

BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI LAPOK

# Kohászat

A régió és a Dunaújvárosi Főiskola válasza  
az anyagtudomány és technológia új kihívásaira  
TÁMOP-4.2.2-08/1/2008-0016

Vaskohászat

Öntészet

Fémkohászat

Anyagtudomány

Hírmondó

145. évfolyam

2012/1. szám



Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület lapja.

Alapította Péch Antal 1868-ban.

**1** **A régió és a Dunaújvárosi Főiskola választai az anyagtudomány és technológia új kihívásaira. TÁMOP-4.2.2-08/1/2008-0016**

**2** **Verő B.:** A fizikai és matematikai szimuláció helye és szerepe a műszaki anyagtudományban

**7** **Berezcki P. – Verő B. – Józsa R. – Portás A. – Fehér J. – Virág J.:** Meleghengertelés közben lejátszódó (a melegen hengertelt szalag tulajdonságait befolyásoló) folyamatok kutatása Gleeble 3800 szimulátor alkalmazásával. Előkészület a HSMM szoftverhez való csatlakozáshoz

**20** **Gonda V. – Bodnár V. – Molnár L. – Verő B. – Valenta L.:** A könyöksajtó-lás elmélete és gyakorlata

#### Vaskohászat

**37** **Lengyel K. K.:** A vaskohászat hengertelési szakembere és történetének kutatója. Interjú dr. Rempert Zoltánnal

#### Öntészet

**44** **Liu J. – Li G. – Zhang H. és tsai:** Karbidos ausztemperált gömbrifitos öntöttvas mikroszerkezetének és tulajdonságainak vizsgálata

**48** **Lengyel K. K. – Szende Gy.:** Csa-ba Metál, a sikeres vállalat

#### Fémkohászat

**52** **Fülöp K.:** Hetvenéves az alumínium képlékeny alakítás Székesfehérváron (1941–2011)

**57** **Török T. – Orosz V. – Fekete Z.:** Rézleválasztás acélhuzalra pirofoszfátos galvanfúrdókból

#### Anyagtudomány

**61** **Babcsánné K. J. – Sóki P. – Blaskovics F. – Számel Gy. – Tóth L. – Beke S. – Babcsán N.:** Fémhabok fejlesztése csontbarát ortopéd implantátumok gyártása céljából

#### Hírmondó

**65** Köszöntések

**67** Nekrológok

Öntészet rovatunkat az 1950-ben indított és 1991-ben megszünt önálló szaklap, a BKL Öntöde utódjának tekintjük.

**Balázs Verő: The place and role of physical and mathematical simulation in the technical material science ... .. 2**

This paper, proceeding from meeting the market requirements and considering our anticipation of technical material science, outlines a possible strategy of technical/technological development. From four substantial elements of technical material science, physical and mathematical simulation is of crucial importance, and the level of application of simulation methods essentially determines the efficiency of technical development. In the paper, the strategy of development of wide steel strip rolling technology is discussed, and it also meant the conception of the 1st research area of TÁMOP-4.2.2. project.

**Péter Berezcki – Balázs Verő – Róbert Józsa – Attila Portás – Jánosné Fehér – János Virág: Investigations of processes occurring in the course of hot rolling (and affecting the properties of the hot rolled strip) with application of simulator Gleeble 3800. (Preparation for joining the HSMM software) ... .. 7**

This paper shows the role of physical simulation in technical development on the base of two case-works. These case-works represent two possible variants of technical/technological development. Improvement of mechanical properties of hot rolled, micro alloyed tube steel strips could be achieved by changing the composition of the base material, while the improvement of micro structure of the wide strip in the hot rolled alloy – by changing the process parameters. For the modification of hot rolling technology of HSLA steel and unalloyed aluminium we leaned on information from physical simulation, performed on a Gleeble 3800 thermomechanical simulator.

**Viktor Gonda – Viktória Bodnár – László Molnár – Balázs Verő – László Valenta: Theory and practice of angular pressing ... .. 20**

This paper gives a comprehensive picture of the theory and practice of angular pressing (ECAP – Equal Channel Angular Pressing). On the base of model experiments, performed in plexiglass tools with colour plastiline, the character of deformation during angular pressing becomes perceivable. Analytic (mathematical) simulation of the process perfectly reflects the results of experiments with plastiline. Finite element method simulation of the process serves a deeper understanding of the deformation mechanism. We review the design of the 90° and 110° pressing die and aspects of dimensioning. Results of experiments performed with OFHC copper prove the success of development.

**Liu Jinhai – Li Guolu – Zhang Huiyou and co.: Examination of microstructure and properties of carbide austempered ductile iron ... .. 44**

New technical structural materials have high strength and ductility. The number of applications of austempered ductile iron, ADI is increasing, as in automotive, agricultural machinery, mining, railways and other areas. Because of void forming role of globular graphite in the microstructure, abrasion resistance is inadequate. This paper deals with the microstructure and properties of austempered ductile iron, containing carbides, called CADI. With increasing temperature of austempering, acicular ferrite becomes thicker and longer, specific impact strength increases, while hardness decreases. Temperature of austempering affects the wet abrasion resistance in a complex way. Authors cast CADI grinding balls, performed production tests with them. Comparing them with low-chrome cast iron balls, it can be determined that the weight loss of CADI balls in ore grinding mills is the half of that of the low-chrome ones.

**Tamás Török – Viktor Orosz – Zoltán Fekete: Depositing copper on steel wire from pyrophosphate containing galvanic baths ... 57**

On high speed wire producing lines, coating of steel wire with copper is performed also at high speed. For cathodic depositing of copper on the surface of steel wire, running through coppering cells, in the same time, generally, baths with characteristics, differing in many aspects from conventional ones, are used worldwide. Recently in Hungary (AMSG Ltd.) an electroplating line was commissioned, on which we examined the effect of changing some critical operational parameters, under laboratory conditions in the sur-facing technical laboratory of our institute. In tempered Hull-cells, thin copper coatings were deposited on the surfaces of plane steel plate samples from alkali pyrophosphate baths, that we qualified with several up-to-date methods (SEM, GD OES) and determined conclusions in order to control the formation of the copper coating in a more reliable way.

**Judit Babcsánné Kiss – Péter Sóki – Ferenc Blaskovics – György Számel – László Tóth – Sándor Beke – Norbert Babcsán: Development of metal foams for producing bone-friendly orthopaedic implants ... .. 61**

Nowadays metallic biomaterials are among the most important biomedical materials. Among these stainless steel, cobalt and titanium alloys, especially Ti6Al4V have widespread applications. Recent article gives an introduction to the preparation of titanium and iron porous structures and their possible application as a coating on medical implant surfaces. Foamed specimens of these metals were produced by an optimized method of slurry foaming technique. The resulted porous surfaces were characterized by microscopy and X-ray tomography. Moreover model implant surfaces were subjected to bone cell ingrowth investigations.

• **Szerkesztőség:** 1051 Budapest, Október 6. utca 7., III. em. • **Telefon:** 06-1-201-7337 •

• **Levélcím:** 1371 Budapest, Pf. 433, e-mail: bkl.kohaszat@gmail.com •

• **Felelős szerkesztő:** Balázs Tamás •

• **A szerkesztőség tagjai:** dr. Buzáné dr. Dénes Margit, dr. Klug Ottó, dr. Kórodi István, Lengyel Katalin, Schudich Anna, Szende György, dr. Takács István, dr. Tardy Pál, dr. Török Tamás •

• **Kiadó:** Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület • **Felelős kiadó:** dr. Nagy Lajos •

• **A BKL Kohászat kiemelt támogatója a Fémalk Zrt. •**

• **Nyomja:** Press+Print Kft. 2340 Kiskunlacháza, Gábor Áron u. 2/a • **HU ISSN 0005-5670 •**

*Belső tájékoztatásra, kereskedelmi forgalomba nem kerül.* • A közölt cikkek fordítása, utánnyomása, sokszorosítása és adatrendszerekben való tárolása kizárólag a kiadó engedélyével történhet. •

**Internetcím:** www.ombkenet.hu/bkl/kohaszat.html



Dunaujvárosi  
Főiskola  
Nálunk minden  
rólunk szól!  
www.duf.hu



A projekt az Európai Unió támogatásával,  
az Európai Szociális Alap  
finanszírozásával valósul meg.

## A régió és a Dunaujvárosi Főiskola válaszai az anyagtudomány és technológia új kihívásaira

TÁMOP-4.2.2-08/1/2008-0016



# Oktatás–kutatás–innováció szinergikus egységben a Dunaujvárosi Főiskolán

Az ezredforduló táján az emberiség új korszakba, az ipari társadalomból a tudásalapú társadalomba, illetve gazdaságba lépett. Meggyőződésem éppen ezért, hogy csak az a felsőoktatási intézmény képes hatékony válaszokat adni az állandóan megújuló kihívásokra, és küldetését beteljesíteni, amely az OKTATÁS–KUTATÁS–INNOVÁCIÓ szinergikus egységének szellemében szervezi meg tevékenységét! Igaz ez mindegyik tudományterületre, de különösen igaz ez a műszaki, informatikai, üzleti és alkalmazott társadalomtudományok területén tevékenykedő felsőoktatási intézményekre – mint amilyen a Dunaujvárosi Főiskola is – hogy képzési és kutatómunkáját a térségben élő lakosok, intézmények és vállalkozások igényeire, innovációs szükségleteire kell és lehet építeni, javítva azok versenyképességét, amellyel hozzájárulhatunk a munkahelyteremtéshez és a gazdasági növekedés előmozdításához, végeredményben a térségben élők életminőségének javításához. Az innovációnak a vállalkozásoknál kell megnyilvánulni úgy, hogy javuljon a versenyképességük, növekedjen a profitjuk.

A főiskolán folyó kutatások döntően alkalmazott kutatások, amelyek a vállalkozások innovációs igényeire épülnek. Természetesen a kutatási eredmények beépülnek a képzéseink tartalmába, biztosítva ezáltal is a „tudományos” naprakészséget, valamint konferenciákon, publikációkban ismerkedhet meg velük a szélesebb szakmai közönség. A képzésinkkel szemben nem csak minőségi és ún.

munkaerő-piaci elvárások fogalmazódnak meg, hanem módszereiben/pedagógiai technológiájában is meg kell újulni úgy, hogy kreatív, innovatív képességekkel rendelkező végzetteneket eredményezzen a vállalkozások számára.

A gazdaság és a felsőoktatás együttműködése számtalan közvetlen, kölcsönös előnnyel jár. A felsőoktatás számára kiemelendő az oktatási és kutatási infrastruktúra fenntarthatóságát biztosító forrasszerzési lehetőség, a gyakorlatorientált lehetőségek biztosítása a hallgatóknak (diplomamunka) és oktatóknak egyaránt, amely a minőség javulásához járul hozzá.

A vállalkozások számára pedig az innovációs aktivitás erősítését jelenti azáltal, hogy hozzáfér a „tudásbázis-hoz” a K+F infrastruktúrához, egyúttal lehetősége nyílik a hallgatók, mint potenciális munkavállalók megismerésére, illetve a képzési tartalom és struktúra igényeik szerinti alakítására.

Az új felsőoktatási törvény terminológiájával élve ez a „GYAKORLATI KUTATÁSOK FŐISKOLÁJA” cím megcélzását jelenti, amely elvezethet a nyugat-európai mintára a Gyakorlati Tudományok Egyeteme rang eléréséhez!

A Dunaujvárosi Regionális Anyagtudományi és Technológiai Egyetemi Tudásközpontunk és a hozzá kapcsolódó TÁMOP-pályázat által támogatott kutatási tevékenység – amelyek közül szakmailag a Bányászati és Kohászati Lapok Kohászat című lapjába illő háromnak az összefoglalása található meg ebben a számban



– eredményeképpen jelentősen javult és bővült a regionális vállalkozásokkal való innovációs és nemzetközi együttműködéseink sora. A TÁMOP-projekt további kutatási eredményeit a következő lapszámokban tervezzük közölni.

A Dunaujvárosi Főiskola ezzel is bizonyítja, hogy a felsőoktatás tökéletes partnere tud lenni az iparnak, a gazdasági szférának, és lehet úgy felhasználni a fejlesztési forrásokat, hogy a tudásunk, a technológiánk, a hallgatóink szorgalma és ambíciója kívánt és vágyott érték legyen a legjelentősebb hazai és európai gazdasági szereplőknek.

Kérem, olvassák a lapot kritikusan, a fentiek szellemében, hogy Önök is meggyőződhetnek a Dunaujvárosi Főiskola kutatási potenciáljáról, lehetőségeiről, és jó hírünket vigyék ne csak országosan, hanem Európában is.

**Dr. Kadocsa László**  
általános és tudományos  
rektorhelyettes

# A fizikai és matematikai szimuláció helye és szerepe a műszaki anyagtudományban

*A dolgozat a piaci igények kielégítésének folyamatából kiindulva és figyelembe véve a műszaki anyagtudományról alkotott elképzelésünket, vázolja fel a műszaki/technológiai fejlesztés egy lehetséges stratégiáját. A műszaki anyagtudomány négy tartalmi eleme közül napjainkban a fizikai és matematikai szimuláció meghatározó szerepet játszik, és a műszaki fejlesztés hatékonyságát lényegében a szimulációs technikák alkalmazásának színvonala határozza meg. A lehetséges fejlesztési stratégiát az acél szélesszalagok meleghengerrési technológiájával kapcsolatban tárgyalja a dolgozat. Az ebben foglaltak egyben a TÁMOP-4.2.2. projekt 1. kutatási területének koncepcióját is jelentik.*

## Bevezetés

Mint minden termelő tevékenység, így a vaskohászaté is, piaci igények kielégítésére irányul. A világ acéltermékek iránti igénye napjainkban 1,3 milliárd tonna körül van, vagyis a Föld lakosai egyenként minden évben mintegy 200 kg acélt „fogyasztanak” el. Technikatörténettel foglalkozó kutatók kiszámították, ha a jelenlegi igényeket az 50 évvel ezelőtti színvonalon elégítené ki a vaskohászat, legalább háromszor 1,3 milliárd tonna acélra lenne szükség. Ez az egyetlen adat is bizonyítja, hogy a világ vaskohászatában mélyreható változások zajlottak le az elmúlt 50 évben, technikai és technológiai szempontból egyaránt.

A világ vaskohászatában lezajlott technikai és technológiai fejlődés hátterében minden bizonnyal a műszaki anyagtudományban elért eredmények állnak. Ezeknek az eredményeknek a létrejöttében napjainkban

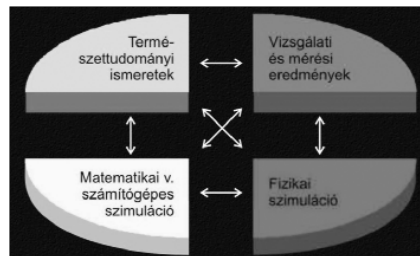
a fizikai és matematikai szimulációnak, modellezésnek kiemelkedő szerepe van.

A kiinduló gondolatom az, hogy a piac szereplői lényegében csak a termékkel szemben támasztott funkcionális igényt fogalmazzák meg, míg a termelő vállalatoknak illetve a vállalatok műszaki szakembereinek ezt az igényt le kell „fordítaniuk” az anyagtulajdonságok nyelvére, majd az elvart tulajdonság együttesű terméket az adott gyártóberendezéssel, vagyis adott technikai feltételek mellett, tudatosan megtervezett technológiával elő kell állítaniuk.

## A műszaki anyagtudomány tartalmi elemei

A műszaki anyagtudomány, mint a vaskohászati kutatás háttere, négy forrásból táplálkozik (1. ábra). Ezek a következők:

- a természettudományok által feltárt törvények,



1. ábra. A műszaki anyagtudomány négy tartalmi eleme

- a korszerű vizsgálati és mérési módszerek által szolgáltatott információk,
- a fizikai szimuláció által szolgáltatott információk,
- a matematikai szimuláció által szolgáltatott információk.

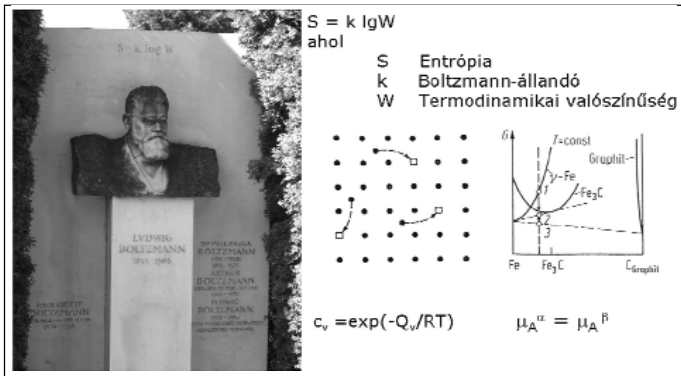
Nézzünk néhány példát a négy tartalmi elemre vonatkozóan.

A műszaki anyagtudomány a természettudomány törvényeit mikroszerszámokként alkalmazza. A Boltzmann-féle és a statisztikus mechanika elvein alapuló entrópiadefiníció nélkül nem érthetnénk meg, hogy a kristályhibák közül az üres rácshelyeknek és az intersztfíciós atomoknak adott hőmérsékleten miért van, míg a diszlokációknak és a felület-szerű hibáknak miért nincs egyensúlyi koncentrációjuk (2. ábra). A Boltzmann-féle entrópia definíció szükséges például a kémiai potenciál fogalmának értelmezéséhez is, amely alapján az egymással egyensúlyban lévő fázisok összetételét jelölhetjük ki.

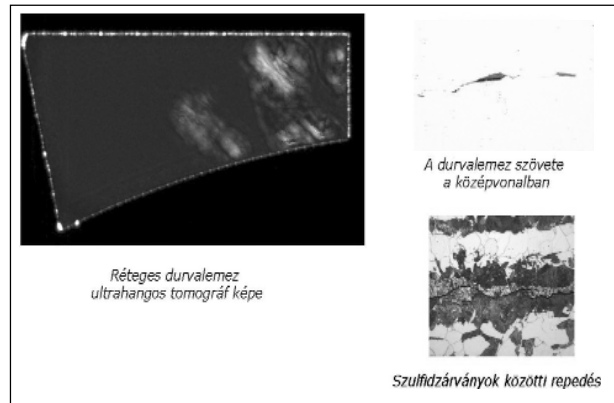
A mérési- és vizsgálati technikák nyújtotta információk köréből két példát hozok fel: egyet a roncsolásmentes, egyet a roncsolásos vizsgálatok területéről. A roncsolásmentes vizsgálatok körében egyre terjednek az egészségügyben már széles körben alkalmazott diagnosztikai eljárások, pl. az ún. ultrahangos tomográfia. Erre mutat példát egy réteges acéllemez vizsgálata kapcsán a következő ábra (3. ábra).

A roncsolásos vizsgálatok köréből a pásztázó elektronmikroszkóphoz

*Verő Balázs technológus szakos okl. kohómérnök, egyetemi tanár, az MTA doktora. 1967-ben végzett az NME Kohómérnöki Karán. 1967–93-ig a Vasipari Kutató Intézet, ill. jogutódja, a Vasipari Kutató és Fejlesztő Vállalat munkatársa. 1993–2007-ig a Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológiai Alapítvány Anyagtudományi és Technológiai Intézetének tudományos igazgatóhelyettese volt, jelenleg a Dunaújvárosi Főiskola Műszaki Intézetében egyetemi tanár. Az OMBKE-nek 1965 óta tagja, másfél évtizeden át a BKL Kohászat felelős szerkesztője volt. A Miskolci Egyetem Természettudományi Habilitációs és a BME Gépészmérnöki Karának Habilitációs és doktori tanácsának tagja, az MTA Anyagtudományi és Technológiai bizottságának elnöke. Publikációs tevékenységében adatai megtalálhatók a MTMT adattárában.*



■ 2. ábra. A természettudományos törvények, mint a műszaki anyagtudomány egyik tartalmi eleme: a Boltzmann-féle entrópia fogalom. ( $c_v$ : az üres rácshelyek koncentrációja,  $Q_v$ : az üres rácshelyek képződésének aktiválási energiája, T: abszolút hőmérséklet, R: egyetemes gázállandó.  $\mu_A^\alpha$  és  $\mu_A^\beta$ : az alfa és béta fázis kémiai potenciálja.)

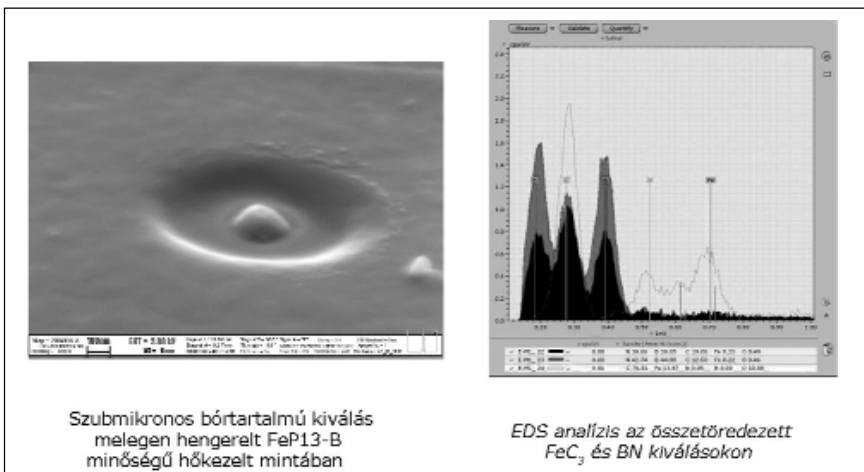


■ 3. ábra. A mérés- és a vizsgálati technika által szolgáltatott információk, mint a műszaki anyagtudomány egyik tartalmi eleme: réteges acéllemez ultrahangos tomográffal való vizsgálata

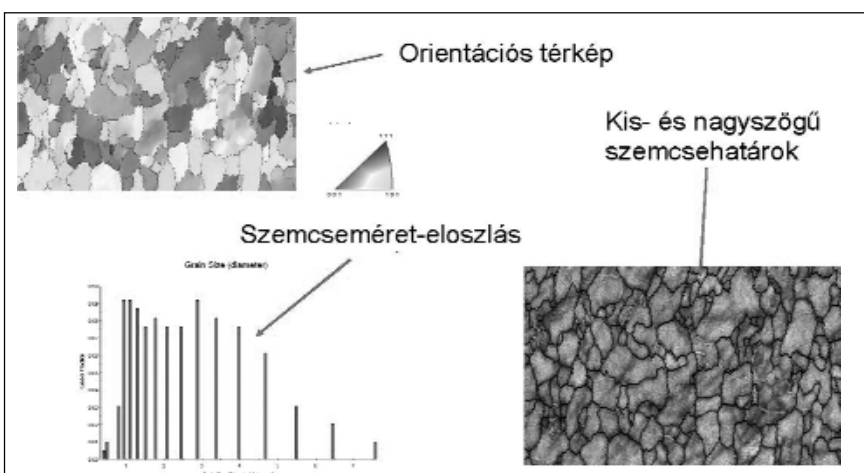
kapcsolódó eredményeket hozom fel példaként. A korszerű, téremissziós katóddal működő pásztázó elektronmikroszkópok felbontóképessége ma

már az 1 nm-es tartományban van, így ez a technika sok esetben helyettesítheti, kiválthatja a transzmissziós elektronmikroszkópiát. A pásztázó

elektronmikroszkópnak szerves kiegészítője a hullámhossz- és/vagy energiadiszerzív elemző rendszer. Az EDS-rendszerek is alkalmasak ma már a kis rendszámú elemek, mint pl. a B kimutatására, sőt azok mennyiségi meghatározására is (4. ábra).



