzálja. A 8. ábra b) részlete a tűrésmezőhöz képesti eltérés fejlődését mutatja 3 egymást követő iterációs hurok függvényében. Ebből megállapítható, hogy az első stratégiához képest egy stabil eredményt kapunk, de három iteráció után is, bár a kom-

Ha mindezen elemzéseket elvégeztük, akkor kezdhetünk hozzá a geometriai kompenzációhoz. A hivatkozott tanulmányunkban három különböző kompenzációs stratégiát vizsgáltunk, amit a 6. ábra foglal össze.

Az 1. stratégia a három művelet után modellezett visszarugózás eredményét felhasználva, csak a húzási művelet szerszámfelületeit kompenzálja, az őt követő műveletek szerszámgeometriáit nem változtatja meg. Ennek az egymás követő modellezési iterációk visszarugózásra gyakorolt hatását mutatja be a 7. ábra

penzáció nélküli értékhez viszonyítva javulást tapasztalunk, nem kerülünk be az eltéréssel a tűrésmezőbe. De konvergencia tekintetében előrelépés tapasztalható.

A 3. kompenzációs stratégia az ún. drawshell (DS) stratégia, ami azt a problémát próbálja kiküszöbölni, hogy ha a műveletek utáni visszarugózás (M-50) értékével kompenzálunk, vagy csak az első, vagy az összes művelet szerszámfelületeit, akkor a már kompenzált első szerszámból egy teljesen más alakú visszarugózott köztes alak kerül ki, amit még a kompenzáció előtti eredményekkel kompenzált további műveletek szerszámfelületei fognak alakítani. Ez nem kívánt lokális alakításokat hoznak létre az alkatrészen.

A 3. stratégia lényege a következő (6. ábra). Elvégezzük az összes művelet numerikus modellezést és az utolsó lépésben (M-50) a visszarugózás értéket is meghatározzuk Ennek felhasználásával kompenzáljuk az első alakító műveletet (D-20). Ezt követően a már kompenzált D-20-as elemekkel elvégezzük az alakítási művelet modellezést (1. iteráció) és ennek visszarugózási eredményével kompenzáljuk a következő művelet szerszámelemeit (T-30). Majd ezt végigvisszük az összes további műveleten. Amikor végigértünk ezt tekintjük egy befejezett iterációs huroknak, ami csak két műveletet összekapcsoló elemi iterációs hurkokat tartalmaz.

Ennek eredménye látható a 8. ábra c) részletén. Az eredménye hasonló lett, mint a 2. stratégia eredménye, mert bár az iterációs hurkok számától függetlenül stabil eredményt kaptunk, de három iteráció után sem tudjuk a

megkövetelt tűrésmezőbe kompenzálni a modellezésűnket.

Ez a vizsgálat sorozat sok elgondolkodtató, érdekes tapasztalatot eredményezett az ipari kollégákkal közösen vizsgált kompenzációs stratégiák visszarugózásra gyakorolt hatása tekintetében.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben áttekintést kívántunk adni, hogy az alakítási folyamatok numerikus modellezésének milyen új kihívásai jelentek meg az utóbbi évtizedben. Egyértelműen kijelenthető, hogy a célterületre orientált szoftverek messze túlléptek a csak a fizikai szerszámban történő jelenségek virtuális térben történő megjelenítésén. Olyan komplexebb alakítástechnológiai szemléletet próbálnak kielégíteni, amely a technológiai tudatos, szabványosítható fejlesztés túl a visszarugózás kompenzációjának virtuális térbe történő áthelyezést is magába foglalja. Látható, hogy az alakítási folyamatok numerikus modellezésének területe az utóbbi egy évtizedben kiszélesedett. A Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetének Képlékenyalakító Szakcsoportja az elmúlt évtizedben sem maradt le a terület fejlődésének követéséről és számos ezen a területen mai napig aktív kutatási témával segíti a lemezkalkatrések technológiai- és szerszámtervezésével foglalkozó hazai iparvállalatait.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### 6. IRODALOM

- [1] Tisza M., Gál G., Kiss A., Kovács P. Z., Lukács Zs., Sárvári J.: A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke Képlékenyalakító Szakcsoportjának kutatási tevékenysége a 2001-2010 közötti időszakban. GÉP LXII. évfolyam 2011/4. pp.: 50-55
- [2] Lukács Zs., Tisza M.: Szisztematikus folyamat-tervezés a járműipari lemezalakításban. Járműmérnöki és Járműipari Konferencia 2016. Miskolc 2016. november 17-18.
- [3] Lukács Zs.: Visszarugózás kompenzációjának kihívásai AutoForm R7 rendszerben. XVI. Képlékenyalakító Konferencia Miskolc, 2018. február 7-9.
- [4] Zs. Lukacs, M. Tisza: Numerical modelling of hot forming of high strength Al-alloys: IOP Conference Series: Material Science and Engineering 426, 2018

<b>SOYER termékek</b>		<b>MINDEN csaphegesztési feladathoz!</b>			
	<b>CD</b>	<i>Csúcsgyűjtásos csaphegesztés hálózatról és akkumulátorról!</i>			
	<b>SRM</b>	<i>SRM technológiás csaphegesztés hálózatról és akkumulátorról!</i>			
	<b>DA</b>	<i>Ívhúzásos csaphegesztés</i>			
	<b>AUT</b>	<i>Automata csaphegesztő munkaállomások</i>			
	<b>TUV</b>	<i>2018 óta csaphegesztés oktató és vizsgaközpont</i>			
		<i>- 50 év tapasztalat</i>	<b>ÚJDONSÁG</b>		
		<i>- több mint 110 sikeres vizsga</i>			
		<i>- az összes csaphegesztési eljárás</i>			
<b>SOYER Magyarország Kft. - <a href="http://www.soyer.hu">www.soyer.hu</a> - <a href="mailto:info@soyer.hu">info@soyer.hu</a> - +36 22/504-427</b>					

# AUTÓIPARI ANYAGFEJLESZTÉSEK

## STEEL DEVELOPMENTS FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Tisza Miklós\*

### ABSTRACT

*In the recent decades, significant developments occurred in the steel materials applied in the automotive industry. These developments were inspired by the global competition in car manufacturing due to the customers' expectations and increasing legal requirements. In this paper, some developments will be overviewed particularly focusing on the three generations of advanced high strength steels.*

### 1. BEVEZETÉS

Korlátozások, a minél gazdaságosabban üzemeltethető autókra vonatkozó fogyasztói igények teljesítésében a járművek tömegcsökkentése meghatározó szerepet játszik. Egy autó teljes tömegét illetően az autó karosszériája döntő szerepet játszik. A karosszériaelemek – az ún. Body-in-White – gyártásában a lemezalakítás az egyik legfontosabb gyártási eljárás. Ez is indokolja, hogy a lemezalakításban is az új, innovatív, kis költségű gyártási folyamatok kidolgozása az egyik fő cél. A könnyű, kis tömegű gépjárműalkatrészek gyártásának két fő iránya a nagyszilárdságú acélok, illetve az egyre fokozódó globális verseny miatt az autóiparban a gyártási költségek csökkentése kiemelt célkitűzés. A gyártási költségek csökkentése több okból is szorosan kapcsolódik a járművek tömegének csökkentéséhez. A tömegcsökkentés a járműgyártásban nemzetközi téren is a kutatási tevékenységek középpontjában áll. Ez számos tényezővel magyarázható, amelyek közül itt csak néhányat kiemelve: a szigorú károsanyag kibocsátási előírások, valamint az egyre fokozódó környezetvédelmi a könnyűfémek – hangsúlyozottan a különféle nagyszilárdságú alumínium ötvözetek – alkalmazása [1]. Ebben a cikkben elsősorban a nagyszilárdságú acél alapanyagok fejlesztésével és e fejlesztések eredményeivel foglalkozunk. Ezt a hosszú, több évtizedes fejlesztési tevékenységet leginkább a korszerű nagyszilárdságú acélok fejlesztési eredményeivel jellemezhetjük, amely a nemzetközi szakirodalomban az AHSS – Advanced High Strength Steels fogalommal jelenik meg, így a továbbiakban gyakran mi is az AHSS általánosan elfogadott rövid jelölést és megnevezést alkalmazzuk. Az ezen a területen végzett fejlesztések jól definiálhatóan három nagy csoportba sorolhatók, nevezetesen az ún. első-, második- és harmadik generációs korszerű nagyszilárdságú acélok. E

fejlesztések szorosan kapcsolódnak az autóiparral szemben támasztott követelményekhez is, amelyek az anyagfejlesztések hajtóerőit is jelentik.

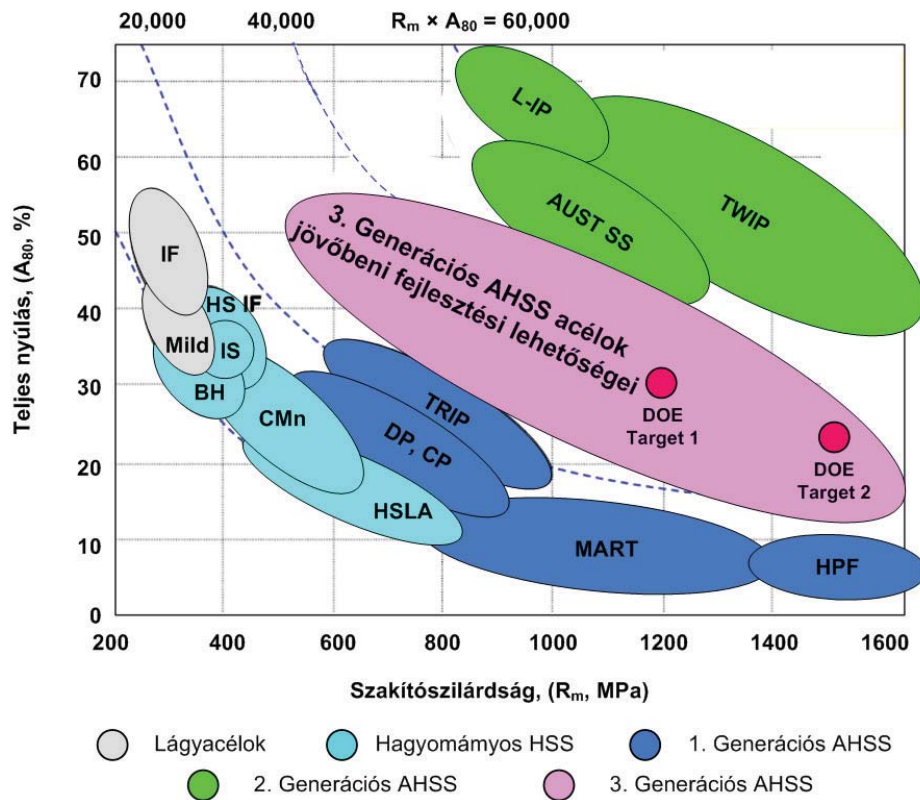
### 2. AZ AUTÓIPARI ANYAGFEJLESZTÉSEK FŐ HAJTÓERŐI

Az autóipari anyagfejlesztések fő hajtóerőit egyrészt a fogyasztók által támasztott elvárások (gazdaságosabb, biztonságosabb, nagyobb komfortfokozatú autók, minél jobb teljesítmény), kiegészülve a jogi előírásokkal (szigorodó környezetvédelmi előírások, minél kisebb káros anyag kibocsátás, fokozott törésteszt előírások) jelentik. E két nagy csoport részben hasonló, részben egymásnak is ellentmondó követelményeket jelent. A világszerte zajló globális verseny miatt az autóiparnak megfelelő válaszokat kell találni ezekre a kihívásokra. Az elmúlt évtizedek fejlesztései egyértelműen rámutattak arra, hogy a sokrétű követelményrendszer kielégítésében a tömegcsökkentés kiemelt szerepet játszik. Figyelembe véve a különböző szerkezeti elemek arányát az autók össztömegében megállapíthatjuk, hogy a karosszériaelemek, a különféle alváz- és felfüggesztések, azaz a lemezalkatrészek tömegének csökkentése kulcsszerepet játszik. A lemezalkatrészek tömegének csökkentése a lemezvastagság csökkentését, és ezáltal a szilárdság növelését igényli. A szilárdság növelése viszont általában együtt jár az alakíthatóság csökkenésével, ami pedig alapvető technológiai problémákat vet fel. Az elmúlt évtizedek acélfejlesztései ezen ellentmondásos követelmények kiegyensúlyozását célozták, azaz olyan nagyszilárdságú acélok kifejlesztését, amelyek alakíthatósági szempontból is megfelelnek az autóipar gyártás igényeinek.

#### 2.1. Az autóipari acélfejlesztések osztályozása

Ebben a cikkben az utóbbi évtizedek acélfejlesztésében legáltalánosabban alkalmazott osztályozás – az ún. korszerű, nagyszilárdságú, idegen kifejezéssel az Advanced High Strength Steels (AHSS) – szerinti csoportosításban ismertetjük az autóipari acélfejlesztéseket, amely szerint három fő csoportot különböztetünk meg, nevezetesen, első, második és harmadik generációs nagyszilárdságú acélokat. Ezt az osztályozást szemlélteti grafikusán az 1. ábra.

\* professor emeritus, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet



1. ábra. A szakítószilárdság ( $R_m$ ) és a fajlagos nyúlás ( $A_{80}$ ) kapcsolata az acélfejlesztések generációk szerinti osztályozásában [2]

Az 1. ábrán megfigyelhető a fémek anyagoknál jól ismert törvényszerűség is, mely szerint a szilárdság növekedésével az alakváltozóképeség hiperbolikus összefüggést követve csökken. Ezt szemléltetik azok a szakítószilárdság és a teljes nyúlás szorzatát mutató  $R_m \times A_{80} = C$  (konstans) görbék, amelyek a korszerű nagyszilárdságú acélok osztályozásában további, fontos szerepet játszanak.

Az 1. ábrán feltüntették az autóiparban évtizedeken át meghatározó szerepet betöltő lágyacélokat (IF, Mild), az ugyancsak jelentős autóiipari alkalmazással rendelkező, hagyományos nagyszilárdságú acélokat (HS IF-High Strength Interstitial Free, BH-Bake Hardening, a CMn-Carbon Mangán, és ennek a csoportnak a fő képviselőjét jelentő-HSLA, azaz High Strength Low Alloyed acélokat) is.

A következő csoportot a korszerű nagyszilárdságú acélok első generációja jelenti (1G-AHSS). Ebbe a csoportba tartoznak a kettős-fázisú DP-acélok, a fázisátalakulással indukált képlékenységet hasznosító TRIP acélok, a komplex fázisú CP-acélok, és a martenzites, MS acélok. Ezek az acélok az előzőekben bevezetett  $R_m \times A_{80} = C$  görbéket tekintve a  $C=10.000-25.000$  (MPa%) tartományban helyezkednek el.

A korszerű, nagyszilárdságú acélok 2. generációját az  $R_m \times A_{80}=40.000-65.000$  (MPa%) tartományban található

acélfejlesztések jelentik (2G-AHSS). Ennek a csoportnak a legjellegzetesebb képviselői az ikerképződés indukálta képlékenységgel jellemzett TWIP-acélok, de ide tartoznak a nagy Mn-tartalmú korrózióálló AUST SS acélok és a Lightweight Induced Plasticity nével illetett-L-IP acélok. Ezek az acélok a szilárdság és az alakíthatóság kiváló kombinációját biztosítják, ugyanakkor ez a csoport a kiváló tulajdonságai ellenére sem ért el igazi áttörést az autóiipari alkalmazásban, elsősorban a kis gyártási termelékenység és a magas gyártási költségek miatt.

A korszerű nagyszilárdságú acélok (AHSS) következő fejlesztési szakasza vezetett az ún. 3. generációs nagyszilárdságú acélok (3G-AHSS) kifejlesztéséhez, amely még napjainkban is a fejlesztés és az első ipari megvalósítás szakaszában van, azonban az acélgyártók már számos figyelemre méltó eredményt értek el ezen a területen. Az alapvető gondolat e fejlesztések mögött az 1. és 2. generációs nagyszilárdságú acélok közötti tartományba eső tulajdonságok biztosítása, amelyeket a szakítószilárdság – alakíthatóság kapcsolatát mutató 1. ábra alapján értelmezhetünk. E csoport kidolgozásánál – a már említett alapgondolat mellett, kiemelt fontosságú, hogy a tervezett kiváló mechanikai tulajdonságokat kevesebb ötvözővel, és így olcsóbban valósítsák meg, különösen a 2. generációs acélokhöz viszonyítva. Ezen

acélok mikroszerkezete jellemzően több fázisból (például nano/ultra finomszemcsés ferritből, martenzitből, vagy bainitből) áll, és egy további fázissal (például austenit) kombinálva, fokozott alakíthatóságot és nagyobb alakváltozási keményedést biztosítanak. Ezzel a fejlesztési koncepcióval a GPa tartományba eső nagyszilárdságú acélok állíthatók elő, egyidejűleg figyelemre méltó alakíthatósággal [3].

A következőkben e három generáció néhány képviselőjének bemutatásán keresztül elemezzük a közelmúlt főbb acélfelvezetési törekvéseit és eredményeit.

### 3. KORSZERŰ, NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK FŐ TÍPUSAI

A korszerű, nagyszilárdságú (AHSS) acélok különböző generációinak legfontosabb jellemzői, hogy komplex, gondosan megválasztott kémiai összetételű és többfázisú mikroszerkezettel rendelkeznek, amelyek pontosan szabályozott hevítési és hűtési folyamatok eredményeként állíthatók elő. Különböző szilárdság növelő mechanizmusokat alkalmaznak a jelentősen megnövelt szilárdság, jobb alakíthatóság, fokozott szívóssági és kifáradási tulajdonságok elérése érdekében, hogy amennyire csak lehetséges, megfeleljenek az autók szerkezeti elemeire előírt, összetett követelményeknek.

#### 3.1. Első generációs nagyszilárdságú acélok

Ennek a csoportnak a legjellegzetesebb és legszélesebb körben alkalmazott típusai a DP és a TRIP acélok, de ebben a csoportban feltétlenül érdemes megemlékezni az utóbbi időben egyre növekvő autóiipari alkalmazással rendelkező martenzites acélokról is, amelyek kiváló tulajdonságainak hasznosítására speciális, kimondottan ezen acéltípus feldolgozására szolgáló új technológiai eljárásokat is kifejlesztettek.

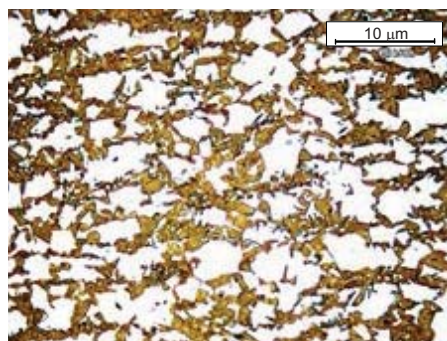
##### 3.1.1. Kettős fázisú, DP-acélok

Az előző elemzésekből is látható, hogy a kétfázisú (DP) acélok az első generációs nagyszilárdságú acélfelvezetésekben és az autóiipari alkalmazásban egyaránt fontos szerepet töltenek be, ezért ezzel a csoporttal kezdjük a korszerű nagyszilárdságú acélok áttekintését.

A napjainkban legszélesebb körben alkalmazott AHSS acélok a kétfázisú acélokkal kapcsolatos korai kutatások alapján fejlődtek ki az 1970-es évek végén és az 1980-as évek elején. Széleskörű felhasználásuk elsősorban annak köszönhető, hogy kedvező szilárdságuk és alakíthatósági paraméterek a hagyományos nagyszilárdságú – például a HSLA – acélokkal összehasonlítva lényegesen kedvezőbb tulajdonság kombinációt eredményeznek. A DP acélok nagy fajlagos szilárdsággal, jó kezdeti alakváltozási kemé-

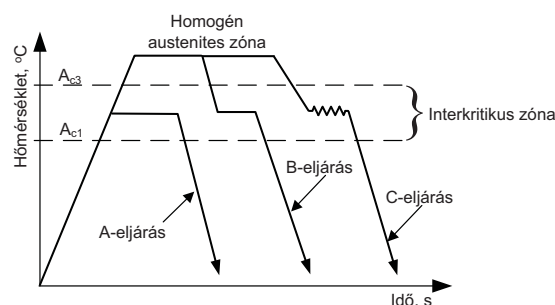
nyedéssel és kiváló alakváltozási képességgel rendelkeznek. Ezek a tulajdonságok teszik különösen alkalmasá járművek karosszéria elemeinek, különféle záróelemeknek, üzemanyagtartályoknak alakítással való gyártására [4].

A kettős fázisú (DP) acélok ferritmátrixba ágyazott, főleg kemény martenzit, egyes esetekben bainit szigeteket tartalmaznak második fázisként, amint az a 2. ábrán látható. Nagyon jellemző, hogy a folyamatos, összefüggő ferritzemcsék, kiváló alakíthatóságot biztosítanak. Az alakítás során az alakváltozás a martenzites szigeteket körülvevő kis szilárdságú ferrit fázisra koncentrálódik; a kiváló alakíthatóság mellett ez a mikroszerkezeti sajátosság az alapja a DP acéloknál tapasztalt jelentős alakváltozási keményedésnek is.



2. ábra. Kettős-fázisú, DP-acél mikroszerkezete ferrit mátrixba ágyazott martenzit szigetekkel DP-acélok gyártási folyamata

Többféle eljárást dolgoztak ki a DP-acélok gyártására. Ezek sematikus hőmérséklet-idő diagramjai láthatók a 3. ábrán. DP-acélok klasszikus gyártási eljárását a 3. ábrán A-eljárással jelölt hőfok-idő diagram mutatja.



3. ábra. DP-acélok különböző gyártási lehetőségeinek hőmérséklet-idő diagramja

Ennél az eljárásnál a DP-acélok előállítása az ún. interkritikus ( $A_1$  és  $A_3$  közötti) hőmérsékletre szobahőmérsékletre végzett gyors hűtéssel történik. A magasabb interkritikus hőmérsékleten végzett hőntartás nagyobb mennyiségű martenzitet eredményez, nagyobb szakítószilárdsággal és kisebb nyúlással. Gyakorlati tapasztalatok alapján a martenzit arányt a 10–40% tarto-

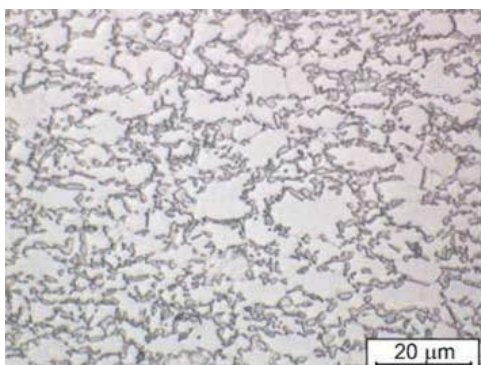
mányban célszerű tartani a nemkívánatos repedések megelőzése érdekében.

A DP-acélok előállításának egy másik módszere (3. ábra, B-eljárás) a homogén austenites zónából lassú hűtést alkalmaz a kívánt ferrit mennyiségnek megfelelő interkritikus átalakulási hőmérsékletre, majd ezt követő gyors hűtést szobahőmérsékletre, hogy a fennmaradó austenitet martenzitté alakítsák [5]. Ezzel a módszerrel többnyire kisebb szilárdsági és nagyobb alakíthatósági jellemzőket kapunk, mint az első módszerrel (A-eljárás).

A DP-acélok előállításának harmadik módszere szerint (3. ábra, C-eljárás) ugyancsak lassú hűtést alkalmazunk a homogén austenites mezőből a kívánt ferrit mennyiségnek megfelelő interkritikus átalakulási hőmérsékletre, majd ezen a hőmérsékleten meleg alakítást végzünk. Ezt követi az austenit martenzites átalakulását eredményező nagyon gyors hűtés (amelyet a szakirodalom ultragyors hűtésnek (Ultra Fast Cooling) nevez: a C-útvonal szerinti eljárást új generációs termomechanikus gyártásnak is nevezik [6]. A C-eljárással elért tulajdonságok mind az A-, mind pedig a B-eljárással kapott tulajdonságokhoz képest kedvezőbbek, amely a meleghengerlés során bekövetkező szemcsefinomodásnak is köszönhető.

### 3.1.2. TRIP-acélok

Az első generációs, korszerű, nagy szilárdságú acélok a DP-acélokhoz hasonlóan fontos típusai a fázisátalakulással indukált képlékenységet hasznosító acélok, amelyek megnevezésére a szakirodalomban az angol megnevezés szavainak kezdőbetűiből alkotott TRIP-acélok rövidítés honosodott meg. Ezek az acélok is kiválóan alkalmasak a tömegcsökkentést előtérbe helyező karosszéria elemek/szerkezetek gyártására, egyúttal további előnyöket eredményeznek a biztonság növelésében is. A TRIP acélok egyik fő jellemzője, hogy a mikroszerkezetben jelen lévő maradó austenit, alakváltozás vagy feszültség hatására bekövetkező átalakulása jelentős szilárdság növekedést eredményez, miközben a gyártási eljárástól függően viszonylag jelentős alakíthatósággal is rendelkeznek [7].



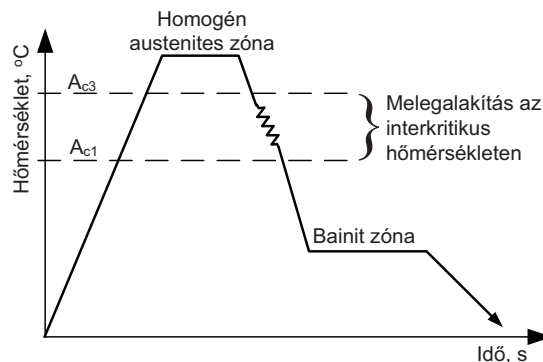
4. ábra. TRIP 690 acél optikai mikroszkópi képe

A TRIP acélok mikroszerkezete ferrit mátrixba beágyazódó martenzit, bainit és maradó austenit szövetelemeket tartalmaz. TRIP-690 minőségű acél optikai mikroszkópi képe látható a 4. ábrán.

A TRIP acélok kiváló alakíthatósága és nagy szilárdsága a maradó austenit alakváltozás hatására bekövetkező martenzitté alakulásával magyarázható. A fázisoknak ezt az alakváltozás hatására bekövetkező átalakulását nevezzük TRIP-hatásnak, amely kiváló szilárdság és alakváltozás kombinációt, valamint a dinamikus hatásokkal szemben jó ellenállóképességet eredményez.

### TRIP-acélok gyártási módjai

A TRIP-acélok tipikus gyártási eljárása a következő: az acélt az austenit zónába hevítik és a homogén austenites állapot eléréshez szükséges ideig hőn tartják; ezt követi, az interkritikus hőmérsékletre hűtés, majd ezen a hőmérsékleten végrehajtott meleg alakítás; a következő lépést a bainit zónába történő gyors hűtés és a bainites tartományban való hőntartás jelenti, amint az az 5. ábrán is látható.



5. ábra. TRIP acélok jellegzetes gyártási folyamata

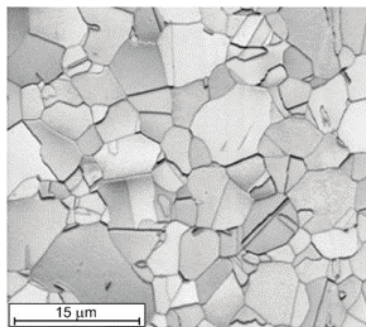
A próbatest alakítása az interkritikus hőmérsékleti tartományban növeli az austenit ( $\gamma$ ) ferritté ( $\alpha$ ) alakulását. Ily módon a visszamaradó austenit karbon tartalma növekszik, ami a  $\gamma$  fázis stabilitását is növeli. Továbbá, ez az alakváltozás növeli a bainit csírák képződési sebességét, de csökkenti annak növekedési sebességét, ami finom bainit lemezeket eredményez. Ez ugyancsak a  $\gamma$  fázis karbonban való dúsulásához és egyúttal a  $\gamma$  fázis további stabilizálásához vezet. Számos közleményből ismert, hogy a maradó austenit nagyobb karbon tartalma növeli az austenit stabilitását, ennek következtében az austenit martenzitté alakulása is hosszabb időt vesz igénybe, amely egyértelműen növeli az acél alakíthatóságát. A végső mikroszerkezetben az austenit-martenzit átalakulás növeli a szilárdságot, ezáltal még kedvezőbb szilárdság-alakíthatóság kombináció érhető el.

### 3.2. Második generációs nagyszilárdságú acélok

A korszerű, nagyszilárdságú acélok 2. generációját az  $R_m \times A_{80} = 40.000-65.000$  (MPa%) tartományban található acélfélesztések jelentik (2G-AHSS). Ennek a csoportnak a legjellegzetesebb képviselői az ikerképződés indukálta képlékenységgel jellemzett TWIP acélok, de ide tartoznak egyes nagy Mn-tartalmú, korrózióálló austenites acélok (AUST SS) és a Lightweight Induced Plasticity névvel illetett-L-IP acélok is. Ezek az acélok a szilárdság és az alakíthatóság kiváló kombinációját biztosítják, ugyanakkor ez a csoport egyelőre a kiváló tulajdonságai ellenére sem ért el igazi áttörést az autóiipari alkalmazásban, elsősorban a kis gyártási termelékenység és a magas gyártási költségek miatt.

#### 3.2.1. TWIP-acélok

A TWIP acélok a korszerű nagyszilárdságú (AHSS) acélok második generációjához tartoznak, és azon a különleges mechanizmuson alapulnak, amelynek révén az alakítási ikerképződési mechanizmus hasznosításával kiemelkedő egyensúlyt lehet elérni a szilárdsági és az alakváltozási, alakíthatósági jellemzők között. Az acélcsoport megnevezése is ebből a jellegzetes alakváltozási módból, azaz az ikerképződés indukálta képlékenység angol megnevezésének betűszó rövidítéséből (TWIP) származik. Az ikerképződés a keményedési kitevő, az  $n$ -érték jelentős növekedését eredményezi, az ikerképződési mechanizmus kapcsán egyre finomabb mikroszerkezet révén. Az ikerhatárok szemcehatárként viselkedve is növelik az acél szilárdságát. TWIP-acél tipikus mikroszerkezetét mutatja a 6. ábra.



6. ábra. TWIP acél optikai mikroszkópi képe

A TWIP acélok jellemzően nagy mangántartalommal rendelkeznek ( $Mn = 17-24\%$ ), aminek következtében az acél szobahőmérsékleten is teljesen austenites. Ezek az acélok kiemelkedő szilárdság - alakíthatóság kombinációval rendelkeznek (például  $R_m > 1000$  MPa feletti szakítószilárdság esetén is akár 50%-ot meghaladó teljes nyúlás érhető el), azaz a TWIP acélok a rendkívül nagy szilárdság mellett ugyancsak rendkívül nagy alakíthatóságot mutatnak [8].

A TWIP acélok további jellemzője a nagy keményedési kitevő, amely  $n \geq 0,4$  értéket is elérhet. A TWIP acéloknál az alakváltozási keményedés stabilitása szorosan összefügg a rétegződési hiba energiájával (Stacking Fault Energy – SFE). Ez a paraméter határozza meg alapvetően a TWIP acélok alakváltozási viselkedését.

Az előzőekben vázolt jellemzők a szilárdság-alakváltozóképeség egészen kivételes kombinációját eredményezik, amely az 1. ábrán vázolt  $R_m \times A_{80} = \text{állandó}$  értékének a  $C = 40.000-65.000$  MPa% tartományban jelöli ki a helyét. A TWIP acélok e kiemelkedő mechanikai jellemzőik ellenére sem értek el áttütő alkalmazási sikereket az autóiiparban elsősorban a kis termelékenység és a magas költségek miatt.

#### TWIP acélok gyártásának lehetséges módjai

TWIP acélok gyártási eljárásának egy lehetséges módja a homogenizáló izzítás után a felső kritikus hőmérséklet fölötti alakítás, majd az ezt követő gyors hűtés, szobahőmérsékletre. A nagy hőmérsékleten végzett alakítás elősegíti a finom szemcseméretetek kialakulását és az ikerkristályok nagy térfogatarányának elérését. Minél finomabb a szemcseszerkezet, annál erőteljesebb az ikerképződés, ami javítja a képlékenységi és szilárdsági jellemzőket.

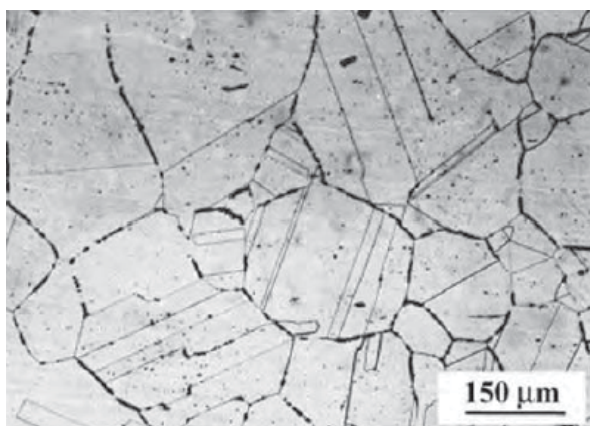
Az ikerkristályok képződésének két típusát figyelték meg TWIP acélokban: (a) hőkezelés által indukált ikerképződést és (b) az alakváltozás által előidézett alakítási ikerképződést. A durva szemcsés TWIP acélok folyási határ értékét az  $R_{p0.2} < 400$  MPa-nál is kisebbnek találták. Egyebek mellett ez is korlátozza a TWIP acélok autóiipari felhasználását, különösen az ún. aktív ütközési zónában lévő alkatrészek esetén. Számos kutatás folyik napjainkban is TWIP acélok folyási határának növelése érdekében. E kutatások között kell megemlítenünk a V, Ti, Nb ötvözőelemek alkalmazását a karbidkiválások megakadályozására, illetve a hideghengerléssel, és az ezt követő izzítással elért részleges átkristályosítást [9].

#### 3.2.2. Austenites korrózióálló acélok (AUST SS)

Az austenites korrózióálló acélok kiváló tulajdonságai jól ismertek és számos területen nyernek alkalmazást. Autóiipari alkalmazásuk a 2. generációs nagyszilárdságú acélok fejlesztése során került a kutatások előterébe.

Az austenites korrózióálló acélok jellemzően nagy króm és nikkeltartalmúak. Legjellegzőbb képviselőjük a 18% Cr és 8% Ni tartalmú, klasszikus 18/8-as korrózióálló acél, amely kiváló korrózióállósága mellett ugyancsak kiváló mechanikai tulajdonságokkal is rendelkezik. Ebből a szempontból különösen a jelentős hideg keményedési képességük figyelemre méltó. Ezek az acélok kis folyáshatárral, jelentős képlékenységgel, nagy szakítószilárdsággal és kiváló szívóssági tulajdonságokkal jellemezhetők. A 7. ábrán egy jellegzetes

képviselőjük az AUST SS 302 acél optikai mikroszkópos felvétele látható.



7. ábra. AUST SS 302 austenites acél szövetszerkezetének optikai mikroszkópos felvétele

Az ilyen acélok kiváló alakíthatósági jellemzőit a felületen középpontos kőbös kristályrendszerből következő 12 csúszási rendszernek köszönheti. Emellett az intersticiós elemek minimális mennyiségét is meg kell említenünk, mivel ez is hozzájárul az akadálymentes diszlokációs csúszási mechanizmus működéséhez és ez által a kiváló képlékenységi jellemzőkhöz.

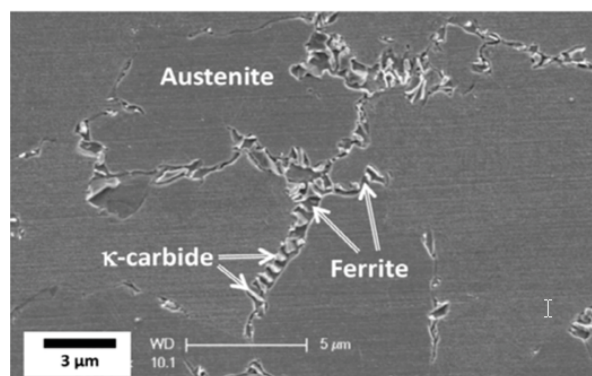
#### AUST SS acélok gyártási eljárásai

Az AUST SS acélokat jellemzően folyamatos szalagöntéssel és meleg lemezhengerléssel állítják elő. Az így előállított lemezeket hidegen hengerlik a kívánt vastagság eléréséig, majd az ennek során bekövetkező felkeményedést hidrogén/nitrogén védőatmoszférában lágyítják. Az újrakristályosodás során megfelelő termikus programmal biztosítják a kellően finom szemcseszerkezetet és az esetleges karbidkiválások oldódását. A lágyítás után a hűtést kellő gyorsasággal kell elvégezni a karbidok kiválásának elkerülése érdekében.

#### 3.2.3. L-IP acélok

A tömegcsökkentés indukálta acélfejlesztések különleges típusai az L-IP acélok, amelyeknek a neve is erre utal (L-IP – Lightweight Induced Plasticity). Ezt a megnevezést elsősorban az Fe-Mn-Al-C ötvözet típusnál alkalmazzák, amelyeknél külön jellegzetesség az Al ötvözés: az Al a kulcsötvöző a tömegcsökkentés biztosításában [10].

Az ötvöző elemeket tekintve, a Mn és a C austenitképző, az Al pedig ferrit-stabilizáló, továbbá fokozza a C metastabilis oldódását a diffúzió képesség csökkentése révén. Az L-IP acélok megfelelő vegyi összetétel esetén triplex mikroszerkezetet eredményeznek, amely austenit, ferrit és  $\kappa$ -karbidokat –  $(\text{Fe,Mn})_3\text{AlC}$  – tartalmaz. A 8. ábra L-IP acél tipikus triplex szerkezetéről készült scanning elektron-mikroszkópos felvételt mutat.



8 ábra. L-IP acél austenit+ferrit+ $\kappa$ -karbid triplex mikro-szerkezetének scanning elektronmikroszkópos felvétele

### 3.3. Harmadik generációs nagyszilárdságú acélok

A 3. generációs nagyszilárdságú acélok (3G-AHSS) kifejlesztésének fő célja az 1. és 2. generációs AHSS acélok tulajdonságai közötti tartományba eső mechanikai tulajdonság-kombinációk elérése kevesebb ötvöző mennyiséggel, következésképpen gazdaságosabb, kisebb költségű gyártással, amelyek széleskörű alkalmazása rövid időn belül megvalósítható. Ebből a csoportból a közelmúlt néhány fejlesztési eredményét mutatjuk be.

#### 3.3.1. Gyorsan hűtött és particionált (Q&P) acélok

A gyors hűtéssel és particionálással gyártott (Quenching and Partitioning – Q&P) acélok a harmadik generációs AHSS acélok legújabb fejlesztéseinek eredményei. A Q&P acélok kidolgozása részben a duplex rozsdamentes acélok, továbbá az edzés és a particionálás folyamatának ismeretein, valamint a közepes mangán tartalmú acélok fejlesztése során szerzett tapasztalatokon alapulnak. A Q&P acélok jellemzően karbon-, mangán-, szilícium-, nikkel- és molibdén ötvözőket tartalmaznak. A szilárdsági elvárásoktól függően az ötvöző elemek 4% körüli ötvözőtartalmat jelentenek, ami jóval kevesebb, mint a második generációs AHSS acéloknál, így kevésbé költséges gyártási eljárásnak tekinthető [11].

A Q&P acél hőkezelése közben a gyors hűtést megszakítják, és az acélt újra felhevítik a particionáláshoz. Ez 5–12% stabil maradó austenitet, 20–40% ferritet és 50–80% martenzitet eredményez. A Q&P eljárás akár 2100 MPa feletti szakítószilárdságú acélokat is eredményezhet, 9%-os egyenletes nyúlással és körülbelül 13% teljes nyúlással. Ennek az acélnek az alakváltozási viselkedése összevethető a DP 980 acéléval, amely hidegen alakíthatónak tekinthető.

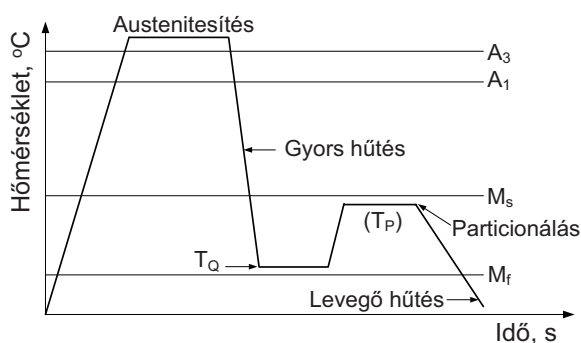
A Q&P acélok a C-Si-Mn, C-Si-Mn-Al, vagy más hasonló összetételek sorozatát képezik, amelyeket a gyors hűtés és particionálás (Q&P) hőkezelési eljárással állítanak elő. A Q&P acélok mikroszerkezete ferrit (részleges austenitesítés esetén), martenzit és maradó austenit, amely kitűnő szilárdsági és alakváltozási



jellemzőket eredményez. Ezek a tulajdonságok teszik lehetővé a felhasználásukat gépjármű alkatrészekként való alkalmazásra. A Q&P acélok alkalmasak viszonylag bonyolult alakú gépjármű elemek hidegalakítással való előállítására, mindezt az üzemanyag-takarékosság és az utasbiztonság növelése mellett.

#### A Q&P acélok gyártási eljárásai és metallurgiai háttere

A Quenching&Partitioning eljárásnak két alapvető változatát dolgozták ki. Az alapváltozat egy gyors hűtést (Quenching) majd azt követő particionálást (Partitioning) tartalmaz, az újabb változat egy ún. dupla stabilizációs termikus ciklust (Double-Stabilization Thermal Cycle – DSTC) alkalmaz. Az alapváltozat elvi hőmérséklet-idő ciklusa a 9. ábrán látható.



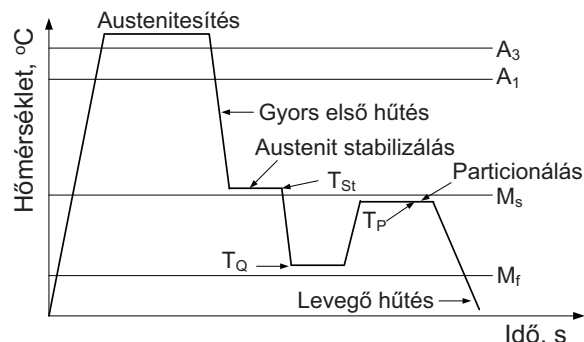
9. ábra. A Quenching&Partitioning hőmérséklet-idő diagramja

A Quenching&Partitioning eljárás alapváltozatának lényege röviden az alábbiakban foglalható össze.

1. **Austenitesítés.** A Q&P eljárás első lépése egy teljes austenitesítés az acélra jellemző  $A_3$  hőmérséklet feletti hőntartással, amíg a teljes homogén austenites mikroszerkezet kialakul. Az austenit karbon tartalma ( $C_\gamma$ ) megegyezik az ötvözet eredeti karbon tartalmával; jelöljük ezt  $C_i$ -vel.
2. **Quenching.** Az austenitesítést gyors hűtés követi az  $M_f$  hőmérséklet feletti  $T_Q$  hőmérsékletig; ekkor kialakul a megfelelő martenzit/austenit arány. Az austenit karbon tartalma ekkor megegyezik a  $C_\gamma$  értékével, a martenzit karbontartalma pedig  $C_m$ .
3. **Partitioning.** Ezt követi a  $T_P$  hőmérsékleten a particionálás (az  $M_s$  hőmérséklet alatt). Ezen a hőmérsékleten a martenzitből karbon diffundál az austenitbe, növelve az austenit karbon tartalmát, ezáltal annak stabilitását is. Ennek eredményeként a korábbihoz képest növekszik az austenit aránya is a szövetszerkezetben.
4. **Végző hűtés.** A particionálás hőmérsékletéről levegő-hűtéssel szobahőmérsékletig hűtjük az acélt,

amelynek eredményeként további martenzit képződik.

Az újabb eljárás, a Dupla Stabilizációs Termikus Ciklus (DSTC) célja nagy térfogatarányú maradó austenit és martenzit biztosítása kellő karbon tartalommal a nagy szilárdság biztosítása érdekében. Hasonlóan az előzőkben elemzett alapváltozathoz, ugyancsak cél a karbid képződés megakadályozása annak érdekében, hogy minél több karbon diffúzió történjen a martenzitből az austenitbe a particionálási folyamat során. Ennek az eljárásnak a hőmérséklet-idő ciklusa látható a 10. ábrán.



10. ábra. Quenching&Partitioning eljárás Dupla Stabilizációs Termikus Ciklussal (DSTC) A DSTC eljárás gyártási lépései

1. **Austenitesítés.** A Dupla Stabilizációs Termikus Ciklus első lépése is egy teljeskörű austenitesítés.
2. **Kezdeti gyors hűtés.** Az austenitesítést egy kellően gyors, első hűtés követi, amelynek a célja az esetleges bainites átalakulás megakadályozása. Ezt a hűtést közvetlenül a martenzites átalakulás kezdeti ( $M_s$ ) hőmérséklete fölértéig folytatjuk. Ezen a hőmérsékleten az austenit elsődleges stabilizálása történik.
3. **Befejező gyors hűtés.** A kezdeti gyors hűtést az  $M_f$  hőmérséklet feletti hőmérsékletig végzett gyors hűtés követi, amelyen a hőntartással az austenit/martenzit arány beállítása történik.
4. **Carbon particionálás.** A particionálást az  $M_s$  hőmérséklet alatt végezzük; ennek egy másodlagos stabilizálás a célja, amelynek során a martenzitből karbon diffundál az austenitbe, növelve az austenit karbon tartalmát, ezáltal annak stabilitását is. Ennek köszönhetően tovább növekszik az austenit martenzitté való átalakulással szembeni ellenálló-képessége.
5. **Levegőhűtés.** Erről a hőmérsékletről szobahőmérsékletig levegőn hűtjük a mintegy 30% austenitet, 23% ferritet és 47% martenzitet tartalmazó acélt. A karbidképződés megakadályozására további, Si és Al ötvözőket is adagolnak.

A harmadik generációs nagyszilárdságú acélok a TRIP hatást hasznosító, gyengén ötvözött bainit-ferrites (TBF) acélok egy további figyelemre méltó fejlesztését jelentik. A TBF-acélok mikroszerkezete bainit-ferrit mátrixból áll, maradó austenit részecskékkel. A TBF-acélok tipikus kémiai összetétele C, Si és Mn fő ötvöző elemeket tartalmaz. További szokásos ötvözők az Al, Nb és Cr különböző összetétel kombinációkban [12]. A Si gátolja a karbid képződését a bainites fázisátalakulás során, ami növeli a maradó austenit C-tartalmát, és ezáltal lehetővé teszi a maradó austenit karbonnal való stabilizálását.

#### TBF acélok gyártási eljárása

Ezen acélok egyik nagy előnye a Q&P acélokhoz képest, hogy hagyományos hőkezelő létesítményekben előállíthatók, míg a Q&P acélok gyártásához a hőkezelő létesítményeket jelentősen át kellett alakítani. Előállításuk a teljesen austenites mikroszerkezetből gyors hűtést követően a bainit tartományban végzett izotermikus hőntartással történik.

#### 3.3.3. Nano-acélok

A harmadik generációs, korszerű nagyszilárdságú acélok egy további csoportja, az ún. Nano-acél® még a fejlesztés stádiumában van, kereskedelmi forgalomban még nem elérhető. Ennek a típusnak a jellegzetessége a speciális kémiai összetétellel és hőkezeléssel létrehozott nanokristályos szerkezet. Öntés után az acél elsősorban austenites szövetszerkezetű, némi boriddal. Hőkezelés után az austenitet nanométeres méretűre finomítják. Képlékeny alakváltozás során a feszültség-indukálta nanoméretű fázisképződés növeli az alakváltozási keményedő képességét [13].

## 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az „AutoTech – képlékenyalakítás, hegesztés és hőkezelés fejlesztése a magyar autóiparban” (Nyilv. tart. sz.: TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029), valamint a Horizont 2020 „Low Cost Materials Processing Technologies for Mass Production of Lightweight Vehicles – LoCoMaTech” (EU Grant No: H2020-NMBP-723517-GV-2016)” című projektekben elért eredményeket összegezte. A kutatómunkában résztvevők mindkét pénzügyi támogatást ezúton is megköszönik.

- [1] Tisza M. Képlékenyalakítás az autóiparban, Miskolc, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2015. 294. p. ISBN 978-963-358-082-0
- [2] Tisza M. Development of Lightweight Steels for Automotive Applications, DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.91024>
- [3] Nanda T, Singh V, Singh V, Chakraborty A, Sharma S: Third generation of advanced high-strength steels: Processing routes and properties, J. Materials: Design and Applications, 2016; August 12; doi.org/10.1177/1464420716664198
- [4] Li C, Li Z, Cen Y, et al: Microstructure and mechanical properties of dual phase strip steel in the overaging process of continuous annealing. Mater. Sci. Eng. A. 2015; 627: 281–289.
- [5] Meng Q, Li J, Wang J, et al: Effect of water quenching process on microstructure and tensile properties of alloy cold rolled dual-phase steel. Mater Des. 2009; 30: 2379–2385.
- [6] Rana R, Liu C, Ray R K: Evolution of microstructure and mechanical properties during thermo-mechanical processing of a low-density multiphase steel for automotive application. Acta Mater. 2014; 75: 227–245.
- [7] Kuziak R, Kawalla R, Waengler S: Advanced high strength steels for automotive industry: A review. Arch Civil Mech. Eng. 2008; 8: 103–117.
- [8] Chung K, Ahn K, Yoo DH, et al: Formability of TWIP (twinning induced plasticity) automotive sheets. Int. J Plasticity. 2011; 27: 52–81.
- [9] Scott C, Remy B, Collet JL, et al: Precipitation strengthening in high manganese austenitic TWIP steels. Int. J Mater Res. 2011; 102: 538–549.
- [10] Wang, J, Yang, Q. et al.: A phenomenon of strain induced bainitic transformation and its effect on strength enhancement in a lightweight transformation-induced-plasticity steel, Materials Science & Engineering A, Feb. 2019, doi.org/10.1016/j.msea.2019.02.057
- [11] Speer J G, Edmonds DV, Rizzo F C, Matlock D K: Partitioning of carbon from supersaturated plates of ferrite, with application to steel processing and fundamentals of the bainite transformation. Curr. Opin. Solid State Mater. Sci. 2004;8:219–237.
- [12] Bachmaier A, Hausmann K, Krizan D, Pichler A: Development of TBF steels with 980 MPa tensile strength for automotive applications. In: Proceedings of Int. Conf. on New Developments in Advanced High Strength Steels. Colorado, June 2013.
- [13] Singh H: Nanosteel Intensive Body-in-White. Research Study. EDAG Inc. August 2013.

# ALAKÍTÁSTECHNOLÓGIAI KUTATÁSOK A LOCOMATECH H-2020 PROJEKT BEN

## FORMING RESEARCHES IN THE LOCOMATECH H-2020 EUROPEAN PROJECT

Gál Gaszton\*, Gál Viktor\*\*, Kovács Péter Zoltán\*\*\*, Kuzsella László\*\*\*,  
Lukács Zsolt\*\*\*, Prof. Tisza Miklós\*\*\*\*

### ABSTRACT

*In this paper, the formability investigations and their results achieved within the LoCoMaTech H-2020 project are summarized. This Joint European project was realized by the consortium of 19 institutions and companies from nine European countries. The project was led by the Imperial College London (ICL). The primary aim of the project was to develop a cost-effective process for producing automotive parts from low-density aluminium alloys (e.g. AA6082 és AA7075 high strength grades), to assure significant mass reduction and thereby reducing the harmful emissions and contributing to the environment protection. Performing theoretical and experimental formability investigations and numerical modelling was the main task of the Institute of Materials Science & Technology of the University of Miskolc as the Hungarian project partner.*

### 1. BEVEZETÉS

A LoCoMaTech H-2020 projekt az Imperial College London (ICL) vezetésével 2016 szeptemberében indult, 36 hónap futamidejű az EU által finanszírozott, Horizon-2020 kutatási együttműködés. A projekt fő célkitűzése nagyszilárdságú Al-ötvözetek felhasználásával készült járműalkatrészek gazdaságos előállítási technológiájának, az ún. Hot Forming & Quenching (HFQ™) szabadalmaztatott eljárás optimális alakítástechnológiai megoldásainak kidolgozása és a tömeggyártásba történő bevezethetőségének vizsgálata, előkészítése.

A projektben 9 Európai Unió országából összesen 19 partner intézmény vett részt (egyetemek, kutatóintézetek, alapanyaggyártó és autóiipari vállalatok). A kutatás feladatait a konzorcium 8 munkacsoportra (Work Package) bontva, és az egyes munkacsoportokon belül létrehozott feladatpontok (Task Point) szerint végezte. A munkacsoportok és azokon belül a feladatpontok a teljes projekt logikus megvalósítási rendszerét alkották.

A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Intézet Tanszékének fő feladatát a nagyszilárdságú alumínium ötvözetek (AA6082 és AA7075) alakításával kapcsolatos mechanikai és alakíthatósági vizsgálatok, valamint a hagyományos autóiipari anyagok helyettesítésére alkalmas anyagok kiválasztása és a projekt alapját képező Hot Forming & Quenching eljárás virtuális mérnöki módszerekkel való tervezése képezte. Ebben a cikkben röviden ezekről a vizsgálatokról és a kapott eredményekről számolunk be. A vizsgálatok és az eredmények ismertetése előtt röviden bemutatjuk a Hot Forming & Quenching eljárás legfontosabb jellemzőit.

### 2. A HOT FORMING & QUENCHING (HFQ®) ELJÁRÁS ISMERTETÉSE

Amint a Bevezetésben is említettük a projekt fő célkitűzése a nagyszilárdságú Al-ötvözetek felhasználásával készült járműalkatrészek gazdaságos előállítási technológiájának, az ún. Hot Forming & Quenching (HFQ™) szabadalmaztatott eljárásnak a részletes technológiai kidolgozása, az eljárás optimális technológiai megoldásainak továbbfejlesztése, valamint az eljárás optimális paramétereinek meghatározása és a tömeggyártásba történő bevezethetőségének vizsgálata volt. Ennek részletezése előtt indokolt, hogy röviden összefoglaljuk az eljárás lényegét.

A tömegcsökkentés követelményének – amely az autóiiparral szemben támasztott követelmények szinte mindegyike szempontjából kiemelt jelentőségű – egyik lehetséges megvalósítási útja a könnyűfémek csoportjába tartozó, nagyszilárdságú alumínium ötvözetek alkalmazása. Ugyanakkor az is közismert, hogy a szilárdság növelésével az alakíthatóság rohamosan csökken, miközben az autóiipari alkatrészek többségét – különösen az ún. Body-in-White, azaz a karosszéria elemeket – vékonylemezből, képlékenyalakítással gyártják, tehát az alakíthatóság kiemelt fontosságú az autóiiparban. A megoldás ezért olyan technológiai folyamat alkalmazása, amelynél az alakítás során az alkalmazott

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

\*\* PhD hallgató, Miskolci Egyetem Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet

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

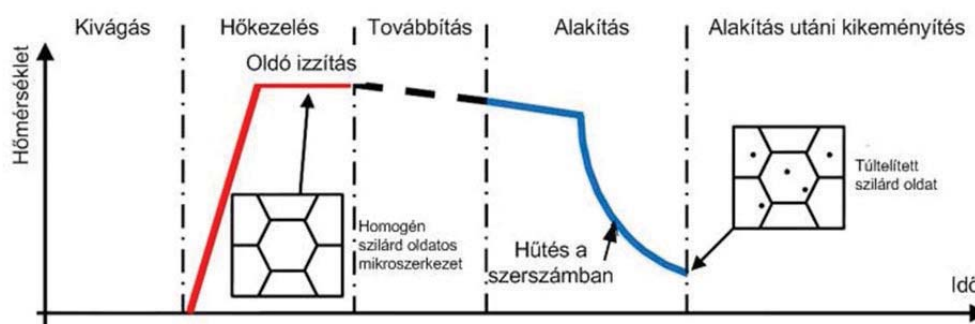
\*\*\*\* professor emeritus, Miskolci Egyetem Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet

alumínium ötvözet még kis szilárdsággal és jó alakíthatósággal rendelkezik, és amelynél az alkatrész a megkívánt szilárdságát az alakítás után, utólagos hőkezeléssel, kikeményítéssel éri el. Az alakítható, nemesíthető alumínium ötvözetek ennek a technológiai folyamatnak kiválóan megfelelnek, közülük is elsősorban azok az ötvözetek, amelyek a kikeményítő hőkezelés során a legnagyobb szilárdságot biztosítják. Ennek a követelménynek leginkább az AA7xxx ötvözetsor, ezen belül is az AA7075 (Al-Zn-Mg-Cu) ötvözet felel meg.

Az AA7075 alumínium ötvözet a repülőgépipar és egyre inkább az alumínium karosszériát fejlesztő autóipar közkedvelt anyagává vált. Ez az alumínium ötvözet a nemesíthető alumínium ötvözetek jellegzetes képviselője, amely a magas hőmérsékletű (480-525°C) oldó izzítást követően jól alakítható, lágy homogén egyfázisú,  $\alpha$  szilárd oldatot tartalmaz, a kikeményítést követően

pedig egyes acélok szilárdságát is elérő ( $R_m > 550$  MPa) nagyszilárdságú ötvözetet kapunk.

Ezek a paraméterek teszik ezt az alumínium ötvözetet kiválóan alkalmassá a Hot Forming and Quenching (HFQ™) eljárásra, amelynek lényege az alábbiakban foglalható össze: az alumínium ötvözetet nagyhőmérsékletű oldó izzítással jól alakítható, lágy homogén egyfázisú,  $\alpha$  szilárd oldatot tartalmazó állapotra hőkezeljük, amelyet ezt követően melegen, a kívánt formára alakítjuk. Az alakítást követően az alkatrészt gyorsan lehűtjük, ezzel megakadályozva durva kiválások keletkezését, amelyek a tulajdonságokat igen kedvezőtlenül befolyásolnák. Az alkatrész a végleges szilárdságát ezt követően egy kikeményítő hőkezelés során nyeri el. A jelentős szilárdságnövekedés a kikeményítés során kiváló finom precipitátumoknak köszönhető. Ennek a technológiai folyamatnak az elvi hőmérséklet-idő folyamata látható az 1. ábrán.



1. ábra. A Hot Forming and Quenching (HFQ™) eljárás elvi hőmérséklet idő diagramja

Mivel vékony lemezekről van szó (alkatrésztől függően  $t=0,8-2,0$  mm), az oldó izzítás csak néhány percet vesz igénybe. A kikeményítés ennél lényegesen hosszabb időt (akár néhány órát is) igényelhet. Ezt az időt azzal csökkenthetjük az ipari gyártási folyamatba beilleszthető ciklusidő elérése érdekében, hogy a szilárdságnövekedést biztosító kikeményítő hőkezelést, a gyártási folyamatba beépítve, a karosszéria festését követő kiegészítés során nyeri el.

### 3. AZ ANYAGPARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA

Mind a technológiai és a szerszámtervezéshez, mind pedig a folyamatok numerikus modellezéséhez nélkülözhetetlen egyrészt a megfelelő anyagmodellek kidolgozása, másrészt azoknak az anyagjellemzőknek a kísérleti meghatározása, amelyek az anyagmodellek gyakorlati felhasználásához is szükségesek

#### 3.1. Az alkalmazott anyagmodellek

Az alakítási hőmérséklet az alumínium ötvözetekre kidolgozott HFQ® eljárásnál melegalakításnak minősül. Melegalakítás során a hidegalakításhoz képest alapve-

tően különböző anyagmodellek alkalmazása szükséges a technológiai folyamat minél pontosabb leírása érdekében. Melegalakító eljárásoknál az anyag viselkedését a hőmérséklet és az alakváltozási sebesség is alapvetően befolyásolja. Az irodalomban különféle anyagmodellek találhatók, amelyek ezeket a hatásokat különböző mechanikai megfontolások alapján kidolgozott összefüggésekkel írják le. Melegalakító eljárásoknál jellemzően viszkoplasztikus anyagmodelleket alkalmaznak, esetenként a speciális alakváltozási körülményeket is figyelembe vevő alakváltozási állapotot is leíró módosításokkal (pl. kúszás, szuperképlékeny alakítás, viszkoplasztikus keményedés, megújulás és újrakristályosodás, stb. figyelembevételével). Ezekről a modellekről átfogó elméleti összefoglaló található Lin könyvében [1].

A projekt keretében Lin és munkatársai nagyszilárdságú alumínium ötvözetek viselkedését pontosabban leíró, egységes viszkoplasztikus anyagmodellt (Unified Viscoplastic Material Modell) dolgoztak ki, a különféle melegalakítási folyamatok egységes leírására. Ebben a cikkben az anyagmodell részletes ismertetésétől eltekintünk; azonban a következő pontokban ismertetésre kerülő anyagvizsgálatok, és alakíthatósági elemzések tervezésénél és megvalósításánál a Lin és munkatársai által kidolgozott modellt alkalmazzuk [2].

### 3.2. A HFQ® eljárásnál alkalmazott nagyszilárdságú alumínium ötvözetek anyagjellemzői

#### 3.2.1. A vizsgált anyagminőségek

A HFQ® eljárásnál alkalmazott AA7075 nagyszilárdságú alumínium ötvözet mechanikai anyagvizsgálatához a lemez alapanyagokat részben a francia Constellium (CTE) projektpartner, részben az Amari Kft. (Magyarország) biztosította. A párizsi székhelyű Constellium cég a világon meghatározó szerepet tölt be a nagyszilárdságú alumínium alapanyagok fejlesztésében és gyár

tásában. A világszerte számos leányvállalattal rendelkező cég a repülőgépipar és az autópipar meghatározó alapanyag beszállítója.

Az 1. táblázat az AA7075 anyagminőség vegyi összetételét mutatja az elemek tömegszázalékában, míg a 2. táblázat a legfontosabb mechanikai anyagjellemzőket ( $R_{p0,2}$ ,  $R_m$ ,  $A_{80}$ , HB) tartalmazza az AA7075 anyagminőség szállítási állapotára (T6 hőkezelési állapotra) vonatkozóan. A T6 hőkezelési állapot az oldó izzítást követően teljes mértékben mesterségesen öregített, kikeményített állapotot jelent.

1. táblázat. A vizsgálatoknál alkalmazott AA7075 lemez alapanyag jellemző összetétele (tömeg%)

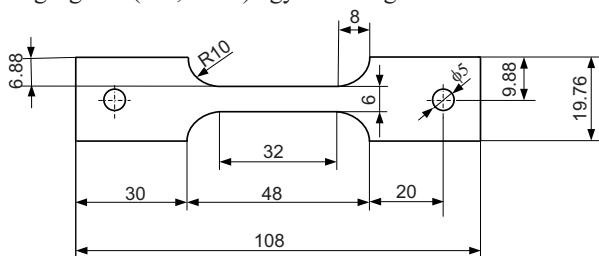
Al	Mg	Si	Zn	Cr	Mn	Cu	Ti	Fe	Egyéb egyenként	Egyéb összes
87,1-91,4	2,1-2,9	max 0,4	5,1-6,1	0,18-0,28	max 0,3	1,2-2,0	max 0,2	max 0,5	max 0,05	max 0,15

2. táblázat. Az AA7075 anyagminőség mechanikai jellemzői, T6 állapotban

Megnevezés	Folyási határ	Szakítószilárdság	Keménység	Fajlagos nyúlás
Jel, mértékegység	$R_{p0,2}$ , MPa	$R_m$ , MPa	HB	$A_{80}$ , %
Érték	503	572	150	11

#### 3.2.2. Az AA7075 alumínium ötvözet mechanikai anyagvizsgálata

A vizsgálatokat az előzőekben ismertetett, anyagminőségekből készített lemez próbatesteken végeztük. A próbatestek kialakítása és méretei a 2. ábrán láthatók. A próbatest lemezvastagsága az alapanyag lemezvastagságával ( $t=2,0$  mm) egyezett meg.



2. ábra. A lemez próbatest alakja és méretei

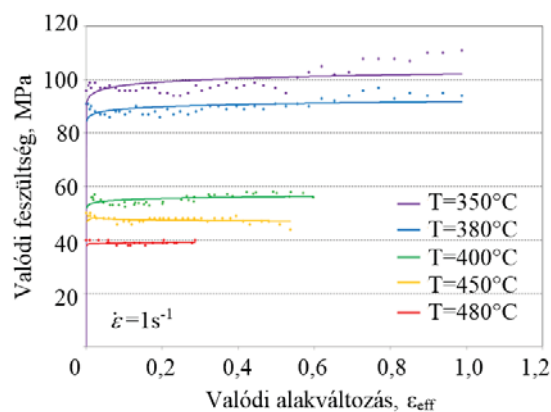
3. táblázat. A vizsgálati mátrix az alkalmazott hőmérséklet és alakváltozási sebesség értékekkel

Alakváltozási sebesség	Hőmérséklet				
	350°C	380°C	400°C	450°C	480°C
0.1/s		✓			
1/s	✓	✓	✓	✓	✓
5/s		✓			
10/s		✓			

Az egytengelyű húzóvizsgálatokat az intézetünkben található Gleeble-3500 termomechanikus fizikai szimulátoron [3] végeztük a hőmérséklet és az alakváltozási sebesség szabályozása érdekében. A vizsgálatokat a 3.

táblázatban összesített vizsgálati mátrixban összefoglalt paraméterekkel végeztük.

A meleg szakítóvizsgálatok valódi feszültség-valódi alakváltozás diagramjai ( $\dot{\varphi}=1/s$  állandó alakváltozási sebességgel felvett mérési eredmények  $T=350-480^\circ\text{C}$ ) a 3. ábrán láthatók.



3. ábra. Melegszakító vizsgálati diagramok

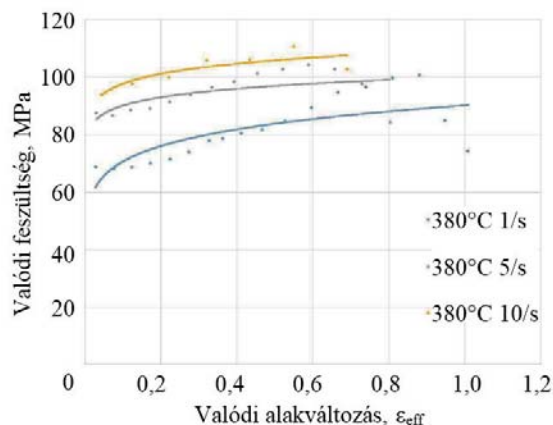
A diagramok elemzéséből az alábbi lényeges következtetések vonhatók le:

- a valódi feszültség – valódi alakváltozás görbék a valódi feszültség értékeket illetően jól követik a melegalakításnál várt változásokat, azaz a növekvő hőmérsékleteken egyre csökkenő valódi feszültségeket mérünk. A valódi feszültségek csökkenése a növekvő hőmérsékletekkel a diszlokációk növekvő termikus aktiválódásával magyarázható: ez teljes mértékben

megegyezik a melegalakításnál más anyagminőségek esetén is tapasztalt változásokkal [4];

- a mért valódi alakváltozások a  $T=350-400^{\circ}\text{C}$ -on végzett kísérleteknél többé-kevésbé ugyancsak a melegalakításnál várható tendenciát követik, ugyanakkor a  $T=450^{\circ}\text{C}$ -on és különösen a  $T=480^{\circ}\text{C}$ -on felvett diagramok a vártnál lényegesen kisebb valódi nyúlást mutatnak. Hasonló tapasztalatokról számolt be AA2024 minőségű alumínium ötvözetek vizsgálatánál Wang és Lin is. A szakadásig elviselt nyúlás csökkenését a magasabb hőmérsékleten ( $T>450-480^{\circ}\text{C}$ ) a szemcsék közötti törési folyamatok mechanizmusainak dominánsá válásával indokolták [5].

Az alakváltozási sebesség ( $\dot{\epsilon}$ ) hatását a 4. ábra mutatja.



4. ábra. Az alakváltozási sebesség hatása a valódi feszültség-valódi nyúlás diagramokra

A diagramok elemzéséből az alábbi lényeges következtetések vonhatók le:

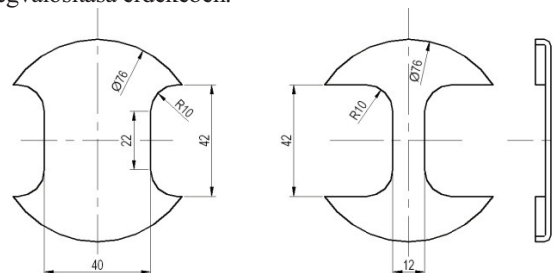
- a valódi feszültség értékek a növekvő alakváltozási sebességekkel növekednek, amint az a melegalakító eljárásoknál általánosan ismert;
- a növekvő alakváltozási sebességekkel a szakadásig elviselt nyúlás csökkenése is megfigyelhető: ez ugyancsak összhangban van a melegalakításnál tapasztaltakkal.

### 3.2.3. Az AA7075 alumínium ötvözet alakíthatósági vizsgálata

Az alakíthatósági vizsgálatokat a Constellium (CTE) projekt partner által rendelkezésünkre bocsátott AA7075 anyagminőségű,  $t=2,0$  mm vastagságú, lemezanyagokon végeztük. A vizsgálatokat ugyancsak a Gleeble-3500 termomechanikus fizikai szimulátorral, izotermikus vizsgálati körülmények között, a tanszékünkön kidolgozott módosított Nakajima vizsgálat szerint végeztük.

A különböző alakváltozási állapotok eléréséhez a 76 mm átmérőjű, tele tárcsán kívül további két próbatestet használtunk, amelyek az 5. ábrán láthatók. A próbatestek különböző hídszélességei ( $w$ ) az egytengelyű húzás állapotának ( $w=12$  mm), a síkalakváltozási állapotnak ( $w=40$  mm) és a kéttengelyű nyújtásnak ( $w=76$  mm)

megfelelően változtak a különböző alakváltozási útvonalak megvalósítása érdekében.



5. ábra. Próbatest alakok

Az alakíthatósági vizsgálatoknál különböző hőmérsékleteket és sebességeket alkalmaztunk ezek hatásainak elemzésére. Először  $v=250$  mm/s állandó sebességgel végeztük az alakításokat különböző hőmérsékleteken ( $T=350^{\circ}\text{C}$ ,  $380^{\circ}\text{C}$ ,  $420^{\circ}\text{C}$ ), majd ezt követően állandó hőmérsékleten  $T=380^{\circ}\text{C}$ -on különböző sebességekkel ( $v=75$  mm/s,  $250$  mm/s és  $400$  mm/s) végeztünk vizsgálatokat. A vizsgálati mátrixot az alkalmazott hőmérsékleti és alakítási sebesség értékekkel a 4. táblázat mutatja.

4. táblázat. Az alakíthatósági vizsgálatoknál alkalmazott technológiai paraméterek mátrixa

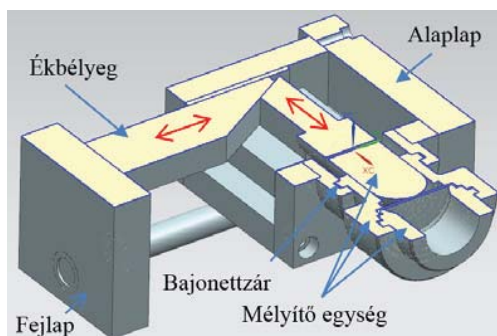
Alakítási sebesség, $v$ (mm/s)	Hőmérséklet, $^{\circ}\text{C}$		
	350 $^{\circ}\text{C}$	380 $^{\circ}\text{C}$	420 $^{\circ}\text{C}$
75 mm/s		✓	
250 mm/s	✓	✓	✓
400 mm/s		✓	

Az FLC alakíthatósági vizsgálatokhoz is a Gleeble anyagvizsgáló berendezést használtuk. Ez a berendezés – megfelelő készüléket alkalmazva – lehetővé teszi az alakítási sebesség különböző értékeinek pontos beállítását, illetve a sebesség állandó értéken tartását.

A próbatest alakítása közben az alakváltozás optikai úton történő nyomon követése érdekében a Gleeble rendszerhez egy speciális vizsgáló berendezést valószínűsítettünk meg.

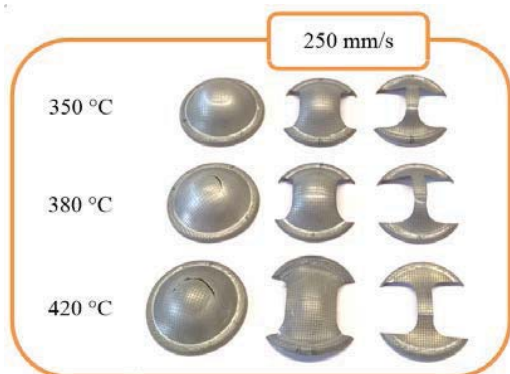
A Gleeble berendezésre tervezett és legyártott készülék lehetővé teszi az alakítási határdiagram meghatározására tervezett hőmérséklet és alakváltozási sebesség értékek megbízható megvalósítását, a próbatest alakváltozásának folyamatos nyomon követését, a próbatestek gyors és megbízható befogását az alakítás során, valamint a módosított Nakajima próbatestek és a hozzátartozó bélyeg-matrica pár befogadását. A speciális vizsgáló készülék kinematikai működési elve a 6. ábrán látható.

A készülék kulcseleme az alakítóbélyeg mozgását működtető ékbélyeg. Ez a megoldás teszi lehetővé az elmozdulások olyan transzformációját, amellyel az alakítás teljes folyamata vizuálisan is nyomon követhető.



6. ábra. A mélyítő készülék kinematikai működési elve

A 4. táblázatban látható vizsgálati mátrixnak megfelelően különböző hőmérsékleteken alakított próbatest sorozatokról készített felvételt mutat a 7. ábra.



7. ábra. Különböző hőmérsékleteken ( $T=350^{\circ}\text{C}$ ,  $380^{\circ}\text{C}$ ,  $420^{\circ}\text{C}$ ), állandó sebességgel ( $v=250\text{ mm/s}$ ) alakított próbatest sorozat

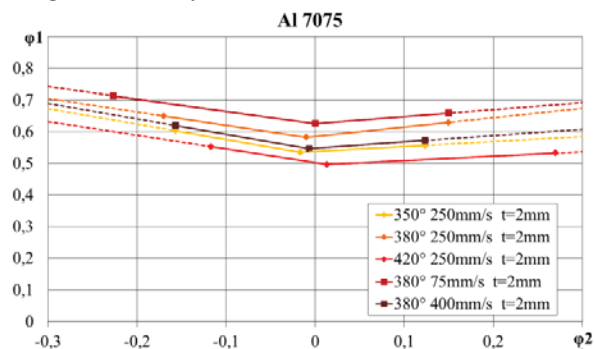
Az alakváltozások kiértékelését a Vialux-AutoGrid optikai alakváltozás mérő- és kiértékelő berendezéssel végeztük.

A kísérleti eredményekből megszerkesztettük az AA7075 alumínium ötvözet alakítási határdiagramját (FLD). A 8. ábra egybe foglaltan mutatja a  $v=250\text{ mm/s}$  állandó alakítási sebességgel  $T=350^{\circ}\text{C}$ ,  $380^{\circ}\text{C}$  és  $420^{\circ}\text{C}$  hőmérsékletekre vonatkozó alakítási határgörbékét, valamint a  $T=380^{\circ}\text{C}$ -on,  $v=75\text{ mm/s}$ ,  $250\text{ mm/s}$  és  $400\text{ mm/s}$  alakítási sebességgel elvégzett kísérletek eredményeit.

A 8. ábrából jól látható, hogy az alakítási határgörbe (FLC) a hőmérséklet növelésével  $T=380^{\circ}\text{C}$ -ig a teljes alakváltozási tartományban növekedett. A  $T=420^{\circ}\text{C}$  hőmérsékleten azonos alakítási sebességgel meghatározott alakítási határgörbe a  $350^{\circ}\text{C}$  hőmérsékletű FLC-hez képest is kisebb értékeket mutat.

A legkedvezőbb alakíthatóságot eredményező  $T=380^{\circ}\text{C}$  hőmérsékleten, három különböző ( $v=75\text{ mm/s}$ ,  $250\text{ mm/s}$  és  $400\text{ mm/s}$ ) alakítási sebességgel határoztuk meg az AA7075 alumínium ötvözetre vonatkozó alakítási határgörbékét. A 8. ábrából az is jól látható, hogy az alakítási határgörbék helyzete  $T=380^{\circ}\text{C}$  hőmérsékleten az elvárt módon követi az alakíthatóság változását az alakítási sebesség változásával, nevezetesen a növekvő alakítási

sebességgel az alakítási határgörbék a csökkenő alakíthatósági értékek irányába tolnának el.



8. ábra. Az AA7075 alumínium ötvözet alakítási határdiagramja különböző hőmérsékleteken,  $v=250\text{ mm/s}$  alakítási sebesség esetén, és  $T=380^{\circ}\text{C}$  alakítási hőmérsékleten különböző alakítási sebességek esetén

#### 4. A HOT FORMING & QUENCHING ELJÁRÁS NUMERIKUS MODELLEZÉSE

A járműipari lemezalkatrészek jelentős hányada még napjainkban is hideg képlékenyalakítással készül, az alkalmazásukat tekintve az új innovatív alapanyagok és feldolgozó technológiai eljárások egyre növekvő aránya ellenére is. A hidegalakítás területére koncentrálna napjaink szerszámüzemeiben a technológiai- és szerszámtervezés napi gyakorlata az egyes technológiai elképzelések virtuális térben történő ellenőrzése, fejlesztése. Az erre a területre orientált numerikus technológiai modellező szoftverek a tervezés teljes spektrumát támogatják a koncepciók kidolgozásától a tényleges szerszámfelületek (CAD modellek), valós technológiai paraméterekkel történő virtuális alakítástechnológia elemzésével bezárólag.

A Miskolci Egyetem Anyagszerkezzetani és Anyagtechnológiai Intézete számos publikációban mutatta be az utóbbi néhány évtizedben miként és hogyan segítik ezek a célorientált alkalmazások a tervezési folyamatot. Ezekben részletesen elemeztük a szoftverek logikai felépítését, működését, a modellezéshez szükséges anyagparamétereket is áttekintve.

E publikáció ezért elsősorban a hidegalakítással megmunkált lemezek és az HFQ<sup>TM</sup> technológiai modellezésének különbségeire fókuszál egy konkrét autóiipari lemezalkatrész technológiai tervezésének, numerikus modellezéssel történő elemzésével.

A LoCoMaTech projekt egyik fő célkitűzése, hogy a sorozatgyártásban alkalmazni kívánt HFQ<sup>TM</sup> technológia bevezethetőségét konkrét autóiipari lemezalkatrészen keresztül is megvizsgálja. A projekt e részét vezető CRF (Centro Ricerche FIAT) projektpartner javaslatára több konkrét gyártmány került kiválasztásra: ezek egyike egy A-oszlop merevítő elem, amelynek CAD modellje látható a 9. ábrán.