■ 4. ábra. A mérés- és a vizsgálati technika által szolgáltatott információk, mint a műszaki anyagtudomány egyik tartalmi eleme: kis rendszámú elemek kimutatása SEM+EDS technikával



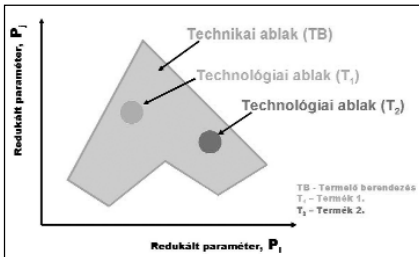
■ 5. ábra. A mérés- és a vizsgálati technika által szolgáltatott információk, mint a műszaki anyagtudomány egyik tartalmi eleme: kristallitok egyedi orientációjának és az őket elválasztó szemcsehatárok típusának meghatározása SEM+EBSD technikával

A nagy felbontású képalkotás a kis rendszámú elemek kvantitatív meghatározására is képes pásztázó elektronmikroszkópos technika napjainkra újabb lehetőséggel gazdagodott. Mód van az egyes kristallitok kristálytani orientációjának és a közöttük húzódó szemcsehatár típusának meghatározására, az egyes kristallitokról származó Kikuchi-ábrák számítógépes értékelése révén (5. ábra).

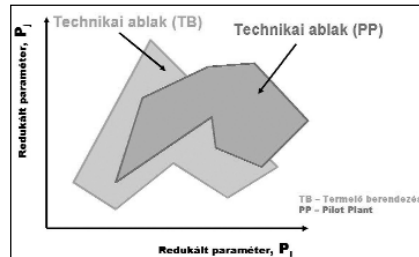
A mérési és vizsgálati technikák hihetetlenül gyors fejlődésével azonban szükségszerűen együtt jár ezeknek az eszközöknek egyre gyorsuló „erkölcsi” amortizációja, ami a laboratóriumok eszközállományának szinte permanens megújítását igényeli.

Ahhoz, hogy a műszaki anyagtudomány további két elemének, a fizikai és matematikai szimulációnak a KF-folyamatban elfoglalt helyét és betöltött szerepét helyesen tudjuk értékelni, az elemzés körét ki kell terjeszteni az üzemi és félüzemi kísérletekre is, hiszen a kutatás-fejlesztési folyamat a kidolgozott technológia ipari körülmények közötti végrehajtásával fejeződik csak be.

Ehhez az elemzéshez azonban az is szükséges, hogy a termelő- és a kísérleti berendezések sajátosságait a fizikai és matematikai szimuláció



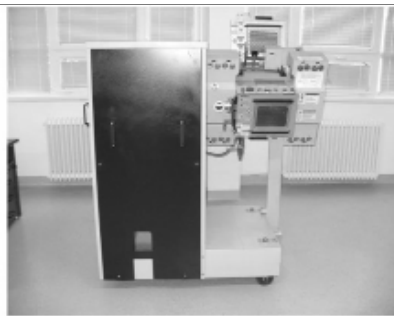
■ 6. ábra. Az ipari termelőberendezés technikai és a gyártható termékek technológiai ablakának viszonya



■ 7. ábra. A pilot plant technikai ablaka és ennek helyzete az ipari termelőberendezés technikai ablakához viszonyítva



Gleeble 3800 fizikai szimulátor



Hydrawedge egység

■ 8. ábra. A Gleeble 3800 típusú termomechanikus szimulátor

sajátosságaival együtt azonos szempontok szerint értékeljük. Vezessük be a technikai és technológiai ablak fogalmát.

### A technikai és a technológiai ablak fogalma

Ennek a két fogalomnak a megvilágításához induljunk ki valamely ipari termelőberendezés műszaki jellemzőiből és valamely termék előállításához szükséges technológiai utasításából. Példaként az ISD Dunafer Zrt. félgyártatóságos meleghengerművét vettem. A műszaki adottságokat az állványok száma, az állványok terhelhetősége, a munkahengerek átmérője, a hengerek maximális fordulatszáma stb. határozza meg, vagyis számos paraméter. A technikai korlátok így csak egy sokdimenziós térben lennének ábrázolhatók. Mondanivalóm megvilágításához elegendő azonban a 2D-s ábrázolási forma is (6. ábra). A termelőberendezés technikai ablakán belül lehet csak üzemszerű gyártástechnológiát végrehajtani, vagy kutatás-fejlesztési célú üzemi kísérletet lefolytatni.

Régi törekvés, hogy a gyártási kísérleteket kísérleti gyártósorokon, ún. pilot planteken hajtsuk végre. A pilot plantek alapvető jellemzője,

hogy az ipari termelőberendezések „kicsinyített” másai, tehát a kísérleti üzemben az alakítás például továbbra is hengerek között történik. Korábban talán jellemző lehetett a pilot planteknek az üzemi termelőberendezéseknél magasabb színvonalú műszerezettség, ez az állítás ma már csak részben lehet igaz. Az üzemi termelőberendezés és a pilot plant fizikai ablaka egymást átfedő jellegű (7. ábra). Lényeges, hogy van olyan technológiai variáció, amely csak a termelőberendezésen, és van olyan, amely csak a pilot berendezésen hajtható végre.

### A fizikai szimuláció lényege

A mai fogalmaink szerinti fizikai szimulátorok – például a Dunaújvárosi Főiskolán letelepített és üzembe helyezett Gleeble 3800 típusú termomechanikus szimulátor – nem valamely ipari termelőberendezés „kicsinyített” mása (8. ábra). A fizikai szimulátoroknak képeseknek kell lenniük arra, hogy a megmunkálandó anyagot az ipari termelő folyamatban érvényesülő hatásokkal megegyező igénybevételnek tegyék ki, legyenek ezek a hatások mechanikaiak, termikusak vagy akár korróziósak. A fizikai szimulátorok sokcélú berendezések.

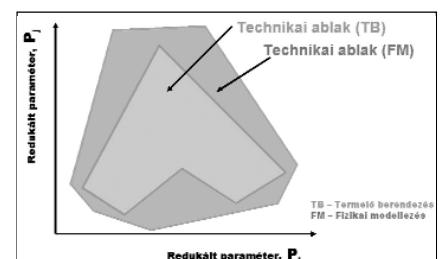
A Gleeble 3800 típusú termomechanikus szimulátorban például a meleghengertést az ún. Ford-módszerrel szimuláljuk, hiszen a hengertés nem más, mint forgó hengerekkel folyamatossá tett nyújtó kovácsolás. A berendezés Hydrawedge egysége azért egyedülálló, mert az alakváltozás mértékét és sebességét is képes az előírt, programozott értéken tartani. A Gleeble 3800 típusú termomechanikus szimulátor alkalmas továbbá hegesztési hőfolyamatok, hőkezelési-, termikus fázisát-, gyorsított kúszási vizsgálatok elvégzésére is, sőt a dermedési folyamatok néhány jelensége is előnyösen vizsgálható ezzel a berendezéssel.

A fizikai szimulátor akkor hatékony kutatási eszköz, ha technikai ablaka az ipari berendezés technikai ablakát magában foglalja, sőt annál tágabb (9. ábra.).

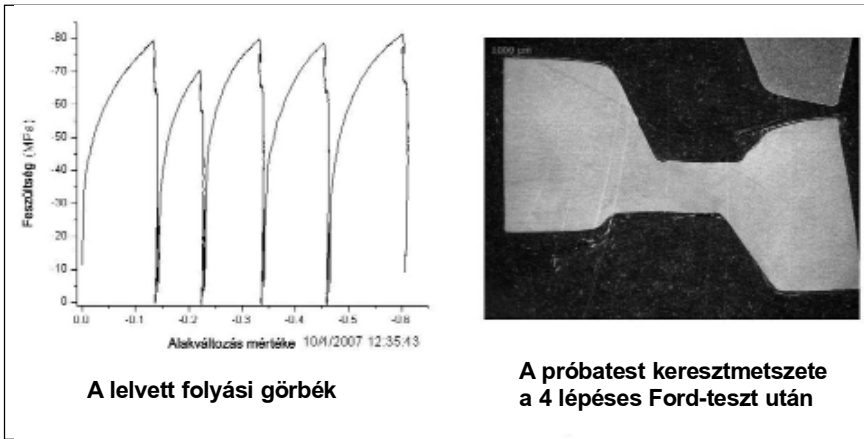
Ennek a megállapításnak azonban nemcsak egy termelőberendezésre vonatkozóan kell igaznak lennie, hanem célszerűen többféle esetre is. Lényeges, hogy a fizikai szimuláció mindig valószerű. A fizikai szimulátorokkal szemben azt is megköveteljük, hogy bennük további vizsgálatokra alkalmas méretű mintákat kezelhessünk. A fizikai szimulátorok segítségével végzett munka 5–10-szer hatékonyabb, mint pl. a pilot berendezéssel végzett.

### A matematikai szimuláció lényege

Áttérve a műszaki anyagtudomány negyedik tartalmi elemére, a számítógépes modellezésre, a reális világból a virtuális világba jutunk. A számítógépes szimuláció, amely végeredményben anyagtudományi folyamatokat leírni képes szoftverek futtatását igényli, általában nem valószerű,



■ 9. ábra. A fizikai szimulátor technikai ablaka és ennek helyzete az ipari termelőberendezés technikai ablakához viszonyítva



■ 10. ábra. Egy többlépcsős meleghengelési folyamat Gleeble 3800 típusú termomechanikus szimulációjának eredménye  
 a) Egy ötszűrűs meleghengelési folyamat fizikai szimulációja során felvett folyási görbék  
 b) A Ford-próba keresztmetszete a szimuláció után.

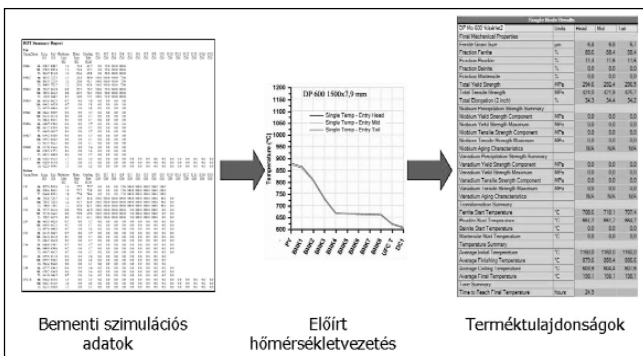
a szimuláció során a folyamatok gyorsabban zajlanak le mint a valóságban. A szimulációs szoftverek fizikai ablaka az eddig tárgyalt esetekhez viszonyítva a legszélesebb, a korlátokat lényegében azoknak a természettudományi törvényeknek az érvényességi köre határolja be, amelyeket figyelembe vettünk (11. ábra). Természetesen a kódolás minősége is mértékadó szempont a hardver-feltételek mellett. Mivel a természettudományi törvényeket a műszaki anyagtudomány szerszámaiként definiáltuk, a számítógépes folyamatmodellek a műszaki anyagtudomány szuperszámaikat jelentik.

### Egy lehetséges kutatás-fejlesztési stratégia

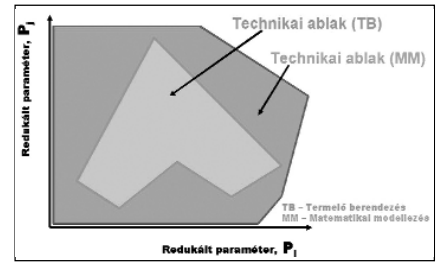
Az eddig ismertett technikai lehetőségek és megfelelő szakmai felkészültség mellett milyen kutatás-fejlesztési stratégia javasolható? Valamilyen vaskohászati technológia fej-

lesztéséhez feltétlenül birtokában kell lennünk az adott gyártási folyamat számítógépes folyamatmodelljének, amely képes a szimulált folyamat eredményeképpen létrejövő virtuális termék tulajdonságainak predikciójára is. Ismét csak a többszűrűs szélesszalag hengrelés példájához folyamodok. Az ISD Dunafer Zrt. birtokában van az AISI által kifejlesztett HSMM-szoftver (Hot Strip Mill Model), amely kielégíti az előbb megfogalmazott követelményeket.

Az anyagminőség és a technológiai paraméterek kijelölése után a szoftver pár perc futási idő alatt szolgáltatja a virtuális termék tulajdonságaira vonatkozó adatokat (12. és 13. ábra). Kellő üzemi tapasztalatokkal viszonylag hamar, kevés futtatási kísérlettel kialakítható az előírt tulajdonságeggyűttest biztosító technológia. A futtatási eredményeket bemutató ábra talán megfelelően szemlélteti azt a körülményt, hogy a predikciós számítógépes folyamatmo-



■ 12. ábra. A HSMM szoftver néhány futtatási eredménye: a terméktulajdonságok meghatározásának három alapvető lépése

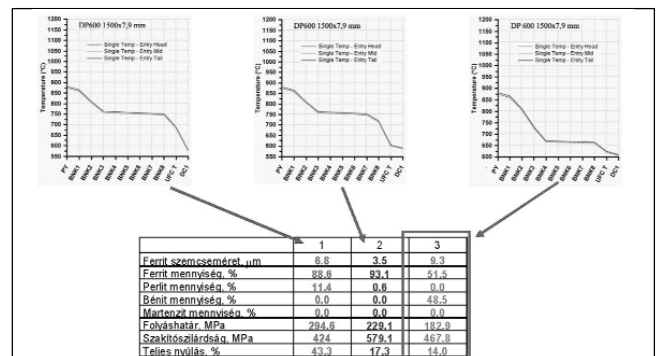


■ 11. ábra. A számítógépes szimuláció technikai ablaka és ennek helyzete az ipari termelőberendezés technikai ablakához viszonyítva

dellek alkalmazása – elsősorban a tömegtermelési folyamatokban – részben vagy egészen kiválthatja a tényleges vizsgálatok, mérések elvégzését.

A folyamatszimulációs szoftverek futtatásához számos technikai adatra és anyagjellemző értékre is szükség van. Az anyagjellemzők jelentős része ma már a vegyi összetétel alapján szoftverek segítségével meghatározható. Vannak azonban olyan adatok is, amelyek csak célzott mérésekkel határozhatók meg. Ilyenek lehetnek pl. az acélok folyási görbéi. A folyási görbék felvételére adott hőmérsékleten és alakváltozási sebesség mellett a fizikai szimulátorok is alkalmasak. Ez a mérési módszer azonban célját és jellegét tekintve alapvetően különbözik a technológiai folyamatok fizikai szimulációjától, hiszen ebben az esetben egy adott fizikai jellemző, adott körülmények között történő meghatározásáról van szó.

Várható a jövőben az ún. inverz szimulációs módszerek elterjedése. Ebben az esetben az eredményekből, a tulajdonságokból kiindulva és a technikai korlátok figyelembe vételével lehet technológiát tervezni, pró-



■ 13. ábra. A HSMM szoftver néhány futtatási eredménye: három hőmérsékletvezetésű ciklus eredményeként kapott terméktulajdonságok alapján történő döntés

bálgatás nélkül. Ha adott tulajdonságegyütteshez keresünk összetételt és technológiát, akkor szükségszerűen felvetődik az a kérdés is, hogy bármely tulajdonságegyütteshez hozzárendelhető-e valamely létező anyag vagy sem.

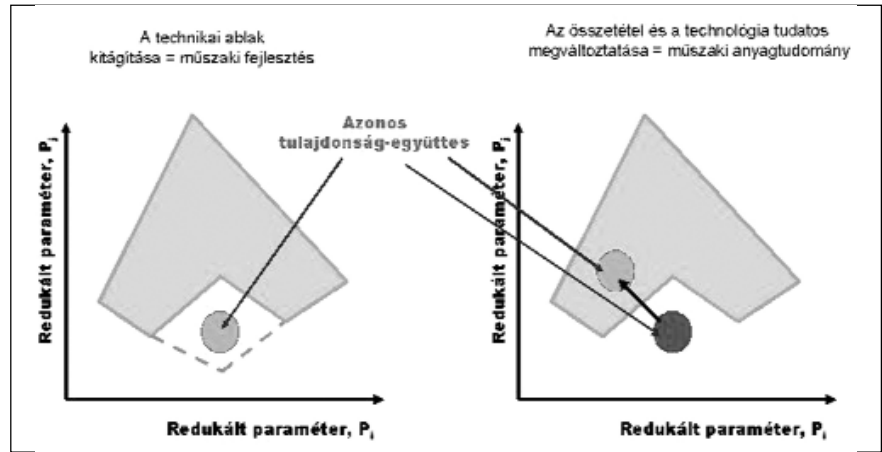
A jelenlegi tudásunk alapján az ún. reciprocitás elv nem érvényesülhet a tulajdonságok és az anyagok összetétele és szerkezete közötti kapcsolatrendszer teljes körére. Az anyagtudomány fejlődése azonban feltétlenül ennek az érvényességi körnek a kibővülése irányában hat, gondoljunk csak a társított anyagokra.

Visszatérve a meleghengerlés konkrét példájára, amennyiben sikerült a megfelelő meleghengerlési szűrőtervet és hűtési stratégiát megtalálni, a jellemző adatokat átvihetjük – akár online – a termomechanikus szimulátorba, és ott a megfelelő acélmintán elvégezzük a fizikai szimulációt. A tényleges ipari folyamat idejével megegyező idő eltelte után kezünkbe vehetjük a próbatestet és a mérési eredményeket. Metallográfiai úton ellenőrizzük a szövetet, lehetőség szerint az ausztenit újrakristályosodásának mértékét is. A matematikai és fizikai szimuláció eredményeinek összesítése már lehetővé teszi a megalapozott üzemi kísérlet végrehajtását.

Mivel mind a matematikai, mind a fizikai szimuláció technikai ablaka tágabb, mint a termelőberendezésé, lényegében két esettel találhatjuk magunkat szembe. Kedvező esetben a szimulációs módszerekkel meghatározott technológiai ablak az ipari termelőberendezés technikai ablakán belül van, ekkor az üzemi kísérlet végrehajtható.

A piaci igények folyamatos változása elsősorban a speciális tulajdonságegyüttesű acéltermékek iránti fokozott igények miatt szükségszerűen egyre gyakrabban olyan technológiai variációk megvalósítását követeli meg, amely technológiai ablaka az ipari termelőberendezés technikai lehetőségén kívül esik.

Amennyiben ez a helyzet alakul ki, a vállalat kétféle megoldási módot értékelhet. Az első esetben a megoldást az ipari termelőberendezés technikai adottságainak bővítése jelenti (14.a ábra). Ez a megoldás természetesen igen jelentős



■ 14. ábra. Egy új tulajdonság-együttesű termék előállításának lehetőségei  
a) technikai adottságok fejlesztésével  
b) új összetételű anyag és módosított technológia alkalmazásával

költségigényű lehet, és megvalósítása viszonylag hosszú időt vesz igénybe.

A második esetben – hangsúlyozva azt, hogy adott tulajdonságegyüttesű terméket kívánunk előállítani – módosítanunk kell az adott technológiai folyamatban feldolgozandó anyag összetételét, és ehhez az összetételhez kell kidolgozni a technológiát. Kedvező esetben az új technológiai variáció már beleeshet az ipari termelőberendezés technikai ablakába (13.b ábra).

A vázolt folyamat maga a tudatos anyagtervezés és -előállítás folyamata, amely mai fogalmaink szerint a műszaki anyagtudomány lényegét jelenti.

### Összefoglalás

Az eddig elmondottak összegzéseként eljuthatunk a virtuális üzem, a virtuális termék és a virtuális termék-tulajdonságok fogalmakhoz. Egy modern vaskohászati üzem, pontosabban annak működtetése nem képzelhető el folyamatirányítás, folyamatirányító szoftverek nélkül. Ezek legfejlettebb változataival nem csak a technológiai paramétereket „tartjuk” kézben, hanem a termék tulajdonságait is számítjuk.

Az egyes termelési folyamatok folyamatirányító és tulajdonságbecslő szoftverei egymás után kapcsolva létrehozzák az ún. virtuális vaskohászati üzemet. Nyilvánvaló, hogy a virtuális üzem a felsőfokú oktatási intézmények, a kutató intézetek illetve a vállalatok innovációs részlegeiben

működtethető. Ezeknek a szoftvereknek a fejlesztése is lényegében ugyanezekben a munkahelyeken történhet, az üzemi szakemberek tapasztalatainak messzemenő figyelembevételével.

Ha az elmondottak összefoglalásaként elfogadjuk, hogy a vázolt kutatás-fejlesztési stratégia eredményes és hatékony, akkor ebből a konszenzusból – véleményem szerint – az is levezethető, hogy a 21. század első harmadában működő alkalmazott kutatást végző intézményeknek milyen struktúrájának, milyen személyi állományúnak és milyen felszereltségűnek kell lennie.

### Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondok a felsorolt kollégáknak az egyes ábrák anyagainak rendelkezésemre bocsátásáért:

Dénes Éva, ISD Dunaferri Zrt.,  
Tóth Attila Lajos, KFKI-MFA,  
Dobránszky János, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Szabó Péter János, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Jenei István, Dunaújvárosi Főiskola,  
Kardos Ibolya, Dunaújvárosi Főiskola,  
Sebő Sándor, Hujber Zoltán, Illés Péter, ISD Dunaferri Zrt.,  
Farkas Péter, Dunaújvárosi Főiskola,  
Felde Imre, Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológiai Intézet.

# Meleghengерlés közben lejátszóó (a melegен hengerelt szalag tulajdonságait befolyásoló) folyamatok kutatása Gleeble 3800 szimulátor alkalmazásával

## Előkészület a HSMM szoftverhez való csatlakozáshoz

*A dolgozat két esettanulmány segítségével mutatja be a fizikai szimulációnak a műszaki fejlesztésben betöltött szerepét. A két eset a műszaki/technológiai fejlesztés két lehetséges változatát képviseli. A melegен hengerelt mikroötvözött csőacél szalag mechanikai tulajdonságainak javítását az alapanyag összetételének megváltoztatásával, míg a melegен hengerelt ötvözetben a szélesszalag szövetszerkezetének kedvezőbbé tételét a technológiai paraméterek változtatásával lehetett elérni. A HSLA acél és az ötvözetlen alumíniumötvözet meleghengерlési technológiájának módosításakor a fizikai szimulációból származó információkra támaszkodtunk, amelyeket egy Gleeble 3800 típusú termomechanikus szimulátoron hajtottunk végre.*

### 1. A kristályregenerációs folyamatok előrehaladásának vizsgálata meleghengерlés során

#### 1.1. A HSMM szoftver bemutatása

Az Amerikai Vas- és Acélintézet (American Iron and Steel Institute = AISI) az Egyesült Államok Energia Minisztériumával (U.S. Department of Energy = DOE) közösen támogatta a szélesszalag meleghengерművek számára készülő mechanikai tulajdonságmodell kifejlesztését.

Az így elkészült Szélesszalag Meleghengерmű Modell (Hot Strip Mill Model = HSMM) 6.3-as verziója lehetővé teszi azt, hogy a felhasználók könnyedén beállítsák a saját hengерműi konfigurációkat, szimulálják a hengерmű szúrástervét és kalibrálják a modellt különböző acélminőségek esetén. A hevítő kemencéből történő kiszédéstől elindulva, a modell szimulálja az előnyújtó hengерállványokat (reverzáló és folyamatos sor) a hő kiegyenlítő berendezést (coil-box és különféle árnyékolók), a készsori áll-

ványokat (tandem és Steckel állványok), a kifutó görgősört és a hengерmű kiadó oldalát. A HSMM fizikai modellek sorozatát használja ahhoz, hogy a meleghengерműben feldolgozott acél termomechanikai és mikro-szerkezeti alakulását kiszámítsa, és előre jelezze annak végleges mechanikai tulajdonságait és szövetszerkezetét.

A szoftver egyik beépített modulja, a mikroszerkezeti modell kiszámítja az ausztenit újrakristályosodásának, szemcsenövekedésének, a kiválási jelenségeknek, és a fázisátalakulásnak a késztermék mechanikai tulajdonságaira (folyáshatár, szakítószilárdság, nyúlás) és szövetszerkezetére gyakorolt hatását. A másik, a termomechanikai modell számításai lefedik a hengерlés minden egyes szakaszát, kezdve attól, hogy a bugát kiveszik a hevítő kemencéből, egészen addig, míg a készterméket felcsévélik a csévéelőben vagy továbbítják a hűtőpadra. Az említett számítások a következőket takarják:

- idők és sebességek anyagtovábbítás és hengерlés közben,

**Bereczki Péter** a BME Közlekedésmérnöki Karán végzett 2010-ben gépészmérnök szakon Jelenleg ösztöndíjas doktórandsz hallgatóként ultrafinom- és nanoszemcsés, tömbi ötvözetek fejlesztésével foglalkozik. A Dunaújvárosi Regionális Anyagtudományi és Technológiai Tudásközpontnál tudományos segédmunkatársként a Gleeble 3800-as termomechanikus szimulátorral végez különböző technológiai szimulációkat és anyagvizsgálatokat, valamint többtengelyű kovácsolási szimulációkat.

**Józsa Róbert** okleveles kohómérnök 1981-ben szerzett diplomát, majd 1982-ben minőségügyi mérnök, 2005-ben pedig közgazdász szakmérnöki képesítést szerzett. 1981 óta dolgozik az ISD Duna-

ferr Zrt. Technológiai Igazgatóságán, technológiai osztályvezető, termelési osztályvezető, vezetőtechnológus, főmetallurgus munkakörben, jelenleg pedig technológiai vezetőmérnökként tevékenykedik. Főbb feladatai közé tartozik a technológiai folyamatok kontrollálása, a technológiafejlesztés, a minőségfejlesztés és a vevőkapcsolatok kezelése.

**Portász Attila** okleveles kohómérnök képlékenyalakító szakirányon szerzett diplomát 2009-ben. 2003 óta dolgozik az ISD Duna-ferr Zrt.-nél. 2007-től a Technológiai Igazgatóságon technológiafejlesztési főmunkatárs. Fő szakterülete az acéllemezek hidegalakíthatósága, a gyengén ötvözött, nagy szilárdságú acéllemezek meleghengерlési

technológiája és ötvözési koncepciója. **Fehér Jánosné dr.** (sz. Rédei Kornélia) okleveles kohómérnök az NME Kohómérnöki Kar Fém-tani ágazatán szerzett diplomát 1982-ben, doktori disszertációját 1990-ben védte meg. 1996 óta dolgozik az Alcoa-Kőfém Kft.-ben. Jelenleg a Hengерmű és Öntöde vezető metallurgusa, és a termék- és folyamatfejlesztések mellett a gyáregység területén működő kémiai, metallurgiai és mechanika laborok tevékenységét is irányítja.

**Virág János** okleveles kohómérnök alaktástechnológiai szakon szerzett diplomát 1978-ban. 1981 óta dolgozik az Alcoa-Kőfém Kft. Hengерművében. Jelenleg termék-, technológia- és minőségfejlesztéssel foglalkozik.

- az anyag hőmérsékletének alakulása,
- hengerrés paraméterek: folyási feszültség, alakváltozás, alakváltozási sebesség, hengrelési erő,
- motornyomatékok, teljesítmények és terhelési arányok,
- termelési mutatók.

A hőmérséklet és az alakváltozás modelleket összekapcsolva a HSMM egyik fő célja az, hogy a mikroszerkezet (és az ebből következő mechanikai tulajdonságok) alakulását pontosan előre jelezze az acélok meleghengelése esetében.

## 1.2. A Gleeble 3800 szimulátor bemutatása

Ahhoz, hogy a HSMM szoftver modellezni tudja a meleghengeléskor lejátszódó folyamatokat az egyes acélminőségek esetében, meg kell adni anyagjellemzőket.

A kémiai összetételén és a fizikai jellemzőkön (fajhő, hővezetési tényező, hőtágulás, sűrűsége és emisszió) túl meg kell határozni számos, a mikroszerkezet változását leíró konstitutív anyagegyenletet.

A konstitutív anyagegyenletek ezakt megadásához az adott anyagminőségen olyan konkrét melegalítási kísérleteket kell végezni, melyek a meleghengelés során kialakuló alakváltozási- és feszültségállapotot megközelítik, valamint a hőmérsékletvezetés, az egyes alakítások mértéke és sebessége pontosan szabályozható. Továbbá az alakítási folyamat egyes paraméterei (anyaghőmérséklet, deformáció, alakítási erő) mérhetőek annak érdekében, hogy az anyagban bekövetkezett mikroszerkezeti változásokat kvantitatív módon jellemeznünk tudjuk. Ilyen kísérleteket leggyakrabban Gleeble termomechanikus szimulátorral végeznek. A Hydrawedge egységgel felszerelt szimulátor képes többlépcsős meleghengelés szimulációt végrehajtani Ford-féle ékbenyomó próbán a termikus és a mechanikai viszonyok előbbiekben meghatározott pontos szabályozása mellett.

Az 1. ábrán látható Gleeble 3800 egy teljesen integrált, digitális, zárt szabályozó rendszerekkel rendelkező termomechanikus szimulátor, mely különböző gyártási folyamatok

fizikai szimulációjára, termomechanikus kezelésekre és anyagvizsgálókatra egyaránt alkalmas. A berendezés két fő része a termikus rendszer és a mechanikai rendszer, melyeket a főegység és az ahhoz csatlakoztatott, a szükséges vizsgálathoz célszerűen választott MCU (MCU=Mobile Conversion Unit, azaz „mobil átalakító egység”) együttese alkotja. Az említett két rendszer működtetéséhez szükséges további egységek:

- a mechanikai rendszerhez tartozó pneumatikus dugattyú táplálását végző kompresszor,
- a hidraulikus dugattyú meghajtását biztosító rendszer,
- a hőelvezetésért felelős hűtőegység,
- a légritka vizsgálati teret létrehozó vákuum-egység.

A szimulátor vezérlését és szabályozását a vezérlő számítógép végzi. A vezérlés egy Windows-alapú szoftverben, a Quiksim-ben készített programok segítségével történik.

A programok által lehetőség van számos vezérlési módra, így például az elmozdulás, az erő, az opcionálisan felszerelhető nyúlásmérő, a valódi és mérnöki feszültség illetve alakváltozás, valamint a hőmérséklet alapján történő vezérlésre. Továbbá a mechanikai rendszer lehetővé teszi az említett vezérlési módok közötti váltást a szimuláció alatt, mely lehetőség biztosítja a termomechanikus folyamatok szimulációjához szükséges rugalmasságot. A különböző mérőrendszerek, mint például az elmozdulás érzékelők, az erőmérő cellák, vagy az opcionális érintésmentes lézeres nyúlásmérő által mért, és a



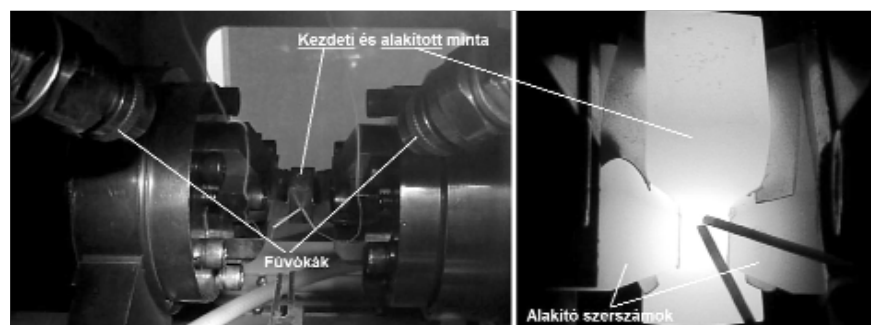
■ 1. ábra. Gleeble 3800 termomechanikus szimulátor

vezérlő számítógép perifériáinak csatlakoztatott kártyák segítségével feldolgozott értékek pedig a szimuláció szabályozását teszik lehetővé, elősegítve mechanikai vizsgálati program pontos végrehajtását és reprodukálhatóságát. A mérőrendszerek által mért mennyiségek mintavételezési gyakoriságát szintén a programban állíthatjuk be, a szimuláció egyes szakaszaiban külön-külön is. Ennek maximális értéke 20000 Hz.

A teszt végeztével a gyűjtött adatok OriginTM szoftverbe egyszerűen betölthetők, majd a szükség szerint kiválasztott adathalmazokból grafikonok készíthetők a vizsgálat kiértékeléséhez.

### 1.2.1. A termikus rendszer

A Gleeble 3800-as szimulátor termikus rendszerében a mintát ellenállásfűtéssel hevítjük a kívánt hőmérsékletre, akár 10000 °C/s sebességgel. A mért és programozott módon mintavételezett hőmérsékletértékek segítségével szabályozható a minta hőmérséklete, így állandósult egyensúlyi hőmérséklet biztosítható. Továbbá tetszés szerinti hőmérséklet profil is megvalósítható. A mintadarab felületi hőmérséklete négy helyen mérhető, melyek mindegyikére különböző típusú (E, K, R, S, B) termo-



■ 2. ábra. Többlépcsős, nagysebességű meleghengelés szimuláció

elem-pár vagy pirométer csatlakoztatható, attól függően, hogy milyen hőmérséklettartományban illetve milyen közegben (vákuumban vagy védőgázban) kívánjuk végezni a szimulációt. A termoelemek a minta felületén hegesztéssel rögzítendők, melyet a Gleeble rendszerhez tartozó hegesztő berendezésen végzünk. Lehetőségünk van a minták szabályozott hűtésére is. Ennek eszköze egyrészt az alakító szerszámok, vagy befogópofák belső hűtése, másrészt a nagyobb hűtési sebességek, akár 10 000 °C/s elérésére különböző gyors-hűtő egységek. Ezek levegőnyomással juttatnak vizet a furattal ellátott próbatestek belsejébe, vagy a tömör minták felületére.

### 1.2.2. A mechanikus rendszer

A Gleeble 3800 mechanikai rendszerre teljesen integrált szervohidraulikus rendszer, mely akár 20 tonna statikus nyomóerőt, vagy 10 tonna húzóerőt is képes kifejteni. Az elmozdulás sebessége maximum 2000 mm/s lehet.

A mechanikus rendszer tartalmaz egy kétdugattyús pneumatikus egységet is, mely a hidraulikus rendszertől függetlenül képes mozgatni az alakítást végző pofákat.

Egyik feladata, hogy a síkbeli alakváltozást létrehozó, a meglehengerlést szimuláló vizsgálatoknál felfűtés alatt és az alakítások között, a minta

és a pofák közötti megfelelő kontakthoz szükséges előfeszítést biztosítsa.

### 1.2.3. Többlépcsős, nagysebességű meglehengerlés szimulációja

A 2. ábrán látható, ék alakú nyomópofákkal, hasáb mintán létrehozott, síkbeli alakváltozást eredményező vizsgálat széles körben alkalmazott a meglehengerlés szimulálására. Ebben az esetben az alakító erők komponensei, az alakváltozás és a termikus viszonyok alakulása nagymértékben megegyezik a hengerlésnél tapasztaltakkal.

A meglehengerlés szimulációjához általában az első szűraskor nagymértékű és kis sebességű alakításra, míg a további szűraskorok kisebb mértékű, de nagyobb sebességű alakításokra van szükség. A szimuláció pontos végrehajtásához a nagy alakváltozási sebesség mellett szükség van a programozott alakváltozás egyeztetésére is. A hagyományos szervohidraulikus hajtásoknál a szelepek nagy válaszüzeje miatt, ha nem csökkentik az alakítás végén a nyomófej sebességét, akkor a pofák túlfutnak. Ellenkező esetben pedig az alakváltozási sebesség nem lesz megfelelő az alakítás végén.

Annak érdekében, hogy a Gleeble 3800 szervohidraulikus rendszerével ezek a követelmények megvalósíthatók legyenek egy különleges, Hydra-

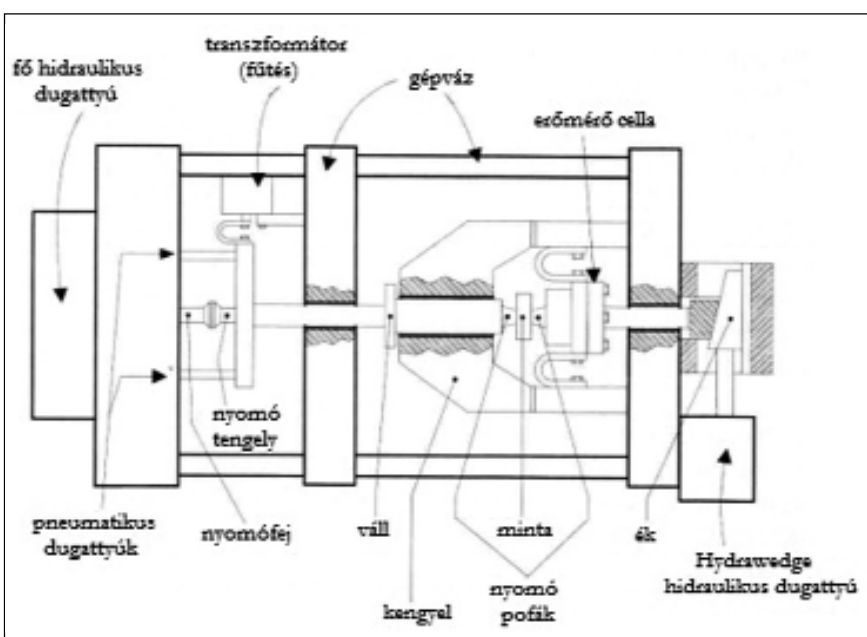
wedge nevű alakítást segítő eszköz (MCU-t) alkalmazunk. A főegység és a Hydrawedge által megvalósított rendszer sematikus vázlatát a 3. ábrán látható. A szervohidraulikus hajtással működtetett nyomófejvel szinkronban mozgó Hydrawedge egység tengelye rugalmas mechanikai ütközőként működik, mely lehetővé teszi az elsődleges hidraulikus nyomófej megállítását egy nagy merevségű, rögzített kengyelnek való ütközéssel. Így az alakváltozási sebesség állandó értéken tartható a deformáció alatt. Az alakváltozás mértékének pontos szabályozására pedig a Hydrawedge szervohidraulikus rendszerét használják, mely a mintát mozgatja az alakítások között, így beállítható a következő szűraskor programozott pontos alakváltozás, hiszen fő hidraulikus nyomófej mindig ugyanott fog megállni.

## 2. A kristályregenerációs folyamatok vizsgálata az acélok ausztenites állapotában, az előnyújtás hatása az ausztenites szövetszerkezet alakulására meglehengerléskor

Acélok meglehengerlése közben, ausztenites állapotban az alakítások és a termikus viszonyok hatására kialakuló szövetszerkezet kvantitatív és kvalitatív jellemzéséhez, illetve ahhoz, hogy a HSMM szoftver mikrostrukturális moduljának működéséhez szükséges konstitutív anyaggyenlekek meghatározásához mérési eljárásokat dolgozzunk ki, egy mikroötözött acélminőség meglehengerlésének szűrastervét optimalizáltuk ipari megbízás keretében.

A projekt részeként az ausztenit újrakristályosodásának előrehaladását vizsgáltuk és mennyiségileg is jellemeztük.

A mikroötözött acélok meglehengerlésekor termomechanikus hengerlést alkalmaznak egy-, vagy kétlépcsős gyorsított hűtéssel kiegészítve. Ezzel a technológiával elérhető a bénites – tús vagy poligonális ferrites szövetszerkezet a késztermékben. A kívánt szövetszerkezet eléréséhez az előnyújtóból kilépő lemeznek teljes keresztmetszetében újrakristályosodott, közel azonos méretű poligonális ausztenitet kell tartalmaznia. Az ausztenit újrakristályosodása lejárt-



■ 3. ábra. A főegység és a Hydrawedge által megvalósított rendszer sematikus vázlatát

szódásának helyét tekintve lehet dinamikus az alakítás alatt, illetve a következő szűrésig eltelt közidőben a dinamikus rekrisztallizáció előrehaladása révén metadinamikusan, valamint a szűrés közben a tárolt energia és a termikus aktiváció eredményeképpen statikus. A dinamikus és ezáltal a metadinamikusan újrakristályosodást az oldott molibdén, vanádium és bór is jelentősen gátolja. Az oldott molibdén és nióbbium szinergikus hatása révén a statikus rekrisztallizáció is jelentősen gátolt a mikroötvözött acélokban. Ezen minőségeknél, így az X80 szilárdsági szintű acélnál is lényegesen nehezebb elérni a kívánt, teljes keresztmetszetben újrakristályosodott szövetszerkezetet az előlemezben, mint az ötvözetlen acélok esetén.

Az előbbieken kifejtett irányelvek alapján szükséges vizsgálni a kész-sorba belépő előlemez auszteniájának mikroszerkezetét, átlagos szemcseméretét, a szemcsék alakját és az auszteniát újrakristályosodásának mértékét az előnyújtó szűrőszerv szimulálásával.

Az előnyújtás külön fizikai szimulációja azért is szükséges, mert a többlépcsős megleghengerlés-szimulációhoz alkalmazott próbatest 10 mm-es vastagsága nem elegendő a teljes hengerlési folyamat reprodukálásához.

#### A minták előkészítése:

Az öntött bugákat újrahevítettük 1200 °C-ra, majd egymellel, 7-szeres átkovácsolással ~12 mm vastagsá-

gúra nyújtottuk egy két-állványos szabadon alakító légalapácson azért, hogy az öntött (primer) szövetre jellemző durva dendritok összetöredezzenek. Az elkészült kovácsdarabokból munkáltuk ki a fizikai szimulációhoz szükséges 10×15×20 mm-es hasáb próbatesteket, amelyeket indukciós laboratóriumi kemencében hőkezeltünk; 1200 °C-ra hevítve 1 °C/s fűtési sebességgel, majd hűtve 10 percig. Ezzel reprodukáltuk a megleghengerlési tolokemencén áthaladó bugák újrahevítési körülményeit. A hűtést követően jeges vízben leedzettük a mintákat, hogy a homogenizálás alatt oldatba vitt mikroötvözők karbidjai ne válhassanak ki.

A továbbiakban a fizikai szimuláció programozásához szükséges adatokat határozzuk meg.

#### 2.1. A szűrési közidők számítása

Az egyes alakítások között eltelt időtartam, azaz a szűrési közidő alatt játszódik le a statikus újrakristályosodás, melynek jelentős szerepe van az auszteniát szemcsealakjának és méretének alakulásában az előnyújtás előrehaladása során.