9. ábra. A-oszlop merevítő elem geometriája

Az alkatrész alapanyaga eredetileg 22MnB5 anyagminőségű, 1.2 mm lemezvastagságú, bór-ötvezésű Mn-acél. Az alkatrész gyártási technológiája az ún. HPF<sup>®</sup> (Hot Press Forming) eljárás, ami egy melegalakító lemezsajtolási eljárás.

A technológiai és szerszámtervezés területéről a fő kihívás, hogy a hidegalakításnál már ipari szabványként bevezetett alakítási folyamatok numerikus modellezését végző szoftverek képesek-e, és ha igen milyen változtatásokkal képesek támogatni a technológiai- és szerszámtervezési folyamatokat meleg alakítás esetén.

#### 4.1. A melegalakítás numerikus modellezési sajátosságai

Az elmúlt 20 évben az autóiipari lemezanyagok jelentős változáson mentek keresztül. Az egyik ilyen nagy változás a Mangán-acélok (22MnB5) sorozatgyártásban történő bevezetése volt [6]. Mivel ennek az anyagminőségnek az alakítására kidolgozott Hot Press Forming HPF<sup>™</sup> már megkövetelte a modellező szoftverekben is a termo-mechanikai szemléletű modellalkotást, ezért önmagában a melegalakítási folyamat több éve megfelelő pontossággal modellezhető. A hidegalakítási folyamatok modellezéséhez képest a legnagyobb eltérést az anyagparaméterek hőmérséklet és alakváltozási sebesség függése jelenti és az, hogy a szerszámelemek, a munkadarab és a környezet között hőátadási-hővezetési folyamatok játszódnak le, amely ugyancsak megköveteli az ezt leíró anyagparaméterek figyelembevételét.

##### 4.1.1. Anyagmodell

A lemezek alakítására kidolgozott numerikus modellező alkalmazások anyagmodelljei alapvetően négy fontos bemeneti anyagparaméter-csoport megadását igénylik hidegalakítási folyamatok esetén. A következőkben a hideg és a melegalakítási eljárásoknál alkalmazható anyagmodellek bemeneti paramétereinek különbözőségeit foglalkozunk össze.

Az első a rugalmas tartomány leírása, amit hidegalakításnál a rugalmassági modulus egyértelműen meghatároz. Melegalakítás során a rugalmassági modulus hőmérséklet függése megadható, bár ezt sokszor (mivel alapjaiban nagy képlékeny alakváltozások zajlanak az alakítás során) az ipari gyakorlatban elhanyagolják, és hőmérséklettől független paraméterrel veszik figyelembe.

A másik nagy csoportot, a folyási feltételek képezik, amelyek az anyag anizotrópiáját is figyelembe veszik.

Ehhez ismerni kell a nem-alakított állapothoz tartozó folyáshatárt és az anizotrópia tényezőket. Mindkét paraméter a melegalakítás során függ a hőmérséklettől, de meghatározásuk visszavezethető különböző hőmérsékleteken végzett szakító vizsgálatokra, a hengerlés irányához képest különböző irányokban kimunkált próbatesteken.

A harmadik paramétercsoport az anyag alakítási keményedésével függ össze. Ezt a klasszikus hidegalakítási folyamatoknál az ún. folyási görbe függvényvel visszük be a szoftverbe. Melegalakítási folyamatoknál folyási görbesereget használunk, amit lehetőleg az alakítás hőmérséklettartományának ismeretében megfelelő osztásközzel megválasztott hőmérsékleteken és különböző alakváltozási sebességekkel végzett melegsakító vizsgálatokkal határozunk meg (ld. 3.2. pont). Egy ilyen vizsgálat eredményeit mutatja a 4. ábra.

A negyedik anyagparaméter-csoport az anyag alakíthatósági határállapotát határozza meg a lemezalakítás területén általánosan elterjedt alakítási határdiagram segítségével. Az alakítási határdiagram meghatározása hidegalakításnál, szabványosított technológiai vizsgálattal (ISO 12004) elvégezhető. A szabványban előírt módon az alakítási határdiagram meghatározása melegalakítás esetén nehézségekbe ütközik, leginkább a teljes vizsgálati idő alatt biztosítandó homogén hőmérséklet biztosítása miatt.

E probléma egy lehetséges megoldását a 3.2. alfejezet mutatta be, de a mérések eredményeként meghatározott 8. ábrának megfelelő FLC görbesor közvetlen bevitelével a numerikus alkalmazásba még jelenleg sem teljesen megoldott. Ezért az ipari gyakorlatban többnyire a lemez egy meghatározott vékonyodását (jellemzően 30%) tekintik határállapotnak. Ez az alkatrész funkciója szempontjából szigorúbb kritérium, mint a tényleges szakadási állapot.

Az anyagparaméterek melegen történő meghatározásában a már tömeggyártásban alkalmazott HPF<sup>®</sup> és a HFQ<sup>™</sup> technológia között alakításelméleti szempontból nincs különbség. A különbséget a számszerűsített eredmények tekintetében lehet felfedezni, mivel a fémtanilag különböző anyagok és különböző technológiai paraméterek (alakítási hőmérséklet tartomány) alapvetően melegalakítási eljárásokhoz kapcsolódnak.

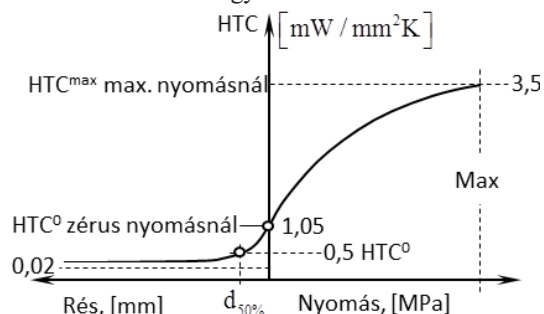
##### 4.1.2. Hőátadási, hővezetési kérdések

Melegalakítási folyamatok modellezésénél a szerszámok és a lemezanyag hőmérséklet különbségéből adódóan hőátadási és hővezetési jelenségek is lejátszódnak kiegészülve a környezeti hőmérséklet és az alakításban aktívan részt vevő geometriai elemek hőmérséklet különbségéből adódó hőátadás folyamataival. Ezek modellezéséhez alapvetően a hővezetési és hőátadási együtthatók ismerete szükséges. Mivel e paraméterek értékei a hőmérséklet függvényében is változnak érdemi modellezési eredményekhez ezek bevitelével az adott szoftverkörnyezetbe elengedhetetlen, amire az egyes szoftverek lehetőséget is biztosítanak.



A lemezalakítási technológiák sajátossága, hogy az egyes szerszámfelületeken fellépő felületi nyomások egy szerszámfelület tekintetében is a helykoordináta és az idő szerint is változnak és egyes esetekben akár extrém nagy lokalizált felületi nyomásértékek is létrejöhetnek. Ez a jelentősen befolyásolja a hőátadási tényező értékét, amit szintén figyelembe kell venni a modellalkotás során.

Erre dolgozták ki az AutoForm programrendszerben a 10. ábrán bemutatott diagramot. A 10. ábra baloldali része írja le azt az állapotot, amikor az adott szerszámfelület még nem érintkezik a lemezzel és közöttük definiálja a rés fogalmát. Az ábrából nyilvánvaló, hogy ha a lemez és a szerszám között kellően nagy rés van, akkor a szerszám hőátadási tényezője megegyezik a környezet (levegő) hőátadási tényezőjével ( $HTC=0,02 \text{ mW/mm}^2\text{K}$ ). Ahogy a szerszám közeledik a lemezhez a hőátadási együttható növekedni kezd és a  $d_{50\%}$  résméretnél eléri a zérus nyomással érintkező hőátadási együttható ( $HTC^0=1,05 \text{ mW/mm}^2\text{K}$ ) 50%-át. A nulla résmérethez az érintkező felületek  $HTC^0$  együttható értéke tartozik.



10. ábra. Hőátadási tényező résméret és felületi nyomás függése

A 10. ábra jobb oldala mutatja az érintkezési ponttól felépülő felületi nyomás értékének függvényében a hőátadási tényező változását. Általános gyakorlati tapasztalat, hogy 20 MPa felületi nyomás felett a  $HTC^{max}$  érték, már elhanyagolható mértékben változik.

#### 4.2. A numerikus modellezés összeállítása

A numerikus modellezéssel az volt a célkitűzésünk, hogy megvizsgáljuk, milyen technológiai változtatásokkal tudunk egy ismert geometriájú HPF® technológiával megvalósított alkatrészgyártást, a tömegcsökkenés szempontjából áttervezni, AA7075 nagyszilárdságú Al-ötvözet alapanyagra, a nyilvánvaló technológiai változtatások mellett.

Ez egyben arra is alkalmas, hogy megvizsgáljuk a HFQ™ technológia AutoForm programrendszerben történő numerikus modellezésének lehetőségét.

Az alkatrész átvételi kritériumai a tényleges fizikai gyártás során ismertek voltak. Az egyik legszigorúbb kritérium, hogy a lemez vékonyodása sehol nem érhet el 30%-nál nagyobb értéket. A vizsgálati stratégiánk az volt, hogy a szerszámkonceptiót és a terítékalakot nem

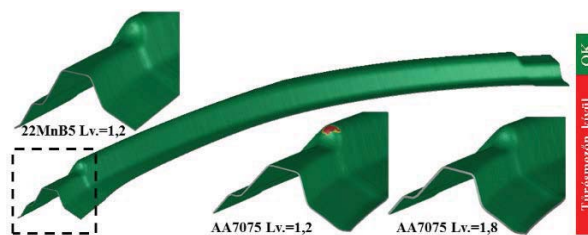
változtatva, legyártható-e az alkatrész az ismert átvételi kritériumokkal úgy, hogy lényegében csak a teríték alapanyagán és az ezzel összefüggő alakítási hőmérsékleten változtatunk.

A modellezés összeállításának részleteit a területi korlátok miatt itt részletesen nem ismertetjük. A technológiai paramétereikről, a projekt bizonyos kötelezettségei miatt csak az alakítás kezdeti hőmérsékletét közöljük, ami 350°C-os terítéket jelent.

#### 4.3. Az eredmények kiértékelése

A numerikus megvalósíthatósági vizsgálat egyik legkritikusabb eredmény változója, hogy az előírt 30%-os vékonyodást tartani tudjuk.

A 11. ábrán, a vizsgált alkatrész egyes numerikus modellezési eredményei láthatók a lemezevékonyodást megjelenítve. Az AutoForm programrendszer lehetőséget biztosít arra, hogy ne csak az egyes eredményváltozó számszerűsített eloszlását jelenítse meg egy színskálához rendelt, hanem azt is, hogy az ipari szemléletmódot jobban tükrözően, az előírt tűrésmezőn belüli értékekhez zöld színt rendelve, a tűrésmezőn kívüli értékekhez piros színt rendelve rámutasson azokra a területekre ahol tűrésmezőn kívüli eredményváltozó értékek jelenhetnek meg.



11. ábra. Modellezési eredmények a vékonyodás ábrázolásával az alkatrész (vékonyodás szempontjából) kritikus területén

A 11. ábrán az látható, hogy az alakítás vékonyodás szempontjából legkritikusabb része a rádiuszok összefutásánál az alkatrész egyik legmagasabb pontján jelentkezik. Ezt a 22MnB5 alapanyaggal 1,2 mm-es lemezvastagságú terítéssel sikeresen meg lehetett valósítani.

Az alapanyag változtatás (AA7075) első lépésében az Al-ötvözetnél is ezt az 1,2 mm-es terítékvastagságot alkalmaztuk. A 11. ábra középső részén látható, hogy ebben az esetben nem megengedett mértékű vékonyodást tapasztaltunk a kritikus területen.

Ezt követően 0,3 mm-enként növeltük az AA7075 teríték lemezvastagságát. Ennek a vékonyodás szempontjából összefoglalt eredményét tartalmazza az 5. táblázat. Az 5. táblázat vékonyodásokat összefoglaló sorában látható, hogy az AA7075 alapanyaggal csak 1,8 mm-es teríték méret esetén tudjuk tartani az előírt vékonyodási értéket a 22MnB5 acél alapanyag 1.2 mm-es lemezvastagságához képest.

Mivel a HFQ<sup>TM</sup> technológia sikeres alkalmazásának egyik fő célja az új alapanyag és technológiai eljárás tömegcsökkentő hatása ezért érdemes azt is megvizsgálni, hogy egy lehetséges anyag- és technológiaváltás ezen a téren milyen változást eredményezne.

5. táblázat. Eredmények összevetése

Teríték anyaga	Lv. mm	Tömeg kg	Vékonyodás $\varepsilon$ (%)
22MnB5	1,2	1,15	28
	1,2	0,42	42
AA7075	1,5	0,52	37
	1,8	0,62	29

Az 5. táblázatból jól látható, hogy az alapanyagváltással, bár a vékonyodás megfelelő határok közötti tartása miatt növelt lemezzvastagsággal, de még így is 46%-os tömegcsökkentés valósítható meg.

Ez a numerikus kísérlet annak igazolására is alkalmas, hogy a technológiai- és szerszámtervezést támogató szoftverek kis módosításokkal alkalmasak a HFQ<sup>TM</sup> és hasonló melegalakító lemezalakítási technológiák numerikus modellezésére. A hideg- és a melegalakítás közötti váltás inkább az anyagparaméterek meghatározásánál okoz nehézségeket.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben a LoCoMaTech – *Low Cost Materials Processing Technologies for Mass Productions of Lightweight Vehicles* elnevezésű – H-2020 Európai Unió projektben a Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet Mechanikai Technológiai Intézet Tanszékének közreműködésével végzett alakítás-technológiai kutatásokról adtunk rövid áttekintést.

A projekt keretében 9 ország 19 intézménye vett részt a Hot Forming and Quenching (HFQ®) eljárás ipari hasznosítását megalapozó, sokoldalú kutatómunkában. Az intézet projektben közreműködő munkatársainak egyik fő kutatási feladatát képezte a nagyszilárdságú alumínium ötvözetek – különösen az AA7075 repülőgépipari és autópipari alkalmazások szempontjából kiemelt jelentőségű alapanyag – melegalakítási körülmények közötti viselkedésének vizsgálata. E témakörben, az alakítás szempontjából kiemelten fontos két területet elemeztünk, nevezetesen, az ötvözet valódi feszültségvalódi nyúlás görbével jellemezhető keményedési tulajdonságait, valamint az ötvözet melegalakítási körülmények közötti alakíthatóságát, amelyet az alakítási határdiagramok különböző hőmérsékleten és változó alakítási sebességekkel meghatározott alakítási határdiagramjainak a felvételével vizsgáltunk.

A projektben fontos feladatunkat képezte a tömegcsökkentés érdekében alkalmazható könnyűfém helyet-

tesítő anyag numerikus modellezésének vizsgálata is. E vizsgálatok keretében kimutattuk, hogy a sikeres alakítás az új anyag alkalmazásával rendszerint további, technológiai módosításokat is igényel. Az acél alapanyagok alumínium ötvözetekkel való helyettesítése esetenként alakíthatósági problémákat eredményezhet, amely gyakran áthidalható az áttervezett alkatrész lemezzvastagságának növelésével. Bár a lemezzvastagság növelése a tömegcsökkentés szempontjából kedvezőtlen, ugyanakkor a lényegesen kisebb sűrűségű alumínium ötvözet alkalmazásával még így is jelentős – mintegy 46%-os – tömegcsökkentés érhető el a példaként bemutatott alkatrésznél.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk a “*Low Cost Materials Processing Technologies for Mass Production of Lightweight Vehicles (LoCoMaTech)*” projekt keretében végzett kutatómunka eredményeiből közölt szemelvényeket. A projekt az European Commission támogatásával valósult meg (Grant No: H2020-NMBP-GV-2016), amelyért a szerzők e helyen is köszönetüket fejezik ki.

## 7. IRODALOM

- [1] Lin, J.: Fundamentals of materials modelling for metals processing technologies, World Science Publication Co. – Imperial College Press, 2015. pp. 1-512.
- [2] Lin, J., Cao, J. and Balint, D.: Development of unified constitutive equations for hot forming processes, *Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems*, 4 (2011) pp. 387-401.
- [3] Dynamic Systems Inc. Gleeble-3500 thermo-mechanical physical simulator, <https://www.bleeble.com/products/bleeble-systems/bleeble-3500.html>
- [4] Tisza, M., Kovács, P., Kuzsella, L., Lukács, Zs.: Recommendation of material testing for the HFQ® forming, Research Report in LoCoMaTech H-2020 project (NMP-08-2016), University of Miskolc, Miskolc, 2018. pp. 1-31.
- [5] Wang, L., Strangwood, M., Balint, D., Lind, J., Dean, T.: Formability and failure mechanisms of AA2024 under hot forming conditions, *Materials Science and Engineering*, 528 (2011) pp. 26448-2656.
- [6] Tisza, M.: Development of Lightweight Steels for Automotive Applications, in: High Entropy Steels and Alloys, Intech Open Publ, DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.91024>

# KUTATÁSI EREDMÉNYEK A NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK ÉS ALUMÍNIUMÖTVÖZETEK HEGESZTÉSE TERÜLETÉN

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

Gáspár Marcell<sup>\*</sup>, Balogh András<sup>\*\*</sup>, Bodorkós Gergely<sup>\*\*\*</sup>, Dobosy Ádám<sup>\*\*\*\*</sup>, Németh Alexandra<sup>\*\*\*\*\*</sup>, Raghawendra P. S. Sisodia<sup>\*\*\*\*\*</sup>, Török Imre<sup>\*\*</sup>

### ABSTRACT

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

### 1. BEVEZETÉS

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

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

<sup>\*</sup> egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

<sup>\*\*</sup> c. egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

<sup>\*\*\*</sup> ügyvezető igazgató, Rechen Hegesztőház Kft.

<sup>\*\*\*\*</sup> adjunktus, Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

<sup>\*\*\*\*\*</sup> PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

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

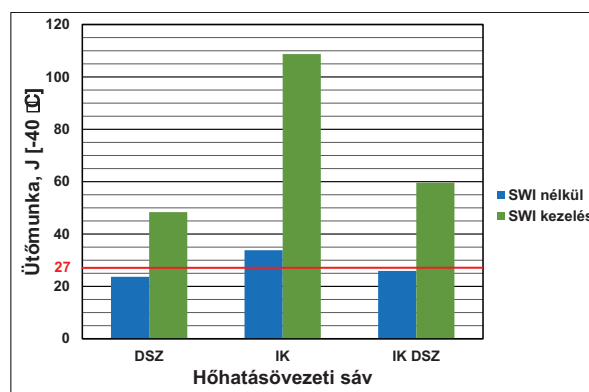
A személygépkocsikban a könnyűszerkezetes tervezési koncepciónak megfelelően egyre inkább törekszenek az alakítható 5xxxx, illetve a nemesíthető 6xxx és 7xxx családba tartozó alumínium ötvözetek alkalmazására. A viszonylag magas alapanyagárak és a költséges gyártástechnológia miatt napjainkban elsősorban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

## 2. HEGESZTÉSTECHNOLÓGIAI FEJLESZTÉSEK NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOKNÁL

### 2.1. A hőhatásövezet tulajdonságainak javítása utóhőkezeléssel nemesített nagyszilárdságú acéloknál

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

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



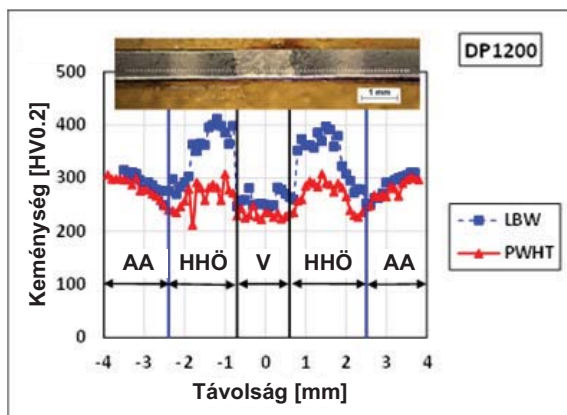
1. ábra. A hőhatásövezet szívósságának javítása utókezeléssel S960QL acélnál (DSZ: durvaszemcsés sáv, IK: interkritikus sáv, IK DSZ: interkritikus durvaszemcsés sáv) [4]

### 2.2. Sugártechnológiák alkalmazási lehetőségei

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

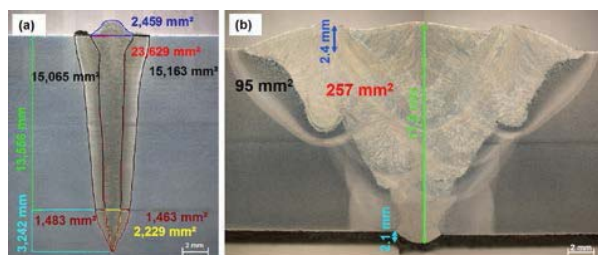
A 2. ábrán 1 mm lemezvastagságú DP1200 ferrit-martenzites acél hozaganyag nélküli lézersugaras hegesztett kötésének csiszolatán végzett keménységmérési eredmények láthatók utóhőkezelés nélkül, és utóhőkezeléssel (hegesztés:  $P=1000$  W,  $v_h=8$  mm/s, hőfolt méret:  $2 \times 2$  mm; utóhőkezelés: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

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



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

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



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

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

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

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

Alapanyag	Hozaganyag, orientáció, vonalenergia	m	log(a)	N <sub>k</sub>	Δσ <sub>D</sub>	Δσ <sub>1E67</sub>
		(-)	(-)	(ciklus)	(MPa)	(MPa)
Optim 700QL	BM-h/v	51.282	150.186	–	–	620
	WJ/M-k/3W	4.826	16.762	9.893 E05	170	–
	WJ/M-k/1W	50.251	138.732	–	–	418
Weldox 700E	BM-h/k	12.453	38.557	1.677 E06	395	–
	WJ/M-k/1W	9.960	31.739	–	–	–
	WJ/OM-k/1W	31.250	88.311	–	–	400
	BWJ/M-k/1W	3.831	13.752	2.660 E06	82	–
	BWJ/M/OM-k/1W	4.207	15.822	–	–	126
Weldox 960E	BM-h/k	10.288	33.473	1.014 E06	467	–
	WJ/M-k/3W	16.722	49.063	8.535 E06	331	–
	WJ/UM-k/1W	12.594	39.173	4.944 E06	379	–
Alform 960M	BM-h/k	11.494	37.207	5.122 E06	450	–
	WJ/M-k/1W lhi	8.130	26.723	4.270 E06	296	–
	WJ/M-k/1W	16.129	48.012	2.681 E06	379	–
	WJ/M-k/1W hhi	15.385	47.226	9.693 E05	479	–
	WJ/UM-k/1W	41.667	116.389	–	–	422
	BWJ/M-k/1W	1.984	9.175	1.099 E06	38	–
	BWJ/M-k/1W	2.392	11.103	2.336 E06	95	–
	BWJ/M-k/1W hhi	2.123	9.107	9.307 E05	30	–
BWJ/UM-k/1W	3.891	13.957	8.701 E05	115	–	

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

### 2.4. A lánggyengítés lehetőségei és korlátai nagyszilárdságú acélokon

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

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

#### 2.5. DP acélok ellenállás ponthegesztése szakaszos energiabevitellel

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



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

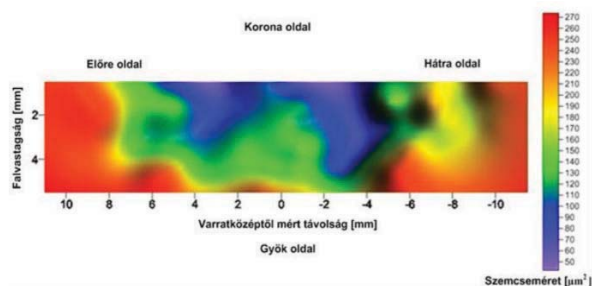
Az ívhegesztéseknél jelentősen gyorsabb hevítési és hűtési ciklus eredményeként a durva dendrites mikroszerkezetű heglencse és a hőhatásövezet jelentős keményedésére kell számítani ezeknek az acéloknak a ponthegesztésekor. Szakaszos energiabevitel alkalmazásával,

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

### 3. ALUMÍNIUM ÖTVÖZETEK HEGESZTÉSÉNEK KORSZERŰ TECHNOLÓGIÁI

#### 3.1. Lineáris dörzshegesztés

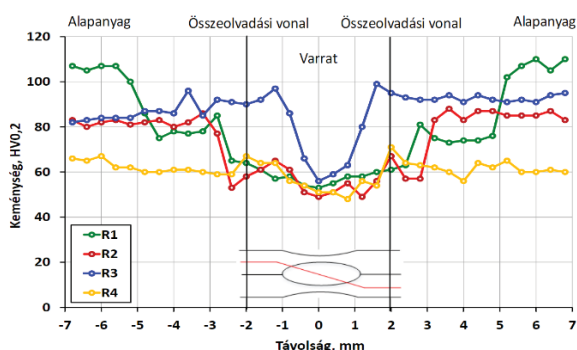
Lineáris dörzshegesztéskor a hegesztett kötés kialakulása szilárd halmazállapotban megy végbe, az ebből következő kisebb hőbevitelből adódóan pedig kisebb a kilágyulás mértéke nagyszilárdságú alumínium ötvözeteknél. A 6082-T6 alapanyag lineáris dörzshegesztésénél a gyors gyökoldali hőciklus alkalmazásával,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



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

### 3.2. Ellenállás-ponthegesztés és kombinált kötéstechológiák alkalmazása

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



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

A HFQ technológia bevezetése miatt szükséges hőkezelési utak tanulmányozása mellett a kutatási projekt keretében egy kétlépcsős maratózási módszer (első lépcső: NaOH, 10 s, 80-90 °C; második lépcső: 10-30 s, 30 °C, 50% HNO<sub>3</sub>+2% HF) is kifejlesztésre került, amely hatékonyan bizonyult a 7075-T6 ötvözet felületén lévő alumíniumoxid hegesztést megelőző eltávolítására, amely a nyíró-szakítóvizsgálatoknál mért maximális erők szignifikáns növekedését eredményezte.

### 4. TAPASZTALATOK A ROBOTPROGRAMOZÁS TERÜLETÉN

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

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

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

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

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

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

A robotcella eszközei paraméterei az alábbiak:

Eszközök:

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

Paraméterek:

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

Néhány a robotcella ígéretes felhasználási területeiből:

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

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

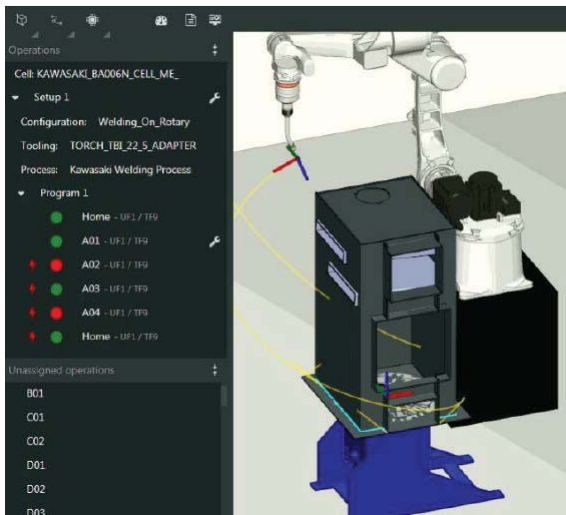
Diplomaterv keretein belül a hallgató acél forgószárny robotizált hegesztését tervezte meg, hajtotta végre és szimulálta a Robotmaster V7 felületén. Az előállított előzetes hegesztési utasítások révén próbadarabokat készített a hegesztőcella alkalmazásával, amelyeket az MSZ EN ISO 15614-1-es szabvány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



7. ábra. Hegesztőrobot cella

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





8. ábra. Munkadarab hegesztésének tervezése a Robotmaster V7 programban

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

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

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

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

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

## 7. IRODALOM

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

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



## Megoldásokban mindig az élen

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



## Gázok és technológiák a SIAD-tól

### SIAD Hungary Kft.

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



**LORCH**

**TEDD A  
CSAPATODAT  
ERŐSEBBÉ**



**LORCH  
COBOT HEGESZTÉS**



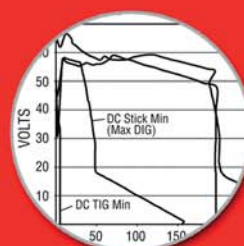
**Szerviz és validálás**



**Automatizálás**



**Ipari gázok**



**Szaktanácsadás**



**Autogéntechnika**



**Vágó berendezések**



**Hegesztő anyagok**



**Munkavédelem**

# IDEJE GÁZT ADNI!

FERROLINE, INOXLINE, ALULINE  
GÁZKEVERÉKEK A HATÉKONY  
HEGESZTÉSHEZ

[www.messer.hu](http://www.messer.hu)

**MESSER**  
Gases for Life

## BÁRMELY HEGESZTŐ KÜLSŐ KARJA LEHET

Új  
termék!

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

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



**MIGATRONIC**  
WELDING VALUE

## SIGMA SELECT - HOGY MEGFELELJEN A JÖVŐNEK

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

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



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

# AZ ÍVHEGESZTÉSI FOLYAMATOK VÉGESELEMES MODELLEZÉSÉNEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI

## APPLICATION POSSIBILITIES OF FINITE ELEMENT MODELING OF ARC WELDING PROCESSES

*Dobosy Ádám<sup>\*</sup>, Gáspár Marcell<sup>\*\*</sup>*

### ABSTRACT

*The finite element modelling is a numerical tool for approximation solutions that is suitable for the analysis of many engineering problems. The role of finite element modelling is getting more important in the field of material technologies, especially in welding. Welding technology is a complex process that requires a number of factors to model. That is why the proper modelling of welding and the perfect approximation of real conditions is a very difficult task. However, with the help of a successful model, the cost and time of production could be significantly reduced. In this paper, we present the difficulties of arc welding modelling and their solutions, as well as the possibilities of using finite element modelling through practical examples.*

### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban alapkövetelmény, hogy egy termék teljes életpályájára vonatkozó információkat szoftveresen is kezelni tudjunk, így a termékről minden műszaki információ rendelkezésre álljon. Ezeket a követelményeket elégítik ki többek között a CAD rendszerek (Számítógéppel segített mérnöki tervezés), a CAM rendszerek (Számítógéppel segített gyártás) és a CAE rendszerek (Számítógéppel segített mérnöki tevékenység). A különféle végeselemes szoftverek a CAE rendszerek csoportjába tartoznak. Ezen szoftverekkel oldható meg egy termék vagy szerkezet várható viselkedésének szimulációja. Számos kereskedelmi forgalomban elérhető végeselemes szoftver létezik, ilyen például a FEMAP, az ANSYS, a MARC, az ABAQUS, az ADINA, a SYSWELD stb.

A végeselemes módszer egy közelítő megoldásokkal szolgáló numerikus eszköz, amely számos mérnöki probléma elemzésére alkalmas. A végeselemes módszer háttérben parciális differenciálegyenletek közelítő megoldása áll. Elmondható, hogy napjainkban már nélkülözhetetlen eszköze a mechanikai elemzéseknek, mivel gyakorlatilag minden természeti jelenség és viselkedés leírására képes.

A végeselemes modellezés szerepe egyre inkább előtérbe kerül az anyagtechnológiák területén is, különös tekintettel a képlékenyalakításban és a hegesztésben [1],[2]. Szemben azonban más területekkel a hegesztés önmagában is egy összetett folyamat, amelynek modellezéséhez számos tényezőt kell figyelembe venni. Éppen ezért a hegesztéstechnológiák megfelelő modellezése, a valós állapot minél tökéletesebb közelítése igen nehéz feladat.

Ugyanakkor egy sikeres modell segítségével a gyártás költsége és idő ráfordítása számottevően csökkenthető. A végeselemes modell segítségével valós hegesztett kötés nélkül határozhatóak meg a szükséges hegesztési paraméterek, sorrendtervek, valamint a hegesztést követő maradó alakváltozások és feszültségek, a keletkező szövetszerkezet típusa és mennyisége is meghatározható.

Jelen közleményben bemutatjuk az ívhegesztések modellezésének nehézségeit, illetve azok megoldási lehetőségeit, valamint gyakorlati példákon keresztül alkalmazási példákat mutatunk be valós ipari feladatok megoldásából.

### 2. AZ ÍVHEGESZTÉSEK MODELLEZÉSÉNEK NEHÉZSÉGEI

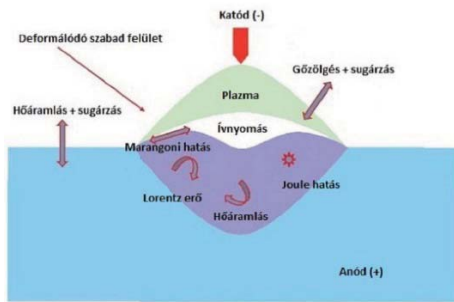
A hegesztés numerikus modellezésének alapja egy időben változó termomechanikai analízis. A mozgó hőforrás alapján meghatározható a szerkezetben kialakuló hőmérséklet eloszlás, amiből számíthatóak a sajátfeszültségek és alakváltozások. A teljes hegesztési folyamatot leíró modellezés során többek között az alábbi nehézségekkel kell számolni [2],[3]:

- anyagjellemzők adatainak hiánya a hőmérséklet függvényében,
- a gyakorlatban használt anyagok ötvözöttek nem pedig tiszta fémek, ami megnehezíti a fázisátalakulások hatásainak pontos figyelembevételét a különböző hőmérsékleteken,
- a hőforrás pontos modellezése, ami magában foglalná a villamos ív fizikáját és a megolvadt anyag folyadékként való kezelését egyaránt (lásd 1. ábra),

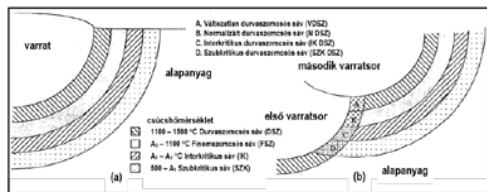
<sup>\*</sup> adjunktus, Miskolci Egyetem. Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

<sup>\*\*</sup> egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

- megfelelő közelítő hőforrás modell kiválasztása adott feladatra (Rykalin, Rosenthal, stb.),
- hegfűrdőben, hőhatásövezetben lejátszódó összetett szövetszerkezeti változások modellezése,
- varratsorok kölcsönhatása, többretegű varratok esetében az egyes rétegek közötti interakció modellezése (2. ábra),
- védőgáz hatása a varrat alakjára,
- hozaganyag adagolásának módja, hozaganyag varratfűrdőbe jutásának folyamata,
- feszültség-alakváltozás modellezésének nehézsége,
- a kellően részletes modellek számítási ideje túl magas.



1. ábra. A villamos ívben és hegfűrdőben lejátszódó folyamatok [2]



2. ábra. A hőhatásövezeti sávok egyrétegű és többretegű hegesztett kötések esetében [4]

### 3. A MODELLEZÉS NEHÉZSÉGEINEK MEGOLDÁSAI

A fenti nehézségek leküzdésére és a futtatási idő elfogadható mértékűre való csökkentéséhez bizonyos egyszerűsítések bevezetése szükséges. Az alábbiakban a leggyakrabban használt módszereket és azok alkalmazásának korlátait foglaltuk össze [2],[5].

#### 3.1 Futtatott folyamatok szétválasztása

A fémek maradó alakváltozása során a mechanikai energia egy része hőenergiává alakul, ami ömlesztő hegesztési eljárások esetében több nagyságrenddel elmarad a hegesztés által bevitt hőtől és csak elhanyagolható mértékben befolyásolja a hőmérséklet eloszlást. Ez lehetővé teszi az analízis két független lépésre való osztását.

Első lépésben meghatározható a szerkezetben a hegesztés és a kihűlés teljes időtartama alatt kialakuló hőmérséklet eloszlás.

Ez alapján a második lépésben számíthatóak a sajátfeszültségek és a maradó alakváltozás.

Másik megoldás, hogy minden egyes időlépésben lefuttatjuk a hőmérsékletelemzést majd közvetlenül utána a feszültségelemzést. Ez lehetővé teszi, hogy a számítás a következő lépésében a hőmérsékletelemzést már egy új, a végbement maradó alakváltozásnak megfelelő geometrián futtassuk.

Legtöbb gyakorlati esetben nincs szükség erre a megoldásra, de előfordulhat, hogy az alakváltozást követően annyira megváltoznak a hőmérsékletelemzést peremfeltételei (például két, korábban egymáshoz nem kapcsolódó felület összeér), hogy ezt nem lehet figyelmen kívül hagyni.

A kölcsönhatás a két elemzés között nem minden esetben hanyagolható el, mint például a súrlódáson alapuló hegesztési eljárások (dörzshegesztés) esetén.

#### 3.2. Egyszerűsített anyagmodell

A nagy hőmérsékleten kialakuló feszültségeknek kicsi a hatásuk a maradó feszültségekre. A numerikus problémák elkerülésére ezért megtehetjük, hogy egy adott hőmérséklet felett elhanyagoljuk hatásukat, azaz a korábban említett hőmérsékletfüggő paraméterek értékeit, közelítésnek, nullának vesszük fel. A szimuláció pontossága javítható azzal, hogy egy hőmérsékletár helyett, több értéket veszünk figyelembe, amelyek felett fokozatosan hanyagolunk el bizonyos jelenségeket.

Gyakori megoldás a fázisátalakulás hatásainak (térfogatváltozás, anyagjellemzők változása) elhanyagolása. Amennyiben a folyáshatár még viszonylag jelentős a fázisátalakuláshoz tartozó hőmérsékleten, az átalakulás hatása jelentős lehet. Ennek ellenére, ebben az esetben is gyakran elhanyagolhatók a fázisátalakulás hatásai.

#### 3.3. Hőforrás leírása helyettesítő modellel

Tekintve, hogy az ívhegesztések során alkalmazott villamos ív leírása, illetve az olvadt hegfűrdőben lejátszódó áramlási folyamatok igen összetettek, ezért minden esetben valamilyen helyettesítő, egyszerűsített hőforrás modell alkalmazására kerül sor a különböző hegesztő eljárások modellezése során.

Ilyen modellek például a Goldak modell (ívhegesztő eljárások esetén), a Conical modell (sugaras hegesztő eljárások esetén), a Rykalin-2D modell (hegesztési hőciklus definiálása többsoros varrat esetén), a Rykalin-3D modell (hegesztési hőciklus definiálása többsoros varrat esetén), a Rosenthal modell (hegesztési hőciklus definiálása többsoros varrat esetén), illetve a felületi hőforrás modell (felrakóhegesztések esetén) [6].

Adott hegesztő eljárás modellezése során a feladat a megfelelő hőforrás modell kiválasztása, illetve a választott modell megfelelő paramétereinek meghatározása.

Ezek hiányában az alkalmazott végeelemes modell számítása nem fogja közelíteni a valós körülményeket.

### 3.4. Hegesztőanyagok elhanyagolása

Védőgázos eljárás esetében a védőgáz hatását (levegő elleni védelem, gázáramlás, gáz hűtő hatása) minden esetben figyelmen kívül hagyjuk, a folyamatok szabad levegőn zajlanak. Hozaganyagos eljárás esetében a hozaganyag felhevítése, megolvasztása, anyagátmenete a hegfürdőbe szintén az esetek többségében elhanyagolásra kerül.

Ilyen esetben csak a varrat anyagát lehet kiválasztani, figyelembe véve az alapanyag és a hozaganyag összetételét és az adott hegesztő eljárásra jellemző keveredési arányát. A program valós keveredést nem számol. Ebből következik, hogy a védőgáz szerepét a kialakuló hegfürdőre és így a varratra nem lehet figyelembe venni, a szimuláció során a keletkező varrat alakját alapvetően az alkalmazott helyettesítő hőforrásmodell fogja meghatározni.