Ehhez első lépésben szükségünk van az ISD Dunafer Zrt. Meleghengerművében működő előnyújtó állványcsoport és a coil-box bizonyos, a szűrési közidők számításához

**1. táblázat.** Az előnyújtás szimulációjához szükséges paraméterek

buga méretei	vastagság (mm)	230
	szélesség (mm)	1305
	hosszúság (mm)	7400
a buga gyorsulása/lassulása (m/s <sup>2</sup> )		2,0
a coil-box csévévelési sebessége (m/s)		3,2
a coil-box előtti várakoztatás időtartama (s)		20
az előlemez coil-boxban töltött ideje (s)		10

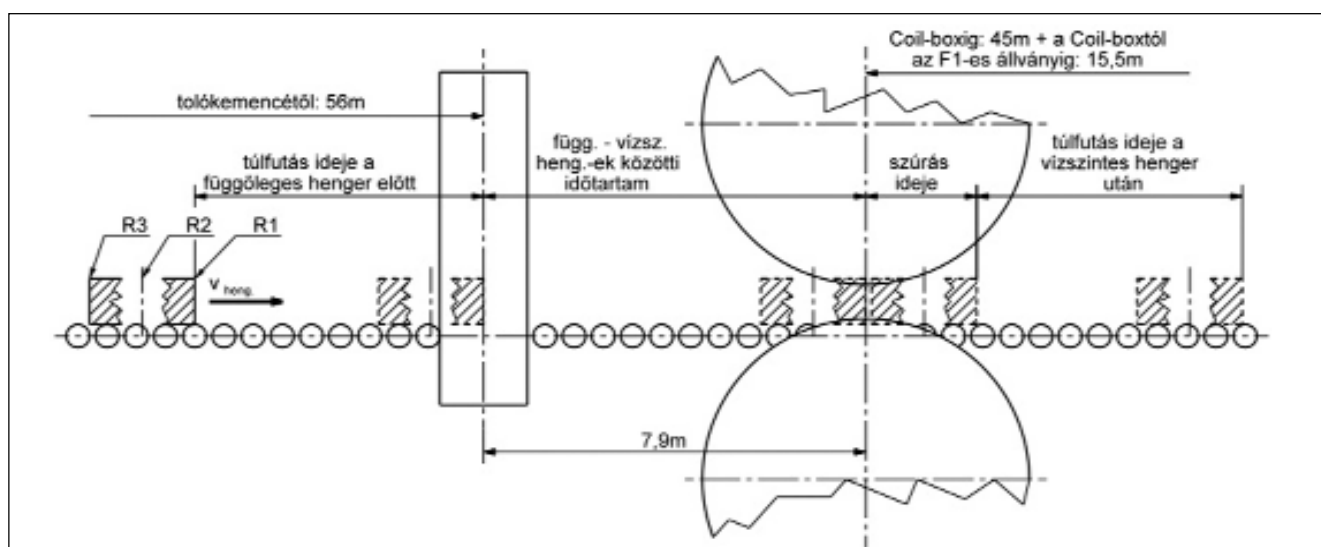
szükséges jellemző méreteire. Továbbá a buga mozgásának kinetikai leírásához szükségesek az előnyújtás és a csévévelés folyamatának egyes sebességi és időbeni paraméterei, valamint a buga geometriai méretei. Ezeket az adatokat az 1. táblázat tartalmazza.

A szűrési közidőket az előlemez egyes referenciapontjaira számítottuk ki:

- R1: a hengerlés alatt az előlemez haladási irányában, annak eleje,
- R2: az előlemez közepe,
- R3: az előlemez vége.

A 4. ábra szemlélteti az előlemez azon kitértetett pozícióit, melyek között eltelt időtartamokból a lemez egyes referenciapontjaira számíthatók a szűrési közidők, valamint a tolokemencétől egészen a készsorig azokat a távolságadatokat, melyekből számíthatók a szimuláció programozásához szükséges egyéb időtartamok. Az alábbi ábrán az „R1” referenciapontra ábrázoltuk az említett időtartamokat.

A 2. táblázat tartalmazza az X80-as acélminőség hengerléséhez beve-



■ 4. ábra. Az előnyújtó sematikus rajza

2. táblázat. Az X80-as acélminőség előnyújtói szűréstervének beállítási értékei

Szűrészám (l)	Vízszintes henger fordulatszáma az i-edik szűrásban(1/min)	Hengerlési sebesség (m/min)	Függőleges hengerrés (mm)	Vízszintes hengerrés (mm)	Előlemez hossza (mm)
1.	41	152,25	1291,0	211,4	8138,4
2.	37	137,39	1346,0	184,9	8924,6
3.	39	144,82	1346,0	157,8	10457,3
4.	42	155,96	1265,0	133,4	13162,1
5.	43	159,67	1243,0	120,8	14792,2
6.	45	167,10	1243,0	98,8	18086,0
7.	45	167,10	1242,0	80,3	22270,7
8.	44	163,39	1248,0	63,0	28249,8
9.	57	211,66	1247,0	51,1	34856,4
10.	53	196,81	1291,0	39,7	43336,4
11.	51	189,38	1291,0	29,4	58518,9

zetni kívánt szűrésterv alapján alkalmazott hengerrés beállításokat és a henger fordulatszámaikat az egyes szűrásokban.

Ezen adatokból, a vízszintes henger 1182 mm-es átmérőjét felhasználva számítottuk a hengerlési sebesség értékeit az alábbi (1) összefüggéssel:

$$v_{heng.} = \frac{n \cdot D \cdot \pi}{1000} \quad (1)$$

ahol: n a vízszintes henger fordulatszáma az i-edik szűrásban (1/min)

D a vízszintes henger átmérője (mm)

Továbbá a feltételezve hogy az előlemez térfogata az előnyújtás teljes folyamata alatt nem változik, a buga kiinduló méreteiből számított a térfogatot állandónak tekintjük. Az egyes szűrásokban megadott vízszintes és függőleges hengerrések szorzatából számítható az előlemez keresztmetszete a szűrások után. A térfogat-állandóságot felhasználva adódik tehát az egyes szűrások után az előlemez hossza is.

Az 1. táblázat, a 4. ábra és a 2. táblázat értékeinek felhasználásával számítottuk a 3. táblázat szerint az egyes előnyújtói szűrások előtti közidőket. A számított értékek mozgásegyenletek eredményei a reverzáló

előnyújtó állványcsoport geometriai méreteiből és a szűréstervben alkalmazott paraméterekből számítva.

Az 5. ábra az előlemez különböző referenciapontjaira grafikonon ábrázolja az egyes szűrások előtti közidőket.

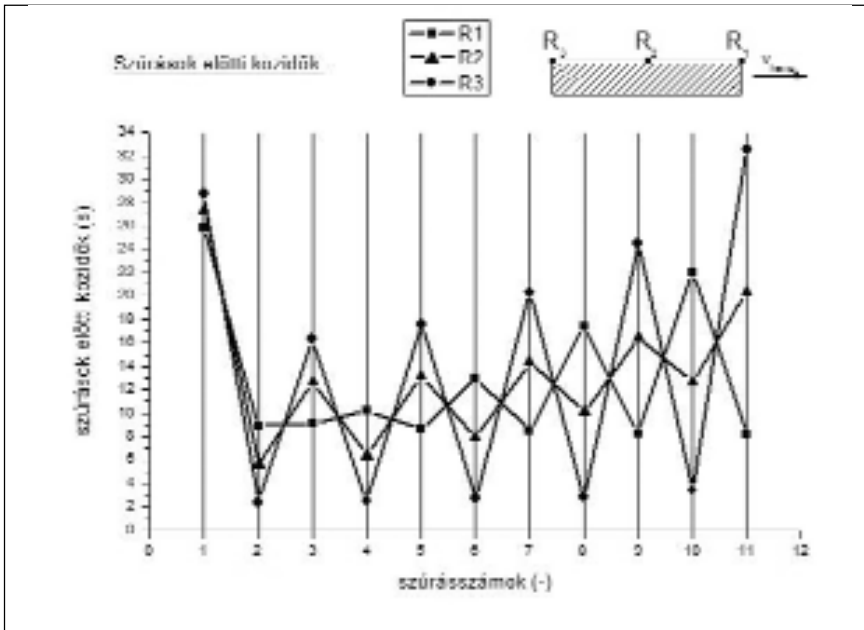
A közidők az egyes referenciapontok esetén ezen hengerpárral való érintkezések közötti időtartamot jelentik, ezért a páratlan szűrások előtti időközök nagyobbak, mint a páros szűrások előtt. Ennek eredményeképp lesz a közidők grafikonja fűrészfogszerű.

Megfigyelhető továbbá, hogy a közidők számítására használt elméleti mozgásegyenletek eredményeképp minden szűrásra igaz: a két lemezszélre ( $R_1$  és  $R_3$ ) számított közidők számtani közepe a lemezközépre ( $R_2$ ) számított közidő. Az előnyújtás szimulációs programjában az  $R_2$  referenciapontra számított közidőket használtuk, mivel azok középértékeket képviselnek, és reprezentálják a geometria aszimmetriájából eredő eltéréseket. Megemlíthető azonban, hogy a lemez végei felé haladva az egyes szűr-

3. táblázat. Szűrési közidők számítása

Szűrészám	Túlfutási idő (s) (függőleges henger előtt)	Függ.-vízszint. hengerek közötti idő (s)	Vízszintes hengerlési idő (s)	Túlfutási idő (s) (vízszintes henger után)	Szűrások előtti közidő [ $t_{ki}$ ] (s)	Szűrások előtti közidő [ $t_{ki}$ ] (s)	Szűrások előtti közidő [ $t_{ki}$ ] (s)	
1.	22,70	3,1	2,92	1,27	25,8	27,3	28,7	
2.	1,14	3,4	3,55	1,14	8,9	5,6	2,4	
3.	1,21	3,3	3,70	1,21	9,1	12,7	16,3	
4.	1,30	3,0	4,02	1,30	10,2	6,4	2,5	
5.	1,33	3,0	4,95	1,33	8,6	13,1	17,6	
6.	1,39	2,8	5,31	1,39	13,0	7,9	2,7	
7.	1,39	2,8	6,49	1,39	8,5	14,4	20,3	
8.	1,36	2,9	8,18	1,36	17,4	10,1	2,8	
9.	1,76	2,2	8,01	1,76	8,3	16,4	24,5	
10.	1,64	2,4	10,63	1,64	22,0	12,7	3,4	
11.	1,58	2,5	13,73	0,00	8,1	20,3	32,5	
előnyújtó összidő (s):					<b>130,97</b>	$\Sigma 139,9$	$\Sigma 146,9$	$\Sigma 153,7$
coil-box + készsori beadás összidő (s):					53,45	$R_1$ (buga eleje)	$R_2$ (buga közepe)	$R_3$ (buga vége)
kemencétől a készsorig (s):					212,1			

(\*megjegyzés: az 1. szűrésre számított „túlfutási idő a függőleges henger előtt” időérték a buga tolokemencéből való kivételéhez és az állványig való eljutásához szükséges összes időt jelenti)



■ 5. ábra. Szűrások előtti közidők

ISD Dunaferr Zrt.-től kapott információk, illetve konzultáció alapján a következők szerint készítettük el a szimulációt:

- a buga belépő hőmérséklete az előnyújtóba: 1150 °C, kilépő hőmérséklete: 1080 °C,
- alakítások között az előlemez hőmérsékletének csökkenése:  $\Delta T=7$  °C,
- a coil-boxban ~1000 °C-on homogenizálódik az előlemez,
- a készsori beadási hőmérsékletek: 965, 990 és 1010 °C.

A 4. táblázat összegzi a fentiekben számított szimulációs paramétereket.

Az előzőleg kemencében hőkezelt mintákat (a hőkezelésről a későbbiekben) 10 °C/s sebességgel hevítettük a homogenizálási hőmérsékletre,

sok előtt jelentősen eltérnek a közidők, s így várhatóan a statikus rekristallizációval újrakristályosodott ausztenit részarányai is. A későbbiekben tehát érdemes lehet az előlemez további referenciapontjaira is szimulálni az előnyújtást, vizsgálva ezzel a készsorbába beadandó lemez ausztenitjének mikroszerkezeti inhomogenitását.

## 2.2. Az alakítási mértékek, az alakváltozási sebességek és az alakítási hőmérsékletek számítása

A Gleeble-el végzett fizikai szimuláció programozásához a szűrások alatt megvalósuló redukciókból logaritmikus síkalakváltozást ( $\varphi_i$ ) kell számítani. Ezt a (2) egyenlet alapján számítottuk:

$$\varphi_i = \left| \frac{1}{0,866} \cdot \ln\left(\frac{h_i}{h_{i-1}}\right) \right| \quad (2)$$

ahol:  $h_i$  az  $i$ -edik szűrásban beállított vízszintes hengerrés

$h_{i-1}$  az  $(i-1)$ -edik szűrás utáni lemezvastagság (vízszintes hengerrés)

Az alakváltozási sebességet a következő összefüggésekkel (3) számítottuk:

$$h_{ki} = \frac{h_i + h_{i-1}}{2}; \Delta h_i = h_{i-1} - h_i; l_{di} = \sqrt{R \cdot \Delta h_i} \rightarrow \dot{\varphi} = \frac{\Delta h_i \cdot v_{i,ker.}}{h_{ki} \cdot l_{di}} \quad (3)$$

## 4. táblázat. A szimuláció további paraméterei

Szűrőszám (i)	Alakítás mértéke ( $\varphi$ )		Alakítás sebessége (1/s)	Alakítási hőmérsékletek (°C)
	Valódi alakváltozások (-)	25%-kal csökkentett alakváltozások (-)		
1.	0,10	0,08	1,442	1150
2.	0,15	0,11	1,730	1143
3.	0,18	0,14	2,133	1136
4.	0,19	0,14	2,565	1129
5.	0,11	0,08	2,162	1122
6.	0,23	0,17	3,460	1115
7.	0,24	0,18	3,891	1108
8.	0,28	0,21	4,598	1101
9.	0,24	0,18	6,204	1094
10.	0,29	0,22	7,095	1087
11.	0,35	0,26	8,528	1080
$\Sigma\varphi$	<b>2,36</b>	<b>1,77</b>		
Ford-próba végvastagsága (mm):	1,30	2,16		

ahol:  $h_{ki}$  az  $i$ -edik szűrás közepes lemezvastagsága

$\Delta h_i$  az  $i$ -edik szűrás alatti fogyás

$l_{di}$  az  $i$ -edik szűrásban a nyomott ív hossza

$R$  az alakító henger sugara

$v_{i,ker.}$  az  $i$ -edik szűrásban a henger kerületi sebessége

Az alakítási hőmérsékletek és a hőmérsékletvezetés tekintetében az

1200 °C-ra, amely megegyezik a tolokemencéből kilépő buga hőmérsékletével. A program végén 350 nyomás alatt lévő vizet fecskendeztünk az 1000 °C-os mintára az ausztenites szövetszerkezet befagyasztásához azért, hogy maratás után az ausztenit kristallitok szemcsehatarei láthatóvá váljanak. A 6. ábra egy megvalósított fizikai szimulációt és az alatt a minta felületén, a mérés alatt regisztrált hőmérsékletet, illetve az alakításokat azonosító feszültségcsúcsokat az idő függvényében mutatja.

### 2.3. Az előnyújtás fizikai szimulációjának értékelése

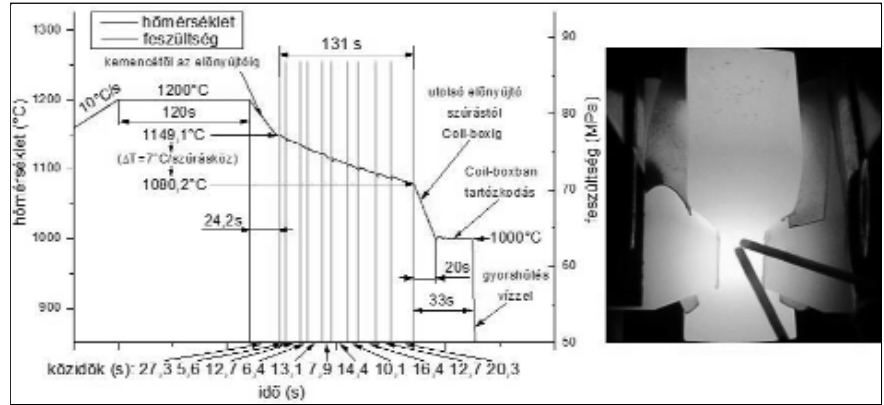
A szimulációt négy mintán végeztük el, két kiindulási összetételű (X80Mo0K1) és két növelt Mo-tartalmú (X80Mo2K1) próbatesten. A 7. ábra mutatja a mérések során regisztrált erő és pofa-elmozdulásokból számított feszültség-alakváltozás grafikonokat.

A grafikonokból az alábbi következtetések vonhatók le:

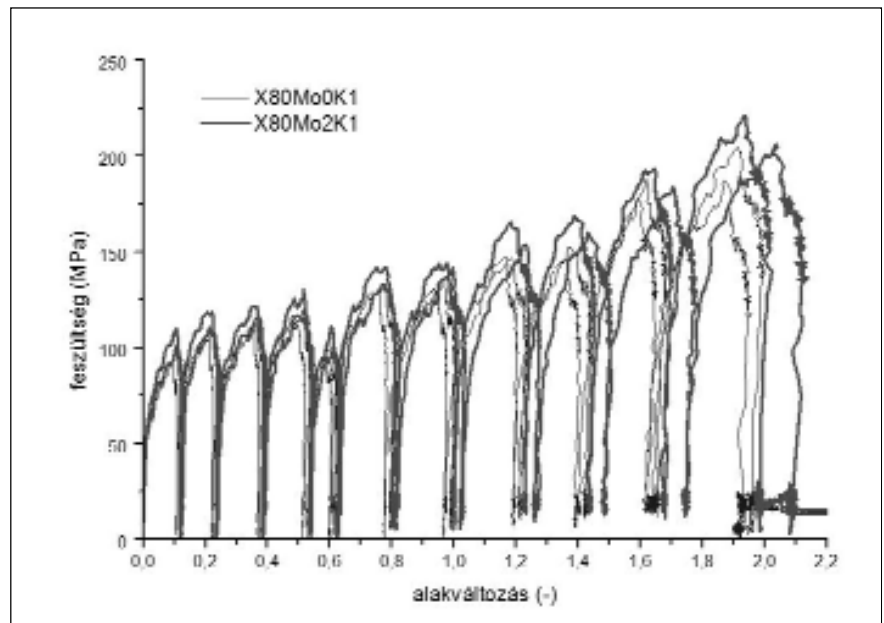
1. A két eltérő Mo-tartalmú ötvözet alakításakor nem tapasztalható jelentős különbség az alakítási ellenállások értékeiben. Ez arra enged következtetni, hogy az előnyújtás alatt a molibdén legnagyobb része szilárd oldat formájában van jelen az ausztenitben. Így a növelt Mo-tartalom nem okozott jelentős mértékű alakítási ellenállás növekedést.
2. A négy szimuláció valamennyi alakításának feszültséggörbéje keményedő jelleget mutat, azzal az eltéréssel, hogy a nagyobb alakítások befejező szakaszában megfigyelhető a feszültség állandósulása. E görbék kismértékű „plató” jelleget mutatnak.
3. Az egymást követő szűrésok feszültséggörbéit összehasonlítva az anyag jelentős mértékű lágyulása tapasztalható. Ebből következik, hogy az ausztenit az egyes alakítások között eltérő mértékben, de újrakristályosodik.
4. A 2. és a 3. pontok alapján állítható, hogy az ausztenit rekristallizáció domináns mechanizmusa a szűrés közben jelentkező statikus újrakristályosodás, melyet kismértékű dinamikus megújulás előz meg a nagyobb mértékű alakítások alatt.

Érdekes megvizsgálni egy kiválasztott feszültséggörbét részletesebben, hogy mennyiségileg is becsülni tudjuk az újrakristályosodott ausztenit részarányát a minta alakított zónájában.

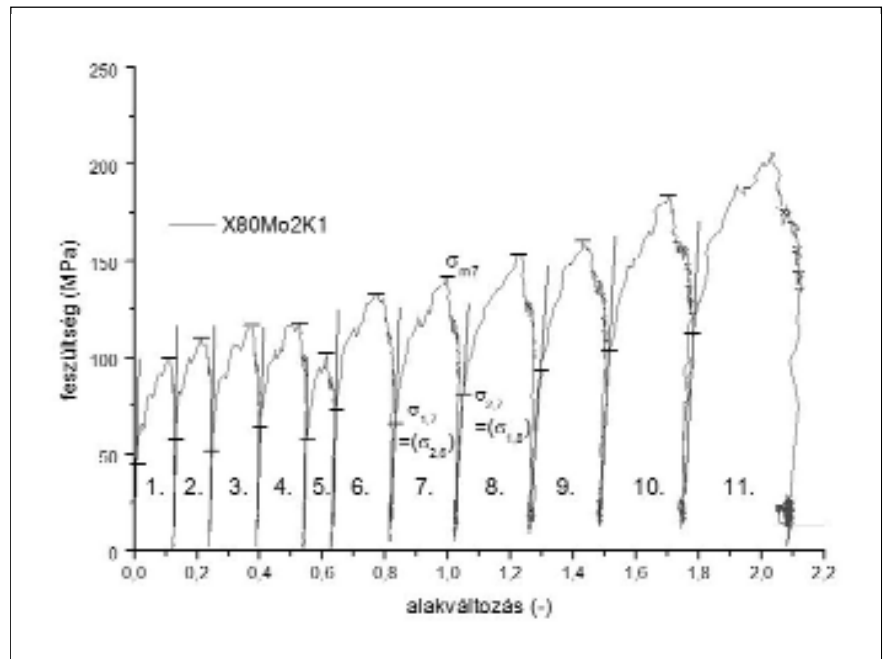
A vizsgálatok célja alapvetően a növelt Mo-tartalom hatásának vizsgálata a mikroszerkezetre és a mechanikai tulajdonságokra, ezért az egyik X80Mo2K1 minőségű mintának a feszültség-alakváltozás grafikonját vizsgáljuk a továbbiakban.



6. ábra. Az előnyújtás fizikai szimulációja és az alakítás folyamata



7. ábra. Feszültség-alakváltozás grafikonok



8. ábra. Az újrakristályosodott részarány számítása

Az ausztenit egyes szűrésok után statikusan újrakristályosodott részarányának számításához a 8. ábra szerinti ábrázolásnak megfelelően a folyásgörbékből meg kell határozni minden egyes görbéhez a 0,2%-os egyezményes, terheletlen állapotnak megfelelő folyáshatárt ( $\sigma_{1,i}$  és  $\sigma_{2,i}$ ), illetve a maximális feszültséget ( $\sigma_{m,i}$ ). Az újrakristályosodott hányadot az egyes alakítások utáni lágyulás mértékéből lehet számítani a következő (4) összefüggéssel:

$$X_{i,stat} = \frac{\sigma_{m,i} - \sigma_{2,i}}{\sigma_{m,i} - \sigma_{1,i}} * 0,9 * 100\%$$

(4)

- ahol:  $\sigma_{m,i}$  az i-edik alakításhoz tartozó maximális feszültség  
 $\sigma_{1,i}$  az i-edik alakításhoz tartozó 0,2%-os folyáshatár  
 $\sigma_{2,i}$  az (i+1)-edik alakításhoz tartozó 0,2%-os folyáshatár  
 0,9 korrekciós tényező

A fenti ábrán látható, hogy a  $\sigma_{1,7}$  és a  $\sigma_{2,6}$  értékek ugyanazon feszültségértéket, a 7. szűréshez tartozó 0,2%-os folyáshatárt azonosítják. Ennek oka, hogy e folyáshatár ( $\sigma_{2,6}$ ) adja meg a 6. szűrés utáni szűrés időközben újrakristályosodott ausztenit hányadot ( $X_{6,stat}$ ) összehasonlítva a 6. szűrésben mért folyáshatárral  $\sigma_{1,6}$ -del.

Továbbá a 7. szűréshez tartozó 0,2%-os folyáshatár szükséges a 7. szűrésben újrakristályosodott ausztenit hányadot ( $X_{7,stat}$ ) számításához is, tehát külön indexekkel érdemes jelölni ugyanazt a feszültségértéket a két eltérő képletben.

5. táblázat. Újrakristályosodott részarányok

Szűrés-szám (i)	$\sigma_{1,i}$	$\sigma_{2,i}$	$\sigma_{m,i}$	Lágyulás mértéke	Újrakristályosodott részarány az i-edik szűrés követően ( $X_i$ ) (%)	Alakítási hőmérsékletek (°C)
1.	44,8	57,8	99,6	0,763	68,6%	1150
2.	57,8	51,8	109,5	1,116	100,4%	1143
3.	51,8	63,7	116,0	0,815	73,3%	1136
4.	63,7	57,3	117,4	1,119	100,7%	1129
5.	57,3	73,0	101,6	0,646	58,1%	1122
6.	73,0	66,2	133,2	1,113	100,2%	1115
7.	66,2	81,0	141,6	0,804	72,3%	1108
8.	81,0	93,5	153,5	0,828	74,5%	1101
9.	93,5	103,8	160,2	0,846	76,1%	1094
10.	103,8	113,0	183,7	0,885	79,6%	1087
11.	-	-	-	-	-	1080

A korrekciós tényező értéke {0,8...0,9} intervallumban változtatható attól függően, hogy a folyásgörbének van-e „platója”, azaz az alakítás alatt dinamikus megújulás lejátszódik-e vagy sem. Ha van, akkor a korrekciós tényező értéke 0,8; azaz a lágyulást 80%-ban a statikus újrakristályosodás, 20%-ban pedig a dinamikus megújulás eredményezte. Jelen esetben a „platós” jelleg alig észlelhető, így a tényező értékét 0,9-re választottuk.

Az 5. táblázat összegzi az egyes szűrésok után újrakristályosodott ausztenit részarányokat.

Látható, hogy a 6. szűrésig rendre előbb az alakított térfogat ausztenitjének bizonyos hányada kristályosodik újra az 1., 3. és 5. szűrésok után, majd ezt követően a 2., 4. és 6. alakítások után az előzőleg csak részben rekrisztallizálódott anyagterefogat teljes mértékben újrakristályosodik. A 7. szűrés utáni közidők alatt csak

részleges az újrakristályosodás, mértéke növekszik, de nem éri el a 100%-ot a 10. szűrés utáni közidő végére. Az 5. táblázatban vastag kerettel kiemelt értékek a legutolsó teljes rekrisztallizációt eredményező alakítás és a hozzá tartozó alakítási hőmérsékletet jelölik. Ezt nevezik az angol irodalomban RLT (recrystallization limit temperature) hőmérsékletnek, amely alatt, már nem teljes az újrakristályosodás. Természetesen e hőmérséklet adott alakítási mértékre, alakváltozási sebességre és alakítási hőmérsékletre, illetve szűrés közidőre vonatkozik. Jelen esetben a 6. szűrés paraméterei mellett T=1115 °C az újrakristályosodás határhőmérséklete.

## 2.4. A mikroszkópos felvételek kiértékelése

A mikroszkópos vizsgálatok célja a folyásgörbékből levont következtetések igazolása az előnyújtói szimuláci-

6. táblázat. Ausztenit szemcseméreték

		Vizsgált ausztenit szemcsék sorszáma											
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
<b>X80Mo0K1</b>	ausztenit szemcse átmérők (µm)	41,3	17,2	56,9	13,8	24,1	81	65	166	108	59	109	65,8
		23,3	11,9	52,1	13,8	19,5	43,5	41,1	49	77	42	68	65,1
<b>X80Mo2K1</b>	ausztenit szemcse átmérők (µm)	12	41,4	29,2	26,3	34	11,8	31,6	13	33,7	10	28,5	12,2
		11,3	40,4	26,6	16,1	23,7	8,8	27,7	10,6	30,4	6	26	9,7
		Vizsgált ausztenit szemcsék sorszáma											
		13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	-	-	-	-
<b>X80Mo0K1</b>	ausztenit szemcse átmérők (µm)	73,4	47,4	47	63,7	56,8	22,6	-	-				
		57,6	45,7	31,5	62	45,3	20	-	-				
<b>X80Mo2K1</b>	ausztenit szemcse átmérők (µm)	69,8	64	18	37,4	12	27,6	36,6	30				
		68	41,9	16,2	22,3	8,5	16,4	28,65	18,6				

ón átesett és gyorsítással „befagyasztott” mintákban az ausztenites struktúra szemcsehatárainak előhívásával, majd az auszteni alakjának, szemcseméretének és szemcseméret-eloszlásának megállapításával.

A vizsgálatokat az ISD Dunaferri Zrt. szakértője, dr. Kardos Ibolya végezte. A felvételek Zeiss Observer Z1m típusú fénymikroszkóppal és AxiovisionRel. 4.8-as szoftverrel készültek.

A metallográfiai vizsgálatokhoz a mintákból próbatesteket munkáltunk ki, majd ezeket beágyasztuk és ezt követően csiszoltuk és políroztuk.

A minták szövetszerkezetében az auszteni szemcsék előhívására a következő összetevőkből álló reagenssel és paraméterekkel végeztük a maratást:

- összetétel: 100 ml desztillált víz, 2 g pikrinsav és 50 ml kereskedelmi nedvesítőszert,
- az oldatot hőmérséklete: 70-80 °C,
- maratási idő 40-45 másodperc.

A növelt Mo-tartalmú minták alakított zónájáról készült mikroszkópos felvétel a 9. ábrán látható.

A 6. táblázat tartalmazza a felvételeken látható auszteni szemcsehatárokból mért szemcseátmérőket. Minden vizsgált szemcse esetében két jellemző átmérő mérete került rögzítésre, amelyek aránya jellemzi a szemcse alakját.

A szemcsék két átmérőjének arányát képezve számszerűleg jellemezhető a szemcsék alakja. A szakirodalmak többsége 1,6–1,7 átmérőaránytól tekinti az auszteni szemcséket alakítottnak, alatta újrakristályosodottnak, vagy megújultnak. Képezve ezen átmérőarányokat az egyes anyagminőségek esetén a 18 illetve a 20 vizsgált szemcsének 22, valamint 25%-a tekinthető alakítottnak. A többi szemcse alakját tekintve újrakristályosodott illetve megújult auszteni.

### 2.5. Az előnyújtás-szimuláció eredményeinek értékelése, összegzés

A folyásgörbékből számított újrakristályosodott hányad az utolsó szűrés előtt nagyságrendileg 80%-ra adódott a növelt Mo-tartalmú ötvözet esetén. Ez az érték közel azonos a mikroszkópos felvételeken vizsgált auszteni szemcsék alakjából követke-

tett rekristallizáció mértékével, hiszen ez alapján is 75-80%-ban újrakristályosodott mikroszerkezetet feltelegezhetünk.

Továbbá megállapítható, hogy a kiindulási összetételű X80Mo0K1-es minta ausztenites szöveteinek mind átlagos szemcsemérete (~50-60 µm), mind pedig a szemcsék méretének szórása nagyobb, mint a növelt Mo-tartalmú X80Mo2K1-es minta esetén. Ennél a próbatestnél az ausztenites szövet átlagos szemcsemérete mindössze 25-35 µm, és a szemcseméret-eloszlás jóval homogénebb.

Az előnyújtás-szimuláció után tehát a növelt Mo-tartalmú ötvözet esetén közel 80%-ban újrakristályosodott, kevés elnyújtott szemcsét tartalmazó, átlagosan 25-35 µm szemcseméretű ausztenites mikroszerkezetet kapunk. Ez lényegesen kedvezőbb, mint az ugyanezen a szimuláción átesett kiindulási összetételű minta szövetszerkezete.

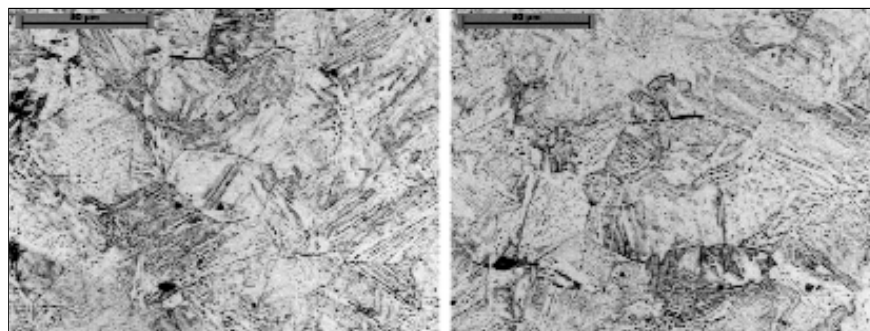
A 0,2%-os molibdén-ötvöztetés hatására várhatóan finomabb, homogénebb ausztenites mikroszerkezet alakul ki az előnyújtás végére, mint amit a kiindulási összetétel eredményezne.

### 3. Az újrakristályosodás kinetikájának további vizsgálata ötvöztelen alumínium meleghengerlésekor

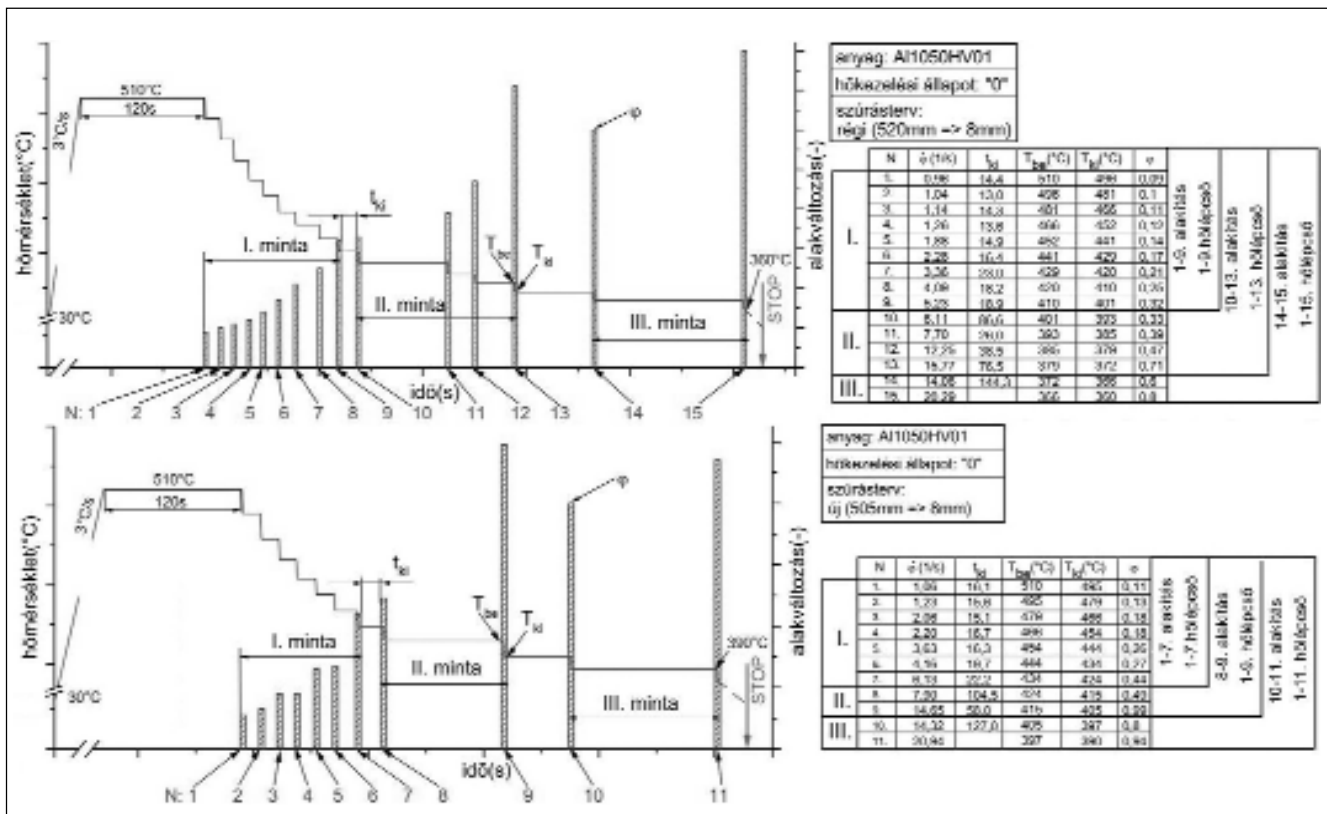
A HSMM szoftver anyagjellemzőkkel való adatfeltöltésére irányuló törekvéseinkhez további méréstechnikai tapasztalatokat szereztünk az Alcoa-Köfém Kft. székesfehérvári Hengerművében gyártott 1050A jelű alumínium-ötvözet kristályregenerációs folyamatainak vizsgálata során. A következőkben erről a méréssorozatról és eredményeiről számolunk be.

A hengerelt termékeknel a melegalakítási műveletek azok, amelyek a mikroszerkezet és a textúra beállítása révén alapvetően befolyásolják az utánuk következő feldolgozási műveleteket, és végül soron a gyártott lemez vagy szalag anizotrópiáját és mechanikai tulajdonságait. Ha a szemcseméret túlságosan nagy, akkor ez kedvezőtlenül befolyásolja a szilárdságot, továbbá a készterméknel narancshéj-szerű felület megjelenését eredményezheti. A textúra a mechanikai anizotrópia és a későbbi alakíthatóság befolyásolása miatt fontos tényező. A melegen hengerelt alumínium anyagoknál, különösen az ötvöztelen minőségeknél gyakori probléma, hogy a belső szerkezet nem homogén módon változik az alakítás közben, és olyan szövetszerkezeti textúráltság alakulhat ki, amely a hely függvényében inhomogén jelleget mutat. A keresztmetszet mentén deformált és újrakristályosodott kristallitokat tartalmazó sávok jelennek meg, ezáltal réteges, úgynevezett „szendvicses” szerkezet alakul ki. A jelenség a kristályregenerációs folyamatok helytől függő különbözőségeire vezethető vissza. Alapvető fontosságú tehát, hogy a melegalakítási paramétereinek (alakváltozási mérték, alakváltozási sebesség, alakítási hőmérséklet és a szűrés közötti időtartam) függvényében a kristályregenerációs folyamatok ellenőrizhetővé váljanak, így a létrejövő mikrostruktúra és textúra jellege meghatározható legyen.

Alumínium-ötvözeteknél a dinamikus megújulás hajtóereje jelentős, mely nagymértékben gátolja a „klaszikus” dinamikus újrakristályosodást. Ehelyett három regenerációs



■ 9. ábra. Az X80Mo2K1 acélminőségről készült mikroszkópos felvételek (eredeti nagyítás: 500x)



■ 10. ábra. Az Al 1050HV01-es ötvözet „rég” és „új” szűrősterv-szimulációjának programja

folyamat, a szakaszos-, a folyamatos- és a geometriai dinamikus újrakristályosodás a jellemző az alakított térfogatban. A folyamatos dinamikus újrakristályosodás a diszlokációk kisszögű határokon való felhalmozódásával jön létre, növelve az orientációs eltéréseket és elősegítve a nagyszögű szemcsehatárok kialakulását. A geometriai pedig akkor, ha az eredeti szemcséken belül egyenlő tengelyű szubszemcsék képződnek, megnövelve ezzel az egységnyi térfogatra jutó szemcsehatárok mennyiségét, melyek átrendeződése után új szemcsék alakulnak ki. A kialakuló mikrostruktúra igazodik a megalakítási folyamat lokális paramétereivel.

A helyileg lejátszódó regenerációs folyamatok összefüggésbe hozhatók a Zener-Hollomon paraméter értékének változásával. 1050A ötvözetnél a szalag felületének közelében a nagy lokális alakváltozással, alakváltozási sebességgel és intenzív hűtéssel, azaz nagyobb Zener-Hollomon paraméterrel jellemezhető alakítás hatására a dinamikus regeneráció leginkább folyamatos dinamikus újrakristályosodás formájában jelentkezik. A statikus regeneráció hajtóereje jelentős a lokalizált nagymértékű nyúlások által biztosított többletenergia-  
nak köszönhetően. A lemez közepén a statikus újrakristályosodás hajtóereje csökken, illetve kis Zener-Hollomon paraméterű alakváltozás jellemző, így az itt lejátszódó regenerációra általában a dinamikus megújulás, vagy a geometriai dinamikus újrakristályosodás jellemző.

A kristályregenerációs folyamatok komplexitása tehát szükségessé teszi, hogy adott anyagon és a gyártómű technikai adottságaihoz illeszkedő termomechanikus paraméterek mellett, saját vizsgálatok (alakítási kísérletek, mikrokeménység mérések, textúra elemzések, mikroszkópos megfigyelések) alapján tisztázzuk a regenerációs folyamatok jellemzőit és a szerkezeti inhomogenitások elkerülhetőségének feltételeit.

### A szimulációs vizsgálatok

Jelen vizsgálatokhoz is Gleeble 3800-as termomechanikus szimulátort alkalmaztunk Hydrawedge egységgel, mellyel 20×25×35 mm-es hasáb próbatesteken végeztünk többlépcsős meleghengelés szimulációt Ford-féle ékbenyomó próbával.

A Gleeble berendezésen végzen-

dő szimulációs vizsgálatokhoz a 1050A ötvözetű anyagból kétféle minőséget használtunk fel, amelyek előmelegítésük tekintetében tértek el egymástól. Az Al 1050HV01 jelű minőség a „0” kódú egyszerű előmelegítést, míg az Al 1050-24/8HE1 minőség a „8”-as kódznak megfelelő homogenitáris reprezentálta. A termomechanikus szimuláció kiindulópontját a Hengermű által megadott „rég” szűrőstervek és előmelegítési körülmények képezték. Az Al 1050HV01 esetében az alkalmazott szűrőstervet az jellemezte, hogy 520 mm-es kiinduló vastagságról 8 mm-es végméretre hengerelték az anyagot 15 szűrásban, 510 °C induló és 360 °C-os kifutó hőmérséklet mellett. Az Al 1050-24/8HE1-nél 465 mm-ről 8 mm-re történt a hengerlés 13 szűrásban, olyan termikus ciklus mellett, hogy a hengerlési tuskót 615 °C-ra előmelegítették és erről hűtötték vissza az első szűrás 480 °C -os hőmérsékletére, a kifutó hőmérséklet pedig itt is 360 °C -ra adódott.

Az „új” szűrőstervek esetében a kristályregenerációs folyamatok gyorsítását lehetővé tevő műveleti paraméterek kiválasztása volt az alapvető motiváció. Az irodalmi adatok és a

meleghengesor műszaki határparaméterei alapján a meleghengerlés befejező hőmérsékletének 390 °C-ra való növelése, illetve a szűrások számának 11-re csökkentése mellett döntöttünk mindkét hőkezeltégi állapot esetén. A minták geometriai korlátai miatt a szűrásterveket 3-3 alakítási fázisra osztottuk fel, azaz szűrástervenként 3-3 darab mintát alakítottunk. A 10. ábra az Al 1050HV01-es ötvözet „rég” és „új” szűrásterv-szimulációjának vázlatát mutatja a fizikai szimuláció összes paraméterével együtt.

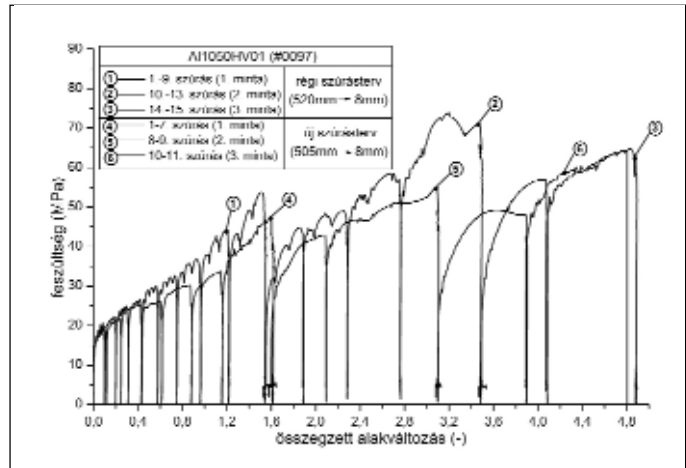
Mindkét hőkezeltégi állapotnál valós művelési adatok alapján határoztuk meg a kísérletek során beállítandó technológiai paramétereket (alakítási mértékek, -sebességek, szűrési közdők, belépő és kilépő hőmérsékletek). A valós technológiánál a hengerrésben fellépő intenzív emulziós hűtés miatt a szimuláció során is az alakítások alatt hűtöttük a mintát úgy, hogy a hűlés mértéke arányos legyen az alakítás időtartamával. Az Al 1050-24/8HE1-es ötvözetnél meghatározott szimulációs programok hasonlóan adódtak, mint a 11. ábrán láthatóak.