### 3.5. Végeelemes háló egyszerűsítése

Tekintve, hogy a végeelemes programok számításának alapvető elemei a hálózás során létrehozott cellák, ezek száma alapvetően meghatározza a számítás pontosságát és sebességét. Minél kisebbek a cellák, vagyis számuk minél nagyobb, a számítás annál pontosabb, azonban időigényesebb.

A modellezés szempontjából meghatározó helyek (varrat, hőhatásövezet) hálózása a lehető legsűrűbb kell, hogy legyen. A többi modellrész esetében azonban elegendő lehet egy ritkább, nagyobb cellákat tartalmazó háló alkalmazása.

### 3.6. Többsoros varratok egyszerűsített szimulálása

Az ipari gyakorlatban előforduló feladatok megkövetelik a háromdimenziós szimuláció futtatását. Azonban összetett, többsoros varratok esetén ez megsokszorozza a számítások összetettségét. Abban az esetben, ha nem a teljes szerkezet maradó alakváltozásának és feszültségének meghatározása a cél, hanem a varratban kialakuló hőmérséklet-eloszlás, szövetszerkezet, keménység becslése a kétdimenziós szimuláció is elegendő lehet.

Ebben az esetben csak a varrat egy „szeletét” modellezzük, azonban a kötés teljes keresztmetszetét részletesen le lehet modellezni.

## 4. AZ ÍVHEGESZTÉSEK MODELLEZÉSÉRE ALKALMAS SZOFTVEREK

Jelenleg számos programcsomag áll rendelkezésre a hegesztési folyamatok minél szélesebb körű numerikus modellezésére. Léteznek általános célú, komplex rend-

szerek, amelyek nem csak a hegesztés modellezésére alkalmasak, hanem más folyamatok általános célú leírására, mint például ANSYS, MARC, ABAQUS vagy NASTRAN.

Léteznek azonban célszoftverek is, amelyek már célzottan csak a hegesztés, illetve sok esetben a hőkezelés, modellezésére alkalmasak. Ezek általában a hegesztés körülményeit pontosabban megbecsülni képes alkalmazások, azonban még így is szem előtt kell tartani a korábban felsorolt nehézségeket. Ilyen célszoftverek VISUAL ENVIRONMENT (SYSWELD), SORPASS, COMSOL, illetve ANSYS-APDL.

A jelen közleményben bemutatott vizsgálatokat az ESI Group által fejlesztett Visual Environment és Sysweld programcsomag segítségével végeztük el, amelyet célzottan a hegesztési folyamatok végeelemes elemzéséhez fejlesztettek ki. A Visual Environment a végeelemes modellezési feladat összeállítását segítő grafikus környezetre utal, a Sysweld pedig a numerikus számítást végzi.

## 5. HEGESZTÉSBŐL ADÓDÓ MARADÓ ALAKVÁLTOZÁS CSÖKKENTÉSÉNEK ELEMZÉSE

Az ívhegesztési folyamatok modellezésének egyik leggyakoribb alkalmazása a maradó alakváltozások nagyságának becslése, ezek alapján pedig a megfelelő hegesztési paraméterek meghatározása. A bemutatott példa az Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet egyik ipari partnerének végzett K+F munka, amelynek célja a 3. ábrán bemutatott gyártmány optimális hegesztési sorrendtervének meghatározása volt, a minimális maradó alakváltozás elérése szempontjából.



3. ábra. A vizsgálandó alkatrész az ellenőrzést szolgáló idomszerben

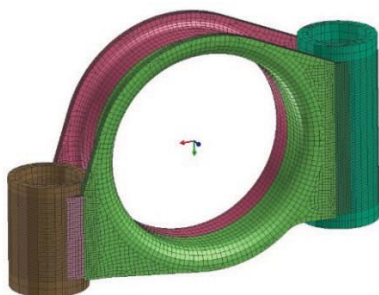
A gyártási probléma abban nyilvánult meg, hogy a hegesztésből adódó alakváltozás miatt a csövek alsó síkjai (homlokfelületei) közötti távolság túrően kívül esett. Az alkalmazott gyártástechnológiával nem tudták tartani a csövek homlokfelületei közötti távolságra előírt  $10,1 \pm 0,2$  mm túrés tartományt. Az alkatrész hegesztését Fronius hegesztő berendezéssel, aktív védő-

gázos fogyóelektródás ívhegesztés CMT eljárás-változatával, hegesztő robot segítségével végezték. Az alkalmazott huzalelektróda átmérő 0,8 mm, a huzal-előtolási sebesség 14,3 m/min, a hegesztési sebesség 60 cm/min, a vonalenergia 250 J/mm, míg a védőgáz 90% Ar + 10% CO<sub>2</sub> volt.

A munka célja volt vége-selemes modellezéssel meghatározni azt a hegesztéstechnológiát, továbbá azokat a megfogási és hegesztési feltételeket, amelyekkel a hegesztést követően a készülékből tűréshatárokon belüli alkatrész kerül ki.

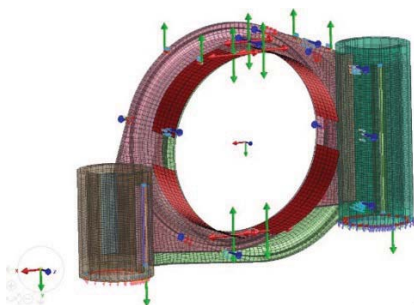
A vizsgálandó alkatrész hegesztésének modellezése a következő fő lépésekből tevődött össze.

1. A vége-selemes háló elkészítése (4. ábra).



4. ábra. Az alkatrész hálózott modellje

2. A hegesztéssel kapcsolatos paraméterek és peremfeltételek megadása:
  - a. az alapanyagra és hozaganyagra vonatkozó anyagtörvények megadása,
  - b. a hőforrás modell kiválasztása és paramétereinek beállítása,
  - c. a hegesztési pályák megadása,
  - d. az alapvető hegesztési paraméterek megadása,
  - e. a hűtési feltételek beállítása,
  - f. a peremfeltételek beállítása (megfogások és mechanikai terhelések) (5. ábra),

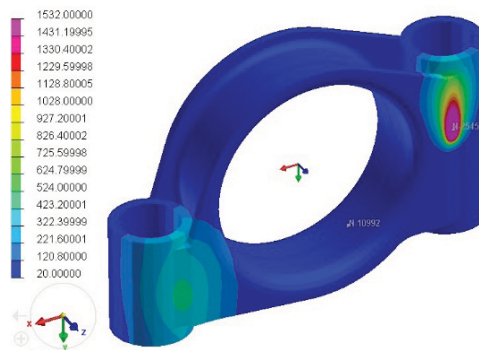


5. ábra. Az alkatrész befogásakor értelmezett mechanikai peremfeltételek

- g. a numerikus számításához szükséges paraméterek megadása.
3. Numerikus számítás, futtatás.
  4. A futtatási eredmények értékelése alapján döntés a bemeneti modell, a beállítási paraméterek, illetve más adatok esetleges módosításáról.

5. A hegesztési technológiára vonatkozó következtetések megfogalmazása a végleges modellezési eredmények részletes, problémaorientált elemzése alapján.

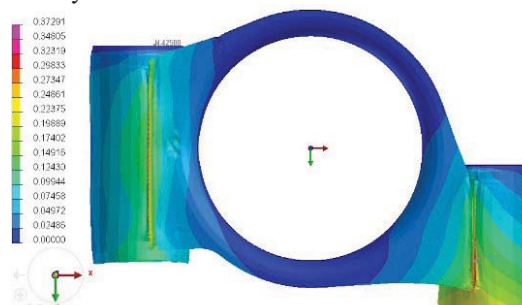
A szimuláció futtatása után, az eredmények ellenőrzésére minden esetben érdemes megvizsgálni a kialakuló hőmérsékletmező minimális és maximális értékeit, illetve a mező eloszlását, ez a jelen feladat kapcsán a 6. ábrán látható.



6. ábra. A gyártás során alkalmazott hegesztési sorrend során kialakuló hőmérsékletmező pillanatképe, °C

A modell validálása után van lehetőség a hegesztési paraméterek változtatására, a hegesztési sorrendterv módosítására. A jelen feladat kapcsán a hegesztendő munkadarab négy kötést tartalmaz, így a kötések elkészítésének sorrendje, illetve a kötések iránya meghatározó az alakváltozások szempontjából.

A négy varrat elkészítését követően kialakuló maradó elmozdulást a 7. ábra szemlélteti, a gyártási paraméterek esetén, amelyen a kedvezőbb szemléltetés érdekében a torzulás mértékét felnagyítottuk. A csőszerű alkatrészek homlokfelületei közötti elmozdulás ( $d_y$ ) 10,29 mm-re adódott, amely a 10,1+/-0,2 mm megengedett tűréstartomány felső határa.



7. ábra. Hegesztést követő maradó elmozdulás (alapeset), mm

Több lehetséges hegesztési sorrendtervet és megfogási módot is megvizsgálva azt kaptuk, hogy 250 J/mm vonalenergia és 2000 N leszorító erő alkalmazásával a  $d_y$  elmozdulás 10,276 mm, míg a legjobb eredmény 200 J/mm vonalenergia, 188 N terhelőerő alkalmazásával, két oldalról egy-egy robot használatával, új hegesztési sorrend mellett, ezáltal az elmozdulás 10,169 mm.

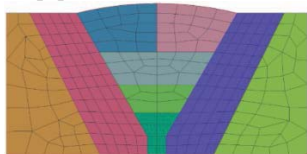


Az alkatrész csövei alsó homlokfelületeinek távolságára vonatkozó tűrés-tartomány betartását elsősorban a hőbevitel, azaz a vonalenergia csökkentésével lehet elérni, ugyanakkor a csövek homlokfelületeit leszorító erő növelése, illetve a hegesztési sorrend és az irányok megváltoztatása is hatékonyan csökkenti a maradó elmozdulások, illetve alakváltozások mértékét. A leghatékonyabb megoldás az, amikor az alkatrész hegesztését párhuzamosan, egyszerre két oldalról végzik, PF és PG pozíciókban. Nyilvánvalóan ez a megoldás jelentős beruházással jár. Amennyiben a felhasználónak korlátozott lehetőségek állnak rendelkezésre, akkor a többi megoldás is szóba jöhet.

## 6. HEGESZTÉSI FOLYAMATOK MODELLEZÉSE TÖBBSOROS VARRATFELÉPÍTÉS ESETÉN

Az ipari gyakorlatban acélszerkezetek hegesztésekor általában a többsoros varratfelépítés a jellemző. Ennek során, a többszörös hőbevitelnek köszönhetően, a hőhatásövezet, illetve magának a varratnak a felépítése is összetett [4]. A legtöbb esetben a többsoros felépítés mind a modell összetettségét, mind a számítási idő nagyságát megnöveli, számos esetben nagyságrendi méretekkel.

A többsoros varrat modellezését igen sokszor csupán kétdimenziós modellen végzik el. Ennek leggyakoribb oka a modell összetettsége, bonyolultsága és ennek megfelelően a szimuláció nagy ideje. Kétdimenziós modell alkalmazása során nagyságrendekkel kisebb az elemszám, gyorsabb a számítási idő. Azonban figyelembe kell venni, hogy ebben az esetben nem lehetséges a háromdimenziós modellezésből adódó teljes szerkezet vizsgálata, csupán egy kiválasztott keresztmetszetben lejátszódó folyamatok modellezhetőek. A bemutatott feladat során csak a keresztmetszetben vizsgáltuk a kötés jellemzőit [7].



8. ábra. A vizsgált kétdimenziós geometriai modell részlete

A modellezett lemezek vastagsága 15 mm, míg a szélességük 140 mm, továbbá a hegesztéshez használt 2 mm illesztési hézag figyelembevételével 242 mm volt a modell legszélső pontjainak távolsága. A varratkorona feltételezett magassága 1 mm, a hőhatásövezet feltételezett szélessége pedig 5-5 mm volt. A ténylegesen alkalmazott geometriai modell a 8. ábrán látható.

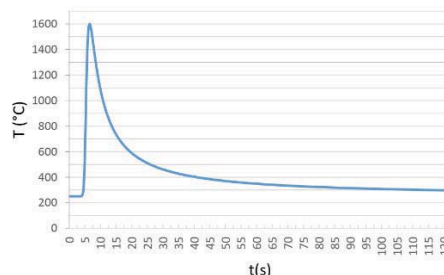
A következő lépésben a hegesztés hőfolyamatának definiálására került sor. Eltérően az előző feladatnál be-

mutatott esettől, tekintve, hogy a vizsgált modell csupán kétdimenziós, nem a helyettesítő hőforrás modell megadása szükséges, hanem egy adott varratsorban lejátszódó hőciklust kell definiálni. Jelen feladathoz a Rykalin-3D modell alapján határoztuk meg a konkrét hőciklusokat, úgy, hogy a megadott hegesztési paraméterek és a Rykalin-3D modell alapján a helyvektor értékének megadásával állítottuk elő a hőciklust. A hegesztési paraméterek esetében az előző feladatnál már bemutatott adatok megadása szükséges.

A hegesztési hőfolyamat modellezése során kétféle hőciklust készítettünk. Külön hőciklust kapott a gyöksor, valamint egy hőciklus készült a töltő-, és takaró-sorok hegesztésének modellezéséhez. Erre azért volt szükség, mert a valós hegesztett kötések esetében is a hegesztési paraméterek változnak sorról-sorra, a gyöksor esetében általában kisebb hőbevitelt alkalmaznak, mint a későbbi sorok esetében. A hegesztés paramétereit az 1. táblázatban foglaltuk össze. Az alkalmazott, definiált hőciklusok közül a töltő soroknál alkalmazott a 9. ábrán látható. A program ezen függvények szerint rendeli hozzá a hőciklust az egyes számítási pontokhoz.

1. táblázat Hegesztési paraméterek a hőciklusok előállításához

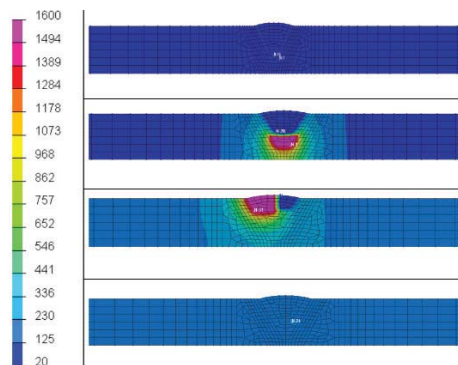
	$T_{elő}/T_{re-}$ tegközi	$I_b$ [A]	$U_{iv}$ [V]	$V_{veg}$ [cm/mm]	$t_{várakozás}$ [s]	$Q$ [J/mm]	$t_{s,5/5}$ [s]
Gyöksor	20	140	22,4	24	0	628	2,7
Töltő- és koronasorok	250	260	32,6	36	360	1130	13



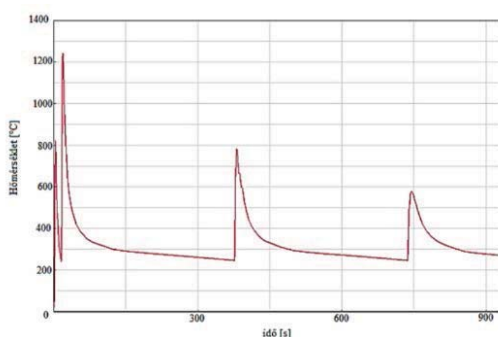
9. ábra. A töltő- és a takaró-sorok modellezése során alkalmazott Rykalin-3D modell szerinti hőciklus

Az előző feladat kapcsán már bemutatott módon, az első lépés a modell validálása a hőmérsékletmező alapján (lásd 10. ábra). Továbbá a program képes az elkészült modell bármely pontjában a szimuláció során kialakuló hőciklusokat megjeleníteni. Ezen diagramok segítségével lehetőség van a különböző zónákban lejátszódó hőciklusok előrejelzésére. A hőhatásövezet kritikus zónájának tekinthető interkritikus durvaszemcsés sávot kiválasztva, a 11. ábra szemléltet egy jellegzetes pont esetében kialakuló hőmérséklet-változást. A hőhatásövezeti hőciklus ismeretében lehetőség van a többretegű varratokban kialakuló lokális hőhatásövezeti sávok fizikai szimulációjára, amelynek köszönhetően a kritikus sávok mérete a későbbi anyagvizsgálatokhoz (pl. ütővizsgálat) szükséges méretben előállíthatók.

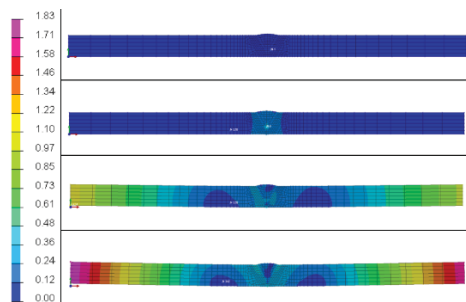
Ennek eredményeként kapcsolat állítható fel a numerikus és a fizikai szimuláció között [8],[9]. A számítógépes modellezés további eredményeként a maradó alakváltozás figyelhető meg a 12. ábrán.



10. ábra. A hőmérséklet változása a hegesztés folyamán



11. ábra. Egy tetszőlegesen kiválasztott hőhatásövezeti pontban lejátszódó hőmérséklet ciklus



12. ábra. A maradó alakváltozás mértéke a hegesztés során

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A jelen cikkben bemutatott végesseleemes modellezési példákon keresztül látható, hogy a hegesztési folyamatok numerikus modellezése nem egyszerű feladat, igen sok tényezőt kell figyelembe venni.

Ugyanakkor a peremfeltételek megfelelő megadásával, a szükséges egyszerűsítésekkel és elhagyásokkal a

valós körülményeket jól megközelítő modellt lehet alkotni.

A bemutatott példákon keresztül látható, hogy a hegesztési paraméterek optimalizálása, a megfelelő hegesztési sorrend meghatározása valós hegesztett kötések nélkül is megvalósítható. A hőciklus hatására kialakuló alakváltozások, maradó feszültségek becslése külön fizikai mérések nélkül is elvégezhető. A többsoros varratok esetében az egyes pontokban lejátszódó hőciklusok ismeretében pedig kapcsolat teremthető a fizikai szimulációval, ezáltal az ott kialakuló szövet-szerkezet minősége, eloszlása, keménysége is pontosan meghatározható valós hegesztett kötés elkészítése nélkül.

A különböző helyettesítő hőforrásmodellek lehetővé teszik továbbá akár legmodernebb lézer- és elektronsugaras hegesztő eljárások modellezését is.

## 7. IRODALOM

- [1] TISZA, M.; Gál, G.; Kiss, A.; Kovács, P. Z.; Lukács, Zs.: *Számítógépes mérnöki módszerek alkalmazása a képlékenyalakításban*, Gép, 64 (2), 2013. pp. 11-14.
- [2] GÁSPÁR, M., BALOGH, A.: *Számítógéppel segített technológiai tervezésre alkalmas programok ömlesztő hegesztő eljárások esetén*, Tanulmány, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2012.
- [3] PALOTÁS, B.: *CAD/CAM rendszerek a hegesztésben*, Digitális Tankönyvtár, 2013.
- [4] DAVIS, C., KING, J.: *Cleavage initiation in intercritically reheated coarse-grained heat affected zone: Part I. Fractographic evidence*. Metallurgical and Materials Transactions A 25, 1994. pp. 563-573.
- [5] PRÉM, L., BALOGH, A.: *Számítógéppel segített technológiai tervezésre alkalmas programok ömlesztő a sajtoló hegesztő eljárások esetén*, Tanulmány, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2012.
- [6] GOLDAK, J. A., AKHLAGHI, M.: *Computational welding mechanics*, Springer, 2005. ISBN 0-387-23287-7
- [7] CSORBAI, P.: *Termikus- és mechanikai folyamatok végesseleemes modellezése többsoros varratfelépítés esetén*, MSc diplomaterv (témavezető: Dr. Gáspár Marcell), 2016.
- [8] KONCSIK Zs., FÓTOS R., LUKÁCS J.: *A fizikai szimuláció és alkalmazása az anyagtechnológiákban*, Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban Konferencia, Debrecen, 2012. pp. 211-217.
- [9] KUZSELLA L., LUKÁCS J., SZÜCS, K.: *Fizikai szimulációval végzett vizsgálatok S96QL jelű, nagyszilárdságú acélon*, Gép, 63 (11), 2012. pp. 37-42.

# A FERRIT-MARTENSITES DP ACÉLOK ELLENÁLLÁS-PONTHEGESZTETT KÖTÉSEI DINAMIKUS VISELKEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA SAJÁT TERVEZÉSŰ DINAMIKUS VIZSGÁLÓ BERENDEZÉSSEL

## INVESTIGATION OF DYNAMIC BEHAVIOUR OF RESISTANCE SPOT WELDED JOINTS IN FERRITE-MARTENSITIC DP STEELS WITH A NEWLY DEVELOPED DYNAMIC TESTING EQUIPMENT

*Prém László\*, Balogh András\*\**

### ABSTRACT

*In recent decades the toughness of welded structures has been forcefully appreciated. This trend is particularly valid for the advanced high strength steels (AHSS), which have reduced toughness comparing to the low strength structural steels. Dynamic characteristics of the welded joints of the newly developed high strength steel sheets required by the automotive industry have been neglected for a long time and the welding procedures were optimized on the static joint properties, mainly on tensile-shear force. Up to the present time testing of dynamic properties of the spot welded joints was performed by the increased testing speed. Started from the lateral load which is substantial for the crash test of the passenger cars authors developed a new dynamic testing method and designed new testing equipment, which can give a numeric result to characterise the resistance of the spot welded joints against the lateral dynamic load.*

### 1. BEVEZETÉS

Az autóiipari nagyszilárdságú acélokból ponthegeesztett átlapolt kötésekre ritkábban statikus, gyakrabban ismétlődő, vagy dinamikus igénybevételek hatnak. A kötések tervezéséhez az egyes pontkötések teherbírási határainak az ismerete szükséges [1]. Egyes frekvenciált járműalkatrészek a gépkocsik üzeme közben különböző nagyságú, gyakoriságú és fajtájú dinamikus igénybevételeknek vannak kitéve. Ezen alkatrészek beépítésekor kockázatos lenne, ha csak a ponthegeesztett kötések általánosan jó minőségére és a korábbi kedvező tapasztalatokra, valamint a szokásos statikus vizsgálatok eredményeire hagyatkoznánk. Ahhoz, hogy a próbapályára és a sorozatgyártásba már kiforrott alkatrészek

kerülhessenek, a konstruktóri és gyártástechnológiai variánsokat előzetesen tesztelni és összehasonlítani képes vizsgáló eljárásokra van szükség. Geometriai, szerkezeti és igénybevételi különbségeik miatt az ömlesztő hegesztéssel készült kötésekre szabványosított vizsgálatok ellenállás-ponthegeesztett vékonylemezek pontkötéseikhez közvetlenül nem, vagy egyáltalán nem alkalmazhatóak. Ebből következik, hogy a szóban forgó kötések vizsgálatához új eljárásokat kell kidolgozni és nemzetközileg egységesíteni.

### 2. LEMEZRE MERŐLEGES IRÁNYÚ TERHELÉSBŐL LEVEZETETT DINAMIKUS HAJLÍTÓVIZSGÁLAT SZÜKSÉGESSÉGE

Annak érdekében, hogy minél pontosabb és alaposabb képet kaphassunk az autóiipari acél vékonylemezekből ponthegeesztett kötések dinamikus viselkedéséről, a személygépkocsi vázák és ráépítmények hegesztett pontkötéseinek merőleges irányú ütközési terheléseiből levezetett dinamikus hajlítóvizsgálatra van szükség. A jelenleg érvényben lévő szabvány (MSZ EN ISO 14323:2015) csak a pontkötések ütve-nyíró és ütve-szakító vizsgálatára vonatkozóan tartalmaz előírásokat. Az ellenálláshegesztéssel feldolgozandó DP acélokból azonban a leggyakrabban a gépjárművek oldalsó merevítő elemeit állítják elő, ezért is szükséges olyan vizsgálat kifejlesztése, amelynek eredménye arról tájékoztat, hogy egy oldalirányú ütközés során hogyan viselkednek ezen acélok ponthegeesztett kötései.

A nagyszilárdságú acélokból ponthegeesztett kötések törésig rendelkezésre álló alakváltozási tartalékának meghatározásához az ütmunka ismeretén túl szükségünk van az erő-behajlás (erő-idő) diagramok görbe alatti területének, valamint a görbe jellégének ismeretére is. Ehhez az információkhoz az átlapolt vékonyleme-

\* *folyamatmérnök, Thyssenkrupp Components Technology Hungary Kft.*

\*\* *c. egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Anyagszerkezteti és Anyagtechnológiai Intézet*

zek ponthegeesztett kötéseinek műszerezett ütővizsgálóval juthatunk el. Az első műszerezett ütővizsgálókat 1925-ben végezték, az igazán gyors fejlődés azonban csak a második világháborút követően indult meg, ami a mérőbéli technika megjelenésével van összefüggésben [2].

### 3. ÚJ TÍPUSÚ DINAMIKUS PONTKÖTÉS-VIZSGÁLÓ BERENDEZÉS TERVEZÉSE

Az átlapolt vékonylemezes kötések és a közepvastag, illetve a vastag lemezek tompakötései geometriailag olyan nagymértékben különböznek egymástól, hogy az ömlesztőhegesztett kötésekre kidolgozott és szabványosított dinamikus vizsgáló eljárások a ponthegeesztett kötésekre nem alkalmazhatóak.

A Charpy vizsgálatnál megszokott ütési sebesség 3...5 m/s nagyságrendű. Az adott kinetikus energia a próbatestek tönkremenetelét okozó dinamikus (hárompontos) hajlításakor a próbatestek rugalmas és képlékeny alakítására, valamint a kötések törésére fordítódik. A hagyományos, szabványosított vizsgálatokhoz használt  $m=19,8$  kg-os eső tömeggel és  $h=1,55$  m esés magassággal jellemzett ingás ejtőgépen a maximális ütési energia 300 J, amelyhez 5,5 m/s ütésssebesség társult.

Az előzetes kísérletek tapasztalatai azt mutatták, hogy a nagyszilárdságú DP acélok 1 mm + 1 mm-es átlapolt lemezkötéseikhez a 300 J maximális ütési energia túlzottan nagy, ezért a Miskolci Egyetem Anyag-szerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetében található Heckert típusú, szabványos, Charpy-ütőművet kisebb kinetikus energiájúvá alakítottuk át. Az eső tömeget a kalapács két oldalán lévő „sonka” elhagyásával csökkentettük, ezáltal a maximális ütési energia 118 J-ra módosult.

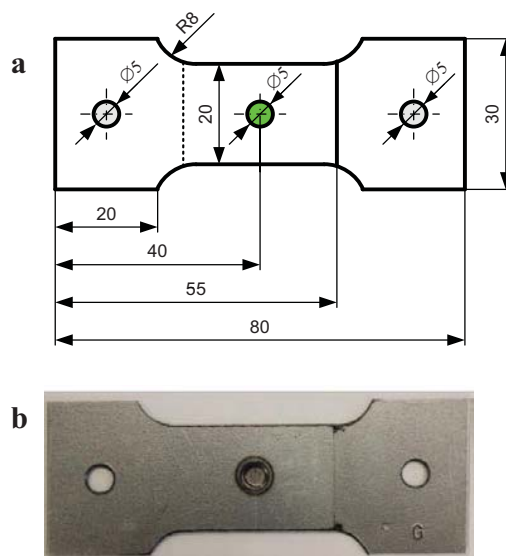
A pontkötések minél pontosabb vizsgálatához az ütőél kialakítását úgy módosítottuk, hogy a pontkötés átmérője (~5 mm) és az ütőél szélessége közel azonos legyen (1. ábra). A kalapács ütőélét az erő regisztrálása érdekében mérőbéli gégekkel láttuk el.



1. ábra Az áttervezett 5 mm-es szélességű ütőél a csökkentett tömegű kalapáccsal, a mérőbéli gégek nélkül

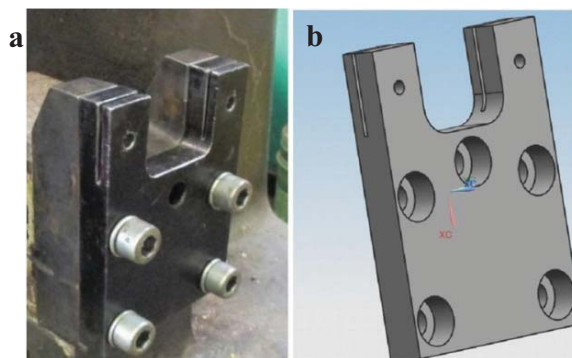
### 4. A PRÓBATEST KIALAKÍTÁSA ÉS MÉRETEI

A lemezpróbatess geometriájának kifejlesztése során az volt a célunk, hogy olyan híd-szélességet határozzunk meg, amellyel az alapanyag helyett a teljes hegesztett kötés (heglencse + hőhatásövezet + alapanyag) dinamikus viselkedéséről kaphatunk képet. Ennek feltétele az, hogy vizsgálat során ne az alapanyag repedjen fel, hanem a hegesztett pont váljon ketté. A kezdeti kísérletek eredményei azt mutatták, hogy az alapanyag a vizsgálati eredményre gyakorolt hatása 20 mm-es híd-szélességnél még kvázi elhanyagolható (ez 1+1 mm lemezvastagságnál az ideálisnak tekintett 5 mm-es pont-átmérő négyszerese), így a 30 mm-es lemezsávokból hegesztett lemez próbatesteket a vizsgálati szakaszon forgácsolással 20 mm-re könnyítettük ki (2. ábra).



2. ábra a) A próbatest vázlatja, b) a próbatest fotója

A lemezpróbatess geometriája miatt szintén szükséges volt egy olyan új ülék megtervezése és legyártása, amely a próbatestek azonos pozíciójú megfogását biztosítja (3. ábra).



3. ábra a) Az ütővizsgálathoz kifejlesztett ülék makrofotója, b) 3D modellje

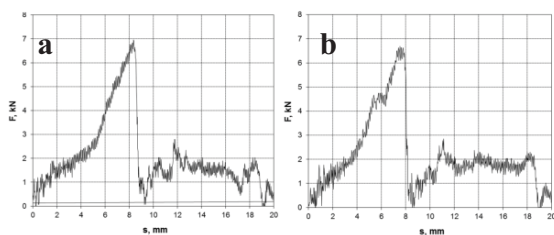
## 5. A DINAMIKUS VIZSGÁLATTAL ÖSSZEHASONLÍTOTT TECHNOLÓGIAI VARIÁNSOK

A dinamikus vizsgálatok során az egyszerűsége miatt széles körben elterjedt folyamatos energiabeviteli ponthegesztési technológiát hasonlítottuk össze a korábbi vizsgálataink szerint kedvezőbb szimmetrikus kétimpulzusú szakaszos energiabeviteli variánsal. A statikus szilárdságra optimalizált kötések dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállásának vizsgálata során valamennyi próbatest kettévált, vagyis a készülék kialakítása és tervezési méretei alkalmasnak bizonyultak a nagyszilárdságú ferrit-martensites DP acélok 1+1 mm-es kötéseinek dinamikus vizsgálatára. A különbség a próbatestek tönkremeneteli módjában és tönkremeneteli pontátmérőjében, valamint a mérőbéllyeges vizsgálatok során felvett erő-elmozdulás, erő-behajlás diagramok alakjában és görbe alatti területében mutatkozott meg [3].

## 6. A FERRIT-MARTENSITES DP ACÉLOK PONTHEGESZTETT KÖTÉSEINEK DINAMIKUS VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI

A folyamatos és szakaszos energiabevitellel készült ponthegesztett kötések dinamikus ütve hajlító vizsgálatánál mind a regisztrált erő-idő és erő-behajlás diagramok jellegében, mind pedig a kötések tönkremenetelének típusában szembetűnő különbség figyelhető meg.

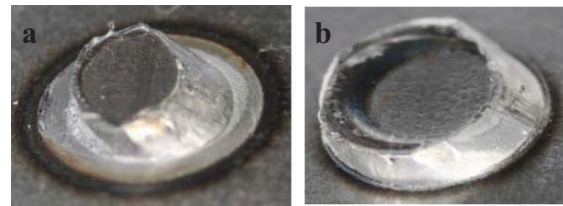
Amennyiben a mérési rendszerből adódó erőingadozásoktól eltekintünk, a műszerezett ütővizsgálat erőnövekedési szakaszán a folyamatos energiabevitellel készült kötések esetében az erőváltozás folyamatos volt, ezzel szemben a szakaszos energiabevitellel hegesztett kötések vizsgálatakor az erőnövekedési szakaszon egy közel állandó erőt mutató elmozdulás-tartomány volt megfigyelhető (4. ábra).



4. ábra A műszerezett ütővizsgálatok erő-elmozdulás diagramjai: a) folyamatos energiabevitel, b) szimmetrikus kétimpulzusú szakaszos energiabevitel

Folyamatos energiabevitelnél az ütve-hajlító vizsgálat 1+1 mm vastagságú, átlapolts próbatestjei részleges kigombolódással mentek tönkre, míg szakaszos energiabevitelnél a klasszikus kigombolódással. A törés helyében és a kigombolódott pont átmérőjében egyaránt szig-

nifikáns és egyértelmű különbség mutatkozott, ahogy az az 5. ábrán jól kivehető.



5. ábra Oldalirányú dinamikus erővel vizsgált próbatestek tönkremeneteli módjai: a) folyamatos energiabevitelnél, b) szimmetrikus kétimpulzusú szakaszos energiabevitelnél

A hagyományos folyamatos és az általunk javasolt szakaszos energiabeviteli technológiával készült kötések dinamikus energiaelnyelő képességében szignifikáns különbség (95%-os szignifikancia szinten) nem volt kimutatható (1. táblázat). A táblázat adataiból jól látható, hogy az alig különböző átlagos törési energia mellett a szakaszos energiabevitel nagyobb pontátmérője és kigombolódásos tönkremenetele jóval kisebb szórást eredményezett, ami tömeggyártás esetén figyelemre méltó előnynek számít.

1. táblázat A műszerezett ütővizsgálatok során meghatározott ütőmunka értékek folyamatos és szakaszos energiabevitel esetén

Mért vagy számított jellemző	Folyamatos energiabevitel	Szakaszos energiabevitel
1. törési energia (J)	60,00	49,00
2. törési energia (J)	51,00	47,00
3. törési energia (J)	57,00	47,00
4. törési energia (J)	55,00	50,00
5. törési energia (J)	56,50	50,00
6. törési energia (J)	49,00	47,00
7. törési energia (J)	51,00	49,00
8. törési energia (J)	47,00	49,00
9. törési energia (J)	45,00	48,00
10. törési energia (J)	46,00	50,00
11. törési energia (J)	48,00	51,00
Átlag (J)	51,41	48,82
Szórás (J)	5,01	1,40
Relatív szórás (%)	9,75	2,87
Pontátmérő (mm)	4,25...4,60	5,80...6,05
Tönkremenetel jellege	részleges kigombolódás	teljes kigombolódás

Az ütővizsgálattal tesztelt próbatestek pontátmérői folyamatos energiabevitel esetében 4,25 - 4,60 mm mérettartományban szóródtak, míg szakaszos energiabevitelnél az 5,80 - 6,05 mm mérettartomány volt a jellemző. A különböző energiabeviteli módokra jellemző töreketek az 6. ábrán mutatjuk be, ahol jól megfigyelhető, hogy folyamatos energiabevitelnél a törés a nagy

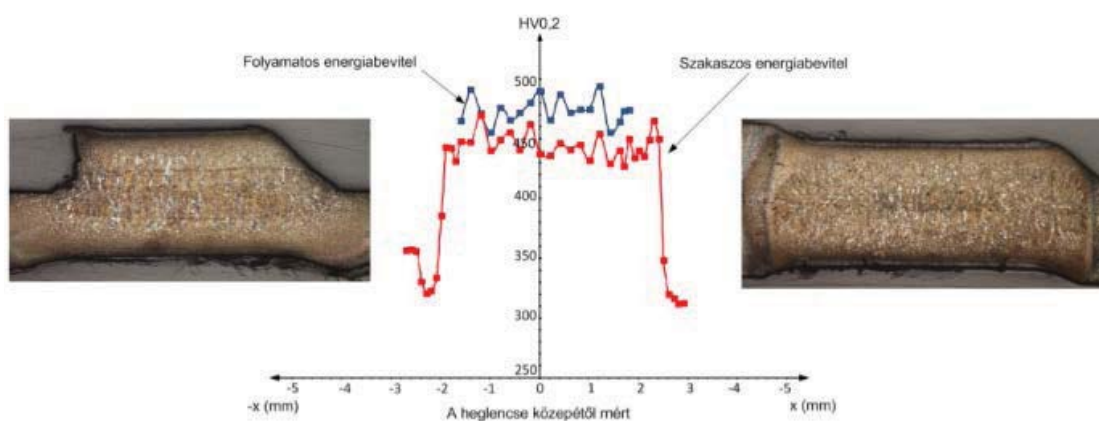
keménységű, dendrites heglencse szélénél haladt, míg szakaszos energiabevitelnél a törés a hőhatásövezet kilágyult részén következett be. Ez a jelenség egyben magyarázattal szolgál a kigombolódott pontok átmérőjének különbségére is.



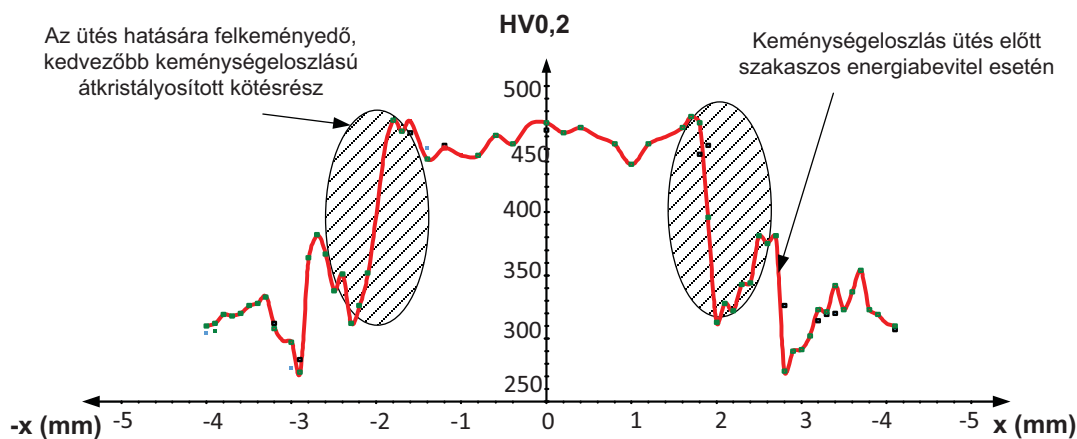
6. ábra Próbatestek törési helyeinek mikroszkópi csiszolatai a) folyamatos energiabevitelnél, b) szimmetrikus kétimpulzusú szakaszos energiabevitelnél

A 7. ábra az előző ábrán látható csiszolatok keménységeloszlását mutatja be. A kék pontok a folyamatos, a piros pontok a szakaszos energiabevitellel hegesztett pontkötések mikrokeménységeit jellemzik. Az ábrán jól látható a tönkremeneteli pontátmérők geometriai különbsége. Az is erőteljesen szembevetendő, hogy a szakaszos energiabevitellel készült kötések külső, gyűrű alakban átkristályosított, kedvezőbb keménységeloszlású szélé a dinamikus igénybevétel hatására felkeményedik.

A szakaszos energiabevitellel készült kötések erőbehajlás diagramjának erőnövekedési szakaszán megfigyelhető állandó erő megjelenése kapcsolatba hozható a 8. ábra szerinti keménységeloszlás hidegalakítás hatására bekövetkező változásával.