### 3.2. A feszültség-alakváltozás diagramok felvétele, értékelése

A Gleeble szimulátoron elvégezhető többlépcsős meleghengerlés szimuláció alakító szerszámának és a hasáb mintadarabnak a geometriai viszonyait tekintve megállapítható, hogy az a síkbeli alakváltozási állapot fenntartásához szükséges arányokat, nevezetesen a  $b/h > 6$  és  $h/a < 1$  („b” a próbatest szélessége, „h” a mintadarab magassága és „a” nyomólap szélessége) csak megközelíti. Az így számított feszültségértékek nem az alakítási szilárdságot ( $k_f$ ), hanem az anyag alakítási ellenállását reprezentálják. Ettől függetlenül ezeknek a feszültség-alakváltozás grafikonoknak az alakjából következtethetünk a fellépő kristályregenerációs folyamatok fajtáira és előrehaladásuk közelítő mértékére az egyes szűrásokban. A 11. ábrán láthatóak az Al 1050HV01-es anyagnak a kétféle szűrásterv-szimulációjából felvett feszültség-alakváltozás grafikonjai az alkalmazott 3-3 lépcsős bontásában.

A 11. ábrán az 1, 2 és 3 jelű feszültség-görbék a „rég” szűrásterv szimulációja során alakított 3 minta alakítási ellenállását ábrázolják. Látható, hogy az alakítási keményedéseket a kristályregenerációs lágyulások csak kis mértékben befolyásolják. Az első néhány alakítás közben a keményedés fűrészfogyszerűen monoton növekvő. Ez a jelenség a dinamikus regenerációs folyamatok alakítás közbeni egymás utáni ismétlődő megjelenésére utal, mely a szakirodalmi tapasztalatok szerint a nem-folytonos dinamikus újrakristályosodás jele. A további alakításoknál, megnövekedett kritikus alakváltozás mellett egy vagy kettő feszültségcsökkenés látható a görbékben, amely a folyamatos dinamikus újrakristályosodás irányába mutató változást tükröz. Azonban az utolsó alakításokkor már csak keményedési jelenséget tapasztaltunk. Tetszőleges két alakítás közötti lágyulási hányadot tekintve megállapítható, hogy a statikus újrakristályosodás kismértékű, alapvetően végig a keményedés dominál.

A 4, 5 és 6-os feszültséggörbék által reprezentált „új” szűrásterv szignifikáns eltéréseket mutat a régihez képest. Már a kezdeti alakításoknál megszűnik a görbék fűrészfogozottsága, amely a dinamikus regenerációs folyamatok megváltozására utal. Az 1. mintán végrehajtott 3., 4. és 5. szűrásnál az alakítási ellenállás növekedése fokozatosan mérséklődik, a görbék „platós” jelleget mutatnak, mely a dinamikus megújulásra enged következtetni. Az 5. alakítás után pedig egy jelentősebb lágyulás okozó statikus regeneráció észlelhető. Figyelemre méltó a 10. alakítás feszültséggörbéje, itt az alakítás alatt jelentős lágyulás következik be, ami egyértelműen folyamatos dinamikus újrakristályosodásra utal. Összesség-



11. ábra. Az Al 1050HV01-es minták kétféle szűrástervéhez felvett feszültség-alakváltozás grafikonok

ében megállapítható, hogy az alakítási hőmérsékletek 30 °C-os növelése és a kevesebb szűrás révén az alakításonként bevitt többletenergia fokozza mind a statikus, mind pedig a dinamikus kristályregenerációt. Az Al 1050-24/8HE1-es ötvözetnél is hasonló következtetések voltak levonhatók.

### 3.3. A kristályregenerációs folyamatok kialakulásának lehetőségei

A melegalakítási folyamatok során kialakuló mikroszerkezet a hőmérsékletfüggő megújulás és a nyúlássebességhez kapcsolódó alakítási keményedés viszonyához köthető. A folyamat e két jellemzőjét egy paraméterbe vonja össze a Zener-Hollomon összefüggés. A „Z” paraméter ismeretében többek között következtethetünk a kristályregeneráció bekövetkezésére valamint értékelhetjük a technológiát a szövetszerkezeti inhomogenitás szempontjából. A „Z” értéke az alábbi összefüggéssel számítható:

$$Z = \dot{\epsilon} \cdot \exp\left(\frac{Q}{R \cdot T}\right) \quad (5)$$

A „Q” aktivációs energia értékét tekintve a szakirodalom nem egyértelmű, de az elfogadott, hogy az öndiffúzió adott alumínium ötvözetre jellemző aktivációs energiáját kell közelítenie. A 99,5% tisztaságú alumíniumnál, tehát a 1050A jelű minőségénél is általában 156 kJ/mol aktiválási energiával számolnak.

Ezzel az aktiválási energiával és

7. táblázat. A „régí” és az „új” szűrőtervek szerinti szimulációk egyes alakításaihoz tartozó Zener-Hollomon paraméterek

		Szűrőszám							
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
„régí”		3,95×E+10	6,91×E+10	1,26×E+11	2,28×E+11	5,07×E+11	9,64×E+11	2,02×E+12	3,66×E+12
„új”		4,49×E+10	8,77×E+10	2,28×E+11	3,71×E+11	8,77×E+11	1,45×E+12	3,17×E+12	5,79×E+12
		Szűrőszám							
		9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	
„régí”		6,71×E+12	1,10×E+13	1,95×E+13	4,03×E+13	7,13×E+13	8,33×E+13	1,59×E+14	
„új”		1,60×E+13	2,18×E+13	4,30×E+13	-	-	-	-	

az adott műveleti paraméterekkel meghatározva a Z értékeit a 7. táblázat foglalja össze az eredményeket az Al 1050HV01-es ötvözet „régí” és „új” szűrőterv szerinti szimulációjában alkalmazott alakításokra.

A „régí” szűrőterv első négy alakítása közel ugyanakkora deformációt eredményez, mint az „új” szűrőterv első három szűrője. Összevetve az egyes alakításokra kapott Z értékeket a 12. ábra feszültséggörbéivel látható, hogy az említett alakítási mértékig az „új” szűrőterv Z értékei nagyobbak, mint a „régí” esetében. Ez a növekmény az alakítási sebességek jelentős növelésének következménye, mely a 30 °C-kal megnövelt alakítási hőmérsékletekkel és a nagyobb mértékű deformációval együtt okozza a dinamikus kristályregenerációs mechanizmus módosulását. A nagyobb mértékben deformálódott, így több energiát tároló, egytengelyű szemcsék bázisán, a magasabb hőmérsékleten előbb dinamikus megújulás játszódik le, ezáltal az anyagban tárolt energia csak kis mértékben disszipálódik, mely növeli a későbbi szűrőtervekben a dinamikus újrakristályosodás hajtóerejét.

A további alakításoknál viszont megfordul a Z paraméterek közötti viszony köszönhetően az alakváltozási sebességek kiegyenlítődének.

Az azonos össz-deformációkhoz tartozó Zener-Hollomon paraméterek az „új” szűrőtervénél mindenütt kisebbek, mint a „régí”-nél (pl.: az „új” szűrőterv 7. és „régí” szűrőterv 9. alakítása). Ezeknél a szűrőterveknél tisztán érvényesül az alakítási hőmérséklet emelésének hatása, mely a dinamikus újrakristályosodás hajtóerejét növeli. Ennek eredményeképpen a 10. alakításban tapasztalt jelentős mértékű lágyulás már „klasszikus” dinamikus újrakristályosodásra utal.

A szűrőközti statikus újrakristályosodás hajtóerejére jelentős hatással van az alakítás mértéke és az alakítási sebesség is. Az alábbi összefüggésből kitűnik, hogy a deformáció mértékének és sebességének fokozódásával, azaz a Zener-Hollomon paraméter növekedésével növelt alakítási hőmérséklet mellett az 50%-os rekristallizációhoz szükséges idő ( $t_{0,5}$ ) jelentősen csökken:

$$t_{0,5} = C_1 * \varepsilon^{-1,5} * Z^{-0,75} * \exp\left(\frac{Q_1}{R * T}\right) \quad (6)$$

Az összefüggésben az állandók értéke 1050A jelű ötvözet esetén  $C_1=1,05 \times 10^{-5} \text{ s}^{0,25}$  és  $Q_1=220 \text{ 000 kJ/mol}$ . Néhány a „régí” és az „új” szűrőtervben jellemző nagyságú alakítási mértékre, hőmérsékletre és Z paraméterre kiszámítottuk a  $t_{0,5}$  értéket.

Az irodalmi adatok tanúsága szerint a melegen hengerelt lemez középső és hengerekkel érintkező, szélső zónája között kialakulhat a 0,2–0,5 alakváltozási értékek által reprezentált nyúlás-különbség. A számítások szerint ez konstans Z érték ( $8,79 \times E+11$ ) mellett negyedére csökkenti a  $t_{0,5}$  értékét a lemez felületén. Másrészt a szalag említett két zónája között akár 15 °C hőmérsékletkülönbség is kialakulhat az intenzív felületi hűtés miatt. Ennek következtében ugyanakkora, 0,5 mértékű alakítás mellett a lemez közepén, ahol nagyobb az anyag  $t_{0,5}$  értéke a harmada a lemez felületén kalkulált időtartamnak.

A két hatást együtt vizsgálva megállapítható, hogy a lemez szélső zónájában, ahol

nagyobb lokális nyúlások jelentkeznek alacsonyabb hőmérséklet mellett gyorsabb a statikus regeneráció, mint a lemez középső zónájában, ahol nagyobb a hőmérséklet, de kisebb az alakváltozás mértéke.

### 3.4. A metallográfiai vizsgálatok és a mikrokeménységmérés eredményei

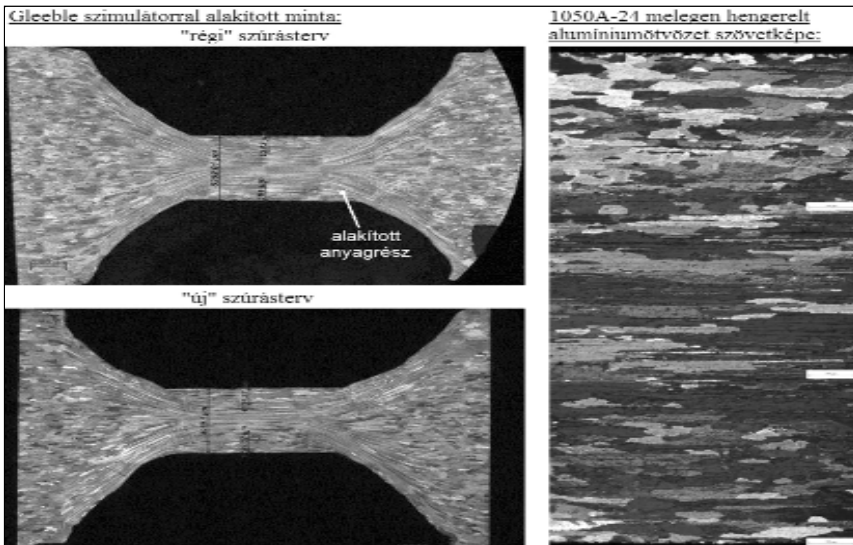
Jelen esetben is az Al 1050HV01-es ötvözet „régí” és „új” szűrőterv szerinti szimulációjában alakított 3-3 mintáról készült fénymikroszkópos felvételeket mutatjuk be, és elemezzük. A másik hőkezelt állapotú minták kapcsán csak az eredményeket közöljük.

Az alakításokat követően szabadon, elegendően hosszú időn át lehűlt minták alakított térfogatában csiszolás, polírozás és maratás után már nem túl nagy nagyítások mellett is jól elkülöníthetően újrakristályosodott és nem újrakristályosodott zónák figyelhetők meg. A 12. ábra bal oldalán láthatók az 1. lépcsőben a „régí” illetve az „új” szűrőterv szerint alakított egy-egy mintáról készült mikroszkópos felvételek. Az ábra jobb oldalán pedig a meleghengerről lekerült 12 mm vastag lemez hengerlési irányba eső keresztmetszetről készített szövetekepe található.

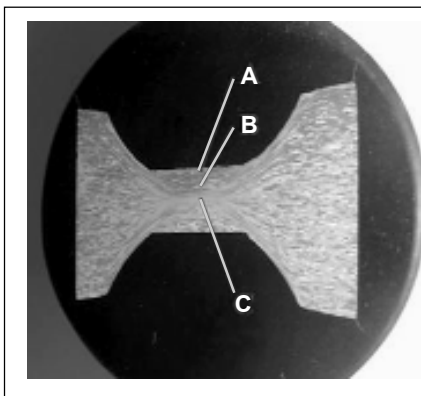
Mindhárom felvételen jól látható, hogy a keresztmetszet közepére

8. táblázat. A  $t_{0,5}$  idő változása a paraméterek függvényében

Alakváltozás (ε)	Hőmérséklet (°C)	Z paraméter (1/s)	$t_{0,5}$ (s)
0,2	500	8,79 x E+11	92
0,5	375	4,21 x E+13	1044
0,5	500	8,79 x E+11	23
0,5	390	1,26 x E+13	362



■ 12. ábra. Az Al 1050HV01-es ötvözet „rég” és „új” szűrőterve szerint, az 1. lépcsőben alakított mintákról készült fénymikroszkópos felvétel. Maratás: 2-3%-os hidrogén-fluoridos oldattal



■ 13. ábra. Mikrokeménység mérési helyek a Ford-próbatesten

Az eredmények egyértelműen mutatják, hogy a „rég” szűrőtervet felváltó „új” szűrőterv közel 10%-kal megnöveli a rekristallizálódott rész arányát a vizsgált keresztmetszetben. Az Al 1050-24/8HE1-es ötvözetnél pedig a rekristallizálódott anyagterfogat több mint 12%-kal növekedett. A mikroszkópos vizsgálatok tehát teljes mértékben alátámasztják a feszültség-görbék és a Zener-Hollomon paraméterek elemzésénél tett elméleti megállapításainkat.

A melegen alakított anyagokban lejátszódó kristályregenerációs folyamatok helyfüggő változásainak nyom követésére szokásos módszer a keménységi térképek felvétele. Mindkét hőkezeltégi állapotú anyag esetén, anyagonként 3-3 mintán, a metallográfiai csiszolatok alakított zónájában végeztünk mikrokeménység méréseket Vickers eljárással (MHV), 981 mN terhelő erővel és 10 másodperces terhelési idővel. A méréseket a 13. ábrán jelzett helyeken végeztük.

A keménységmérés adataiból megállapítható, hogy a minták szélétől a középső zóna felé haladva a keménység minden esetben monoton növekedett, azaz a kristályre-

generációs folyamatok intenzitása csökkent, ahogy az a metallográfiai felvételeken is látható volt. Egy további fontos következtetés, hogy az „új” szűrőtervek szerint alakított mintáknál mért keménység értékek szinte kivétel nélkül kisebbek voltak, mint a „rég” szűrőtervek párhuzamos darbjainak azonos helyein mért keménység értékek. Ez a tény is megerősíti, hogy az „új” szűrőtervek nagyobb rekristallizált hányadot eredményeznek. Továbbá az egyes mintákon a két szélső mérési hely, azaz az „A” és „C” pontok közötti keménység-különbségek az „új” terveknél kisebbek, mint a „rég” terveknél, ami a keresztmetszeti homogenitás javulását mutatja.

A teljes kilágyulás azonban egyetlen esetben sem valósult meg, ugyanis a 1050A jelű minőség lágy állapotát 21 MHV körüli értékre adják meg, és a legkisebb mért érték is meghaladja a 24 MHV-t. A regenerációs folyamatok kiteljesedése tehát még jelentős termikus aktivációt igényelne.

### Összefoglalás

A bemutatott két vizsgálat keretében számos tapasztalatot szereztünk a kristályregenerációs folyamatok (újra-kristályosodás, megújulás és poligonizáció) és a szemcsenövedés mennyiségi jellemzéséhez szükséges termomechanikus szimulációs technikák kivitelezésének illetve programozásának módjáról. Továbbá sikeresen tudtunk következtetni a többlépcsős meleghengertelés-szimuláció alatt mért erő-elmozdulás értékpárok felhasználásával számított feszültség-alakváltozás grafikonokból az újrakristályosodott térfogati hányad mennyiségére. Számításainkat metallográfiai vizsgálatok eredményei is alátámasztották.

Az ötvözetlen alumíniummal végzett alakítási kísérleteink során pedig továbblépve elemeztük a Zener-Hollomon paraméter és a folyásgörbék alakja és lefutása közötti kapcsolatot, melynek ismerete és használata alapvető fontosságú a nagy szilárdságú termomechanikusan hengerelt acélok gyártástechnológiájának fejlesztéséhez.

erősen alakított szövetszerkezet jellemző, míg az alakító szerszámokkal, illetve a hengerpárral érintkező felület közelében újrakristályosodott szemcséket találunk. A rekristallizálódott és a deformált szövetű zónák vastagságát lemérve a fizikai szimuláción átesett minták alakított zónájában, majd ezekből a megfelelő arányt képezve meghatározható az újrakristályosodott részarány, azaz a rekristallizációs index.

A 9. táblázat tartalmazza a 3-3 alakított mintánál meghatározott indexet és azok átlagát.

9. táblázat. Az Al 1050HV01-es ötvözet „rég” és „új” szűrőterve szerinti szimulációjában alakított 3-3 mintánál számított rekristallizációs indexek

	1. minta	2. minta	3. minta	átlag
„rég” szűrőterv (%)	56,21	54,72	57,30	56,07
„új” szűrőterv (%)	61,54	68,61	64,11	64,75

# A könyöksajtolás elmélete és gyakorlata

*A dolgozat átfogó képet ad a könyöksajtolás (ECAP – Equal Channel Angular Pressing) elméletéről és gyakorlatáról. A színes plasztilinnel, plexiüvegből készült szerszámban végzett modellkísérletek alapján a könyöksajtolás közben lejátszódó alakváltozás jellege válik érthetővé. A folyamat analitikus (matematikai) szimulációja tökéletesen visszaadja a plasztilines kísérletek eredményeit. A folyamat végeselemes szimulációja az alakváltozási mechanizmus mélyebb megértését szolgálja. Ismertetjük a 90°-os és a 110°-os sajtoló szerszám kialakítását és méretezési szempontjait. Az OFHC-rézrel végzett kísérletek eredményeinek bemutatása a fejlesztés sikerességének jó bizonyítéka.*

## Bevezetés

A könyöksajtolás (ECAP – Equal Channel Angular Pressing) a nagy nyomáson végzett csavarás mellett (HPT – High Pressure Torsion) a leggyakrabban alkalmazott intenzív képlékeny alakító eljárás, amely mintegy 30 éve áll a kutatók érdeklődésének középpontjában. A mind a mai napig tartó, sőt egyre fokozódó érdeklődésnek minden bizonnyal az az egyik oka, hogy ezekkel az eljárásokkal ultrafinom és/vagy nanoszemcsés tömbi fém anyagok (munkadarabok) állíthatók elő.

Az ultrafinom és/vagy nanoszemcsés állapothoz vezető folyamatok, illetve magának ennek az állapotnak a kutatása képezte a Dunaújvárosi Főiskola TÁMOP-4.2.2-08/1/2008-0016 „A régió és a Dunaújvárosi Főiskola választai az anyagtudomány és technológia új kihívásaira” projektjének egyik kutatási részterületét, amelynek címe „Ultrafinom és nanoszerkezetű tömbi anyagok szemcseszerkezete és tulajdonságai közötti kapcsolat, továbbá a domináns hatásmechanizmusok kutatása” volt. Ebben a dolgozatban ennek a kutatási tevékenységnek egyik szegmensével, a könyöksajtolás elméleti hátte-

rével és gyakorlati megvalósításával foglalkozunk.

A dolgozat a következő részekre bontható:

- modellanyaggal végzett demonstrációs könyöksajtolási kísérletek;
- a könyöksajtolás közben lejátszódó alakváltozás mechanikája analitikus és VEM-es megközelítésben;
- a könyökrészekben bontható könyöksajtoló szerszám tervezése és megvalósítása;
- a könyöksajtolás technikai megvalósítása;
- OFHC-réz könyöksajtolása szobahőmérsékleten, az alakított minták vizsgálati eredményei;
- a könyöksajtolt rézmintákban lejátszódó újrakristályosodási folyamatok egyes részleteinek kísérleti vizsgálata.

## 1. A könyöksajtolás, mint egy intenzív képlékeny alakító eljárás

A nanokristályos anyagok iránti érdeklődés elsősorban a szerkezetük egyedülálló fizikai és mechanikai tulajdonságainak köszönhető. Elő-

**Dr. Molnár László** 1997-ben szerzett okleveles gépészmérnöki diplomát a BME Gépészmérnöki Karán matematikus-mérnök szakon. Ugyanott 2002-ben PhD-fokozatot szerzett. Kutatási területe a szilikon anyagú fémmechanikai elemek és szerkezetek modellezése. 2000–2010-ig a BME Gépészmérnöki Karán a Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék oktatója, egyetemi docense. 2011 őszétől a Dunaújvárosi Főiskola tudományos munkatársa. A Dunaújvárosi Főiskolán futó TÁMOP 4.2.2. projektben, mint kutató munkacsoport tagként vett részt. Feladata a projekt számítógépes szimulációval történő támogatása. Közel 50 publikáció szerzője és társszerzője.

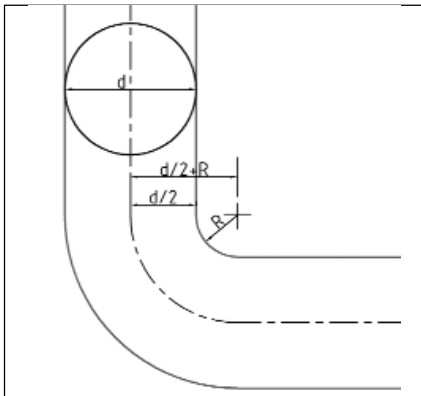
**Dr. Gonda Viktor** 1997-ben szerzett gépészmérnöki diplomát a Dunaújvárosi Főiskolán, majd 2001-ben egyetemi oklevelet a BME Gépészmérnöki Karán. 2002-től a Philipsnél kutatómérnökként elektronikai anyagok termomechanikai

modellezésével foglalkozik. 2008-ban doktorált a Delfti Műszaki Egyetemen, témája lézeres felületi hőkezelés. 2009-től dolgozik a Dunaújvárosi Főiskola Műszaki Intézetében főiskolai docensként. Jelenlegi kutatási témája fémek intenzív képlékenyalakítása könyöksajtolással.