7. ábra A próbatestek makrociszolati képei és keménységeloszlása ütévizsgálat után



8. ábra A sraffozott terület a szakaszos energiabevitellel készült ponthegeztett kötés szélén mért, az ütévizsgálat során bekövetkező felkeményedést szemlélteti

A hegpont közepétől távolodva az első jelentősen lágyabb rész, a kötés gyűrű alakban átkristályosodott része (lásd: 8. ábra) az ütve-hajlítás során kialakuló egyenlőtlen alakváltozás következtében nagyobb mértékben keményedett fel, mint a középtől még távolabb elhelyezkedő (az alapanagtól lágyabb) anyagrész, ahol végül is a törés bekövetkezett. Feltételezésünk szerint az előzőekben említett képlékeny alakváltozás következtében végbement keménységnövekedés okozta az erőbehajlás görbék erőnövekedési szakaszán tapasztalt vízszintes szakaszt, amely a pontkötések törésig rendelkezésre álló alakváltozási tartalékát és tönkremeneteli pontátmérőjét egyaránt megnövelte.

## 7. KÖVETKEZTETÉSEK

1. Az átlapolt vékonylemezek ponthegesztett kötése és a jellemzően közepes és nagy lemezvastagságú ömlesztőhegesztett tompakötések közötti lényeges eltérések miatt az ömlesztőhegesztett kötésekre kidolgozott és szabványosított dinamikus vizsgáló eljárások a ponthegesztett kötésekre nem alkalmazhatóak.
2. A dinamikus igénybevételnek kitett, AHSS acélokból (köztük a DP acélokból) készülő autóiipari alkatrészek pontkötéseinek hegesztési paramétereit a hagyományos statikus vizsgálatok során tapasztalt előnyös eredmények (magas nyíró-szakítóerő, kedvező tönkremeneteli mód) alapján határozzák meg. A töréskeresztek során azonban a statikus terhekre optimalizált pontkötések gyakran csak elnyíródnak, vagy részlegesen kigombolódnak, azaz kisebb energiaelnyelő képességgel rendelkeznek, annak ellenére, hogy a hagyományos statikus vizsgálatoknál még rendre kigombolódtak.
3. A személygépjárművekre vonatkozó, egyre szigorúbb biztonsági előírások miatt arra van igény, hogy az utasok testi épségét garantáló, nagyszilárdságú acélokból készített merevítő elemek hegesztett kötése egy esetleges ütközés során a lehető legnagyobb energiaelnyelő képességgel rendelkezzenek. Ennek biztosításához arra van szükség, hogy a dinamikus igénybevett kötések hegesztési paramétereit a hagyományos, statikus vizsgálatok helyett az újonnan

kifejlesztett, laterális terhelésű dinamikus vizsgálatok eredményei és tapasztalatai alapján határozzák meg.

4. Laterális terhelésre vonatkozó vizsgálati eredményeink egyértelműen alátámasztják, hogy a dinamikus igénybevett autóiipari alkatrészek ponthegesztett kötéseinél a törésig rendelkezésre álló képlékeny alakváltozási tartalék növelhető, a repedési hajlam pedig mérsékelhető kellően hosszú impulzusok közötti szünetidejű, szakaszos energiabevitelű ellenállás-ponthegesztési technológia alkalmazásával.
5. Vizsgálati eredményeink alapján feltételezhető, hogy az 1000 MPa-nál nagyobb szakítószilárdságú, martensites mátrixú (DP 1200M, DP 1400M) acéloknál a szimmetrikus kétimpulzusú szakaszos energiabevitel hegesztés utáni, kötést áthőkezelő hatása még kedvezőbb lehet, mint a DP 600...1000-es acélok esetében.

## 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a **TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001**, a **TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029** és a **TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001** jelű projekt részeként, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## 9. IRODALOM

- [1] BALOGH A.: Korrózióálló CrNi acél ellenálláspont-hegesztése és a pontkötések tulajdonságai, Hegesztéstechnika, II. évfolyam (1991), 2. szám, pp. 28-29.
- [2] GÁSPÁR M.: Nemesített nagyszilárdságú szerkezeti acélok hegesztéstechnológiájának fizikai szimulációra alapozott fejlesztése, (PhD disszertáció), Miskolci Egyetem, Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, 2016 (témavezető: Balogh A.)
- [3] PRÉM L., BALOGH A., DOBOSY Á.: Nagyszilárdságú DP acélok dinamikus ütve-hajlító vizsgálata, Ellenálláshegesztés 2018 Ankét, Dunaújváros, 2018.11.15.

# CLOOS

MAGYARORSZÁG



**MINDEN, AMI  
HEGESZTÉS**



[www.cloos.hu](http://www.cloos.hu)



# S1300 ULTRA-NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉL HŐHATÁS-ÖVEZETÉNEK FIZIKAI SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATAI

## PHYSICAL SIMULATION OF HEAT AFFECTED ZONE OF S1300 ULTRAHIGH STRENGTH STEEL

Kovács Judit\*, Lukács János\*\*

### ABSTRACT

Nowadays, there is an ever growing need for the wider application of high strength steels due to their favorable mechanical properties. To ensure higher strength and toughness properties the steel producers continuously develop new generations of high strength steels. The weldability of these steels has still challenges which are as follows: cold cracking sensitivity; reduction of strength and toughness of heat affected zone; filler material selection. During welding the steel may lose its outstanding properties what were provided by using various alloying elements, micro alloys, and different metallurgical methods. In real welded joints the critical parts of the heat affected zone have small extent so their properties can be limitedly analyzed. With the help of physical simulators, the different parts of the heat affected zone can be produced in a bigger size for different material tests. In our research work the weldability, especially the heat affected zone properties of an ultrahigh strength structural steel was discussed. During the heat affected zone simulations using Gleeble 3500 physical simulator, three relevant technological variants for gas metal arc welding (GMAW),  $t_{8,5/5} = 5$  s, 15 s and 30 s were applied. The properties of the selected coarse grained, intercritical and intercritically reheated coarse grained zones were investigated by optical microscope and hardness tests.

### 1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben a hegesztett szerkezetek acéljai jelentős fejlődésen mentek keresztül. A fejlődés irányát elsősorban a szilárdság, azon belül is a folyáshatár növelése szabta meg. A szilárdság és a keménység között fennálló kapcsolatból következik, hogy a szilárdság növelése egyúttal az acél keménységét is növeli. A kutatók a szilárdság, a folyáshatár növelését a drága ötvözők alkalmazása helyett inkább különböző gyártástechnológiai fejlesztésekkel próbálták elérni. A normalizációs technológiában rejlő lehetőségek kimerülését követően megjelentek a légedzésű, majd a vízedzésű

nemesített acélok, végül pedig a termomechanikus kezeléssel gyártott nagyszilárdságú acélok is. Az acélgyártók mára odáig jutottak, hogy az 1900-as évek elején alkalmazott, a mai S235 jelű minőségnek megfelelő acélnál már négy-öttször nagyobb folyáshatárú szerkezeti acélokat képesek gyártani, sőt megjelentek már az 1300 MPa folyáshatárt is meghaladó típusok [1-3].

A nagyszilárdságú acélok használata lehetővé teszi a szerkezetek saját tömegének jelentős csökkenését, ezért számos területen alkalmazzák azokat, például csővezetékek, hajók, könnyűszerkezetek és nagy terhelésű hegesztett szerkezetek esetén, darukban és egyéb építőipari gépekben, az autógyártásban, teherautókban (1. ábra). Az ultra-nagyszilárdságú acélok tulajdonság együttese, például a nagy szilárdság, a kimagasló szívósság és az elfogadható alakváltozó képesség, alapvető fontosságú az említett iparágakban történő felhasználás során [4].



1. ábra A nagyszilárdságú szerkezeti acélok alkalmazása a járműiparban

### 2. HEGESZTÉSI NEHÉZSÉGEK

A nagyszilárdságú szerkezeti acélok hegesztésének nehézségei elsősorban a nem-egyensúlyi szövetszerkezetből adódnak. Ömlesztő hegesztés esetén ezt a szövetszerkezetet a hegesztés hőciklusa irreverzibilisen megváltoztatja, amelyet utókezeléssel már nem lehet helyreállítani. Ebből adódóan a hegesztett kötés inhomogén mikroszerkezettel, és az alapanyaghoz képest eltérő mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik. Nehézséget jelent, hogy a hőhatásövezetben lokális jelleggel kialakuló rideg részek, különösen elegendő diffúzióképes hidrogéntartalommal párosulva, repedések kelet-

\* PhD hallgató, Miskolci Egyetem Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

\*\* egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

kezésének helyei lehetnek. A hegesztésből adódó járulékos feszültségek és a kis alakváltozó képesség fokozottan növelik a repedésképződési hajlamot; az egyes esetekben megjelenő kilágyult zónák pedig a kötés teherviselő képességének romlását idézik elő [1],[2],[5].

A hozaganyagválasztás területe is sokkal összetettebb a nagyszilárdságú acélok esetén, mivel az alapanyag előállításakor alkalmazott gyártástechnológiát nem lehet a hegesztés során reprodukálni, ezért nehéz olyan hozaganyagot választani, amely egyidejűleg garantálja a varrat kellő szilárdságát, és a repedésképződés elkerüléséhez szükséges alakváltozó képességet. Továbbá, bizonyos szilárdság fölött, a szilárdsági kritériumnak már nem is biztos, hogy meg tudnak felelni a hozaganyagok [1],[2].

### 3. HŐHATÁSÖVEZET

A nemesített nagyszilárdságú acélok hőhatásövezete elsősorban a szívósságcsökkenés, másodsorban pedig a kilágyulás miatt okozhat problémát. Egy nagy-szilárdságú szerkezeti acélból készült hegesztett kötésben a ridegtörés a varrat mellett elsősorban a hőhatásövezetben következhet be, ahol a hegesztési hőciklusok új, (döntően) kedvezőtlen mikroszerkezetet hoznak létre. Többretegű varratok esetén, amikor a már kész varratot a következő sor részben megolvasztja, illetve a meg nem olvadt részeket áthőkezezi, sokkal összetettebb hőhatásövezeti sávok alakulnak ki [1],[2].

Bár a szerkezeti acélok hőhatásövezete több sávra osztható két kritikus sávot kell kiemelnünk, amelyeket általában a keménység és szívósság változás szempontjából vizsgálunk. Ez a két sáv a durvaszemcsés (DSZ) és az interkritikus (IK) sáv, többretegű varrat esetén pedig az interkritikus durvaszemcsés (IK DSZ) sáv.

### 4. A VIZSGÁLT ANYAGMINŐSÉG

A kutatómunkában vizsgált nagyszilárdságú acélhoz műbizonylat nem állt rendelkezésre, ezért vegyelemzést kellett végeznünk. Az elemzés alapján a vizsgálatokhoz használt szerkezeti acél kémiai összetételének mért értékei az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat A vizsgált acél kémiai összetétele

Kémiai összetétel [tömeg%]						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
0,23	0,45	1,86	0,012	0,001	0,85	0,093
Ni	Mo	V	Ti	Al	Nb	Zr
2,43	0,360	0,030	0,002	0,063	<0,001	<0,001

Az acél átlagkeménysége 468 (HV10), ami alapján az S1300 kategóriába sorolható; a mért kémiai összetétel alapján számított karbonegyenértéke  $CEV=0,956\%$  és  $CET=0,56\%$ . A szállítási állapotban, optikai mikroszkóppal készült felvételen,  $N = 200x$ -os nagyításban, a 2. ábrán látható az ultra-nagyszilárdságú acélokra jellemző megeresztett martenzites szövetszerkezet.



2. ábra Az alapanyag szövetszerkezete,  $N = 200x$

### 5. FIZIKAI SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATOK

A hőhatásövezet fizikai szimulációs vizsgálataihoz első lépésben ki kell választani egy hőciklus modellt. A kutatómunkában a választás a vastag lemezekre érvényes Rykalin-3D modellre esett, mivel az a kétdimenziós modellel szemben független a lemezvastagságtól, így kevesebb változó bonyolítja az eredmények értékelését. A hőciklusok előállításához szükség van az acél fizikai jellemzőire és a vizsgálandó hőhatásövezeti hőciklusok csúcshőmérsékletére.

Az elvégzett hőhatásövezeti vizsgálatok a Rykalin-3D modell felhasználásával és a hőmérsékletfüggő fizikai jellemzők figyelembevételével kiszámított idő-hőmérséklet pontok segítségével, a teljes hőhatásövezeti hőciklusok meghatározásával történtek. Ezt követően a fizikai szimulációs programokat a Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetében található Gleeble 3500 fizikai szimulátor manuális programozásával állítottuk elő.

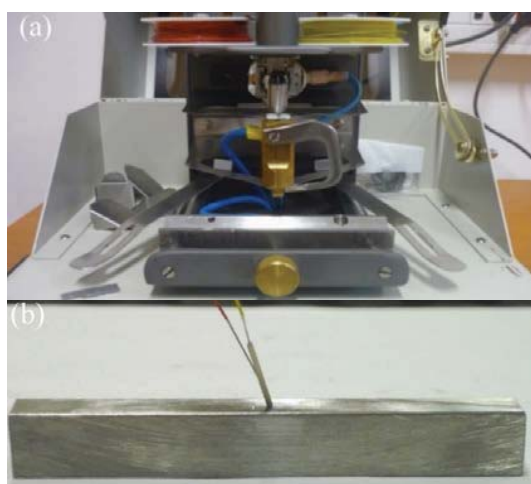
A vizsgálandó hőhatásövezeti hőciklusok csúcshőmérsékletének kiválasztásának fő szempontja az volt, hogy a hőhatásövezetben előforduló legkisebb szívóssággal rendelkező sávokat állítsuk elő, ezért a választásunk a durvaszemcsés, az interkritikus és – a komplex hőhatásövezeti sávok közül – a durvaszemcsés sáv  $A_{c1}$  és  $A_{c3}$  hőmérsékletek közé hevült, interkritikus megeresztett részére esett. A hőhatásövezet IK zónájának szimulációjához  $775\text{ }^\circ\text{C}$ , a DSZ sáv esetén, pedig  $1350\text{ }^\circ\text{C}$  csúcshőmérsékletet állítottunk be.

A hegesztési paraméterek és a hűlési időintervallum meghatározásához a huzalelektrodás védőgázos ív-hegesztést vettük alapul. A vizsgálatok során három különböző hűlési időt állítottunk be, ahhoz, hogy szimulálni tudjunk egy kis, egy közepes és egy nagy fajlagos hőbevitellel történő hegesztést. Ez alapján a választott hűlési időintervallumok  $t_{8,5/5} = 5$  s, 15 s és 30 s voltak, a kísérleti programot a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat A hőhatásövezeti vizsgálatok kísérleti programja

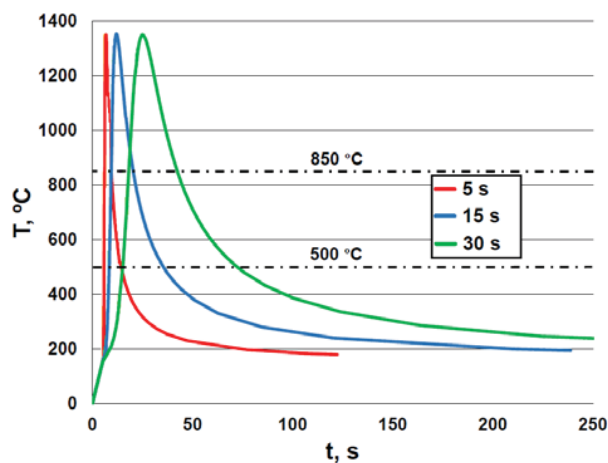
Hőhatásövezeti sáv	Csúcshőmérséklet, [°C]		$t_{8,5/5}$ hűlési idő, [s]
	$T_{max1}$	$T_{max2}$	
DSZ	1350	-	5, 15, 30
IK	775	-	5, 15, 30
IK DSZ	1350	775	5, 15, 30

A fizikai szimulációs kísérleteknél alkalmazott, próbatestek méretei a Gleeble kézikönyv ajánlásai alapján 10 mm x 10 mm x 70 mm voltak. A próbatestekre a szimulációs tesztek megkezdése előtt a K(NiCr-Ni) típusú termoelemeket egy célberendezéssel hegesztettük fel. A termoelem hegesztőgép és a próbatest a ráhegesztett termoelemekkel a 3. ábrán látható.

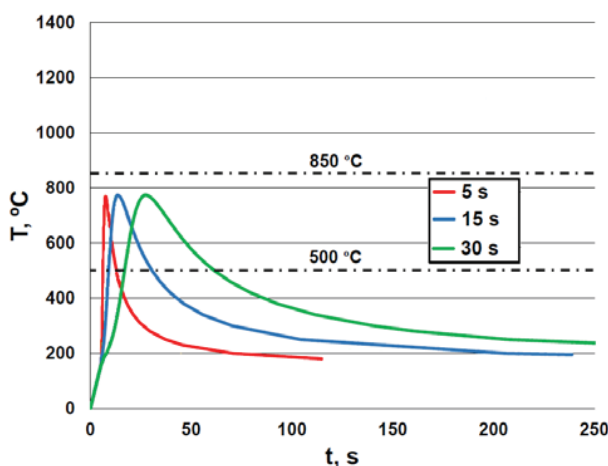


3. ábra Termoelem hegesztőgép (a), próbatest a ráhegesztett termoelemekkel (b) [6]

Mindegyik hőhatásövezeti sáv és hőciklus esetén előmelegítési/rétegekőzi hőmérsékletnek egységesen 150 °C-ot állítottunk be. A vizsgálatok vákuumban történtek, ez adta a védelmet az oxidáció és a dekarbonizáció ellen. A szükséges paraméterek meghatározása után a hőciklusok a Gleeble 3500 fizikai szimulátor szoftverében beprogramozhatók. A DSZ sáv előállítását célzó hőciklusokat a 4. ábra, az IK sávét pedig az 5. ábra szemlélteti; az IK DSZ sáv előállításához ezen hőciklusok kombinációit használtuk fel.



4. ábra A DSZ sáv előállítását célzó hőciklusok ( $T_{max} = 1350$  °C)

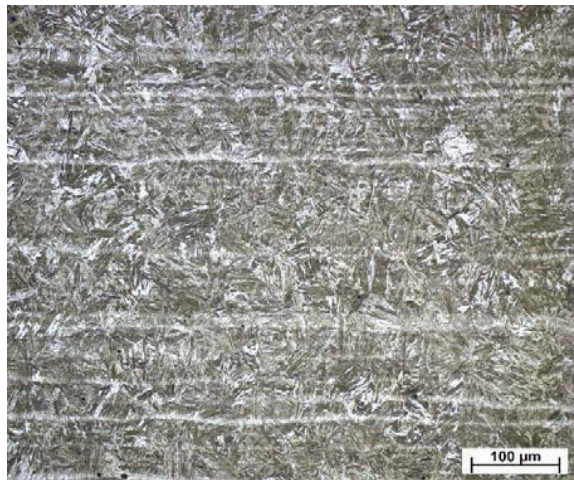


5. ábra Az IK sáv előállítását célzó hőciklusok ( $T_{max} = 775$  °C)

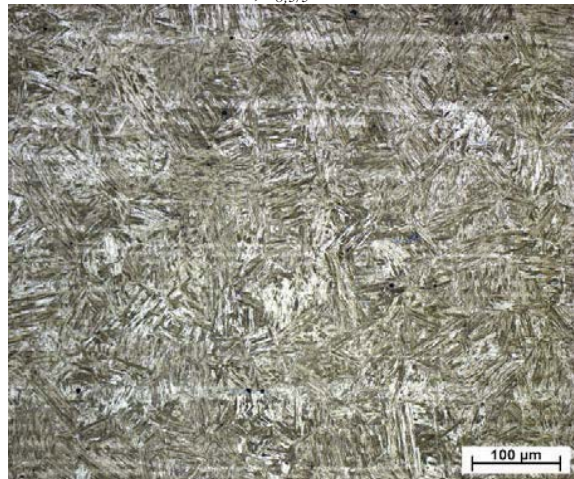
Az előre beprogramozott hűlési időket a réz befogópórák hőelvonó képességével sikerült elérni, amely körül egy vízűtésű befogószerkezet van. A hőelvonó képességet továbbá a befogópórák közötti távolság is befolyásolja. Ezt 10 mm-re választottuk, így a jelen mérési összeállítással a kívánt hűlési időket gond nélkül sikerült megvalósítani. Ezt követően minden egyes próbatestet a hőhatásövezeti sáv közepén, a termoelem mentén elvágtuk a későbbi anyagvizsgálatok számára. A próbatestek keresztmetszetén optikai mikroszkópos vizsgálatokat végeztünk, amelyhez a mintákat a csiszolást és polírozást követően Nitál (3%-os alkoholos  $HNO_3$ ) marószerezellel készítettük elő. A maratás után a darabolt és Duracryl Plus kétkomponensű hidegbeágyazószerbe ágyazott mintákat mikroszerkezeti vizsgálatnak vetettük alá, Zeiss Observer D1 m optikai mikroszkóp segítségével. A mikroszkópos felvételek elkészítése után, annak érdekében, hogy a próbadarabok eredeti, illetve a szimulációt követő keménységét összehasonlíthassuk, HV10 keménységméréseket végeztünk, Reicherter UH 250 típusú keménységmérő berendezéssel.

## 6. MIKROSZERKEZETI VIZSGÁLATOK

A 6. ábrán a DSZ hőhatásövezeti sáv szövetképei láthatók a különböző hűlési idők szerint,  $N = 200\times$ -os nagyításban.



*a,  $t_{8,5/5} = 5\text{ s}$*



*b,  $t_{8,5/5} = 15\text{ s}$*

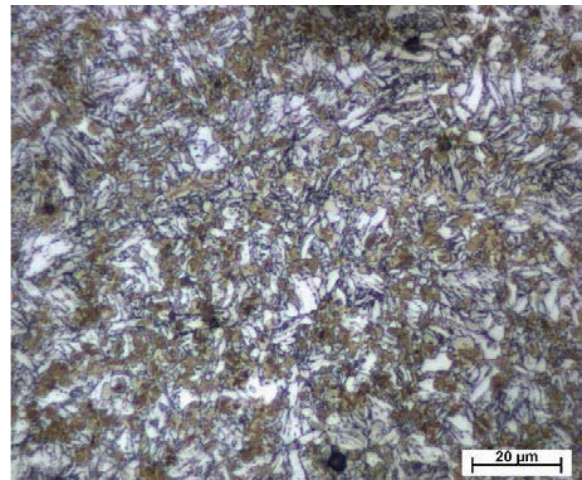


*c,  $t_{8,5/5} = 30\text{ s}$*

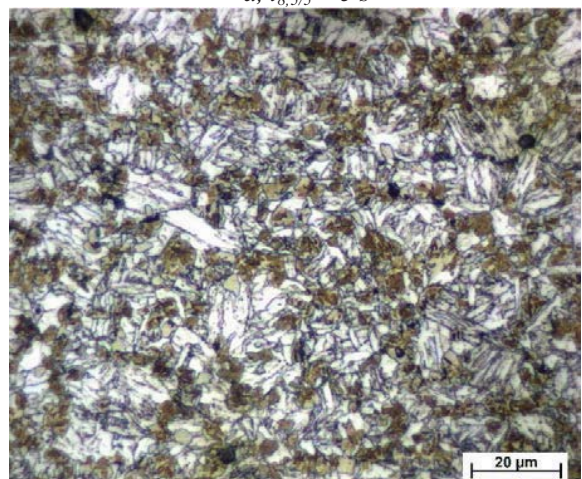
6. ábra DSZ sáv,  $T_{max} = 1350\text{ °C}$ ,  $N=200\times$

A szövetképeken az alapanyagra jellemző, alapvetően martenzites szövetszerkezet figyelhető meg.

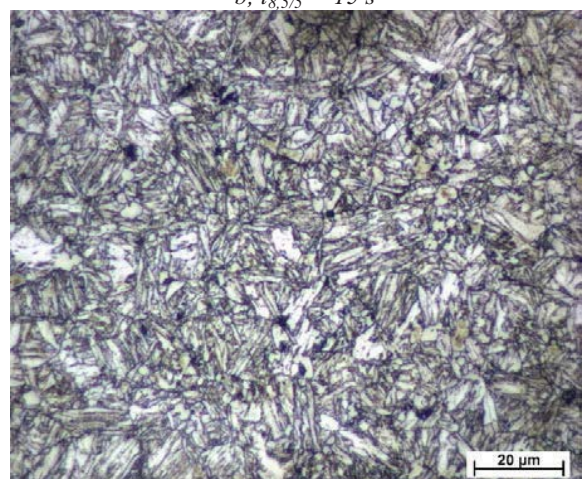
A 7. ábrán az  $A_1$  és  $A_3$  közé hevült IK hőhatásövezeti sáv szövetképei láthatók, ezúttal is a különböző hűlési idők szerint,  $N = 1000\times$ -es nagyításban.



*a,  $t_{8,5/5} = 5\text{ s}$*



*b,  $t_{8,5/5} = 15\text{ s}$*

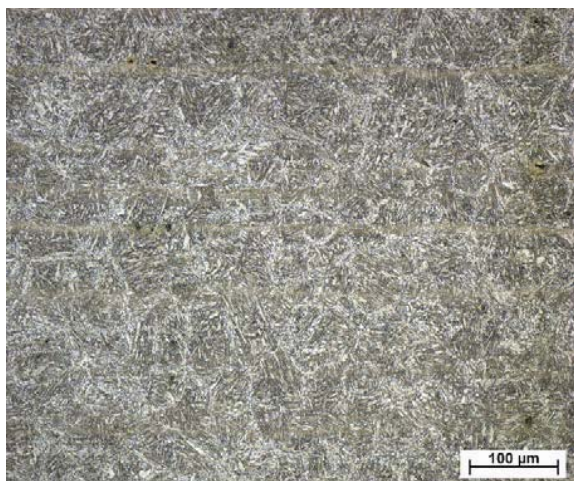


*c,  $t_{8,5/5} = 30\text{ s}$*

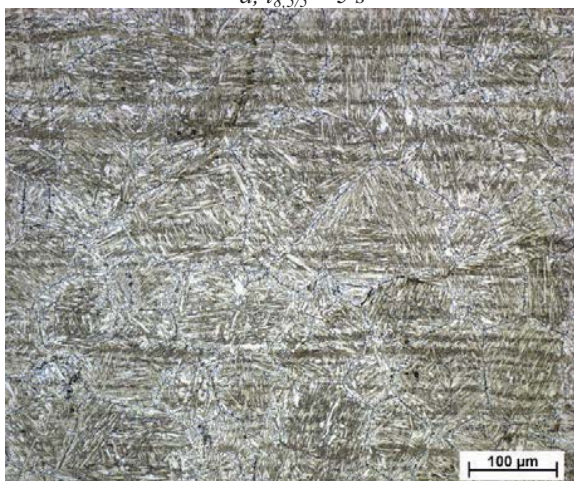
7. ábra IK sáv,  $T_{max} = 775\text{ °C}$ ,  $N=1000\times$

Mivel az IK hőhatásövezeti sáv esetén a hegesztési hőciklus hevítési szakaszában csak részben történik meg az ausztenites átalakulás, itt egy meglehetősen heterogén szövetszerkezet alakult ki. A 7. ábrán bemutatott felvételek alapján az 5 s-os és a 15 s-os hűlési idő esetén kialakuló mikroszerkezet közel azonos, viszont a 30 s-os hűlési idő esetén finom, tús szerkezet látható az ausztenitesedett részekben, amely kevésbé homogén, mint a rövidebb hűlési idők alkalmazásakor.

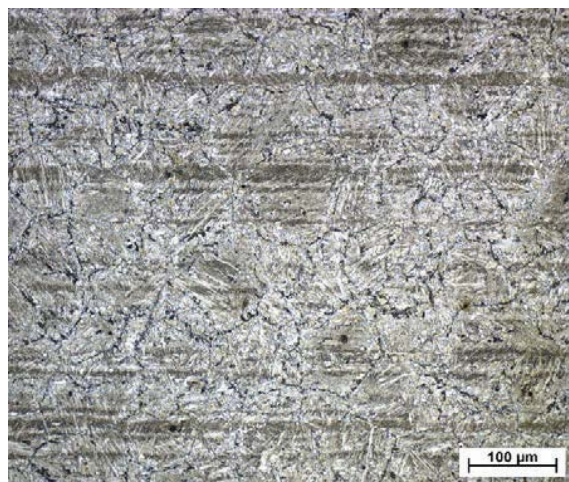
Az IK DSZ hőhatásövezeti sáv szövetekepei, ugyancsak a különböző hűlési idők szerint,  $N = 200\times$ -os nagyításban, a 8. ábrán láthatók. Az első  $1350\text{ }^\circ\text{C}$  csúcshőmérsékletű hőciklus után kialakult primer ausztenit szemcsék határán a második, interkritikus hőciklus hatására elindul az  $\alpha\text{-}\gamma\text{-}\alpha$  átalakulás. A szemcsehatárokon lévő martenzit-ausztenit részek, nagy keménységük miatt, erősen ridegítik a szemcsehatárt. A szemcsék belsejében a korábbi martenzit szemcsékre jellemző tús, szerkezet a megeresztés ellenére is beazonosítható. A hűlési idő növelésével nő az ausztenitesedett részek mennyisége a primer ausztenit szemcsehatárokon.



a,  $t_{8,5/5} = 5\text{ s}$



b,  $t_{8,5/5} = 15\text{ s}$

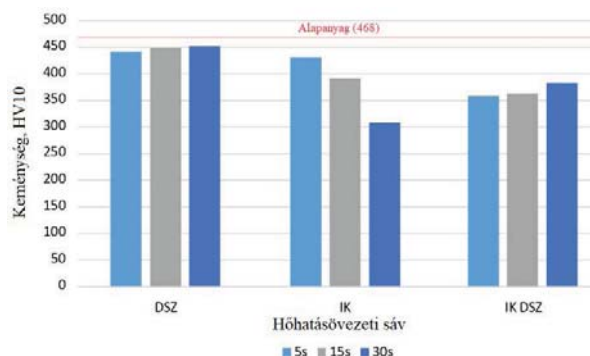


c,  $t_{8,5/5} = 30\text{ s}$

8. ábra IK DSZ sáv,  $T_{max1} = 1350\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_{max2} = 775\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $N=200\times$

## 7. KEMÉNYSÉGVIZSGÁLATOK

A keménységmérések (HV10) eredményeit a 9. ábrán szemléltetjük, míg a 3. táblázatban a mért keménységértékek átlagai láthatók, a különböző hőhatásövezeti sávok és a hűlési idők függvényében.



9. ábra Keménységvizsgálati eredmények

3. táblázat Keménységvizsgálati eredmények

Hőhatásövezeti sáv	$t_{8,5/5}$ hűlési idő, [s]	Átlag keménység
DSZ	5	442
	15	449
	30	452
IK	5	431
	15	392
	30	308
IK DSZ	5	359
	15	364
	30	383

Az összehasonlíthatóság érdekében, a 9. ábrán feltüntetettük az alapanyag keménységét is. Ez alapján jól látszik, hogy a hőhatásövezeti szimulációk után az acél kilágyult, a keménység egyik esetben sem éri el az alapanyag keménységét. A vizsgált szerkezeti acél eredeti keménységét legjobban a DSZ sáv keménysége közelíti meg. Ebben a sávban gyakran előfordul, hogy a keménység meghaladja az alapanyag keménységét, viszont az eredmények alapján a vizsgált S1300 ultra-nagyszilárdságú acél esetén ebben a sávban is kilágyulás figyelhető meg. Az IK sávban mért keménységértékek alapján megfigyelhető, hogy a hűlési idő növelése negatív hatással van a keménységre. A mért értékek alapján az 5 s-os és a 30 s-os hűlési idő között több mint 120 HV értékkel csökkent a keménység. Az IK DSZ sáv keménységére kedvező hatással van a hűlési idő növelése. Ebben a sávban is a legnagyobb kilágyulás 5 s-os hűlési idő esetén figyelhető meg, a legnagyobb keménységértékek pedig a 30 s-os hűlési időhöz tartoznak.

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálataink során, fizikai szimuláció segítségével, három különböző hőhatásövezeti sávot (DSZ, IK és IK DSZ) vizsgálatunk három különböző hűlési idővel (5 s, 15 s és 30 s) az adott ultra-nagyszilárdságú (S1300) acélból kimunkált próbatesteken. A hőhatásövezeti szimulációkat az Anyagszerkezet-tani és Anyag-technológiai Intézetben megtalálható Gleeble 3500 fizikai szimulátorral végeztük el. A sikeres hőciklusok után a próbatesteket előkészítettük optikai mikroszkópos és keménységvizsgálatokhoz.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a hőhatásövezeti szimulációk után a keménység egyik esetben sem érte el az alapanyag keménységét, a vizsgált ultra-nagyszilárdságú acél a hegesztési hőciklusok hatására kilágyult. Az IK sávban a hűlési idő növelése negatív hatással volt az anyag keménységére. A DSZ sáv esetében számottevő különbség nem volt a keménységértékek között, míg az IK DSZ sávban a hűlési idő növelése előnyösnek bizonyult. A kapott eredmények alapján elmondható, hogy a vizsgált ultra-nagyszilárdságú acél esetén érdemes rövidebb  $t_{8,5/5}$  hűlési időt alkalmazni, mivel a hőhatásövezet leggyengébb része az IK sáv volt, viszont 5 s-os hűlési idő esetén a keménysége megközelítette a DSZ sáv keménységét. A rövidebb hűlési idő eléréséhez a hegesztés során érdemes lehet valamilyen sugaras

hegesztéstechnológiát, vagy huzalelektrodás védőgázos ívhegesztés esetén impulzus technológiát alkalmazni.

Az elvégzett vizsgálatok után azért, hogy pontosabban meghatározhatjuk a vizsgált anyag hegesztést követő tulajdonságait, a szilárdsági tulajdonságok vizsgálata mellett, az egyes hőhatásövezeti sávok szívóssági tulajdonságait is tervezzük elemezni.

## 9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szerzők köszönetet mondanak a PYLON-94 Gép- és Acélszerkezetgyártó Kft.-nek a kísérleteknél használt nagyszilárdságú acél biztosításáért.

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „*Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése*” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 10. IRODALOM

- [1] Gáspár M.: Nemesített nagyszilárdságú szerkezeti acélok hegesztéstechnológiájának fizikai szimulációra alapozott fejlesztése. PhD értekezés, Miskolc, 2016., pp. 7-100.
- [2] Dobosy Á.: Tervezési határgörbék nagyszilárdságú acélokból készült, ismétlődő igénybevételű szerkezeti elemekhez. PhD értekezés, Miskolc, 2017., pp. 5-34.
- [3] Gáspár M.; Jámor P.: Termomechanikusan kezelt S960M nagyszilárdságú acél hőhatásövezetének fizikai szimulációra alapozott elemzése, HEGESZTÉSTECHNIKA 27: 2 pp. 30-35., 6 p. (2017)
- [4] P. Kaha, M. Pirinen, R. Suoranta, J. Martikainen: Welding of Ultra High Strength Steels. Advanced Materials Research, Trans Tech Publications, Switzerland, 2014. Vol. 849, pp 357-365.
- [5] Adonyi, Y.: Heat-affected zone characterization by physical simulations, Welding Journal, October 2006. pp. 42-47.
- [6] R. P. Sisodia, M. Gáspár: Physical Simulation-Based Characterization of HAZ Properties in Steels. Part 1. High-Strength Steels and Their Hardness Profiling, STRENGTH OF MATERIALS 51, 2019: 3 pp. 490-499., 10 p.

# KUTATÁSI EREDMÉNYEK A SZÉNHYDROGÉNSZÁLLÍTÓ CSŐTÁVVEZETÉKEK INTEGRITÁSA TERÜLETÉN

## RESEARCH RESULTS IN THE FIELD OF HYDRO-CARBON TRANSPORTING PIPELINE INTEGRITY

Lukács János<sup>\*</sup>, Nagy Gyula<sup>\*\*</sup>, Török Imre<sup>\*\*</sup>, Koncsik Zsuzsanna<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

*The main elements of the activities of the Department of Mechanical Technology and its successor institution the Institute of Materials Science and Technology at the University of Miskolc were summarized in the field of pipes and pipelines. Structural integrity of hydro-carbon transporting pipelines was emphasized and the characteristic components of the integrity were demonstrated.*

### 1. BEVEZETÉS

A műszaki alkotások elhasználódása, leromlása, értékcsökkenése jellemzően megállíthatatlan és visszafordíthatatlan folyamat. Általánosan megközelítve, a különböző létesítmények, szerkezetek, szerkezeti elemek, gépek, berendezések egyre nagyobb hányada közelítette meg, illetve érte el vagy éri el egykor tervezett élettartamát, miközben azok kisebb-nagyobb mértékben károsodtak, illetve károsodnak. Az ilyen műszaki alkotások üzemeltetésének beszüntetése, az esetek számottevő hányadában sem műszakilag, sem gazdaságilag nem indokolt, fel kell készülni az azokkal való együttélésre [1], integritásuk biztosítására.

Egy szerkezet integritásán – általánosan – annak üzemeltetésre való alkalmasságát értjük, élettartama bármely pillanatában. Az integritás biztosítása tehát összetett feladat, magában foglalja az állapotellenőrzést, az állapotfelügyeletet, a karbantartását, a rehabilitációt stb., végeredményben tehát élettartam meghosszabbítását. Az üzemelő, egyben károsodott szerkezetek gyakran a tervezésükkor feltételezett, illetve az üzembe állításukkor fennálló állapotokhoz képest nagymértékben megváltozott körülmények között működnek. Ezt ellensúlyozza az a tény, hogy a szerkezetek integritásáért felelő szakemberek rendelkezésére álló ismeretek folyamatosan és jelentős mértékben gyarapodnak, a tapasztalatokon alapuló technikákat egyre szélesebb körben váltják fel az elméleten alapuló eljárások. Arról van szó

tehát, hogy két ellentétes folyamat, a szerkezetek előregedése, leromlása, károsodása és a mérnöki tudás fejlődése küzd egymással, a szerkezet integritásának fenntartása, illetve élettartamának biztonságos meghosszabbítása érdekében [2].

A szerkezetek integritása témakörének jelentőségét számos nemzetközi és hazai példa indokolja. Kiragadva ezek közül hármat: a *European Group on Fracture* 1990-es évek közepe óta *European Structural Integrity Society* (ESIS) néven működik [3], az Európai Unió támogatta a *Teaching and Education in Structural Integrity in Hungary* című TEMPUS programot (1997-1999) [4], a negyedik rendezvénye következik az *International Conference on Structural Integrity and Durability* konferencia és nyári iskola sorozatnak (ICSID 2020, Dubrovnik, 2020. szeptember 14-18.) [5].

A csövek, csővezetékek és csővezeték rendszerek – általánosanban belső nyomással terhelt, hengersizmetrikus szerkezeti elemek – területén folyó kutató munka hosszú múltra tekint vissza a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetében (korábban Nehézipari Műszaki Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechanikai Technológiai Tanszék). Ez kiterjedt például a hegesztéstechnológiák kidolgozására, illetve ellenőrzésére [6], a csövek szilárdságának, illetve hegesztett kötéseinek vizsgálatára [7], a hegesztett csőkötések korróziójának elemzésére [8], továbbá a melegszilárd és a korrózióálló acélok alkalmazására [9-11].