**Valenta László** 1994-ben szerzett gépészmérnök diplomát a BME-n. 1998-tól 2005-ig a BME-n egyetemi tanársegéd, majd adjunktus, 2005-től a Dunaújvárosi Főiskola oktatója. Itt főiskolai docensként először a Gépészeti, majd az Anyagtudományi és Gépészeti, jelenleg pedig a Gépészeti Intézet igazgatója. Az intézeti elfoglaltságai mellett először a DuRATT menedzser-igazgató helyettese, majd később menedzser igazgatója. Több, a Dunaújvárosi Főiskolához köthető TÁMOP és TIOP projekt részvevője. 2010-től a Magyar Anyagtudományi Egyesület és a GTE tagja. PhD-témájának címe „Finommechanikai szerkezetek és nyúlásmérő

szenzor szilikon elasztomer felhasználásával”. Mintegy 80 publikáció, 4 könyv, és több szabadalom szerzője, társszerzője.

**Bodnár Viktória** 2003-ban szerzett anyagmérnöki diplomát a Veszprémi Egyetem Mérnöki Karán. 2003-tól a Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológia Intézet tudományos munkatársa. 2011. szeptembere óta a Dunaújvárosi Főiskola oktatója. 2011. decemberében a BME Gépészmérnöki Kar Gépészeti tudományok tudományág, műszaki tudományok tudományterületen PhD-pályázatát elfogadták, melynek témája: „Fém-kerámia nano- és mikrokompózit rétegek in situ előállítása lézersugaras technológiával”. A Dunaújvárosi Főiskolán futó TÁMOP 4.2.2. projektben, mint kutató munkacsoport tagként vett részt, elsősorban az intenzív képlékeny alakításon átesett anyagok metallográfai vizsgálatával foglalkozott. Mintegy 20 publikáció szerzője és társszerzője.



■ **1. ábra.** A két, egymással 90°-ot bezáró csatorna adott R belső görbületű sugárral való kialakításának módja

állításukra többféle módszer született, pl. amorf anyagok kristályosítása, elektrokémiai leválasztás, nanoporok tömörítése stb. Nagy térfogatú nanokristályos anyagok előállításának egy igen hatékony módja a tömbi anyag nagymértékű képlékeny alakítása (angolul: SPD – Severe Plastic Deformation). Az SPD előnye pl. a porkohászati eljárásokhoz képest, hogy nincs maradó porozitás és a kiindulási por őrléséből származó szennyeződés. Az így előállított fémek nagy térfogatuk következtében közvetlenül felhasználhatók pl. alkatrészek gyártására.

Az SPD módszereknél alkalmazott deformáció akár több száz százalékos, így annak eredményeként a mikroszerkezet ún. ultrafinom szemcsés lesz. Az ilyen finomszerkezet kialakítására alkalmas SPD eljárás egyike a könyöksajtolás.

A könyöksajtolást az 1980-as évek első felétől alkalmazzák. A módszert Segal és munkatársai [1, 2] fejlesztették ki. A céljuk az volt, hogy a minta keresztmetszetének megváltoztatása nélkül képlékeny deformációt hozzanak létre a fémekben, és a folyamat periodikusan ismételhető legyen. Az 1990-es évek elején továbbfejlesztették a módszert és SPD eljárásként kezdték alkalmazni mikrométer alatti, ill. nanométeres méretű szemcsékből álló szövetszerkezetek előállítására [3]. A sajtolandó mintákat kör vagy négyzet keresztmetszetű rudakból vágják le, hosszúságuk 50-100 mm közötti, és átmérőjük ill. átlójuk nem több 20 mm-nél. Az ECAP során a rúd alakú mintát egy speciális könyökszövön nyomják át, ahol a könyök bejövő és kimenő ágai azo-

nos keresztmetszetűek (1. ábra). Mivel a minta keresztmetszete megegyezik a csövekével, ezért a deformáció a két cső metszetsíkjában tiszta nyírással történik.

Bár a könyöksajtolással foglalkozó cikkek között található egy olyan dolgozat [4], amely pasztillinnel mint modellanyaggal végzett kísérletekről számol be, célszerűnek tartottuk olyan pasztillines modellkísérletek megtervezését és végrehajtását, amelyek egyértelműen bizonyítják a könyöksajtolás közben lejáráó alakváltozás tiszta nyírás jellegét. A következőkben ezt a modellkísérletet ismertetjük a KFKI-MFA által kiírt nanotechnológiai demonstrációs ötletpályázatra benyújtott és ott díjazott pályaművünk alapján [5].

### 1.1. A kísérlet pontos leírása

A könyöksajtoló szerszámot 20 mm vastagságú plexiüvegből készítettük el. A két félből álló szerszámba egymással 90°-ot bezáró, 10 mm átmérőjű csatornát alakítottunk ki, mégpedig úgy, hogy a csatorna keresztmetszete ne változzék, vagyis a csatorna középvonalára merőleges csatorna metszetek minden szelvényében 10-es átmérőjű körök legyenek. A szerszám két felét 15 db csavarral szorítottuk össze, hogy megakadályozzuk a modellanyagnak a két szerszámfél közé való „kiszajtolódását”. A csatorna kialakítására különös gondot fordítottunk. A csatorna egyenes szakaszainak kimunkálása nem okozott gondot. A két csatorna csatlakozását úgy oldottuk meg, hogy a gömbmaró középpontját egy  $d/2+R$  sugarú körív mentén vittük végig a 1. ábra vázlatának megfelelően. A könyöksajtolási demonstrációs kísérletekhez a plexiüvegből készült sajtoló szerszámhoz nyomótüskére is szükség volt.

A könyöksajtoló szerszámmal végzett demonstrációs kísérletet színes pasztillinnel hajtottuk végre [5]. A célnak megfelelő hengeres próbatetek elkészítéséhez segédeszközöket kellett gyártanunk. Mivel a könyöksajtolás közben az anyag – legyen az modell, vagy valamilyen tényleges kísérleti anyag – lényegében intenzív nyírás deformációt szenved el, a modellanyagból kétféle próbatestet kel-

lett a jelenség demonstrálására készítenünk:

**A típusú:** olyan 10 mm átmérőjű, mintegy 60-70 mm hosszúságú hengeres próbatestet, amelynek tengelyvonalában kb. 3 mm átmérőjű, a próbatestet többi részétől elütő színű, de azzal megegyező minőségű mag van.

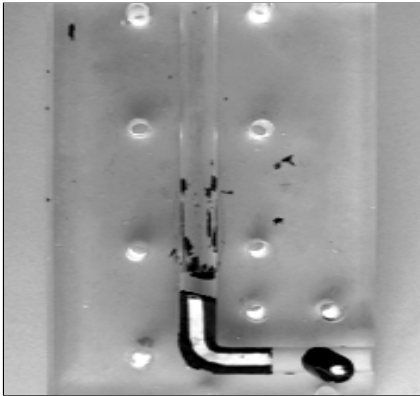
**B típusú:** olyan modellanyagból készült próbatestet, a mely több, legalább 5-6 egymást követő, elütő színű, 10 mm hosszúságú darabból áll. A modellanyagból készült minta külső átmérője a plexiüveg szerszám csatornaátmérőjéhez illeszkedik.

Az előzőekben jellemzett próbatetek elkészítéséhez saválló lemezből készítettünk egy kb. 1 mm vastagságú peremmel ellátott „gyűrődészkát”, és egy, kb. 30 mm átmérőjű ugyancsak saválló acélból készült hengert, illetve egy, a peremes „gyűrődészkával” megegyező anyagi minőségű és méretű kis táblát.

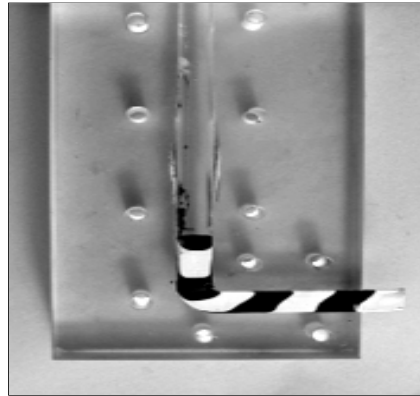
Az **A típusú** mintát úgy készítettük, hogy először – pl. a szintelen (fehér) pasztillinnél – 3 mm átmérőjű rudacskát hengereltünk, a peremes és a sima „deszka” segítségével. Ezután a peremes deszkára helyeztünk egy kézzel már egyenletesen elvékonyított pasztillindarabot – amely a jelen esetben barna színű volt – és a saválló hengerrel addig nyújtottuk, míg a további alakítást, nyújtást a perem már nem engedte.

Ezután a kb. 1 mm vastagságú barna színű pasztillinlemez egyik végét orvosi szikével vagy zsilippengével egyenesre vágtuk, majd erre a szélre helyeztük a fehér pasztillinnél készült 3 mm átmérőjű rudacskát. Ezután ezt a rudacskát a hozzátapadó pasztillinlemezrel együtt felgöngyöltítettük, mégpedig úgy, hogy a mintadarab külső átmérője a szerszám csatornájának átmérőjénél kisebb legyen. A próbatestet ezután a két saválló lemez között addig „hengereltük”, míg külső átmérője 10 mm nem lett.

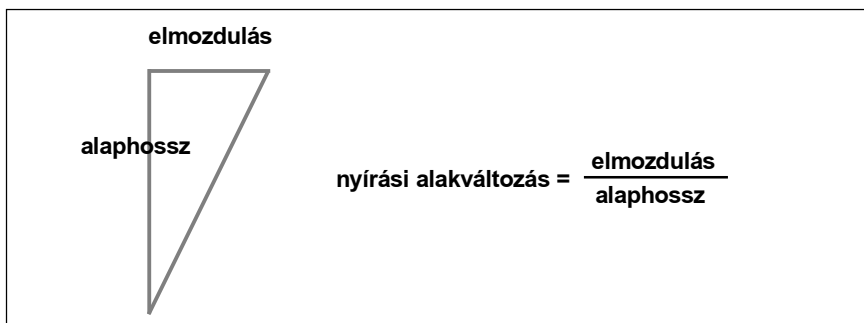
A **B típusú** próbatestet elkészítése sokkal egyszerűbb volt. Két, egymástól eltérő színű pasztillinnél a saválló lemezek között 10 mm átmérőjű, 40-50 mm hosszúságú hengeres testeket hengereltünk, amelyeket lehűtött állapotban 10 mm hosszúságú dara-



■ **2. ábra.** Az 1. demonstrációs kísérletből származó A típusú minta hosszmet-szete



■ **3. ábra.** A 2. demonstrációs kísérlet B típusú mintájának hosszmet-szetéről készült felvétel



■ **4. ábra.** A nyírási alakváltozás meghatározása

bokra vágunk orvosi szikével vagy zsilippengével, ügyelve arra, hogy a vágási felület környezete ne deformálódjék.

A próbatest végül is már a szer-számban alakul ki, amikor a szer-szám hosszabb csatornájába juttatott, váltakozó színű darabok a sajtolóerő hatására összetapadnak

### Az 1. demonstrációs kísérlet

Az 1. demonstrációs kísérletet az **A típusú**, belső maggal készített próba-**testtel** hajtottuk végre. A szer-számban kialakított csatornát a kísérlet megkezdése előtt szilikonzsírral bekentük, megakadályozandó a plexi-üveg és a plasztilin közötti tapadást. A szer-szám két felét összeszorító csavarok meghúzása előtt a csatorna mindkét ágába annak átmérőjével megegyező átmérőjű, köszörült felületű rudat helyeztünk el, a két szer-számfél pontos illeszkedése érdekében. Az így előkészített ECAP szer-számba óvatosan belenyomtuk a modellanyagból készített mintát, majd a minta tetejére a szer-számcsatornába szorosan illeszkedő műanyagkorongot tettünk, a modellanyag sajtolás

közbeni visszaáramlásának elkerülése érdekében.

A sajtolás előtt a szer-számot a mintával együtt kb. 5 °C-ra hűtöttük. Ezután a hűtőszekrényből kivett szer-számot talpára állítva helyeztük a hidraulikus kézisajtó alaplapjára, majd a tüske behelyezése után elvégeztük a sajtolást úgy, hogy a mintának kb. 30-40 mm hosszúságú darabja jusson a vízszintes csatornába. A sajtolás közben a minta felületét a plexiüvegen keresztül megfigyelhettük, de azon semmilyen változást nem lehetett tapasztalni.

Az ECAP szer-számmal végzett sajtolás után a szer-számot kettévettük, ügyelve arra, hogy a próbatest a szer-szám egyik felében maradjon. Ezután a mintát egy – előzetesen szilikonzsírral bekent – zsilippengével a szer-szám belső felületének síkjában végigvagtuk, amikor is az **2. ábra** szerinti helyzetet figyelhettük meg.

A felvételen rögzített helyzet csak úgy képzelhető el, ha a minta csak nyíró alakváltozást szenvedett el, hiszen a belső mag centrikus elhelyezkedése szemmel láthatóan nem változott.

### A 2. demonstrációs kísérlet

A kísérletet az 1. demonstrációs kísérlet ismertetésekor leírtak szerint hajtottuk végre. A modellanyagból készített próbatest ebben a kísérletben mintegy 12 mm hosszúságú, eltérő színű (fekete/fehér) plasztilindarabokból állt, amelyek a tengelyükre merőleges felületek mentén illeszkedtek egymáshoz. Az ECAP könnyősajtolás művelet közben a plexi-üvegen keresztül meg lehetett figyelni ezeknek az eredetileg sík felületeknek a „megdőlését”, miközben a modellanyag áthaladt a szerszám merőleges illeszkedésű szakaszán.

A sajtolás után hossztenge-lyen mentén kettévágott próbatest a **3. ábra** szerinti képet mutatja.

A metszeti képen jól megfigyelhető, hogy a próbatest tengelyére eredetileg merőleges síkok megdőltek, az adott esetben kb. 45°-kal. Ez a helyzet csak úgy alakulhatott ki, hogy a csatorna belső oldalához közeli modellanyag a külső rész anyagához képest előresietett, vagy ez utóbbi hátra maradt a másikhoz viszonyítva. A modellanyagnak a két egymásra merőleges csatornaszakaszak a találkozásánál tapasztalt viselkedése szemléletes magyarázatot ad az ECAP során kialakuló, elnyújtott réteges szerkezet megjelenésének módjára [6]. A dőlésszögből egyszerű geometriai megfontolások alapján a nyírási és ebből az ún. egyenértékű alakváltozás is becsülhető [7].

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a plexiüvegből készült szer-számban modellanyaggal végzett demonstrációs kísérletek nagymértékben hozzájárultak az ECAP során lejátszódó alakváltozási mechanizmusok tisztázásához.

A modellkísérletek során tapasztalt jelenségek kvantitatív leírására a 2. fejezetben térünk vissza.

### 2. Az ECAP során létrejövő alakváltozás analitikus és véges elemes meghatározása (Dr. Gonda V.)

A könnyősajtolás közben lejátszódó folyamatok mechanikai elemzését Gonda V. [8] nyomán ismertetjük.

A könnyősajtolás során nagy mértékű nyíró alakváltozás jön létre a próbatestben. Ebben a fejezetben elő-

ször definiáljuk a nyíró és az egyenértékű alakváltozást. Bemutatjuk az alakváltozás meghatározását analitikus és vége-selemes módszerrel. Az elméleti számítások eredményeinek gyurmás modellkísérlettel való összehasonlítása után utalunk az alakváltozás mértékének és a szilárdságtani paramétereknek a kapcsolatára.

### 2.1. A nyírási alakváltozás és az egyenértékű alakváltozás definiálása

A nyírási alakváltozást az alaphosszra merőleges deformáció és az alaphossz hányadosaként definiáljuk (4. ábra), ha az alakváltozás kizárólag a nyírásból adódó torzulás.

Ha egy szilárd testen az  $x, y, z$  koordinátarendszerben  $\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{w}$  elmozdulásmező adott, akkor a nyírási alakváltozás a mérnöki jelöléssel az  $xy$  síkon a test egy pontjában az alábbi alakban adható meg:

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1)$$

Az alakváltozás tenzoros írásmódjánál egyszerűbb a jelölés, ha ennek a felével definiáljuk a nyírási alakváltozást. Az nyírási alakváltozás tenzoros jelöléssel:

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (2)$$

Egy test alakváltozása nyírási (torzulási) és térfogati összetevőkből állhat. Az alakváltozási tenzor felírható a térfogati (volumetrikus) és a torzulási (deviációs) alakváltozások összegéként:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon}_{vol} + \boldsymbol{\varepsilon}_{dev} \quad (3)$$

Ezt átrendezve, valamint a volumetrikus alakváltozást kibontva, a deviációs alakváltozási tenzor kifejezhető:

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{dev} = \boldsymbol{\varepsilon} - \frac{1}{3} A_1 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

ahol  $A_1$  az alakváltozási tenzor első skalár invariánsa, mely a fő alakváltozások összege:

$$A_1 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (5)$$

Az egyenértékűség fogalmát

könnyebb először a feszültségekkel meghatározni: egy általános feszültségállapot és egy egytengelyű (húzásnak megfelelő) feszültségállapot akkor egyenértékű, ha ugyanolyan határállapotba juttatja az anyagot. A Mohr elmélet szerint, ez az összes terheléshez tartozó Mohr-körhöz berajzolt burkológörbe. Mivel ez a burkológörbe fémeknél a feszültségtengellyel párhuzamos egyenes, ezért az egyenértékű feszültséget a Mohr-kör átmérője adja (egytengelyű húzásnál ez egyenlő a maximális húzófeszültséggel). A párhuzamosságból következően az az állítás is megfogalmazható, hogy két feszültségállapot akkor egyenértékű, ha a legnagyobb csúszatófeszültség ugyanakkora (ez a Mohr kör sugara).

A Huber–Mises–Hencky (HMH) elmélet arra a megfigyelésre alapszik, hogy alakítható anyagoknál nagy hidrosztatikus nyomásnál sem jön létre károsodási határállapot, vagyis a térfogati alakváltozási munka nem játszik szerepet. Tehát a különböző feszültségi állapotok közül azok egyenértékűek, melyeknek a torzítási energiasűrűsége egyenlő. Ugyanezt az alakváltozásokra értelmezve: két alakváltozási állapot akkor egyenértékű, ha ugyanakkora a torzítási energiasűrűsége.

A HMH egyenértékű alakváltozás a deviációs alakváltozási tenzor segítségével felírható az alábbi alakban képlekeny állapotra térfogatállandóság esetén:

$$\varepsilon_{eq} = \sqrt{\frac{2}{3} \boldsymbol{\varepsilon}_{dev} : \boldsymbol{\varepsilon}_{dev}} \quad (6)$$

Ezt kibontva az egyenértékű alakváltozás megadható az alakváltozási összetevőkkel:

$$\varepsilon_{eq} = \sqrt{\frac{2}{3} \left( \varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_z^2 + \frac{1}{2} \gamma_{xy}^2 + \frac{1}{2} \gamma_{yz}^2 + \frac{1}{2} \gamma_{zx}^2 \right)} \quad (7)$$

vagy a fő alakváltozásokkal is:

$$\varepsilon_{eq} = \sqrt{\frac{1}{9} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2]} \quad (8)$$

Rugalmas esetre, ha az anyag összenyomható (a Poisson-tényező:  $\nu < 0,5$ ):

$$\varepsilon_{eq} = \frac{1}{1 + \nu} \sqrt{\frac{1}{2} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2]} \quad (9)$$

Sík alakváltozás esetén ( $\varepsilon_3 = 0$ ) az alábbi alakot kapjuk:

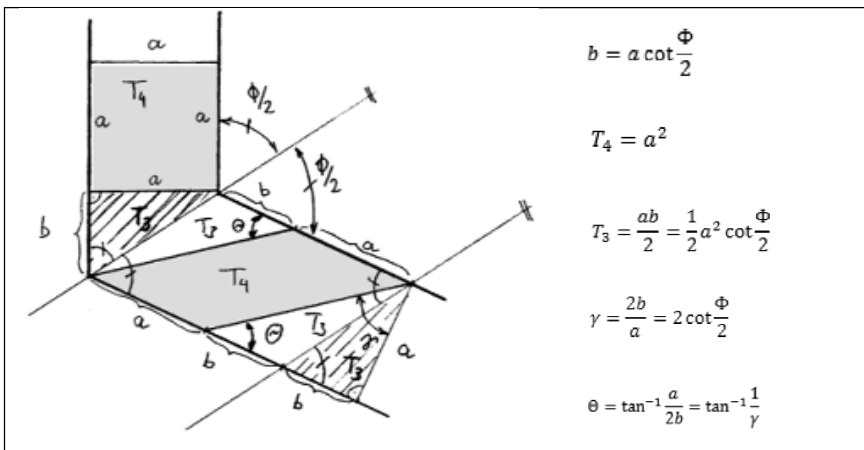
$$\varepsilon_{eq} = \sqrt{\frac{2}{9} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_1^2]} = \sqrt{\frac{4}{9} (\varepsilon_1^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2^2)} \quad (10)$$

### 2.2. Különböző könyökgeometriákhoz tartozó alakváltozás mértéke

#### Az éles könyök geometriája

Könyöksajtolásnál az anyagot olyan szerszámon sajtoljuk át, mely két azonos keresztmetszetű csatornája  $\Phi$  szög alatt metsződik. A  $\Phi$  szög a csatornaszög.