Kiemelést és részletezést érdemel az a szerteágazó tevékenység, amelyik a szénhidrogénszállító csőtávvezetékek területén zajlott és zajlik, s amely kiterjed a vezetékek teljes életciklusára. Említést érdemlő sajátossága ezeknek a tárgyköröknek a ciklikusság, az egyes feladatok ismételt megjelenése, természetesen más-más okokból, más – még hozzá jellemzően fejlettebb – műszaki környezetben és részlegesen más célokkal. A teljes vezetékrendszer átlagos életkora folyamatosan nő, amely már önmagában is megköveteli az egyes témakörök figyelemmel kísérését. Nem véletlen tehát,

<sup>\*</sup> egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

<sup>\*\*</sup> címzetes egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

<sup>\*\*\*</sup> egyetemi docens, Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

hogy az elmúlt, több mint négy évtizedben visszatérően jelentkeztek feladataink ezen a komplex területen.

## 2. CSŐTÁVVEZETÉKEK MÉRETEZÉSE, HEGESZTÉSE, A HEGESZTETT KÖTÉSEK ELLENŐRZÉSE

A csőtávvezetékek méretezésének elve évszázados múltra tekint vissza, annak gyakorlati megoldásai sokszínűek, igyekeznek figyelembe venni az anyagminőségekben meglévő különbségeket (például rugalmasséplékeny viselkedés, szívósság), a fizikai elhelyezkedés sajátosságait (például műtárgy keresztezés), az üzemeltetés körülményeit (például hőmérséklet, külső közeg) és a – részben az előzőekből is eredő – komplex terhelési viszonyokat. Ezek bemutatására elemeztük a szilárdsági méretezés lehetőségeit, összehasonlítva a különböző előírás rendszereket [12] és bemutatva egy vonatkozó szoftver kifejlesztésének a lehetőségét [13]. Részben méretezési, részben terhelhetőségi feladat volt a csővezetési mozgások és mozgások vizsgálata [14]. Egy másik, terhelhetőséggel összefüggő elemzés volt a terepi csőhajlítások szilárdsági méretezése. Ennek során feldolgoztuk a minimális hajlítási sugár-csőátmérő kapcsolatok, a szénhidrogénszállító csőtávvezetékeknel járatos átmérőkre; megállapítottuk a különböző elvekre épülő adatok jó egyezését és határértékeket jelöltünk ki. Ezek után szilárdsági és alakhibára (ovalításra) vonatkozó ellenőrzéseket végeztünk, majd megállapítottuk, hogy azok a kijelölt határértékek alkalmazhatóságát nem korlátozzák. Az alkalmazhatóság érdekében számításokat végeztünk rugalmas alakváltozású, vagyis önhajló esetekre, becsatlakozásokra, figyelembe véve a gyakorlatban előforduló esetek tartományait, az eredményeket pedig tervezési segédletbe illeszthető módon foglaltuk össze [15]. Szintén terhelhetőségi – de akár szerkezetintegritásnak is mondható – téma volt a vezeték lyukadások javításának témaköre. A leg gondosabb üzemeltetés mellett is előforduló lyukadások elhárítására üzem közben – elsősorban ideiglenes jelleggel – kerül sor, gyakran ennek eszköze az adott helyre méretre az elhárítás keretében gyártott ideiglenes csőbilincs. A feladat ideiglenes javításra alkalmazható egyedi, „saját” gyártású (oldható kötésekkel felhelyezhető) csőbilincsek kialakítására, a szerkezetre és a tömítő rendszerre vonatkozó, szilárdsági méretezésre alapozott (1. a) ábra) műszaki javaslattétel, majd – ennek elfogadása után – a megoldás megfelelőségének kísérletekkel való igazolása volt (1. b) ábra). A kísérletek tapasztalatait is felhasználva elkészítettük és engedélyeztettük a gyártási típusterveket [16].

A hegesztés területén az egyik jellemző feladat hegesztés-technológiák kidolgozása, közte típus-technológiák készítése [17], valamint a nyomás alatti hegesztés technológiájának kutatása [18] volt.

Model name: 0001-0001-Anchor Tube2  
 Model name: 0001  
 File type: Static Finite element Plot  
 Determination: Linear 1



a)



b)

1. ábra Ideiglenes csőbilincs lyukadások javítására:  
 a) szilárdsági méretezés;  
 b) a kifejlesztett bilincs ellenőrzése

A technológiák fejlődése és az újabb kihívásoknak való megfelelés megkívánta a földgázszállításnál jellemzően felmerülő hegesztési területek és tevékenységek felmérését, kategorizálását; a területeken értelmezhető kockázatok meghatározását; az üzemeltetés és a rekonstrukció során alkalmazott hazai és külföldi (EU és USA) hegesztési gyakorlat áttekintését, beleértve az alkalmazott hegesztéstechnológiák tervezésére és kiválasztására vonatkozó hazai és külföldi előírások elemzését is. Mindezek ismeretében – konkrét elemeket és tájékoztató gazdasági (pénzügyi) becslést tartalmazó – javaslatokat tettünk az FGSZ távlati hegesztési koncepciójára [19]. Újabb technológiai ugrásként értelmezhető a fizikai szimuláció lehetőségének, konkrétan a Gleeble 3500 termo-mechanikus fizikai szimulátornak az alkalmazása [20-23], amelyet alkotó módon alkalmaztunk a csővezetékek hegesztéstechnológiáinak fejlesztésére [24-26].

Minden hegesztéssel összefüggő témakör része a hegesztett kötések vizsgálata, különös tekintettel a varrathibák kimutathatóságát befolyásoló tényezőkre



[27], a radiográfiai felvételek értékelésére [28],[29], az ultrahangvizsgálat (UT) és a röntgenvizsgálat (RT) összehasonlítására [30], valamint a roncsolásmentes vizsgálati eljárások megbízhatóságára [31]. Ennek kapcsán fontos idézni azt a cikket, amely a roncsolásmentes vizsgálatok jelentőségére irányítja a figyelmet a szerkezetintegritás(i kutatások) területén [32].

### 3. KÁRESETEK, KÁROSODÁSI FOLYAMATOK

A Barátság II. kőolajvezeték (1980-as évektől bekövetkező) törései három kérdéskörre is ráirányították a figyelmet. Egyrészt a hosszvarratos csövek gyártási problémáira, másrészt a kvázistatikus (állandó nyomással történő) üzemeltetés fontosságára, harmadrészt pedig arra a tényre, hogy egy, lényegében állandó terhelésre tervezett szerkezet esetében milyen problémákat jelenthet az ismétlődő igénybevétel [33-35]. A tanulságok a nagyszilárdságú acélcövek egyre szélesebb körű alkalmazása vonatkozásában is fontosak (például Y/T arány). Az ismétlődő igénybevétel jelentőségére egy másik sajnálatos káreset, az öcsödi gömbcsap törése [35] is felhívta a figyelmet. Az ismétlődő igénybevétellel terhelt szerkezetekben lévő repedésszerű hibák értékelésével más megközelítésekben is foglalkoztunk. Ezek során elemeztük a Barátság II. kőolajvezeték kiváltott szakaszának gázszolgáltatásban való hasznosíthatóságát [37], a feszültségkorrózió és a korróziós fáradás előfordulásának valószínűségét [38], értékeltük a Testvériség és a Közép-magyar gázvezetékek repedt varratait [39],[40], továbbá vizsgáltuk a repedésterjedés körülményeit a Falc-gyártmányú hosszvarratos csövekben [41]. Ezekhez az elemzésekhez használtuk a fáradásos repedésterjedésre érvényes tervezési görbéket [42].

A nagy jelentőségű szerkezeteken bekövetkező és/vagy nagy anyagi kárral járó káresetek minden esetben arra is rákényszerítik az üzemeltetőket, hogy globálisan, az adott esettől részben elvonatkoztatva, szinte külső szemmel vizsgálják meg a káreset tágabb, a teljes rendszerre kiterjeszhető vonatkozásait. Ilyen gondolkodást alapoztak meg egy DN 800-as szigetelő karima meghibásodásáról, egy károsodott üzemi nyersgáz belépő vezeték tönkremeneteléről, továbbá az Endrőd DN 800-as földgázszállító vezeték káreseteinek kivizsgálásáról készített jelentéseink [43-46]. Utóbbi káreset kivizsgálásának egyik pillanatát örökíti meg a 2. ábra, amely az FGSZ Földgázszállító Zrt. Miskolci Üzemében készült (2020. január 2.).

A károsodási folyamatok elemzése kapcsán a csőtisztító szerszámok fejlesztése témakört emeljük ki. Ennek keretében áttekintettük és jellemeztük a földgázszállító távvezeteki rendszer vonatkozó műszaki sajátosságait és bemutattuk gyakorlatban használatos vezeték tisztító eszközöket, külön kitérve azok (fém és polimer anyagú) kopó tömítő-tisztító tárcsáira. Ezek mellett összefog-

laltuk a releváns üzemeltetői tapasztalatokat; meghatároztuk a tisztító görények tárcsái igénybevételeinek jellegét; megfogalmazzuk a kopó tömítő-tisztító tárcsákkal szemben támasztott követelményeket; végeztük pedig definiáltuk a tárcsák elvárt, illetve kívánatos paramétereit, paraméter-tartományait [47].



2. ábra Károsodott csődarab az FGSZ Földgázszállító Zrt. Miskolci Üzemében (In memoriam Dr. Nagy Gyula)

### 4. CSŐVEZETÉKI HIBÁK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK, A HIBÁK JAVÍTÁSA

Az üzemelő csőtávvezetékek, illetve csőtávvezeték rendszerek on-line vizsgálati módszerei megállíthatatlanul fejlődnek. Köszönhetően ennek [48], valamint az eredmények felhasználhatóságának és felhasználásának [49], kidolgoztuk a folyamatosan öregedő vezetékek lehetséges hibáinak csoportosítását [50]. A hibák megjelenési formái alapján elvégzett rendszerezés eredménye műszaki utasításban is megjelent [51]. A hibák rendszerezésével párhuzamosan, összefoglaltuk a hagyományos és a törésmechanikai elveken alapuló értékelési módszereket [52]. Ezek ismeretében, kísérleti csőszakaszokon elvégzett vizsgálatok eredményeit [53] felhasználva, meghatároztuk a hibák megengedhető (határ)értékeit [54], amelyek szintén megjelentek műszaki utasításban [51] is. A hibaértékelő módszerek között, egy későbbi fázistól, megtalálhatjuk a numerikus mechanika egyik módszerét, a véges elemes módszert is [55],[56]. A [57] eljárás ismert konzervatívizmusa okán elemeztük az intelligens csőgörényes és a feltárásos vizsgálatok megbízhatóságát, a kapott eredmények korrelációját, valamint összehasonlítottuk az egyes hibaértékelési módszereket [58]. Ezt a komplex kutató munkát szűk két évtizeddel később, új alapokon (Pipeline Defect Assessment Manual (PDAM)) folytattuk, felülvizsgálva és napra készre téve a korábbi eredményeket [59].

Egy hiba észlelése, majd értékelése után általában azonnal nyilatkozni kell a hogyan tovább kérdéséről, vagyis meg kell ítélni, hogy szükséges-e beavatkozás,

vagy sem, s ha igen, akkor milyen. E témakörben véleményeztünk a Barátság I. kőolajvezeték rehabilitációs tervét [60], javaslatot tettünk a különböző vizsgálatok ismétlődési idejének meghatározására [61], összefoglaltuk a hegesztéses és a hegesztés nélküli javítások lehetőségeit [62],[63], két hegesztés nélküli módszert (CLOCK SPRING, PIPE GUARD) külön is elemezve [64],[65]. Javaslatainkat az alkalmazott gyakorlat visszaigazolta [66],[67].

A hegesztés nélküli javítások fém-polimer hibrid csöveket eredményeznek. „A fém-polimer hibrid csövek élettartam gazdálkodása” tárgyú és „A polimer mátrixú kompozittal erősített hibrid csövek integritása” tárgyú kutató munkák (OTKA T 049126 és GVOP-3.1.1.-2004-05-0215/3.0) célja a fém-polimer hibrid csövek ciklikus, a különböző terhelésekből adódó fárasztó igénybevétellel szembeni ellenállásának meghatározása, továbbá a csövek élettartamának becslése volt. Irodalomkutatást végeztünk a külső és a belső megerősítések témaköreiben, kitérve az anyagminőségek, a megerősítési technológiák, a károsodási mechanizmusok, a károsodás detektálási lehetőségek és a mértezési (élettartam becslési) módszerek kérdéseire. Anyagjellemzőket és anyagi mérőszámokat gyűjtöttünk a kísérleti és a numerikus számítási feladatok megoldásához, kiegészítő anyagvizsgálatokat végeztünk hiányzó mennyiségek meghatározására [68],[69]. Fárasztó- és repesztő vizsgálatokat végeztünk polimer mátrixú kompozittal megerősített kísérleti csőszakaszokon (3. ábra), elemeztük a tönkremeneteli folyamatokat [70], kidolgoztuk a hibrid csövek károsodása követésének technológiáját.



3. ábra Polimer mátrixú kompozittal, belülről megerősített, mesterséges hibát tartalmazó csőszakasz, repesztővizsgálat után

Összhangban a kísérleti munkával, végeselemes modelleket alkottunk megerősítés nélküli és megerősített csőszakaszokra, folyamatosan pontosítottuk azokat [71],[72], a kísérleti eredményeket összevetettük a számítások eredményeivel [73],[74]. A számításokkal

együtt kialakultak a méretezési (élettartam becslési) módszerek is. A két kutatási projektben, a Mechanikai Technológiai Tanszék irányításával, a Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszéke, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimer-technika Tanszéke, Gép- és Terméktervezés Tanszéke, a Széchenyi István Egyetem Alkalmazott Mechanika Tanszéke, Informatika Tanszéke, a Budapest Műanyagipari és Kereskedelmi Zrt., valamint a POLINVENT Fejlesztő, Kivitelező és Értékesítő Kft. vett részt [75].

Az anyag- és technológia fejlesztések ezen a területen is újabb lehetőségeket kínáltak, mind a csőszakaszok, mind a szigetelő karimapárok javítása területén, amelyek elméleti és kísérleti vonatkozásait egyaránt elemeztük, illetve vizsgáltuk [76-78].

## 5. A KOCKÁZATELEMZÉSTŐL AZ INTEGRITÁS-IRÁNYÍTÁSIG

Összhangban a nemzetközi tendenciákkal, foglalkoztunk és foglalkozunk a csővezetékek kockázat alapú üzemeltetésének kérdéseivel. Ennek keretében megvizsgáltuk a *Pipeline Risk Controller* (PRC) nevű módszert [79] hazai adaptációjának lehetőségét [80], módszert dolgoztunk ki a vezetékek veszélyességi kategóriákba sorolására [81], és egy diplomamunka [82] keretében elkészült a kategóriákba sorolást megvalósító szoftver is. A vezetékek kategóriák meghatározásához szükség volt a cső anyagminőség kategóriájára, amelynek rendszerét szintén kidolgoztunk [83]. Ez a módszer szolgált alapul a vonatkozó műszaki utasításhoz [84].

Az üzemeltetési feladatok sokrétűsége és összetettsége, az élettartam gazdálkodás feladatai, valamint a nagy mennyiségű adattal bíró nagy rendszer egyaránt a komplex gondolkodás, a szakértői rendszer lehetőségét vetette fel. Ehhez összeállítottuk az adatbázis tartalmát [85] és kidolgoztuk a rendszer koncepcióját [86-88]. E munkát egy nemzetközi INCO COPERNICUS project (LIMATOG) keretében folytattuk, illetve fejlesztettük tovább [89], [90].

Több lépésben folytatva ezt a munkát, döntéselőkészítő tanulmányt készítettünk a Csővezeték Integritás Irányítási Rendszer (Pipeline Integrity Management System (PIMS)) hazai bevezetésére. Ennek keretében bemutattuk a téma fontosságát és időszerűségét; áttekintettük és összehasonlítottuk a jellemző nemzetközi és hazai szabályozási hátteret és gyakorlatot; javaslatot tettünk az akkori MOL Rt. Földgázszállításnál bevezetendő PIMS tartalmára. Ehhez összegeztük a MOL Rt. Földgázszállítás üzemeltetési gyakorlatában meglévő és az onnan hiányzó PIMS elemeket, kitértünk a PIMS bevezetésének várható következményeire; végeztük pedig vázoltuk a PIMS bevezetéséhez szükséges feladatokat és javaslatot tettünk a bevezetés menetrendjére [91]. A témát – évekkel később – folytattuk, akkor

három kérdéskörre fókuszálva: a PIMS korábban javasolt koncepciójának áttekintése a vonatkozó nemzetközi és egyes hazai dokumentumoknak való megfelelés vonatkozásában; a súlyos balesetek megelőzési irányelvei, illetve a súlyos balesetek megelőzési dokumentuma meglétének, szükségességének vizsgálata, tartalmuk kidolgozása; a belső szabályzatok műszaki tartalmának elemzése, koherenciájának vizsgálata az újabb EU-s kívánalmakkal, illetve a PIMS korábbiakban javasolt tartalmával [92]. Az összehasonlításokat, elemzéseket referencia mátrixok segítségével végeztük el. A referencia mátrixokkal azt vizsgáltuk, hogy a különböző szempontok hogyan jelennek meg a mértékadónak tekintett dokumentumokban, vagyis milyen a gondolkodás, illetve a megvalósítás kapcsolata a különböző rendszerekben.

A csőtávvezetékek egyik fontos – mondhatjuk integritási, vagyis PIMS – elemével, a körvarratokkal, a káresetek elemzésén túl [45], külön kutató munkák keretében is foglalkoztunk. Ezek során javaslatot tettünk a körvarratok, illetve a körvarratokban lévő eltérések elemzésére és megvizsgáltuk az EPRG (*European Pipeline Research Group*) irányelveinek hazai bevezethetőségét. A kutató munkát hat kérdéskör köré csoportosítva végeztük: az EPRG irányelvek szakmai háttérének és indoklásának bemutatása; a hazai rendszer körvarratairól rendelkezésre álló adatok összegyűjtése, feldolgozása és elemzése; a külföldi üzemeltetőknél előfordult varrathibák adatainak, továbbá az irodalomban található repesztéses/robbantásos vizsgálatok eredményeinek összegyűjtése és elemzése; a hazai vezetékek körvarrataiban előforduló hibák értékelése az EPRG irányelvek alapján; az EPRG irányelvek alkalmazásához szükséges alapvető vizsgálatok elvégzése; az EPRG irányelvek bevezethető szintjének kijelölése, illetve annak vizsgálata, hogy milyen teendők elvégzése után vezethető be mindhárom szint [93],[94]. Az egykori munkák folytatásának szükségességét az elmúlt évben bekövetkezett sajnálatos káreset [46] ismét megerősítette.

## 6. ZÁRÓ GONDOLATOK

Szerzők szándéka – hasonlóan a [95] munkához – a csövek, csővezetékek, csővezeték rendszerek területén, a Miskolci Egyetem (ME) Mechanikai Technológiai Tanszékén (MTT), majd annak jogutódjában, az Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézetben (ATI) folyt és folyó kutató-fejlesztő munkákba való bepillantás nyújtása volt. A teljesség igénye – nem a szerzői szándék, hanem kizárólag a terjedelmi korlátok miatt – biztosan csorbát szenvedett, az irodalomjegyzék azonban talán segíti e hiányosság feloldását.

A cikk megírását a négy szerző közösen határozta el, a munkát azonban már csak hárman végezheték el. A sors közbeszólt, Dr. Nagy Gyula nyugalmazott egyetemi docens, címzetes egyetemi tanár már nem élhette meg a cikk elkészítését és megjelenését. Szerzőtársai és munkatársai emlékét szeretettel és kegyelettel megőrzik; legyen ez a közlemény is egyik bizonyítéka széleskörű tudásának és a szakma iránti elkötelezettségének.

## 7. IRODALOM

- [1] EDEL, K.-O.: *Mit Rissen leben? Zur Betriebssicherheit rissgeschädigter Bauteile*. Fachhochschule Brandenburg – Hochschulreihe 1/93. Fachhochschule Brandenburg, 1993.
- [2] 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. p. 334. (ISBN 978-963-358-000-4)
- [3] <https://www.structuralintegrity.eu/site/>
- [4] TEMPUS JEP-11271-96: *Teaching and education in structural integrity in Hungary*. CD, 1999.
- [5] <http://www.icsid2020.fsb.hr/index.html>
- [6] *Zárójelentés hegesztett kötések MSZ 13833/2 szerint elvégzett technológiavizsgálatainak eredményeiről* (4930282), ME MTT, 1993.
- [7] Dénes, M.: *Statistische Bewertung der festigkeitsmindernden Wirkung von radiographisch nachgewiesenen Schweißnahtfehlern*. Materialprüfung, Vol. 13, 1971 (3), pp. 89-91.
- [8] Romvári, P.; Béres, L.: *Hegesztett csökötések korróziójának vizsgálata*. Kőolaj és Földgáz 9. (109.) évfolyam, 7. szám, 1976. július, pp. 213-216.
- [9] Béres, L.: *Proposed Modification to Schaeffler Diagram for Chrome Equivalents and Carbon for More Accurate Prediction of Martensite Content*. Welding Journal, July 1988, pp. 273-s-276-s.
- [10] Béres, L.; Irmer, W.: *Festlegung einer optimierten Zwischenlagentemperatur beim martensitischen Schweißen*. Schweißen und Schneiden, Vol. 51, 1999 (1), pp. 28-31.
- [11] Béres, L.; Irmer, W.: *Bestimmung der zulässigen Betriebstemperatur von Schwarz-weiß-Verbindungen*. Schweißen und Schneiden, Vol. 47, 1995 (10), pp. 807-812.
- [12] *Zárójelentés a Szilárdsági méretezési eljárások vizsgálata című kutatási témában végzett munkáról* (5960019), ME MTT, 1996.
- [13] *Zárójelentés Csővezetékek komplex szilárdsági méretezésére szolgáló szoftver kifejlesztése című kutatási témában végzett munkáról* (5980012), ME MTT, 1998.

- [14] Zárójelentés „Csővezeteki mozgásokból eredő károk megelőzése” című kutatási témában végzett munkáról (5960020), ME MTT, 1996.
- [15] Kutatási zárójelentés a *Terepi csőhajlítások szilárdsági méretezése* című téma keretében végzett munkáról (kiegészített változat), ME MTT, 2004.
- [16] *Vezeték lyukadások javítása*. Szakmai jelentés. ME MTT, 2004.
- [17] Jelentés a „Gáz- és Olajszállító Vállalatnál alkalmazott hegesztéstechnológiák fejlesztése” című kutatási-fejlesztési témában (Szm.72/89), ME MTT, 1990.
- [18] Zárójelentés a nyomás alatti csővezetéseken történő hegesztés kidolgozása témában (Szm. 188/84), ME MTT, 1985.
- [19] Zárójelentés „Hegesztés technológia fejlesztése” című témában végzett munkáról (4110831), ME MTT, 2011-2012.
- [20] Koncsik, Zs.; Fótos, R.; Lukács, J.: *A fizikai szimuláció és alkalmazása az anyagtechnológiákban*. In: Pokorádi, L. (szerk.) *Műszaki Tudomány az Északkelet Magyarországi Régióban 2012 konferencia előadásai*: Szolnok, 2012. május 10. MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, Debrecen, 2012, pp. 211-217.
- [21] Lukács, J.; Kuzsella, L.; Koncsik, Zs.; Gáspár, M.; Meilinger, Á.: *Role of the Physical Simulation for the Estimation of the Weldability of High Strength Steels and Aluminum Alloys*. Materials Science Forum, Vol. 812, 2015, pp. 149-154. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.812.149>
- [22] Sisodia, R. P. S.; Gáspár, M. Gy.: *Physical Simulation-Based Characterization of HAZ Properties in Steels. Part 1. High-Strength Steels and Their Hardness Profiling*. Strength of Materials, Vol. 51, 2019 (3), pp. 490-499. <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00094-5>
- [23] Gáspár, M.; Sisodia, R.; Dobosy, Á.: *Physical Simulation-Based Characterization of HAZ Properties in Steels. Part 2. Dual-Phase Steels*. Strength of Materials, Vol. 51, 2019 (5), pp. 805-815. <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00128-y>
- [24] Kutatási jelentés a *Hegesztéstechnológia fejlesztése* című K+F témában végzett munkáról (GEKU02019T, 4180824), MA ATI, 2018-2019.
- [25] Kutatási jelentés a *Hegesztéstechnológia fejlesztése (Varratok vizsgálata)* című K+F témában végzett munkáról (GEKU02021T), MA ATI, 2019.
- [26] Gáspár, M.; Sisodia, R.; Dobosy, Á.; Németh, A.: *Csőtávvezetékben alkalmazott acélminőségek hegesztésekor kialakuló hőhatásövezet tulajdonságainak elemzése fizikai szimulációval*. Hegesztéstechnika, Vol. 31, 2020 (1), pp. 83-91.
- [27] Romvári, P.; Spies, P.; Tóth, L.: *Varrathibák kimutathatóságát befolyásoló tényezők*. 5. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Szeminárium kiadványa, Gyula, 1985.
- [28] Romvári, P.; Lizák, J.; Tóth, L.: *A radiológiai felvételek értékelésének reprodukálhatósága*. 7. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Szeminárium kiadványa, Gyula, 1989.
- [29] Tóth, L.: *Radiográfiai felvételek értékelése, minősítése és adatainak számítógépes feldolgozási lehetőségei*. A GTE Radiológiai Szakcsoportjának ülése, 1988. december 15.
- [30] Romvári, P.; Pirkó, J.; Tóth, L.: *Hegesztett csőkötések kombinált ultrahangos és radiológiai ellenőrzésének lehetőségei, megbízhatósága és gazdasági előnyei*. 17. OMBKE Vándorgyűlés, Pécs, 1979.
- [31] Tóth, L.: *Szerkezetek integritása. Roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatósága*. Anyagvizsgálók Lapja Fórum, 1995. február 16.
- [32] Trampus, P., Krstelj, V., Nardoni, G.: *NDT integrity engineering – A new discipline*. Procedia Structural Integrity, Vol. 17, 2019, pp. 262-267. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.035>
- [33] Romvári, P.; Tóth, L.; Török, I.: *A geometriai hiba hatása változó belső nyomással terhelt hosszvarratos acélcsövek élettartamára*. Proceedings of the 8th Congress on Materials Testing, Budapest, 1982.
- [34] Török, I.; Tóth, L.: *A Barátság II. olajvezeték törése*. Nyomástartó Edények és Csővezetékek Hibái Anket, Csopak, 1989. szeptember 27-28.
- [35] Zárójelentés a *Barátság II. csővezeték kiváltott szakaszának vizsgálatáról* (Gs-606/90.), ME MTT, 1990.
- [36] Szakvélemény az *Összefogas gázvezeték Öcsöd-i szakaszoló gömbcsapjának meghibásodásáról* (ES 02910104), ME MTT, 1991.
- [37] Szakértői jelentés a *Barátság II. kőolajvezeték felhagyott szakaszának gázszolgáltatásban való hasznosításáról* (4950230), ME MTT, 1995.
- [38] Zárójelentés *Csővezetékek feszültségkorróziós károsodási hajlamának elemzéséről* (4960109), ME MTT, 1996.
- [39] Zárójelentés a *Testvériség gázvezeték repedt varratának értékeléséről* (4970443), ME MTT, 1997.
- [40] Zárójelentés a „*Közép-magyar gázvezeték*” varratának szakértői vizsgálata című témában végzett munkáról (4990405), ME MTT, 1999.
- [41] Zárójelentés a *Falc-gyártmányú csövek repedés-terjedésének vizsgálata* című kutatási témában végzett munkáról (597006), ME MTT, 1997.
- [42] Lukács, J.: *Repedést tartalmazó hegesztett kötések és szerkezetek megbízhatósága ismétlődő igénybevétel esetén*. Tudományos munkásság áttekintő összefoglalása, Miskolc, 1998. p. 50.
- [43] Zárójelentés *A DN 800-as szigetelő karima meghibásodás okainak, körülményeinek feltárása*

- című témában végzett munkáról (4110844), ME MTT, 2011.
- [44] Zárójelentés *Károsodott LTEX üzemi nyersgáz belépő vezeték tönkremeneteli okainak és a tönkremenetel következményeinek elemzése* című K+F témában végzett munkáról, ME ATI, 2014-2015.
- [45] Zárójelentés *Körvarrat károsodási okainak elemzése* című témában végzett munkáról (4100443), ME MTT, 2010.
- [46] *Kutatási jelentés a Püspökladány havária – Sérült csőszakasz vizsgálata tárgyú keretszerződésben végzett munkáról I. ütem (kiegészített változat)* (IEKU02005T), ME FIEK, 2020.
- [47] Kutatás-fejlesztési (K+F) zárójelentés a *Csőtisztító szerszámok fejlesztése* című munka keretében végzett tevékenységekről, ME MTT, 2009.
- [48] *Jelentés a Magasnyomású szénhidrogén szállító rendszert és tartozékait újraminősítő eljárás kidolgozása* című kutatási-fejlesztési témában (Szm. 141/89), ME MTT, 1990.
- [49] Nagy, Gy.; Török, I.; Lukács, J.: *Roncsolásmentes vizsgálatok szerepe a föld alatti csővezetékek állapotmegítélésében*. *Anyagvizsgálók Lapja*, Vol. 5, 1995 (2), pp. 80-81.
- [50] Lukács, J.; Török, I.; Nagy, Gy.: *Szénhidrogén-szállító csővezetéseken előforduló hibák csoportosítása, jellemzői*. *Gépgyártástechnológia*, Vol. 37, 1997 (5), pp. 27-29.
- [51] MOL Rt. KFÜ M-3/98 számú műszaki utasítás
- [52] *Jelentés Csővezetékek minősítésének általános rendszere témájú K+F munkáról – III. Melléklet Csővezetéseken előforduló hibák műszaki-kritikai elemzése* (EK 5930055), ME MTT, 1994.
- [53] Török, I.; Lukács, J.; Nagy, Gy.: *Szénhidrogén-szállító csőtávvezetéseken előforduló hibák megengedett határértékeinek kísérleti vizsgálata*. *Gépgyártástechnológia*, Vol. 38, 1998 (6), pp. 45-48.
- [54] Török, I.; Lukács, J.; Nagy, Gy.; Harmati, I.: *Szénhidrogén-szállító csővezetéseken előforduló hibák megengedett határértékei*. *Gépgyártástechnológia*, Vol. 37, 1997 (5), pp. 33-36.
- [55] Zárójelentés *Korróziós károsodás hatása a nyomástartó rendszerek szilárdságára* (EK 0000532), ME MTT, 1993.
- [56] Zárójelentés a *Csövek terhelésvizsgálata (F 50471)* című kutatási témában végzett munkáról (5970005), ME MTT, 1997.
- [57] ASME B31G-1991 (Revision of ANSI/ASME B31G-1984): *Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines – A Supplement to ASME 831 Code for Pressure Piping*.
- [58] Zárójelentés a *Módszer kidolgozása acél csővezetékek hibáinak értékelésére és a szükséges intézkedések meghatározására* című téma keretében végzett munkáról (5980042), ME MTT, 1999.
- [59] *Kutatási zárójelentés a Földgázszállító vezetékek hiba vizsgálati- és javítási módszereinek felülvizsgálata* című K+F témában végzett munkáról (4170816), ME ATI, 2017.
- [60] *Szaktelemzés a Barátság I. kőolajvezeték rehabilitációjára* című tervezetről (4930257), ME MTT, 1993.
- [61] *Szakértői rendszer elemeinek kifejlesztése csővezetékek biztonságos üzemeltetésének megítélésére – E. melléklet Kísérleti csőszakaszok vizsgálata* (EK5930055), ME MTT, 1994.
- [62] *Jelentés Csővezetékek minősítésének általános rendszere témájú K+F munkáról – IV. melléklet A vezetéseken végzett vizsgálatok információtartalmának elemzése* (EK 5930055), ME MTT, 1994.
- [63] Török, I.; Lukács, J.; Nagy, Gy.; Demeter, A.: *Szénhidrogén-szállító csővezetékeken előforduló hibák hegesztés nélküli javítása*. *Gépgyártástechnológia*, Vol. 37, 1997 (4), pp. 38-40.
- [64] Zárójelentés a *Meghibásodott csővezetékek hegesztés nélküli javítására szolgáló eljárás kifejlesztése (I. ütem) K+F munkáról* (5950033), ME MTT, 1996.
- [65] Zárójelentés *„Csőtávvezetékek rehabilitációjára”* című kutatás-fejlesztési témában (5980019), ME MTT, 1998.
- [66] Vehofsits, I.; Makra, S.: *A Barátság II. kőolajvezeték rehabilitációjára*. XXIV. Nemzetközi Olajipari Konferencia kiadványa, Tihany, 1999.
- [67] Vehofsits, I.; Czékman, Z.: *Közép-magyar gázvezeték rehabilitációjára*. XXIV. Nemzetközi Olajipari Konferencia kiadványa, Tihany, 1999.
- [68] Czél, G.; Czigány, T.: *Tekercselt polimer kompozit csövek nedvességfelvételének merevségének és szerkezetének komplex vizsgálati lehetőségei*. *Anyagvizsgálók Lapja*, Vol. 17, 2007 (1), pp. 13-19.
- [69] Czél, G.; Czigány, T.: *Study of moisture absorption and mechanical properties of glass fiber / polyester composites – effects of specimen geometry and preparation*. *Journal of Composite Materials*, Vol. 42, 2008, pp. 2815-2827. <https://doi.org/10.1177/0021998308096668>
- [70] Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.: *The Role of the External and Internal Reinforcing on the Structural Integrity of Damaged Steel Pipelines*. *Procedia Engineering*, Vol. 10, 2011, pp. 2514-2519. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.414>
- [71] Égert, J.: *Acélcsövek külső és belső körhibáinak kompozit szalagos javítása – végeelem analízis*. *Gép*, Vol. 58, 2008 (10-11), pp. 30-35.
- [72] Pere, B.; Égert, J.; Szabó, T.: *Reinforcement of inner and outer circular failures of pipes by textile composite layers*. *Journal of Computational and Applied Mechanics*, Vol. 10, 2009 (1) pp. 1-15. <https://doi.org/10.32973/jcam.2014.002>

- [73] Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.; Égert, J.; Pere, B.: *Experimental and Numerical Investigations of External Reinforced Damaged Pipelines*. Procedia Engineering, Vol. 2, 2010 (1) pp. 1191–1200. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.03.129>
- [74] Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.; Égert, J.; Pere, B.: *Experimental and Numerical Investigations of Internally Reinforced Damaged Pipelines*. 18th European Conference on Fracture (ECF18) – Fracture of Materials and Structures from Micro to Macro Scale, August 30-September 3, 2010, Dresden, Germany. Proceedings on CD-ROM, DVM, Berlin, 2010. pp. 126-133.
- [75] *Polimer mátrixú kompozittal erősített hibrid csövek integritása*. Szerk.: Lukács, J. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2008. p. 197. (ISBN 978-963-661-831-5)
- [76] Zárójelentés *Mesterséges hibákat tartalmazó, kívülről megerősített csőszakaszok vizsgálata* című K+F témában végzett munkáról (4120414), ME MTT, 2012.
- [77] Zárójelentés a *Szigetelő karimapár javítása* című K+F témában végzett munkáról (GEKU02017T, 4180819), ME ATI, 2018-2019.
- [78] Zárójelentés a *Kompozit javítóbilincsek vizsgálata* című K+F témában végzett munkáról (4180811), ME ATI, 2018.
- [79] Muhlbauer, W. K. *Pipeline risk management manual*. Gulf Publishing Company, Book Division, Houston, 1992. p. 438.
- [80] Zárójelentés a *Pipeline Risk Controller alkalmazhatóságának vizsgálata* című kutatási téma keretében végzett munkáról (5970007), ME MTT, 1997.
- [81] *Jelentés Csővezetékek minősítésének általános rendszere témájú K+F munkáról – II. melléklet* (EK 5930055), ME MTT, 1994.
- [82] Harmati, I.: Diplomaterv, 1995.
- [83] *Szakértői rendszer elemeinek kifejlesztése csővezetékek biztonságos üzemeltetésének megítélésére – B. melléklet Csővezetékek anyagainak kategóriába sorolása* (EK5930055), ME MTT, 1994.
- [84] MOL Rt. KFÜ 6/98. számú műszaki utasítás: *Szénhidrogén-szállító vezetékek kategóriába sorolása*.
- [85] Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.: *Földalatti csővezetékek adatbázisa*. microCAD'94 Nemzetközi Informatikai Konferencia kiadványa, Miskolc, 1994.
- [86] Lukács, J.; Török, I.; Nagy, Gy.: *Szakértői rendszer koncepciója szénhidrogénszállító csőtávvezetékek biztonságos üzemeltetéséhez*. Gépgyártástechnológia, Vol. 36, 1996 (3), pp. 23-27.
- [87] Török, I.; Lukács, J.; Nagy, Gy.: *Concept of expert system for safety operation of hydro-carbon transporting pipelines*. Publications of the University of Miskolc, Series C – Mechanical Engineering, Vol. 46, 1996 (1), pp. 229-243.
- [88] Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.: *Expert system for the reliability assessment of hydro-carbon transporting pipelines*. Proceedings of the International Symposium on FATIGUE DESIGN 1998, Technical Research Centre of Finland, Espoo, 1998. pp. 613-624. (ISBN 951-38-4575-3)
- [89] Tisza, M.; Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.: *A possibility for lifetime management of hydro-carbon transporting pipelines*. Gép, Vol. 50, 1998 (4-5), pp. 22-24.
- [90] Tisza, M.; Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.; Bartos, A.: *Szénhidrogénszállító csőtávvezetékek élettartam menedzselés*. Gépgyártástechnológia, Vol. 38, 1998 (5), pp. 53-59.
- [91] *Döntéselőkészítő tanulmány a Pipeline Integrity Management System (PIMS) hazai bevezetésére*. ME MTT, 2002.
- [92] *A Pipeline Integrity Management System kidolgozásának (PIMS) folytatása*. Szakmai jelentés. ME MTT, 2004.
- [93] *Javaslat a körvarratok, illetve a körvarratokban lévő eltérések elemzésére és annak vizsgálata, hogy az EPRG irányelveinek melyik szintje alkalmazható a hazai rendszerre*. Szakmai jelentés. ME MTT, 2004.
- [94] Nagy, Gy.; Lukács, J., Török, I.: *Assessment of Methods in Girth Welds of Steel Pipelines*. Materials Science Forum, Vols. 473-474, 2005, pp. 243-248. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.473-474.243>
- [95] Lukács, J.: *Szénhidrogénszállító csőtávvezetékek integritása*. Gépgyártástechnológia, Vol. 40, 2000 (8), pp. 35-40.

# KOPÁSÁLLÓ BEVONATOK LÉTREHOZÁSA C45E MINŐSÉGŰ ACÉLON NAGYSEBESSÉGŰ TERMIKUS LÁNG-PORSZÓRÁSSAL ÉS KEVERT HULLÁMHOSSZÚ LÉZERSUGARAS ÚJRAOLVASZTÁSSAL

## PRODUCTION OF WEAR-RESISTANT COATINGS BY HIGH- VELOCITY OXY-FUEL THERMAL SPRAYING AND SUBSEQUENT MIXED WAVELENGTH DIODE LASER RE MELTING ON C45E STEEL

Molnár András<sup>\*</sup>, Balogh András<sup>\*\*</sup>

### ABSTRACT

*Thermal spraying has been used in the industry since the 1940s to renovate worn machine elements to protect against wear and corrosion, but the results were not always satisfactory due to porosity, cavity, microstructures and especially the low bond strength. In this study, NiCrBSi alloy was layered to C45E steel by high-speed oxy-fuel thermal spraying (HVOF) and remelted with a mixed wavelength diode laser (MWDL) heat source. Results of our investigation confirmed that excellent layers can be produced with the low melting interval NiCrBSi alloy and applying a technological variant refined step-by-step by experiments.*

### 1. BEVEZETÉS

A termikus szórással felvitt NiCrBSi bevonatokat az 1940-es években kezdték alkalmazni az elkopott gépalkatrészek gazdaságos felületi javítására. Ezek a bevonatok összetételüktől függően kopásállóak voltak és jól ellenálltak korróziós a közegekben fellépő maró hatásnak, továbbá eredményesen alkalmazhatók voltak olyan helyeken, ahol az üzemi hőmérséklet nem haladja meg a 800°C értéket. Ezeket a bevonatokat széles körben alkalmazzák továbbá az üvegipari formák gyártásánál, a papíriparban a hengerek felújításánál, a vegyiparban különböző szelepek és dugattyú felületének élettartam növelésére [1-4].

A termikus szórással készült bevonatok a szórási technológiától elvárható mikroszerkezettel rendelkeznek, amelyben pórusok, gáz- és oxidzárványok, továbbá meg nem olvadt részecskék egyaránt megtalálhatók. Ezek mennyisége az alkalmazott technológiától függ. A

lángszórás gyengébb bevonatminőségét nagysebességű oxigénes szórással (HVOF) és a plazmaszórással lehet javítani (kevesebb pórus, kisebb mennyiségű meg nem olvadt porszemcse). A szóróanyagok között egyedinek számító NiCrBSi ötvözet összetételének köszönhetően a réteg újraolvasztható és ennek eredményeképpen a réteg jellemzői (homogenitás, kötési jellemzők) és fontos üzemi tulajdonságai (kopás- és korrózióállás) javulnak. A bevonatban lévő króm felelős a korrózióval és az oxidációval szembeni ellenállásért és a hőstabilitásért, a bór és a szilícium csökkenti az olvadási hőmérsékletet és elősegíti az újraolvadási folyamatot, a karbon jelenléte lehetővé teszi a karbidok létrejöttét, amelyek növelik a keménységet és kopásállóságot [5].

Az alkalmazásoknál nem hagyható figyelmen kívül az a terület, ahol korábban a környezetre káros technológiával felvitt keménykróm bevonatokat alkalmazták, pl. repülőgépek leszálló egységeinél [6]. Ahol a kopásállóság mellett a korróziós ellenállás is követelmény, ott a többféle Ni bázisú ötvözet közül egyértelműen a boridos Ni ötvözetek csoportjába tartozó NiCrBSi ötvözetek [7] tekinthetők ideálisnak [8],[9]. A NiCrBSi ötvözetek alacsony olvadási hőköze előnyös az újraolvasztásnál, ahol minimális alapanyaggal való keveredéssel (ún. felhígulással) kiváló kötőszilárdság érhető el. Ezeknek a tulajdonságoknak köszönhetően a NiCrBSi ötvözetek számos célra eredményesen használhatók [10],[11].

A szórt réteg újraolvasztását a leggyakrabban oxigén-acetilén lánggal, kemencében vagy, indukciós módszerrel végzik. A réteg újraolvasztása során a bevonat ürege, porozitása, salakossága csökken, szerkezete homogéner lesz és az alapfémmele erős kohéziós kötés alakul ki. A lánggal végzett újraolvasztás hátránya a jelentős hőbevitel miatt bekövetkező munkadarab deformáció és az alaptest korábbi hőkezelési állapotának

<sup>\*</sup> címzetes egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

<sup>\*\*</sup> címzetes egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

tönkre tétele. A kemencében végzett újraolvasztás hátránya, hogy a munkadarabot a NiCrBSi bevonat olvadási hőközébe (960...1060°C) kell hevíteni [12]. Ez a hevítési folyamat az alaptestben a hőkezelési állapot teljes keresztmetszetben való megváltozását és a szemcsék durvulását eredményezi. A Ni alapú bevonatok a felületükön kialakuló komplex oxidok miatt (a Co-alapú ötvözetekhez hasonlóan) jó eredménnyel alkalmazhatók a kovácsoló szerszámok felületén is [13].

A lézersugaras újraolvasztással az előbb leírt hátrányok részben elkerülhetők. A lézersugaras hőforrással végzett újraolvasztás során a hőbevitel jól szabályozható és a munkadarab deformációja, illetve szemcsedurvulása megelőzhető. A hagyományos lézerforrásokkal (Nd:YAG; CO<sub>2</sub>) végzett újraolvasztás során a lehűlt rétegben több esetben repedéseket észleltek, különösen olyan esetekben, amikor a rétegekeménység meghaladta a 60 HRC értéket [14]. A repedéseket a hagyományos lézersugár nagy hőmérséklet gradiense okozhatja [15]. A repedések előfordulási valószínűsége a lézersugaras újraolvasztás paramétereinek pontos beállításával, a munkadarab előmelegítésével és a lehűtés szabályozásával csökkenthető [16].

A hagyományos lézersugaras újraolvasztás során az egy lépésben újraolvasztható rétegszélesség 12...24 mm-re tehető. Az egyes sávok átfedésénél a réteg tulajdonságai változhatnak. A jelen munkánkban olyan kevert hullámhosszú dióda lézer (Mixed Wavelength Diode Laser, MWDL) hőforrást alkalmaztunk, amellyel egyszerre akár 100 mm szélességű termikusan szórt sáv újraolvasztása is lehetővé válik. Ebben a tanulmányban a nagysebességű oxigénes (HVOF) termikus szórással felvitt, majd ezt követően kevert hullámhosszú dióda lézer hőforrással újraolvasztott NiCrBSi bevonatok mikroszerkezetének vizsgálatával foglalkozunk.

## 2. A KÍSÉRLETEK KÖRÜLMÉNYEI

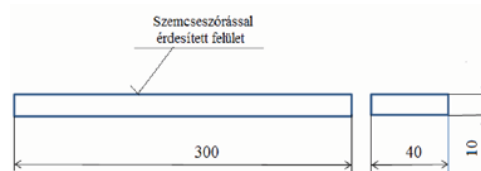
A termikus szórás technológiák régebbi korszakában, a lánggal végzett újra olvasztási kísérleteink során azt tapasztaltuk, hogy a próbatest a jelentős fajlagos hőbevitel miatt túlhevült és eldeformálódott. Kis méretű alaptesteket felhasználva pl. az alkalmazott 80x40x10 mm méretű próbatest a por olvadási hőközének (960...1060°C) közelébe hevült. A nagymértékű vonalenergia a munkadarab teljes keresztmetszetében eldurvította a szemcséket és átkristályosította a kiinduló szövetszerkezetet. A termikus szórással felvitt réteg minősége az egyik legjobban szabályozható hőforrással, a lézersugárral végzett újraolvasztással javítható, de a kísérletek és az ipari alkalmazás tapasztalatai néhány problémát hoztak a felszínre.

A CO<sub>2</sub> lézersugaras újraolvasztás során a sugárnyaláb energiáját nem minden esetben lehet a célnak megfelelően beszabályozni, ezért az erősen ötvözött anyagú

szórt réteg alsó része az ötvözetlen acél alaptesttel felkeveredik, közkeletű szóhasználattal felhígul. Ugyanakkor az újraolvasztott sávok szélessége nem haladja meg az 5 mm-t. Az újraolvasztott sávok átfedett térfogatában az ismételt hőbevitel miatt további előnytelen változásokat tapasztaltunk. Az egyébként kötőhegesztésre kifejlesztett CO<sub>2</sub> lézerhőforrással végzett kísérleteink tapasztalatai alapján felmerült az az igény, hogy olyan tulajdonságú lézerforrást találjunk, ahol nagyobb fókuszfelületen jobban szabályozható, egyenletes hőbevitel érhető el. Így jutottunk el a kevert hullámhosszú dióda lézer hőforráshoz.

### 2.1. A vizsgálati próbatestek geometriai kialakítása és méretei

A kevertlézeres újraolvasztási technológia első kísérleteihez olyan lapos próbatest kialakítást alkalmaztunk, amely lehetővé teszi a felszórt réteg széles sávban történő újraolvasztását (1. ábra).



1. ábra Az újra olvasztáshoz tervezett C45E anyagú alaptest

### 2.2. Az alaptestek és a szóróporok anyaga

Az alaptest anyagának közepes karbontartalmú, ötvözetlen szerkezeti acélt választottunk. Az MSZ EN ISO 683-1:2018 szerinti C45E jelű acél az átlagos igénybevételű gépkatrészek jellegzetes anyaga, amelyet a termikus szórásokkal végzett kísérletekhez korábbi vizsgálatainkban is széles körben alkalmaztunk. Az alaptest anyagának vegyi összetételét és Vickers keménységét az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat A próbatestek készítéséhez felhasznált alaptest acél jellemzői

Acél jele	Vegyi összetétel (tömegszázalék)			Keménység [HV1]	
	C	Mn	Si	Norma-lizált	Nem hő-kezelt
C45E	0,44	0,56	0,26	200...235	480...515

A melegen hengerelt acélból kivágott téglalap szelvényű próbatestek felületét elektrokorundos szemcseszórással tisztítottuk és érdesítettük. A szórás során arra törekedtünk, hogy az átlagos felületi érdességmélységet az optimálisnak tekintett Ra=2...8 µm nagyságúra állítsuk be, amely a korábbi tapasztalataink szerint a felszórt



réteg tapadása és későbbi újraolvasztása során előnyösnek bizonyult.

A kísérleti darabok szórásához a voestalpine Böhler-Welding UTP Maintenance GmbH (Bad Krozingen, Deutschland) által forgalmazott, Niborit 6-P márkajelű NiCrBSi porötövet választottuk (2. táblázat).

2. táblázat A felhasznált Niborit 6-P jelű por vegyi összetétele és fontosabb jellemzői

Niborit 6-P	Vegyi összetétel tömegszázalékban					
	Cr	Si	B	C	Fe	Ni
	16,9	4,4	3,7	0,9	3,8	Maradék
Részecskeméret, $\mu\text{m}$	20...63					
Sűrűség, $\text{g/cm}^3$	4,33					
Rétegekeménység, HRC	63					

### 2.3. A NiCrBSi ötvözet termikus szórása

A próbadarabok felület előkészítését követő érdességvizsgálat után a próbatetek termikus szórása nagysebességű oxigén (HVOF) porszórással (a 3. táblázatban feltüntetett jellemzők mellett) 1 h-n belül elkezdődött és 2 h-n belül befejezésre került.

3. táblázat Az oxigén-propán láng hőforrással végzett nagysebességű szórás adatai

Technológiai adatok	Beállított értékek
A nagysebességű szórópisztoly típusa	Metco 5P
Propán ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) nyomása, bar	3
Propán térfogatáram, l/min	62
Oxigén nyomása, bar	5,5
Oxigén térfogatáram, l/min	240
A szállított por tömegárama, g/min	60
Szórási távolság, mm	180
Szórási sebesség, m/s	450
A szórópisztoly haladási sebessége, mm/s	10

4. táblázat A No5, No7 és No8 próbatetek újraolvasztási paraméterei

A próbatest sorszáma	A lézersugár teljesítményszintje, W	Szkenelési		Az újraolvasztás megkezdése előtt eltelt idő, s	Előmelegítési hőmérséklet $^{\circ}\text{C}$
		sebesség mm/s	sáv szélesség mm		
No5	5500	2	40	0	20
No7	5500	3	40	0,3	250
No8	5500	2	40	0,3	250

A próbatetek szórását speciális szórókabinban végeztük, a nemkívánatos égéstermékek (füstgázok) folyamatos elszívásával. A próbateteket függőleges helyzetbe állítottuk és a nagysebességű szórófejet egy erre rendszeresített robotkarra erősítettük (2. ábra). A termikus szórást az egyenletes rétegvastagság elérése érdekében a szórófej függőleges irányú fel-le mozgásával végeztük.



2. ábra A Niborit 6-P por felszórása nagysebességű láng-porszórással

### 2.4. A termikus szórással felvitt réteg újraolvasztása

Technológiai előzmények hiányában a felszórta NiCrBSi réteg lézersugaras újraolvasztását a felületi hőkezeléseknél nyert tapasztalatok alapján és a rétegtárgy olvadási hőközéneke figyelembe vételével terveztük meg. Az újraolvasztási műveletet a 4. táblázatban közölt adatok szerint, egy FANUC robotra szerelt lézerfejjel végeztük (3. ábra). A robot és a lézerdióda egység között a kapcsolatot optikai kábellel biztosítottuk.

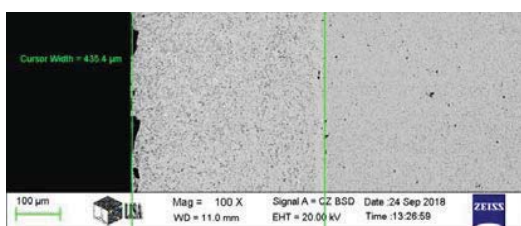
A réteg újraolvasztása egy erre a célra rendszeresített kabinban történt. A szórta felület újraolvasztásának folyamatát egy külső monitoron követtük. A 40x6 mm fókuszfelületű kevert hullámhosszú lézersugár hőenergiája elsősorban a réteget olvasztotta meg. Az alaptest hőmérséklete az újraolvasztás során csak kismértékben emelkedett, ezzel elérhető volt, hogy az eredeti hőkezelési állapot változatlanul maradjon.



3. ábra A szórt réteg újraolvasztása FANUC robotra szerelt MWDL hőforrással

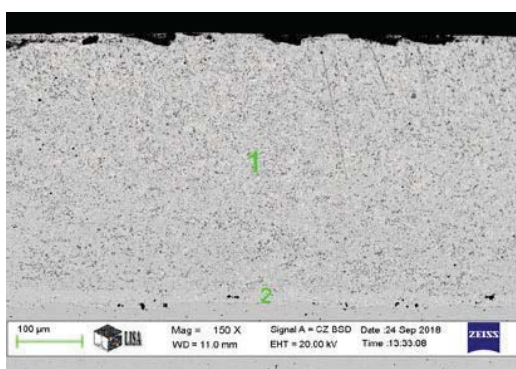
## 2.5. A megolvasztott NiCrBSi bevonatok mikrovizsgálata

A metallográfiai vizsgálatokra előkészített csiszolatokat a Miskolci Egyetem Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézetének Metallográfiai Laboratóriumában vizsgáltuk. Az MWDL hőforrással és kísérleti úton finomított technológiai paraméterekkel újraolvasztott réteg szinte teljesen hibamentesnek bizonyult. Az újraolvasztott réteg vastagsága méréseink szerint átlagosan 400 és 450  $\mu\text{m}$  között változott (4. ábra).



4. ábra Az újraolvasztott réteg vastagság mérése az No5-ös próbatesten (Marószerszer 4 %-os  $\text{HNO}_3$ )

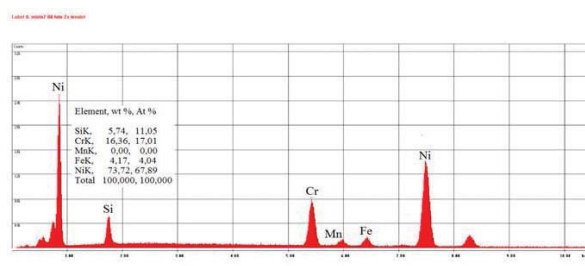
Az No5 jelű vizsgálati darabból származó ábrán az újraolvasztott réteg és alaptest határán egy kb. 10  $\mu\text{m}$  vastag diffúziós sáv látható, amelyet kinagyítva a 5. ábrán mutatunk be. Az újraolvasztott rétegben (1) és a diffúziós zónában (2) egy-egy pontot jelöltünk ki, ahol röntgensugaras mikroanalízis végeztünk.



5. ábra No5-ös minta diffúziós rétege a kémiai analízisre kijelölt helyekkel (Marószerszer 4 %-os  $\text{HNO}_3$ )

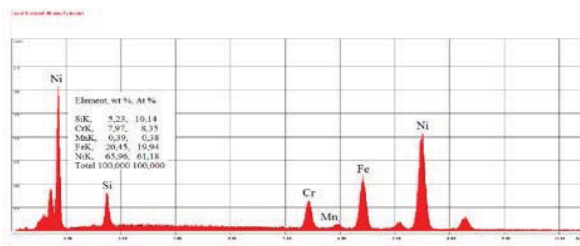
### 2.5.1. Energia diszperz röntgensugaras mikroanalízis (EDXMA)

Az újraolvasztott munkadarabokból kivágott és előkészített csiszolatokon a Miskolci Egyetem Fémtechnológiai és Nanotechnológiai Intézet Komplex Képelemző és Szerkezetvizsgáló Laboratóriumában egy MA 10 típusú pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgálatokat végeztünk. Az No5 minta újraolvasztott rétegében kijelölt 1 jelű hely kémiai összetétele a 6. ábrán látható. A mintán mért relatíve magas krómtartalom arra enged következtetni, hogy a vizsgált zónában krómkarbid van jelen.



6. ábra Az No5-ös minta 1-es területének jellemző kémiai összetétele

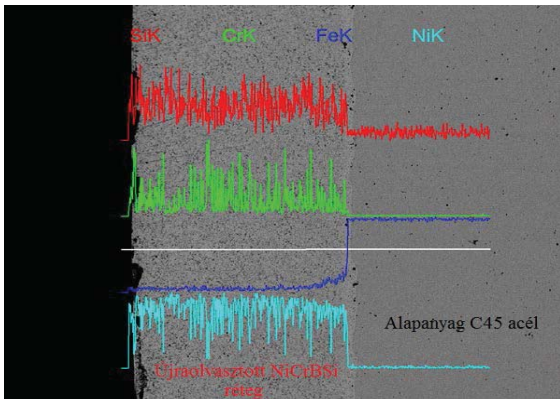
Az No5 minta diffúziós zónájában található 2-es hely összetétele a 7. ábrán látható. A jelentős mennyiségű vas ( $\text{Fe}=20,45\%$ ) jelenléte arra utal, hogy az alaptanyag és a réteg közötti keveredés intenzív volt.



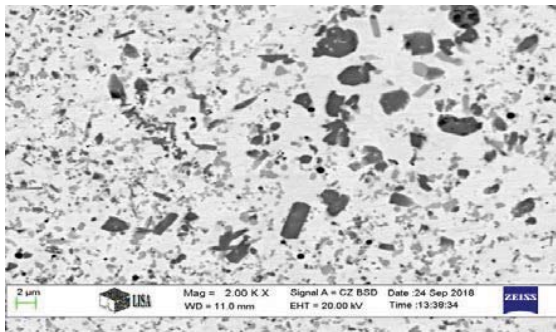
7. ábra Az No5-ös minta diffúziós zónájában található 2-es terület jellemző kémiai összetétele

Az No5 jelű próbatest alaptanyag-réteg átmenete vonalmenti elemzésének eredményét a 8. ábrán mutatjuk be. A vonalmenti ötvöző-koncentrációban látható Cr és Si ingadozás a keményfázisok egyenletes eloszlására enged következtetni. Az alaptest és réteg határán megfigyelt (mintegy 10  $\mu\text{m}$  vastagságú) diffúziós zónában a felkeveredést bizonyító vasban dús zóna található.

Az újraolvasztott réteg maratott csiszolatáról 2000x-es nagyításban készített jellegzetes felvételt a 9. ábrán mutatjuk be. A mikroszkópi képen a világos színű Ni szilárdoldat márixban sötétre színeződött keményfázisok (elsősorban Cr és komplex karbidok, valamint boridok) láthatók.

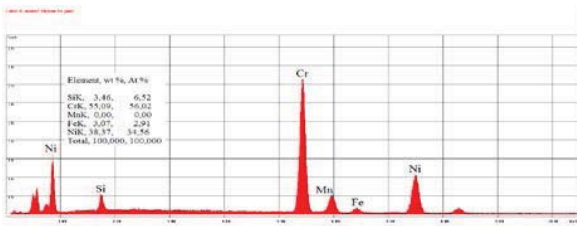


8. ábra Az No5-ös próbatest metszetének vonal menti elemzése (Marószerszer 4 %-os  $HNO_3$ ,  $N = 100 \times$ )



9. ábra A vizsgált próbatest újraolvasztott rétegének nagy nagyítású mikroszkópi képe (Marószerszer 4 %  $HNO_3$ , nagyítás 2000x)

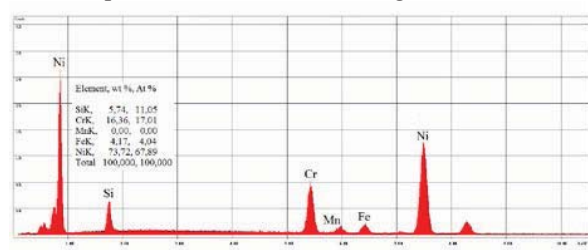
Az újraolvasztott rétegben található keményfázisok fajtája, mérete és eloszlása a rétegekeménység alapvető meghatározója, ezért az azonosításukra egy, a detektor oldali monokromátorral ellátott Philips PW 1830 típusú röntgen-diffraktométerrel (XRD) további vizsgálatokat végeztünk. A 10. ábra az újraolvasztott No7 próbatest NiCrSiB rétege egy jellegzetes pontjában található fázis kémiai összetételét mutatja. Az ábrán figyelmet érdemel a kiemelkedően magas Cr tartalom, amely nagy Cr tartalmú keményfázis (karbid, borid) jelenlétét bizonyítja.



10. ábra A vizsgált No7 jelű próbatest egy vegyületfázisának kémiai összetétele

Az előző ábrától eltérően, a 11. ábrán bemutatott elemzés a nagy Ni tartalmú szilárd oldat mátrixról készült. Az ábrán látható vizsgálati eredmény szerint a Cr tartalom itt az előző ábrán feltüntetett 55,1...56,0 %-kal

szemben csak 16,4...17,0 %, amely nagyjából a Niborit 6-P szórópor Cr tartalmának felel meg.



11. ábra A vizsgált No7 jelű próbatest szilárd oldatának vegyi összetétele

### 2.5.2. Keménységvizsgálat

A keménységvizsgálatokat mind a három jellegzetes mintadarabon elvégeztük. A keménységeket az alaptest érintetlen anyagában, az átmeneti zónában, a hőhatás-övezetben és a rétegben mértük. Az 5 táblázatban összefoglalt rétegekeménységi értékek bizonyítják, hogy a réteg keménysége az újraolvasztás után megfelel a Niborit 6-P szóróportól elvárt 60 HRC értéknek.

5. táblázat Az újraolvasztott rétegben mért keménységek

Újraolvasztott réteg	Mért keménységi értékek, HRC			
	1. mérés	2. mérés	3. mérés	Átlag
No5	61,7	61,9	62,3	62,0
No7	61,4	62,2	62,4	62,0
No8	60,8	61,3	60,7	60,9

## 3. KÖVETKEZTETÉSEK

A boridos nikkeltövezetekkel folytatott vizsgálataink során a 16 % Cr tartalmú porötözetet a C45E acélból készült alaptestre nagysebességű lángszórással (HVOF) vittük fel. A lánggal és nagy hőáramsűrűségű  $CO_2$  és Nd:YAG lézer hőforrással végzett kedvezőtlen újraolvasztási tapasztalataink birtokában az újraolvasztásra alkalmasabb hőforrást kerestünk. Vizsgálataink eredményeit a következőkben foglaljuk össze.

1. A vizsgálatok azt mutatják, hogy az MWDL hőforrással végzett újraolvasztás lehetővé teszi a finom méretű, dendritesen kristályosodó Ni szilárd oldat fázis, mint mátrix kialakulását.
2. A nagy Ni tartalmú mátrixban finomszemcsézettű, egyenletes eloszlású kemény fázisok (Cr, Ni boridok, valamint Cr és komplex karbidok) jönnek létre, amelyek a Ni alapú szilárd oldat mátrixszal együtt biztosítják a réteg 60 HRC feletti keménységét, kiváló korróziós ellenállását és fokozott megeresztés-állóságát.

3. A bevonat MWDL hőforrás alkalmazásával történő újraolvasztása lehetővé teszi a finomabb szerkezetű, repedésmentes bevonatok kialakítását és minimálisra csökkenti a rétegben maradó üregek, pórusok és nemfémes salakzáródmányok mennyiségét valamint a réteg alapanyaggal való keveredését (felhígulását).

#### 4. IRODALOM

- [1] FERNÁNDEZ, E. CADENAS, M., GONZÁLEZ, R., NAVAS, C., FERNANDÉZ, R., de DAMBORENEA, J. Wear behaviour of laser clad NiCrBSi coating, *Wear*, 2005, Vol. 259, p. 870-875.
- [2] MIGUEL, J. M., GUILÉMANY, J.M., VIZCAINO, S. Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different processes, *Tribology International*, 2003, Vol. 36, p. 181-187.
- [3] TUOMINEN, J., VUORISTO, P., MÄNTYLÄ, T., VIHINEN, J., ANDERSSON, P.H. Corrosion behavior of HVOF- sprayed and Nd-YAG laser remelted high-chromium, nickel-chromium coatings, *Journal of Thermal Spray Technology*, 2001, Vol.11, No. 2, p. 233-243.
- [4] SERRES, N., HLAWKA, F., COSTIL, S., LANGLADE, C., MACHI, F., CORNET, A. Dry coatings and ecodesign part.1 – Environmental performances and chemical properties, *Surf. Coat. Technol.*, 2009, Vol. 204, p. 187-196.
- [5] SERRES, N., HLAWKA, F., COSTIL, S., LANGLADE, C., MACHI, F., An investigation of the mechanical properties and wear resistance of NiCrBSi coatings carried out by in situ laser remelting, *Wear*, 2011, Vol. 270, p. 640-649.
- [6] SERRES, N., HLAWKA, F., COSTIL, S., LANGLADE, C., MACHI, F., Corrosion properties of in situ laser remelted NiCrBSi coatings comparison with hard chromium coatings, *J. Materials Processing Technology*, 2011, Vol. 211, p. 133-140.
- [7] BALOGH A., MOLNÁR A. Termikusan szórt NiCrBSi bevonatok minőségjavító utókezelése. *Hegesztéstechnika*, XXXI (2020), 1. szám, pp.27-34.
- [8] KASHANI H, AMADEH A, GHASEMI HM. Room and high temperature wear behaviours of nickel and cobalt base weld overlay coatings on hot forging dies. *Wear* 2007; 262:800–6.
- [9] ABACHI S, AKKÖK M, ILHAN GÖKLER M. Wear analysis of hot forging dies. *Tribol Int*
- [10] BERGANT, Z., TRDAM, U. and GRUM, J. Effect of high-temperature furnace treatment on the microstructure and corrosion behaviour of NiCrBSi flame-sprayed coatings. *Corrosion Science* 88 (2014): 372-386 · August 2014.
- [11] HOUDKOVÁ Š, SMAZLOVÁ E, VOSTRÁK M, SCHUBERT J. Properties of NiCrBSi coating, as sprayed and remelted by different technologies. *Surf. Coating. Technol.* 2014; 253: 14–26.
- [12] CHEN, JL, LI, J, SONG, R, BAI, LL, SHAO, JZ, QU, CC. Effect of the scanning speed on microstructural evolution and wear behaviours of laser cladding NiCrBSi composite coatings. *Optic Laser Technology*, 2015;72:86–99.
- [13] HEMMATI, I., OCELIK, V, DE HOSSON JTM. Compositional modification of Ni-base alloys for laser-deposition technologies. *Laser Surf. Eng. Process. Appl.* 2014:137–62.
- [14] NAVAS, C., COLACO, R., de DAMBORENEA, J., VILAR, R. Abrasive wear behaviour of laser clad and flame sprayed-melted NiCrBSi coatings, *Coat. Surf. Technol.*, 2006, Vol. 200,
- [15] GONZÁLES, R., CADENAS, M., FERNÁNDEZ, R., CORTIZO, J. L., RODRÍGUEZ, E. Wear behaviour of flame sprayed NiCrBSi coating remelted by flame or by laser, *Wear*, 2007. Vol. 262, p. 301-307.
- [16] BERGANT, Z., GRUM, J. Quality improvement of flame sprayed, heat treated, and remelted NiCrBSi coatings, *Journal of Thermal Spray Technology*, 2009, Vol. 18, No. 3, p. 380-390.



# ÉLELMISZERIPARI BERENDEZÉSEKNÉL ALKALMAZOTT KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLSZEGMENS KÁROSODÁSÁNAK VIZSGÁLATA

## INVESTIGATION OF DAMAGE TO THE STAINLESS STEEL SEGMENT USED IN FOOD INDUSTRY

Nagy Nóra\*, Kovács András\*\*

### ABSTRACT

The aim of this article is to investigate the failure of an alcohol-distillation equipment during operation. At the equipment, the gas-space and the water-space are enclosed by a stainless steel flange. During operation, the flange became punctured and water began to leak. In the framework of this work we investigated the possible causes of the damage. The investigations and results are reported in this study.

### 1. BEVEZETÉS

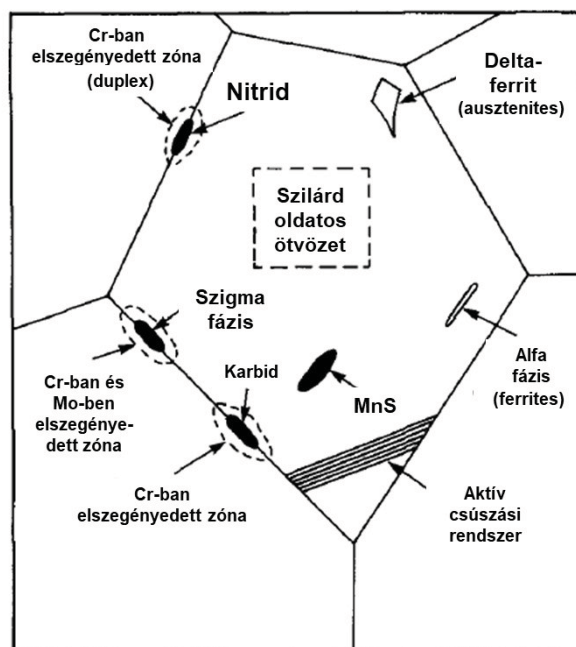
Az ausztenites korrozíóálló acélokat a gépészmérnöki gyakorlatban széles körben alkalmazza a vegyipar, élelmiszeripar, gyógyszeripar és nukleáris ipar is. Elterjedésük nem csak kiváló korrozíós tulajdonságuknak köszönhető, hanem könnyű megmunkálhatóságuknak és viszonylag nagy hőmérsékleten való alkalmazhatóságuknak is.

A korrozíóálló acélok korrozíóval szembeni ellenállása a  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -nak köszönhető, ami a felületen egy vékony, homogén, passzív védőréteget képez. Ez a réteg a levegővel érintkezve képződik és sérülés esetén képes újraépíteni önmagát. Ha azonban ez passzív réteg lokálisan eltűnik, pl. az anyag heterogenitása, zárványok, másodík fázisok vagy szemcsék jelenléte, klorid felhalmozódása miatt, veszélyes helyi feszültségkorrozíós folyamatok indulhatnak meg, amik a szerkezetek meghibásodásához vezetnek [1],[2].

A feszültségkorrozíós repedések hatására a szerkezetek ridegtörése következik be. Előfordulásához a feszültségek és a környezet szinergikus fellépése szükséges. Egy kialakult nézet szerint a feszültségkorrozíóhoz szükséges maradó húzófeszültség lehet a makroszkopikus folyáshatár alatti, de az anyagban lévő hibák környezetében lokálisan ébredő maradó feszültségek ebben az esetben már meghaladhatják az anyag makroszkopikus szilárdságát.

Ausztenites korrozíóálló acélok esetében ismert, nagy hőmérsékletű tömény, klorid oldatban, kloridokkal szennyezett gőzzel, oxidáló nagy hőmérsékleten tiszta vízzel vagy savakkal érintkezve hajlamosak a feszültségkorrozíóra.

A korrozíóálló acélok szövetszerkezete is nagymértékben meghatározza a feszültségkorrozíóra való hajlamosodást. A legjobb ellenállást a duplex szövet szerkezetű, ferrit-ausztenites acél mutatták kb. 40%-os ferrit tartalomig, de ezen acélok esetében is bizonyos karbonitridek, a hidegmegmunkálás és egyéb kiválások szintén rontják az ellenállást. A ferrit és ausztenit szemcsék jelenléte növeli a szemcsehatárok hosszát, amin a repedéseknek át kell haladniuk, illetve meg kell kerülniük [4],[5].



1. ábra A korrozíóálló acélok mikroszerkezetének vázlatja [3]

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

\*\* ügyvezető igazgató, Hagyó Kft.

Az ausztenites korrózióálló acélok esetén is a ferrit felelős a nagyobb fokú feszültségkorrózióval szembeni ellenállásért, habár ezen szövetszerkezetű acélok ellenállása még mindig háromszor kisebb, mint a duplex szövétűké [6],[7].

A feszültségkorróziós repedések lehetnek interkristallin vagy transzkristallin repedések - ez utóbbi inkább jellemző - de megjelenhetnek vegyesen is a felületen [8],[9].

## 2. A ZÁRTSZELVÉNY KÁROSODÁSÁNAK VIZSGÁLATA

A vizsgált acél zártszelvény egy gázüzemű alkohol-lepárló berendezés üstjébe kerül beépítésére. Fő funkciója, hogy a duplafalú üst vízterét és füstterét elválasztja egymástól. A szelvény üzemelés közben átlukadt és a víz szivárogni kezdett.

A károsodott szegmens anyagminősége 316L, ausztenites korrózióálló acél, ami a beépítés során egyik oldalról a lepárlóberendezés vízterével, a másik oldalról a berendezés füstterével érintkezik.



2. ábra A károsodott acélszegmens [10]

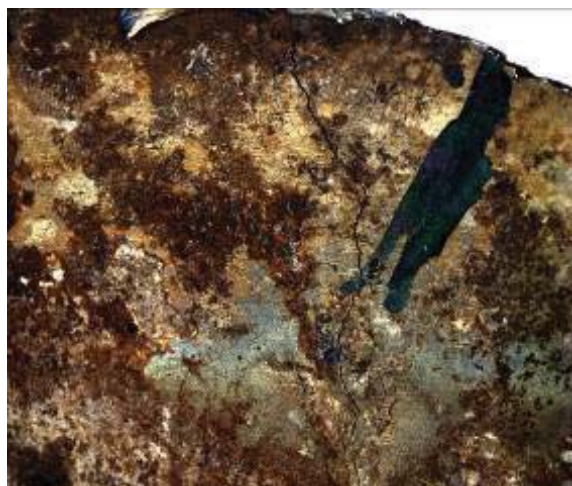
Gyártáskor a zártszelvényt hajlítással karimává alakítják, majd hegesztik. A hegesztéstechnológiáról elmondható, hogy a technológiai paraméterek megfelelnek az alapanyag hegesztésére vonatkozó előírásoknak.

A tönkremenetel módjának és okainak megállapításához makro- és mikroszerkezeti vizsgálatokat végeztünk, amik eredményét a következőkben ismer-tetjük.

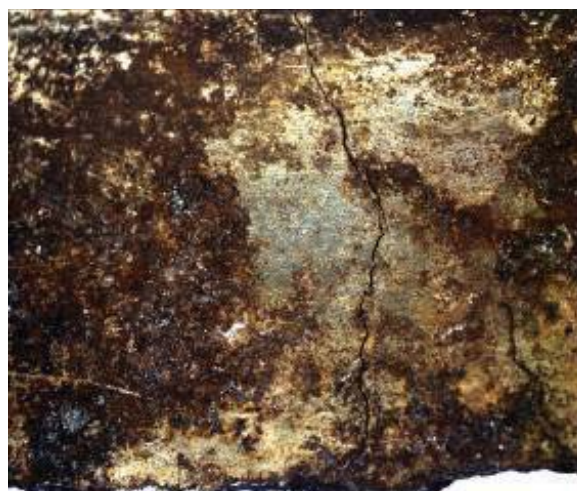
### 2.1. A makroszerkezeti vizsgálat

Már a szemrevételezéses vizsgálat során is egyértelműen megállapítható volt, hogy a repedések kialakulásában a füstgáz, mint korróziós közeg jelenléte meghatározó volt. A repedések a füstgázzal érintkező oldalon alakultak ki.

Nagyobb nagyítású felvételek készítéséhez Zeiss Stemi 200C típusú sztereo mikroszkópot használtuk, ami segítségével megállapítottuk, hogy a repedés-terjedés iránya a hajlított szegmens sugáriránya a külső felülettől befelé haladva. A jellemző repedések fotói a 3. ábrán láthatók.



a) 1-es mintavételezési hely



b) 2-es mintavételezési hely

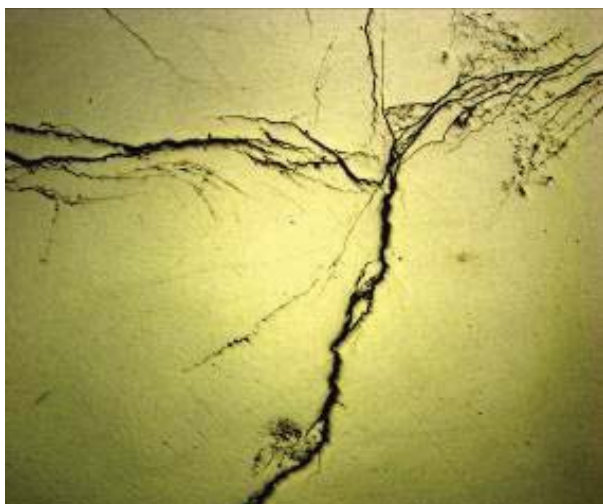
3. ábra A sztereo mikroszkópos felvételek a jellemző repedésekről (N=10x)[10]

### 2.2. A mikroszerkezeti vizsgálat

A mikroszerkezeti vizsgálatához a fenti ábrán található repedéseket tartalmazó részeket kivágtuk és beágyasztuk majd polírozás után az Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézetben lévő Axio Observer D1m (Zeiss) inverz mikroszkóppal elemeztük.



4. ábra Jellemző repedés polírozás után, 1-es mintavételezési hely (N=25x) [10]



5. ábra Jellemző repedés polírozás után, 2-es mintavételezési hely (N=25x) [10]

A repedések jellegének vizsgálatához a próbatesteket királyvízzel marattuk. A maratás utáni fotók a 6. és 7. ábrákon láthatók.

A maratott felületek vizsgálata alapján megállapítható, hogy a repedések transzkrisztallin haladásúak, amely a feszültségkorróziós repedésre jellemző [10].



a)



b)



c)

6. ábra Jellemző repedések maratás után, 1-es mintavételezési hely különböző részein (Királyvíz, N = 200x) [10]



a)



b)



c)

7. ábra Jellemző repedések maratás után, 2-es mintavételezési hely különböző részein (Királyvíz,  $N = 200x$ )[10]

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

A makro- és mikroszerkezeti vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a szegmens tönkremenetelének módja feszültségkorrózió, amit kiválthatott a füstgáz miatt fellépő korrózió, az előzetes alakítás és

hegesztés okozta maradó feszültségek vagy akár maró hatású halogénidek jelenléte is vagy ezen tényezők együttes jelenléte az üzemelés során.

A tönkremenetel nagyobb biztonsággal történő megállapításához szükség lenne a szereléskor alkalmazott hegesztési technológiai paraméterek pontos ismeretére, a víztér és a füsttér üzemelés közbeni hőmérsékletének és a füstgáz összetételének pontos ismeretére [10].

### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

### 5. IRODALOM

- [1] KHATAK H. S., RAJ B.: *Corrosion of austenitic stainless steels*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2002., ISBN 1-85573-613-6
- [2] RAJA, V. S., SHOJI, T.: *Stress corrosion cracking*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2011., ISBN 978-1-84569-673-3
- [3] SEDRIKS, A. J.: *Corrosion*, Vol42 (No.7), 1986, p376
- [4] SPEIDEL, M. O.: *Stress corrosion cracking of austenitic stainless steels*, 1977, Ohio State University report to the Advanced Research Projects Agency, ARPA order no. 2616, Contract no N00014-75-C-0703
- [5] SEDRIKS, A. J.: *Effect of alloy composition and microstructure on passivity of stainless steels*, 1986, *Corrosion*, 42(7), 376–389.
- [6] SEDRIKS, A. J.: *Corrosion of stainless steels*, 1996, 2nded, John Wiley and Sons, New York
- [7] ANDRESEN P. L., ANGELIU T. M., YOUNG L. M.: *Immunity, thresholds, and other SCC fiction*, 2001, Proc. Stahle Symp. on Chemistry and Electrochemistry of Corrosion and SCC, The Materials Society
- [8] LOGAN H. L.: *Stress corrosion cracking of stainless steels*, 1966, in *The Stress Corrosion of Metals*, John Wiley and Sons, New York, pp100–155
- [9] HANNINEN H. E.: *Influence of metallurgical variables on environment sensitive cracking of austenitic alloys*, 1979, *International Metals Reviews*, 24(3), 85–135.
- [10] SZILÁGYINÉ DR. BÍRÓ, A., NAGY, N.: *Jelentés a lepárló edény tönkremeneteli okának feltárása c. K+F témában végzett munkáról*, 2018, Miskolci Egyetem



# VENTILLÁTOR JÁRÓKERÉK KIEGYENSÚLYOZÁSÁRA SZOLGÁLÓ KLIPSZEK FEJLESZTÉSE

## DEVELOPMENT OF BALANCING CLIPS FOR VENTILATOR ROTATING ELEMENTS

Kovács Péter Zoltán\*, Gál Viktor\*\*, Rónai László\*\*\*, Várkuliné Szarka Ágnes\*\*\*\*

### ABSTRACT

*In this article, we summarize the possibilities for the development of balancing clips and their results during the FIEK project.*

*One of the main directions of the research is to reduce the weight of the clips used in balancing the rotating element received from Bosch.*

*The basic direction of development was set by the reduction of the weight of the current smallest clip called "S". After the 3D models of the new clips was created, our first task was the analysis of manufacturability. The evaluation of the newly developed clips geometries was performed by finite element modeling based on the clips used so far. If we create a simulation that reflects reality, it will be possible to check the properties of the new clips based on previous modeling. When assembling the part, the clamping force exerted by it is equal to the force required to open its two parallel sides, i.e. the opening force, therefore the suitability of each geometry and the basis of comparison were determined by determining it.*

*To ensure that the simulations of the clips in use reflect reality, a clips opening force measuring device was designed and manufactured.*

### 1. BEVEZETÉS

A Korszerű Anyagok és Intelligens Technológiák Felsőoktatási és Ipari Együtműködési Központ kutatás-fejlesztési program keretein belül egy, az autópárhán alkalmazott járókerék fejlesztése folyik a Miskolci Egyetem és a Robert Bosch Energy and Body Systems Kft. (továbbiakban: Bosch) együtműködésével. Célja a járókerék működés közbeni zaj- és vibrációs szintjének csökkentése, amely több párhuzamosan futó kutatási programban realizálódik. Az itt tárgyalt kutatás célja az új geometriával megvalósuló termék kiegyensúlyozásra szolgáló klipszek fejlesztése az eredeti szériaterméknél alkalmazott technológiák segítségével.

A kutatás egy radiális járókerék fejlesztésére irányul, amelyet a gépjárművek klímarendszerében alkalmaznak. A BLDC modulhoz fröccsöntéssel készülő járókerékre egy példa az 1. ábrán látható. Az egyes alkatrészekben fröccsöntés során létrejövő inhomogenitások üzemi körülmények között rezgéseket hozhatnak létre, melyek különösen nagy fordulatszámon károsodásokat okozhatnak. Ahhoz, hogy elkerüljék az üzemeltetés során a stabilitásvesztést, illetve ennek következményeit, kiegyensúlyozó acél-klipszeket alkalmaznak.



1. ábra. Az eredeti szériatermék 3D modellje (Forrás: Bosch)

Ezek a klipszek a járókerék lapátjaira, illetve a fém rotoron egy, a tengelyre merőlegesen elhelyezkedő részére kerülnek fel. A kiegyensúlyozás elvégzéséhez különböző méretű és geometriájú klipszek állnak rendelkezésre. A vizsgálat tárgyát képező járókerék kiegyensúlyozására 5 különböző tömegű klipszet alkalmazhatnak (2. ábra).

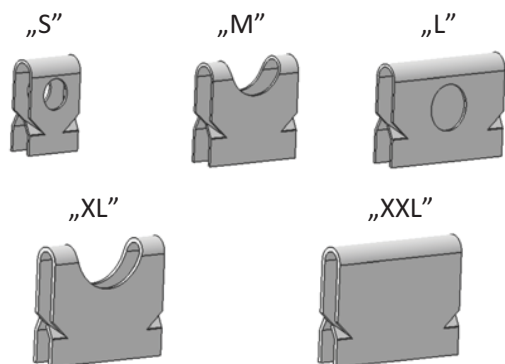
A klipszek járókeréken való elhelyezésének vannak korlátai, ugyanis egy keréken maximum 6 klipsz kaphat helyet, valamint egy adott lapátra nem helyezhető egynél több klipsz. Az alkalmazott klipszvariációk számának növelésével a kiegyensúlyozási lehetőségek növekednének, amely pontosabb kiegyensúlyozást eredményezne, esetleg elérhető lenne a felhelyezett klipszek számának csökkentése is, amely jelentős költség-meg-takarítást jelentene.

\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Anyagszerkezzetani és Anyagtechnológiai Intézet

\*\* PhD hallgató, Miskolci Egyetem Anyagszerkezzetani és Anyagtechnológiai Intézet

\*\*\* egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem Szerszám-gépészeti és Mechatronikai Intézet

\*\*\*\* tervező mérnök, Robert Bosch Energy and Body Systems Kft



2. ábra. Kiegyensúlyozásra szolgáló acél klipszek 3D modelljei (Forrás: Bosch)

A kutatás egyik fő iránya a Boschtól kapott ventilátor kerék kiegyensúlyozásánál használt klipszek tömegének csökkentése. A fejlesztés alapvető irányát a jelenlegi legkisebb „S” elnevezésű klipsz tömegének csökkentése jelölte ki.

Üzemi körülmények között a klipszek alkalmasságát leginkább a pozíciójuk tartásával jellemezhetjük. Amennyiben a klipsz a terhelés során leválik a járókerék lapátjáról vagy a rotorról, nem tekinthető alkalmasnak. A klipsz pozíciójának megtartása jellemzően három paramétertől függ, ezek pedig: a klipsz szorítóereje, a támasztófülek kialakítása, és azoknak a felfekvő felülettel bezárt szöge. Ezek közül a leginkább meghatározó a szorítóerő, mivel ez reprezentálja leginkább a klipsz hatékonyságát.

Ahhoz, hogy a jelenleg alkalmazott klipszek tulajdonságait megvizsgáljuk, szükség van tehát egy olyan készülékre, amely a klipszek szorítóerejének mérésére alkalmas. Amint felhasználható eredményeket kaptunk a fizikailag elvégzett mérésekről, szükség volt a mérések virtuális térben történő megismétlésére. Ha a fizikai és a virtuális térben a jelenleg meglévő darabokon elvégzett mérések megfelelő összhangot mutatnak, akkor a modellezés alkalmazhatóvá válik az új eddig modellként meglévő geometriák tulajdonságainak elemzésére, amellyel redukálható a jelenlegi megoldásváltozatok száma.

## 2. SZORÍTÓERŐ FIZIKAI MÉRÉSE

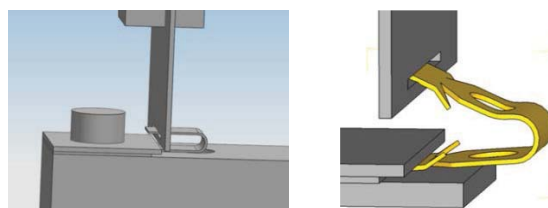
Az új geometriák számának csökkentésére tehát szükség van a jelenlegi klipszek tulajdonságainak meghatározására, elsősorban a szorítóerővel kapcsolatosan. Első lépésben végeselemes modellezéssel vizsgáltuk a klipsz szerelésekor létrejövő folyamatot. Ezek a szimulációk azonban nem adtak megfelelően kiértékelhető eredményt. Ennek oka az volt, hogy a vizsgálni kívánt alakváltozás mellett határozottan megjelenik az acélklipsz szerszám felületen való elcsúszása, mely a számításához szükséges idő növekedése mellett kiugró értékeket ered-

ményezett az erőlefutásokban, így a szorítóerő meghatározásának egy másik módjára volt szükség. Az alkatrész szerelésekor az általa kifejtett szorítóerő megegyezik a két párhuzamos oldalának nyitására szükséges erővel, azaz a nyitóerővel. A továbbiakban tehát egy klipsz nyitóerő- mérő berendezés megtervezése és legyártása lett a cél.

A feladat tehát adott volt, készíteni kellett egy olyan berendezést, mellyel a klipszek párhuzamos oldalai közötti távolság folyamatos növelése mellett mérni lehet az ehhez szükséges erőt. A klipsz nyitására szükség van egy felső és egy alsó szerszámfélre, amely alkalmas arra, hogy a klipsz lehetőleg ne mozduljon el az alakítási folyamat során. Előbbiből és utóbbiból is két változat készült, illetve elemeztük még a klipsz megtámasztásának lehetőségét is. A következőkben ismertetésre kerül az egyes terhelőszerszámok, és azok tulajdonságai. A megfelelő kiválasztása után készült el a teljes berendezés, amelyet a következő részfejezetekben ismertetünk.

### 2.1. Nyitás alsó megtámasztással

Az első szerszámötletet a 3. ábra szemlélteti.



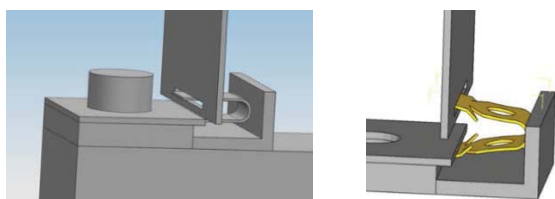
3. ábra. A klipsz nyitóerő mérő készülék alsó lefogással

A 3. ábrán bemutatott terv lényegét az alsó szerszámfél adta. Ebben az esetben a klipsz egyik oldala a vastagságának megfelelő kialakítású hézagban kerül megfogásra. A koncepció vizsgálatára a folyamatot végeselemes módszerrel vizsgáltuk, melynek eredménye azt mutatta, hogy ebben az esetben a nyitás aszimmetrikus lesz, tehát amíg az alsó leszorított elem kismértékű, addig a felső elmozduló fél jelentős képlékeny alakváltozáson esik át. Ezt az ötletet tehát elvetettük, mivel a fizikailag megvalósuló szerelési folyamatban ilyen mértékű terhelési aszimmetria nem jön létre.

### 2.2. Nyitás hátsó megtámasztással

A második verzió a 3. ábrán látható verzió hibáinak kiküszöbölését célozta meg. Ebben az esetben sem az alsó, sem a felső szerszámon nincs lehetősége a darab felütközésének, így a szimulációk eredménye alapján nem jöhet létre aszimmetrikus terhelés. Bár az alakváltozás az elvártaknak megfelelően zajlott le, a hátsó megtámasztással való érintkezés miatt a szimuláció erő-

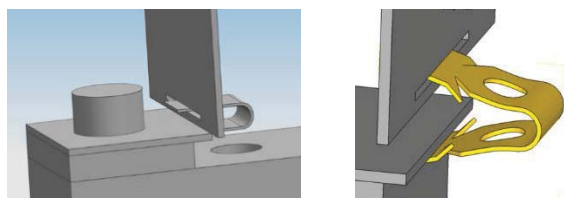
elmozdulás görbéi kiugró értékeket mutattak, amely nem tette lehetővé az elvárt kiértékelést (4. ábra).



4. ábra. Nyitás hátsó megtámasztással

### 2.3. Nyitás hátsó megtámasztás nélkül

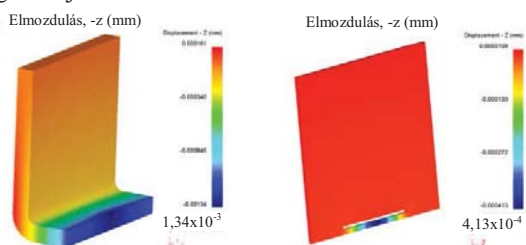
Az előző rendszer hibáinak kiküszöbölésére a harmadik szerszámvariáció a másodikkal megegyező elven működik, azonban nem alkalmaztunk hátsó megtámasztást (5. ábra). Ebben az esetben mind az alakváltozás, mind az erő-elmozdulás görbék a várhatónak megfelelő értékeket mutattak.



5. ábra. Nyitás hátsó megtámasztás nélkül

### 2.4. Hajlított és mart felső szerszámfél összehasonlítása

A 6. ábrán bemutatásra kerülnek azok a szerszám-elemek, amelyekkel a szimulációk alapján megfelelően el lehet végezni a nyitóerő vizsgálatot. Az alsó befogótámasztó rész legyártása nem okoz különösebb nehézséget, ugyanis ezek egyszerű különböző vastagságú lemezekből állnak. A felső, egyben terhelést átadó szerszám legyártása azonban problémás, a rajta megtalálható nyitás mérete és elhelyezkedése miatt. Az alapvető problémát az okozta, hogy a klipszek két párhuzamos oldala közötti távolság 1,6 mm. Az eddig bemutatott felső terhelőszerszám nyitásának tehát lemez szélétől 1 mm alatt kell lennie, amely a terhelés szempontjából megkérdőjelezhető.



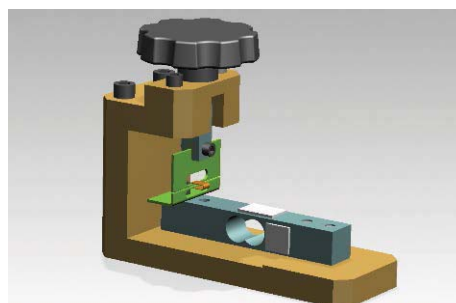
6. ábra. Alakítószerszámok összehasonlítása

A felső szerszámok teherviselésének kérdésessége miatt készült egy másik, marás helyett hajlítással legyá-

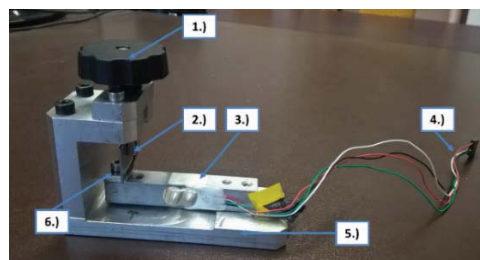
rtott szerszámterv. A két lehetséges szerszám végeelemes modellezésével történő összehasonlítását szemlélteti a 6. ábra. Az összehasonlítás alapját a szerszám pontjainak terhelés irányában történő elmozdulása adja, mivel ezek fogják leginkább befolyásolni a mérési eredményeket. A különbségek miatt a 6. ábrán látható szerszámok közül az eredeti, marással készülő változatot választottuk, mivel ez a klipszek terhelése során kisebb alakváltozáson esik át, így lehetőséget ad az egyes erőkhöz tartozó elmozdulások pontos meghatározásához. A gyártási folyamat megkönnyítése érdekében a nyitás szélessége lett megnövelve.

### 2.5. A nyitóerő- mérő berendezés ismertetése és a fizikai mérések eredménye

A modellezések alapján megtervezett mérőkészülék 3D-s modelljét a 7. ábra, a legyártásra került mérőberendezést a 8. ábra szemlélteti.



7. ábra. Kiegyensúlyozó klipsz nyitóerő-mérő berendezés 3D-s modellje



8. ábra. Kiegyensúlyozó klipsz nyitóerő-mérő berendezés

A 8. ábrán 1.)-el jelölt kar a 2.)-vel jelölt felső szerszámfélhez egy menetes száron keresztül csatlakozik, így ennek 360°-os elforgatásával a klipsz 1 mm-es nyitását lehet elérni. Az egyes elmozdulásokhoz tartozó erők mérése a 3.) nyúlásmérő bélyeggel és mérőhasábbal, illetve a 4.)-gyel jelölt mikrovezérlőhöz kapcsolódó csatlakozóval lehetséges. 5.)-tel jelöltük az egyes elemeket magába foglaló szerszámházat, 6.)-tal pedig az alsó szerszámot, annak lefogásával együtt.

A mérőrendszer kiépítéséhez elengedhetetlen volt egy hasáb típusú erőmérő cella, melynek maximális terhelhetősége 50 N. A mérőhasáb összesen 4 darab

nyúlásmérő bélyeget tartalmaz, melyek Wheatstone-hídba vannak kötve, így lehetségessé válik az erők mérése. A mért analóg értékek erősítését és digitalizálását egy HX711 típusú szigma-delta A/D konverter látja el. Egy Arduino Nano fejlesztőplatformon található ATmega 328 típusú mikrovezérlő felelős a skálázásért, valamint az adatok személyi számítógépre történő küldéséért.

Az erőértékek személyi számítógépen történő leolvasásához Arduino IDE fejlesztőkörnyezetben egy célirányos program megírása történt meg.

A nyitóerők méréséhez az acélklipszeket először a mérőegységbe kell helyezni, majd megfelelően pozicionálni. Ezután a kívánt elmozdulás elérhető a menetes szár segítségével, melynek menetemelkedése 1 mm. A menetemelkedés ismeretében a kívánt elmozdulásokhoz rendre 1, 1,5, valamint 2 teljes fordulatra lesz szükséges.

Mindegyik kiegyensúlyozó klipszből 5-5 darabon történtek mérések. A darabokon 3 nyitási helyzetben 5-5 mérés valósult meg.

A vizsgálat során a klipszek terhelése közben a legkisebb már mérhető erő jelentette a 0 vagy referencia értéket. Erre azért volt szükség, mivel a gyártási folyamat sajátosságainak köszönhetően eltérések lehetnek az egyes klipszek felfekvő felületeinek távolságai között, amely egy pusztán elmozdulás alapú mérés esetén befolyásolhatná az eredményt. A referenciaértékhez mérten 3 távolságban 1 mm, 1,5 mm, illetve 2 mm-nél történtek mérések.

A mérések elvégzésével, mindegyik próbadarabra kiszámíthatóvá váltak a nyitási távolságokhoz tartozó erőértékek, erre mutat példát az 1. táblázat, amely az „S” méretű 3. darab eredményeit foglalja magában.

1. táblázat Az S méretű 3. próbadarab mérései

S3	1 mm	1,5 mm	2 mm
Mérés 1	3,010 N	4,430 N	5,930 N
Mérés 2	2,710 N	4,090 N	5,560 N
Mérés 3	2,970 N	4,470 N	6,030 N
Mérés 4	2,610 N	3,960 N	5,460 N
Mérés 5	2,820 N	4,250 N	5,800 N
<b>Átlag</b>	<b>2,824 N</b>	<b>4,240 N</b>	<b>5,756 N</b>

A mérettípusonként, az egyes nyitási pozíciókban mért erőértékek átlagát a 2. táblázat tartalmazza.

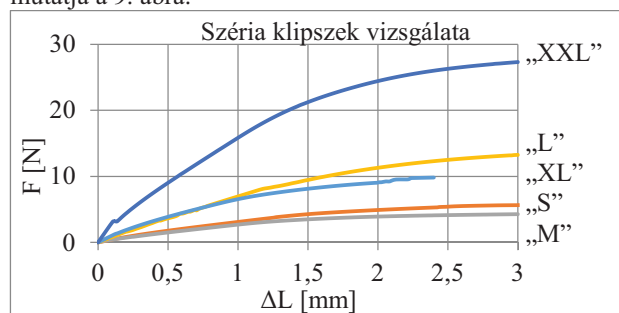
2. táblázat A mérettípusonként kapott erőértékek

Nyitási poz.	S	M	L	XL	XXL
1 mm	2,790 N	2,675 N	6,309 N	6,346 N	13,150 N
1,5 mm	4,204 N	4,064 N	9,875 N	9,786 N	20,690 N
2 mm	5,750 N	5,549 N	13,580 N	12,850 N	29,040 N

A mérések alapján megállapítható, hogy a készülékkel jól reprodukálható méréseket tudunk végezni a használatban lévő klipszekon.

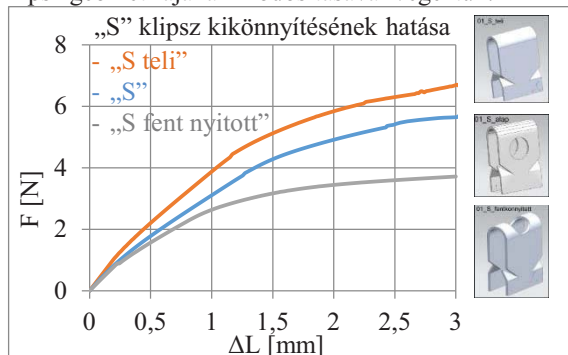
### 3. VÉGESELEMES MODELLEZÉS

Az újonnan kidolgozott geometriák értékelését végeसेlemes modellezéssel végeztük el az eddig elkészült klipszek alapján. A koncepció az volt, hogy először végeसेlemes modellezés segítségével vettük fel az egyes már létező klipszek nyitóerő-elmozdulás értékeit, ezeket validáltuk a fizikai mérések alapján. A validált szimuláció jó alapot ad ahhoz, hogy az új, tervezett klipszek nyitóerő szimulációinak erőfutasai a valóságot megfelelően közelítsék. Az összehasonlítás alapját a nyitóerő-elmozdulás görbék fogják adni. Ezek felvételéhez modellezni kellett a mérési folyamatot. Ennek érdekében az előző fejezetben bemutatásra került végleges erőmérő terhelő elemeit felhasználva állítottunk össze a szimulációkat. A szimuláció bemeneti paramétereit a fizikai mérés alapján határoztuk meg. Az ilyen módon létrejött erő-elmozdulás összefüggéseket mutatja a 9. ábra.



9. ábra. Széria klipszek végeसेlemes modellezéssel meghatározott nyitóerő-elmozdulás diagramja

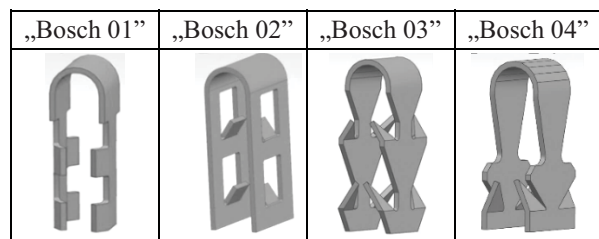
Az újonnan tervezett klipszek jelentős változatosságot mutathatnak kialakításukban, célszerűnek tartottuk az egyes könnyítő elemek (furat, illetve könnyítés) hatásának vizsgálatát, melynek eredményeit a 10. ábra szemlélteti. A könnyítés hatásának vizsgálatát az „S” klipsz geometriájának módosításával végeztük.



10. ábra. „S” klipsz kikönnyítésének hatása FE modellezéssel felvett nyitóerő-elmozdulás görbékre

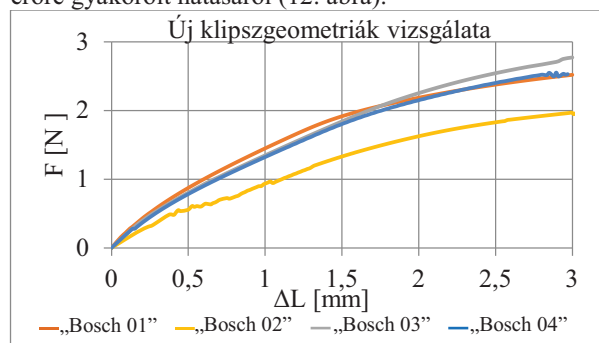
A 10. ábra alapján az a következtetés vonható le, hogy amennyiben a tömeg csökkentésére van szükség, célszerűbb ezt az oldalsó párhuzamos felületeken történő furatok elhelyezésével végrehajtani, ugyanis ezek kisebb mértékben csökkentik a szorítóerőt, mint a hajlított hosszban elhelyezett furatok.

Megvizsgáltuk a Bosch által tervezett klipszeket is nyitóerő szempontjából, ezek a 11. ábrán láthatók.



11. ábra. Bosch által fejlesztett klipszek (forrás: Bosch)

Az egyes geometriák nyitóerő – elmozdulás függvényeinek összehasonlításával kaphatunk képet a klipszek kialakításánál alkalmazott geometriai elemek szorítóerőre gyakorolt hatásáról (12. ábra).



12. ábra. A Bosch által fejlesztett geometriák FE modellezéssel felvett nyitóerő-elmozdulás diagramja

A Bosch saját fejlesztésű klipszeinek vizsgálata alapján kijelenthető, hogy a végeleemes modellezés alapján, mindegyik megfelel az elvártaknak. Érdekes azonban megfigyelni, hogy a kapott nyitóerő értékek a „Bosch 02” megnevezésű klipsztől eltekintve azonos tartományban vannak. A klipszek szorítóerejét alapvetően befolyásoló méret, a hajlított részüknek a hossza közel azonos mind a 4 klipsz esetében. A különbség azonban ezekben az esetekben a párhuzamos oldalak keresztmetszetében mutatkozik meg. A „Bosch 01” és „Bosch 03” klipszeknél a rögzítést biztosító fogakat tartalmazó felületek kritikus keresztmetszeteinek (támasztófülek melletti részek) felülete kisebb, mint a másik két esetben. A két prototípus erő-elmozdulás diagramjai azonban így is jelentős eltérést mutatnak. A „Bosch 01” klipszeknél megfigyelhető nagyobb erő azzal magyarázható, hogy abban az esetben az alkatrész párhuzamos felületei hajlított kialakításúak. Ezzel a hajlítással létrehozott alakváltozás növeli az alkatrész merevségét, amely hatással van annak nyitóerőire.

A saját fejlesztésű klipsz tervezésére vonatkozóan tehát a fizikai mérésekkel megerősítésre kerültek a végeleemes modellezés feltételezései. Mivel ezek a mérési eredmények a mindennapi gyártás során alkalmazott klipszekon készültek, az „S” illetve „M” klipszek tömege és szorítóereje közötti összefüggés, valamint az alkalmazott geometriai elemek alapján az újonnan kifejlesztésre kerülő „XS” klipsz esetében be lehet határolni a várható szorítóerő-intervallumát, amely nagyban megkönnyíti a megfelelő klipszgeometria kiválasztását.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A végeleemes modellek segítségével virtuális környezetben megvizsgáltuk a jelenleg használatban lévő klipszeket, felvettük az egyes klipszek nyitóerő-elmozdulás értékeit és diagramban ábrázoltuk azokat. A diagram elemzése alapján azonban megfigyelhető, hogy az elvártakkal szemben a kisebb tömegű „S” klipsz nagyobb nyitóerő értékeket mutat, mint a nagyobb tömegű „M” klipsz. Ugyanez a jelenség figyelhető meg az „L”, illetve „XL” klipsz esetében. A jelenség magyarázatát a klipszek kialakítása mutatja. Amíg az „M”, illetve „XL” klipszek a hajlított részén tartalmaz egy átmenő furatot, addig az „S”, illetve „L” nem.

A modellek validálása érdekében megterveztünk és elkészítettünk egy nyitóerő mérésére alkalmas készüléket. A készülékkel jól reprodukálható méréseket tudunk végezni a használatban lévő klipszekon. A modellezési eredmények jó egyezést mutatnak a kísérleti mérésekkel.

A végeleemes modellek sikeres validálását követően megvizsgáltuk a Bosch által kialakított klipszeket is nyitóerő szempontjából. A felhasznált ismeretek birtokában további célunk, hogy egy, az előírt követelményeknek legmegfelelőbb klipszet alakítsunk ki.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka az Európai Unió és a magyar állam támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával, a GINOP-2.3.4-15-2016-00004 projekt keretében valósult meg, a felsőoktatás és az ipar együttműködésének elősegítése céljából.

#### 6. IRODALOM

- [1] Szabó Ferenc János, Várkuliné Szarka Ágnes: Finite element study of a ventilator rotating elements, International Review of Mechanical Engineering, Vol 13, No 6 (2019)



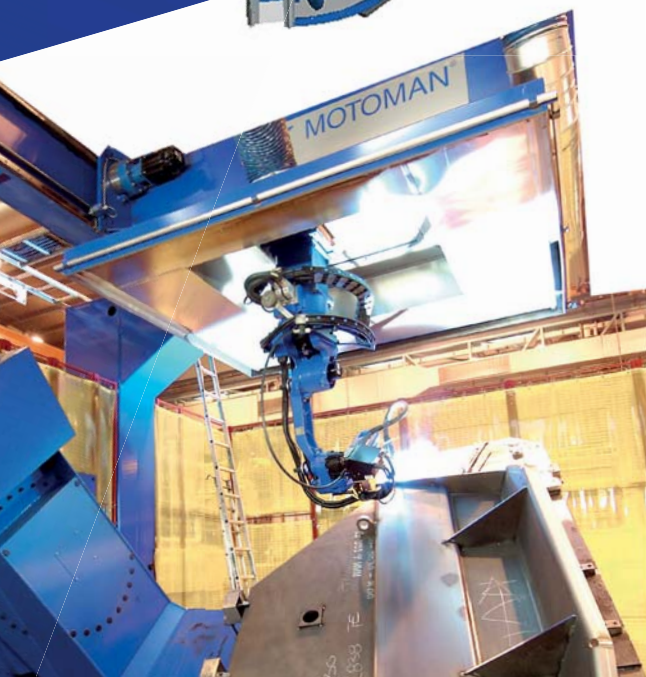
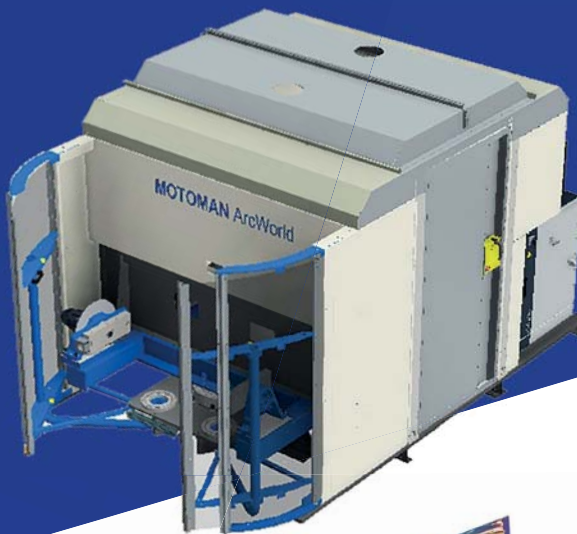
# YASKAWA

**Kompakt robothegesztő cellák**  
széles méretválasztékban:  
kis- és közepes méretű  
munkadarabokhoz.

- Kis helyigény
- Gyors és egyszerű telepíthetőség,  
és áthelyezhetőség
- Esztétikus kivitel
- Rövid szállítási határidő

**ArcWorld Mini és Micro robotcellák**  
**Most rendkívüli kedvezményes áron!**

Várjuk érdeklődésüket!  
[info@flexmanrobotics.hu](mailto:info@flexmanrobotics.hu)



## **Nagyméretű, utazópályás**

- kis helyigényű megoldások
- nagyméretű, akár komplex  
munkadarabokhoz is.



Flexman Robotics Kft. | 1173 Budapest, Összekötő u.1.  
+36 1 256 2281 | [facebook.com/FlexmanRobotics/](https://facebook.com/FlexmanRobotics/)







# CONTENTS

1. Lukács J.:  
**Seven-decade history of the Institute of Materials Science and Technology and its predecessor department**..... 5  
The article introduces shortly the seven-decade history of the Institute of Materials Science and Technology and its predecessor department, the Department of Mechanical Technology.
2. Tisza M.:  
**Overview of the research activity of the Department of Mechanical Technology on the 70th anniversary of its foundation** ..... 13  
The paper summarizes the domestic and international research activity and research cooperation.
3. Kolozsváry Z.; Kocsisné Baán M.:  
**Contradictions of technical/economical development and social responsibility** ..... 23  
The article focuses on the necessity of global paradigm shifting, highlighting the positive and negative effects of economical and industrial development.
4. Kocsisné Baán M.:  
**Internationalisation and methodological modernisation of engineering education** ..... 31  
The paper summarizes the applied domestic and international methods of engineering education, focused on the field of heat- and surface treatment.
5. Lukács Zs.:  
**Research results in the field of numerical modelling of forming processes** ..... 37  
In this paper, we provide an overview of developments in the field of numerical modelling of forming processes over the last decade based on the industrial research projects of our Institute.
6. Tisza M.:  
**Steel developments for the automotive industry**..... 43  
In this paper, some developments will be overviewed particularly focusing on the three generations of advanced high strength steels.
7. Gál G.; Gál V.; Kovács P.Z.; Kuzsella L.; Lukács Zs.; Tisza M.:  
**Forming researches in the LOCOMATECH H-2020 european project** ..... 51  
In this paper, the formability investigations and their results achieved within the LoCoMaTech H-2020 project are summarized.
8. Gáspár M.; Balogh A.; Bodorkós G.; Dobosy Á.; Németh A.; Raghawendra P.S.S.; Török I.:  
**Research results in the welding of high strength steels and aluminium alloys** ..... 59  
The paper summarizes the analyses of high strength metal alloys, and the experimental investigation results of their welded joints.
9. Dobosy Á.; Gáspár M.:  
**Application possibilities of finite element modeling of arc welding processes** ..... 69  
In this paper, we present the difficulties of arc welding modelling and their solutions, as well as the possibilities of using finite element modelling through practical examples
10. Prém L.; Balogh A.:  
**Investigation of dynamic behaviour of resistance spot welded joints in ferrite-martensitic DP steels with a newly developed dynamic testing equipment** ..... 75  
The paper presents the results of dynamic behaviour investigation of resistance spot welded joints in ferrite-martensitic DP steels with a newly developed dynamic testing equipment.
11. Kovács J.; Lukács J.:  
**Physical simulation of heat affected zone of S1300 ultrahigh strength steel**..... 81  
In the research work the weldability, especially the heat affected zone properties of an ultrahigh strength structural steel was discussed.
12. Lukács J.; Nagy Gy.; Török I.; Koncsik Zs.:  
**Research results in the field of hydro-carbon transporting pipeline integrity** ..... 87  
The main elements of the activities of the Department of Mechanical Technology and its successor institution the Institute of Materials Science and Technology at the University of Miskolc were summarized in the field of pipes and pipelines and their structural integrity.
13. Molnár A.; Balogh A.:  
**Production of wear-resistant coatings by high-velocity oxy-fuel thermal spraying and subsequent mixed wavelength diode laser remelting on C45E steel** ..... 95  
In this study, NiCrBSi alloy was layered to C45E steel by high-speed oxy-fuel thermal spraying (HVOF) and remelted with a mixed wavelength diode laser (MWDL) heat source.
14. Nagy N.; Kovács A.:  
**Investigation of damage to the stainless steel segment used in food industry** ..... 101  
The aim of this article is to investigate the failure of an alcohol-distillation equipment during operation.
15. Kovács P.Z.; Gál V.; Rónai L.; Várkuliné Szarka Á.:  
**Development of balancing clips for ventilator rotating elements** ..... 105  
In this article, we summarize the possibilities for the development of balancing clips and their results in industrial cooperation.

# 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. 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. 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 Emílné Dr. Szűcs Edit  
Dr. Zobory István

### Cooperation in the editing:

Dr. Lukács János  
Dr. Koncsik Zsuzsanna  
Dr. Török Imre  
Szegezski Tiborné

### DEAR READER,

This issue appears proceed to the completion of a special academic year of 2019/2020.

The education at the Technical University for Heavy Industry and even at their Faculty of Mechanical Engineering began in 1949. The 70th anniversary of the Faculty of Mechanical Engineering and Informatics at University of Miskolc was arranged as part of a jubilee event on 18 October 2019. Written version of the reminiscent and professional presentations were published in the "Multidisciplinary Sciences" journal entitled "70 years of the Faculty of Mechanical Engineering and Informatics" (Volume 9, Issue 4, 2019). The journal contains 15 different papers from the oral and poster presentations of Materials Science and Technology Session.

The Department of Mechanical Technology at the Faculty of Mechanical Engineering was founded in 1950, one year after the foundation of the Faculty in Miskolc in 1949. The widening of the profile of the University and the appearance of non-technical faculties implied a change in the name of the University in 1990, then the broaden of educational profile of the Faculty implied a change in the name of the Faculty in 2006. Thus, the Department of Mechanical Technology continued its activity as an organizational unit of the Faculty of Mechanical Engineering and Informatics at University of Miskolc. In the year of 2013, as a part of the structural transformation of the University, the departmental structure of Faculty of Mechanical Engineering and Informatics changed into institutional structure. From the Department of Mechanical Technology two institutional departments were established with a name: Institute of Materials Science and Technology. In the second semester of 2019/2020 academic year, 70 years have passed since the foundation of the predecessor Department.

After the foundation process which took place in 1960, the first Welding Engineer Course in Hungary was organized in 1961 by the Department of Mechanical Technology. The course undergone several reforms and gradually gained international recognition. Nowadays, it functions as an International Welding Engineer Postgraduate Course and International/European IWE/EWE Course, providing a nationally and internationally acknowledged degree for the participants. 60 years have passed since the foundation and the students of the 26th class received their diplomas in the second semester of 2019/2020 academic year, certifying the acquisition of the most up-to-date knowledge in the field.

The second semester of the academic year was basically influenced by the pandemic caused by coronavirus, so the university had to switch to online education within a week. Given that the integration of different levels of e-learning methods into university education and advanced studies has been started by the Department for several decades and has been systematically developed by both of the Department and the Institute, so we have been able to adapt relatively easily and quickly to the present challenges.

This dual issue of GÉP journal contains some overviews and mostly professional publications, presenting the Department and the Institute. With the support of these we provide an insight into the history and the life of the Institute, constantly referring to the traditions and professional strength of the former Department of Mechanical Technology and present Institute of Materials Science and Technology.

*Prof. Dr. János Lukács  
Head of the Institute*

Miskolc, August 2020

Managing Editor: Vesza József. Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.

Phone/fax: (+36-46) 379-530, (+36-30) 9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1147 Budapest, Czobor u. 68., Postal address: 1371, Bp, Pf. 433

Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: a.gaby@gteportal.eu, Web: www.gteportal.eu

Web: http://www.gepujsag.hu \* Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Publisher: Dr. Igaz Jenő, Managing Director

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

Distributed to subscribers by Magyar Posta Zrt, Postal address: 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered at any Hungarian post office, from postmen, from the link: www.posta.hu WEBSHOP

(https://eshop.posta.hu/storefront/), via e-mail: hirlaplofizetes@posta.hu, by phone: 06-1-767-8262, or mail to: MP Zrt. 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered from overseas and to overseas at Magyar Posta Zrt. Visit: www.posta.hu WEBSHOP (https://eshop.posta.

hu/storefront/), mail to: 1900 Budapest, 06-1-767-8262, or hirlaplofizetes@posta.hu

Domestic subscription prices are: HUF 1,260 a single copy and HUF 2,520 a double copy.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

**The published articles have been reviewed.**

The publication is supported by the National Cultural Fund of Hungary

# FROWELD

+36 29 748 004 | [info@froweld.hu](mailto:info@froweld.hu)

2360 Gyál, Kőrösi út 49.

[www.froweld.hu](http://www.froweld.hu)



# ELLENÁLLÁS-HEGESZTÉS a legmagasabb szinten

Villámgyors folyamatok irányítása

Anyag - energia - tudomány harmóniája

**REHM**  
Hegesztéstechnika

az Ön  
partnere a  
hegesztésben



◆ 2766 Tápiószele, Jászberényi út 4. ◆ Tel.: +36 (53) 380 078  
◆ E-mail: rehm@rehm.hu ◆ Web: www.rehm.hu