Az 5. ábrán látható egy lekerekítés nélküli, „éles” könyök sematikus keresztmetszeti rajza, a csatorna szélessége  $a$ . Az átnyomás során a könyök előtti részen a szürke színnel kiemelt  $a$  oldalhosszúságú  $T_4$  területű négyzet alakú anyagrész a könyök fő nyírási síkja után a kilépő oldalon látható rombuszá torzul, melynek alapja és magassága is  $a$  méretű, így területe ugyancsak  $T_4$ . A rombusz dőlt oldala a csatornával  $\Theta$  szöget zár be, ez a dőlésszög. Amikor a belépő oldalon a négyzet alakú anyagrész csatorna belső oldalán levő sarka eléri a könyököt, akkor a külső oldali sarkok még  $b$  távolságra van attól. Az  $ab$  befogójú derékszögű háromszög területe  $T_3$ -mal jelölt. A könyökön éppen teljesen átsajtolt rombuszá torzult anyagrész egyik külső oldali sarka még épp a könyökben van, az ezen az oldalon levő belső oldali sarkok a könyöktől  $b$  távolságra kell legyen, mivel az anyagáramlás állandó. A fő nyírási síkkal párhuzamos húzva a rombusz kilépő oldali sarkánál, egy  $ab$  befogójú derékszögű háromszög található, ennek területe  $T_3$ . Egyszerűen bizonyítható a geometriából, hogy az  $a$  alapú rombuszt  $ab$  alapú és a nyírási síkkal párhuzamos oldalú  $\Phi$  szögű rombuszá kiegészítő háromszögek területe szintén  $T_3$ , de ugyanennek következnie kell a térfogatállandóságából is. A nyírási alakváltozás a  $2b$  és  $\alpha$  befogójú háromszögben definiálható, amit az ábrán  $\gamma$ -val jelöltünk.



$$b = a \cot \frac{\Phi}{2}$$

$$T_4 = a^2$$

$$T_3 = \frac{ab}{2} = \frac{1}{2} a^2 \cot \frac{\Phi}{2}$$

$$\gamma = \frac{2b}{a} = 2 \cot \frac{\Phi}{2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{a}{2b} = \tan^{-1} \frac{1}{\gamma}$$

■ 5. ábra. Éles könyökben a jellegzetes hosszak, szögek és területek

A bevezetett geometriai adatok, a nyírási alakváltozás és dőlésszög a 5. ábra jobb oldalán található képletekkel számolhatók. A nyírási alakváltozást először [Segal, 1981] publikálta.

### 2.2.1. Az egyenértékű alakváltozás becslése könyöksajtólásnál Iwashashi-módszerével

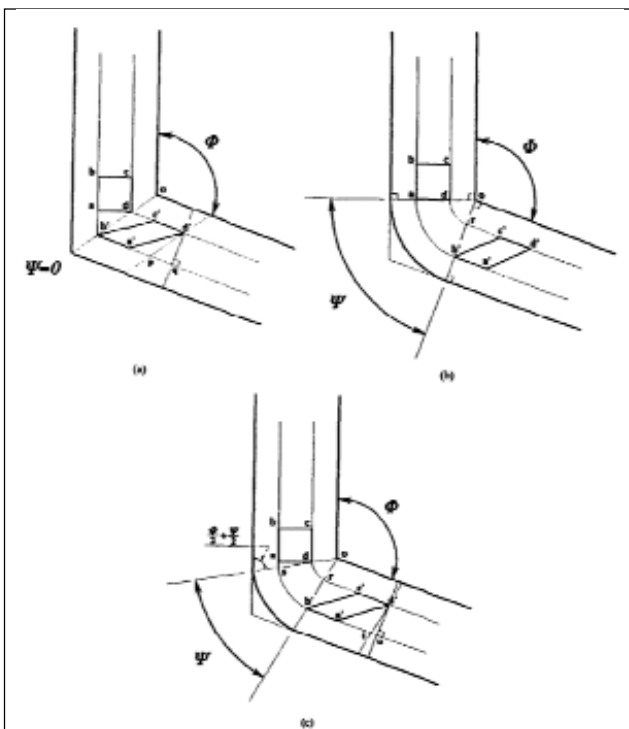
A könyöksajtólás az egyik legegyszerűbb intenzív képlékenyalakításon alapuló technika, amivel nagymértékű szemcsefinomodás létrehozható. A szemcsefinomodás, és ezáltal a szilárdságnövekedés, az átsajtolás so-

rán létrejövő nyomás alatti nagy mértékű nyírási alakváltozás következménye. A létrejövő egyenértékű alakváltozás becslését [9] publikálta, ez a megoldás az egyik legelfogadottabb manapság.

A könyöksajtólás alapelve sematikusán a 5. ábrán látható: két azonos keresztmetszetű csatorna középvonala egy adott  $\Phi$  szög alatt metsződik, ez a csatomszög. Az átsajtolás elvégezhető „éles” könyök esetén, lásd. 6(a) ábra, vagy olyan elrendezésben, ahol a könyök külső oldala lekerekített, ami a 6(b) és 6(c) ábrákon látható. Ha külső oldalon a lekerekítés szögét  $\Psi$ -vel jelöljük (könyökszög), akkor a könyökszög határértékei az éles könyöknél az 6(a) ábrán:  $\Psi = 0$ , teljesen lekerekítettél pedig a 6(b) ábrán:  $\Psi = \pi - \Phi$ , az 6(c) ábrán pedig egy közbelső állapotot látunk, ahol a könyökszög a két határérték között helyezkedik el.

A továbbiakban az alakváltozás meghatározásához ezt a három esetet vizsgáljuk, valamint feltételezzük, hogy az átsajtolásnál a csatorna kent, így a súrlódás elhanyagolható.

A továbbiakban az alakváltozás meghatározásához ezt a három esetet vizsgáljuk, valamint feltételezzük, hogy az átsajtolásnál a csatorna kent, így a súrlódás elhanyagolható.



■ 6. ábra. A könyöksajtólás sematikus vázlata:  $\Phi$  a csatomszög,  $\Psi$  a könyökszög.  
(a):  $\Psi = 0$ , (b):  $\Psi = \pi - \Phi$ , (c):  $0 < \Psi < \pi - \Phi$ .

## Éles könyök

A 6(a) ábra,  $\Psi = 0$ , a minta egy kezdetben négyzet alakú elemét  $abcd$ -vel jelöltük, az átnyomás után az elnyírt alak  $a'b'c'd'$ -vel jelölt.

A 6(a) ábra jelöléseit használva a nyírási alakváltozás,  $\gamma$ , a következő alakban írható fel:

$$\gamma = \frac{a'q}{qa'} \quad (11)$$

ahol:

- $qd' = ad$  vagyis a folyási irányra merőleges méret nem változik,
- $a'q$  meghatározása pedig a geometriai vizsgálatból történhet:  
o  $ab' = dc'$ , az áramlási sebesség állandó az egyes szála-  
kon, ez tovább egyenlő  
o  $ab' = dc' = a'p = pq = ad \cot(\Phi/2)$ , az  $ab'd$  háromszög és a  $pqd'$  háromszög hasonlóságából, ezt átrendezve:  
o  $a'q = 2ad \cot(\Phi/2)$ .

Visszahelyettesítve a  $\Psi = 0$  esetre a nyírási alakváltozásra megkapjuk a Segal-megoldást [2]:

$$\gamma = 2 \cot\left(\frac{\Phi}{2}\right) \quad (12)$$

## Teljesen lekerekített könyök

A 6(b) ábrán, ahol  $\Psi = \pi - \Phi$ , a nyírási alakváltozás a következőképpen írható fel:

$$\gamma = \frac{rc'}{rb'} \quad (13)$$

ahol:

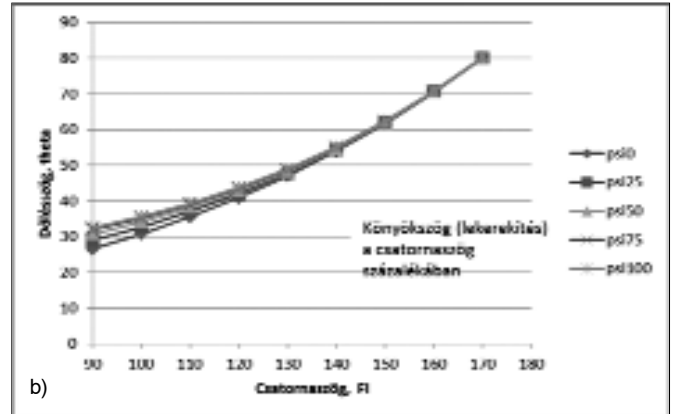
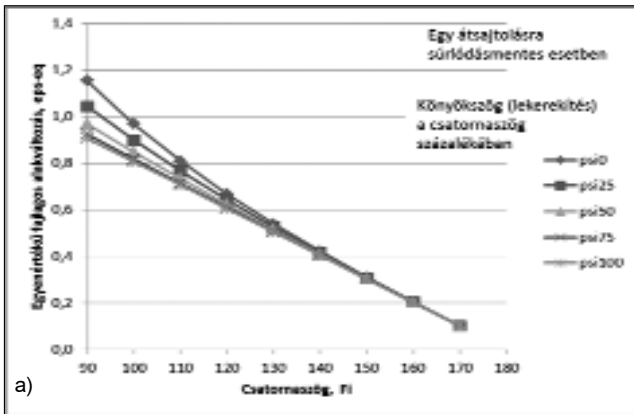
- $rb' = da = (oa - od)$  vagyis a folyási irányra merőleges méret nem változik,
- $a'q$  meghatározása pedig a geometriai vizsgálatból történhet:  
o  $ab' = dc'$ , az áramlási sebesség állandó az egyes szála-  
kon, ez tovább egyenlő  
o  $ab' = oa \cdot \Psi = (rc' + od \cdot \Psi)$ , az egyes szála-  
kon az ívhossz, ezt átrendezve:  
o  $rc' = (oa - od) \Psi$ .

Visszahelyettesítve, a nyírási alakváltozás:

$$\gamma = \Psi \quad (14)$$

## Nem teljesen lekerekített könyök

Az 6(c) ábrán, ahol  $0 < \Psi < \pi - \Phi$ , a



■ 7. ábra. Az egyenértékű alakváltozás (a) és az átnyomás utáni dőlésszög (b) a csatornaszög és a könyökszög függvényében, egy átnyomás esetére.

nyírási alakváltozás a következőképpen írható fel:

$$\gamma = \frac{a'u}{d'u} \quad (15)$$

ahol:

- $d'u = ad$ , vagyis a folyási irányra merőleges méret nem változik,
- $a'u$  meghatározása pedig a geometriai vizsgálatból történhet:
  - o  $a'u = a't + tu = rc' + as$ , az áramlási sebesség állandó az egyes szaklokon,
  - o az egyes szaklokon az utak:
    - $as = ad \cot(\Phi/2 + \Psi/2)$
    - $ab' = dc' = as + od \cdot \Psi$
    - $os - od = ad \operatorname{cosec}(\Phi/2 + \Psi/2)$ , visszahelyettesítve:
  - o  $a'u = 2ad \cot(\Phi/2 + \Psi/2) + \Psi ad \operatorname{cosec}(\Phi/2 + \Psi/2)$ .

Visszahelyettesítve, a nyírási alakváltozás általános alakban:

$$\gamma = 2 \cot\left(\frac{\Phi}{2} + \frac{\Psi}{2}\right) + \Psi \operatorname{cosec}\left(\frac{\Phi}{2} + \frac{\Psi}{2}\right) \quad (16)$$

Ez az egyenlet általánosan használható, az éles és teljesen lekerekített könyök peremfeltételeivel az ott levezetett nyírási alakváltozást megkapjuk.

Az egyenértékű alakváltozás,  $\varepsilon_{eq}$  egy átnyomás esetén meghatározható az 7. egyenlet alapján, ez az Iwahashi-képlet:

$$\varepsilon_{eq} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[ 2 \cot\left(\frac{\Phi}{2} + \frac{\Psi}{2}\right) + \Psi \operatorname{cosec}\left(\frac{\Phi}{2} + \frac{\Psi}{2}\right) \right] \quad (17)$$

Többszöri,  $n$  számú átsajtolás esetén:

$$\varepsilon_n = n \varepsilon_{eq} \quad (18)$$

Az egyenértékű alakváltozás egy átnyomásnál értelmezhető a nyomtűske által bevitt felületi nyomás,  $P$  és az anyag folyáshatárának,  $Y$  hányadosaként:

$$\varepsilon_{eq} = \frac{P}{Y} \quad (19)$$

Az egyenértékű alakváltozást az 1. táblázatban szereplő szögekre számítottuk ki. Az eredményeket a 7a ábrán ábrázoltuk a csatornaszög függvényében egy átsajtolásra. Minél kisebb a csatorna szöge, annál nagyobb alakváltozás érhető el egy lépésben. Derékszög esetén az elérhető egyenértékű alakváltozás 0,9 teljesen lekerekített könyöknél, és közel 1,2 éles könyöknél.

A dőlésszöget,  $\theta$ -t a kilépő oldalon az átnyomott próbatestnek a vízszintes csatornafallal bezárt szögével értelmezzük és a

$$\theta = \tan^{-1} \frac{1}{\gamma} \quad (20)$$

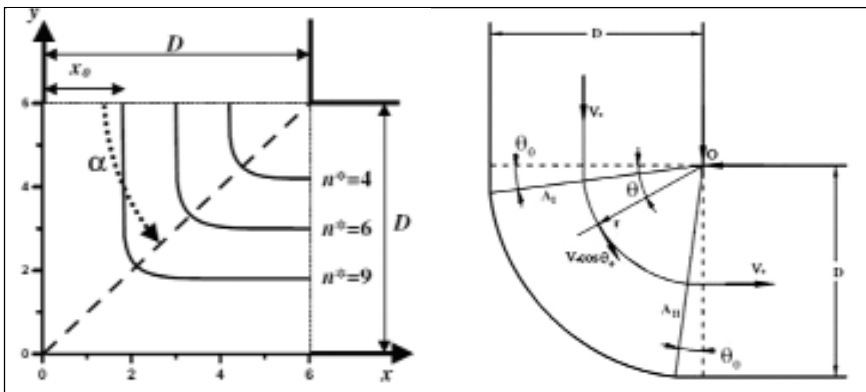
képlettel számoltuk, és a 7b ábrán látható a csatornaszög függvényében. Derékszögű csatornában a létrejövő dőlés 27-32 fok a könyökszög függvényében.

1. táblázat. Az egyenértékű alakváltozás számításához használt csatorna- és könyökszög fokban (a), egy átsajtolás esetén az egyenértékű alakváltozás (mértékegység nélkül) (b) és a létrejövő dőlésszög fokban (c).

szögek	csatorna	90	100	110	120	130	140	150	160	170
könyök	ps0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ps25	22.50	20.00	17.50	15.00	12.50	10.00	7.50	5.00	2.50
	ps50	45.00	40.00	35.00	30.00	25.00	20.00	15.00	10.00	5.00
	ps75	67.50	60.00	52.50	45.00	37.50	30.00	22.50	15.00	7.50
	ps100	90.00	80.00	70.00	60.00	50.00	40.00	30.00	20.00	10.00

εeq	90	100	110	120	130	140	150	160	170
ps0	1.1547	0.9689	0.8085	0.6667	0.5384	0.4203	0.3094	0.2036	0.1010
ps25	1.0442	0.8994	0.7661	0.6419	0.5250	0.4137	0.3067	0.2028	0.1009
ps50	0.9691	0.8492	0.7339	0.6224	0.5140	0.4082	0.3045	0.2022	0.1008
ps75	0.9232	0.8175	0.7130	0.6094	0.5066	0.4045	0.3029	0.2017	0.1008
ps100	0.9069	0.8061	0.7054	0.6046	0.5038	0.4031	0.3023	0.2015	0.1008

dőlésszög	90	100	110	120	130	140	150	160	170
ps0	26.57	30.79	35.53	40.89	47.00	53.95	61.81	70.57	80.08
ps25	28.94	32.70	37.00	41.97	47.72	54.38	62.02	70.64	80.08
ps50	30.78	34.21	38.19	42.85	48.32	54.74	62.19	70.70	80.09
ps75	32.02	35.23	39.00	43.45	48.73	54.99	62.32	70.74	80.10
ps100	32.48	35.61	39.30	43.68	48.89	55.08	62.36	70.76	80.10



■ 8. ábra. A könyöksajtolás vázlatja és a sebességmező Tóth (a) és Eivani (b) szerint

### Lekerekített könyök belső rádiusszal

Az előző megoldásokban a belső rádiusz mindig zérus volt, azonban érdemes megvizsgálni azt az esetet, ha a csatorna belső oldalán is lekerekítés található, ugyanis ha a csatorna kimunkálása marással történik, akkor ez a geometria adódik, amit azt a modellkísérlet plexi szerszámánál is láttunk. Ennek megfelelően azt az esetet vizsgáljuk, amikor a belső rádiusz  $r_b$ , és a csatorna keresztmetszetének mérete  $a$ , így a külső rádiusz  $r_b + a$ . A nyírási alakváltozás meghatározásához meg kell határozunk, hogy a belső oldalon mennyivel „siet” az anyag, ezt az előzőekben  $b$ -vel jelöltük. Ezt számíthatjuk a könyök belső és külső oldalán az ívhosszak különbségével. Derékszögű csatornák esetén a belső és a külső oldalon az ívhossz:

$$i_b = r_b \frac{\pi}{2} \quad (21)$$

$$i_k = (r_b + a) \frac{\pi}{2} \quad (22)$$

Az ívhosszak különbsége felírható az alábbi alakban:

$$i_k - i_b = (r_b + a - r_b) \frac{\pi}{2} = a \frac{\pi}{2}, \quad (23)$$

amiből látszik, hogy az független a belső átmérőtől, így a nyírási alakváltozás

$$\gamma = \frac{i_k - i_b}{a} = \frac{a \frac{\pi}{2}}{a} = \frac{\pi}{2}$$

is független attól, és ennek mértéke megegyezik a belső rádiusz nélküli teljesen lekerekített csatornában létrejövő alakváltozás mértékével, vala-

mint a dőlésszögek is megegyeznek:

$$\tan \theta = \frac{a}{a \frac{\pi}{2}} = \frac{2}{\pi} \Rightarrow \theta = 32,48^\circ \quad (24)$$

### 2.3. A könyöksajtolás áramlási modellje és nem monotonitás foka

Több alakítási technológiát, köztük a könyöksajtólást is vizsgálta Bobor Kristóf [10] nem monotonitás szempontjából. A nem monotonitás foka (DNM) azt mutatja meg, hogy mennyire erőteljes a nyírási alakváltozás egy technológiában. A DNM számításához szükséges az anyagáramlási mező meghatározása, mely történhet analitikus vagy véges elemes módszerrel. Az elemzésből a könyöksajtólásról szóló részt mutatjuk be, a technológia áramlástani leírását kiemelve, hogy az egyenértékű alakváltozás az áramlási sebességekkel is kifejezhető.

Az könyökgeometriákat a 6. ábrán mutattunk be az előzőekben. Az áramlási modellt éles és lekerekített 90 fokok csatorna esetére írjuk fel két féle módon. A [11] és az [12] modellben alkalmazott jelölések az 8. ábra vázlatán láthatók. Részletes elemzést az Eivani esetre mutatunk be.

A bemenő és kimenő csatornában az anyag áramlási sebessége  $v_0$ . A HMH elmélet szerinti egyenértékű alakváltozás a tangenciális és normál irányú sebességek hányadosával megadható az alábbi alakban

$$\varepsilon_{\text{eq}} = \frac{\Delta v_t}{\sqrt{3} v_n} \quad (25)$$

ahol  $\Delta v_t = v_0 \sin \theta_0$  és  $v_n = v_0 \cos \theta_0$ .

A DNM paraméter,  $\mu$ , ugyancsak megadható a sebességmező ismeretében [10]:

$$\mu = \frac{\Delta v_t}{2 v_n} \quad (26)$$

Az egyenértékű alakváltozás a DNM paraméter között a

$$\mu = \frac{\sqrt{3}}{2} \varepsilon_{\text{eq}} \quad (27)$$

összefüggés áll fenn, a teljes folyamat során az alakváltozás nyíró jellegű, az egyszerű nyírással megegyező mértékben tér el a monoton alakváltozástól.

A könyökben, a könyökszög alatti tartományban a sebesség az 8. ábrán látható módon írható fel hengerkoordináta-rendszerben Eivani szerint. A be- és kilépésnél az  $A_I$  és  $A_{II}$  szakadó felületeken való átlépéskor az alakváltozás felírható:

$$\varepsilon_{\text{eq}}^{A_{II}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \tan \theta_0 \quad (28)$$

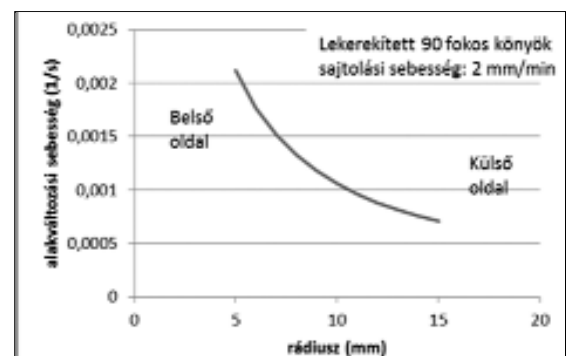
A két szakadó felület közötti deformációs zónában az alakváltozás:

$$\varepsilon_{\text{eq}}^{\text{cs}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( \frac{\pi}{2} - 2\theta_0 \right) \quad (29)$$

Az alakváltozás mértéke független attól, hogy a keresztmetszet melyik pontját vizsgáljuk, tehát az alakítás mértéke egyenletes az egész keresztmetszetben.

Az  $A_I$  felületen történő belépéstől az  $A_{II}$  felületen történő kilépésig teljes alakváltozás egy átnyomáskor:

$$\varepsilon_{\text{eq}} = \varepsilon_{\text{eq}}^{A_I} + \varepsilon_{\text{eq}}^{\text{cs}} + \varepsilon_{\text{eq}}^{A_{II}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \left( \frac{\pi}{4} + \tan \theta_0 - \theta_0 \right) \quad (30)$$



■ 9. ábra. Az alakváltozási sebesség a rádiusz függvényében lekerekített könyök esetén

A DNM paraméter értéke ekkor:

$$\mu = \frac{\pi}{4} + \tan \theta_0 - \theta_0 \quad (31)$$

### Az alakváltozási sebesség becslése

Az alakváltozási sebesség az alakváltozás mértéke és végbemeneteléhez szükséges idő hányadosaként definiált:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta t} \quad (32)$$

A könyöksajtolásnál az alakváltozás mértéke az előzőekben levezetett egyenértékű alakváltozás, amely állandó:

$$\Delta \varepsilon = \varepsilon_{sq} = const \quad (33)$$

Ezen kívül az átsajtolási sebesség is állandó:

$$v = const \quad (34)$$

Lekerekített könyök esetén az alakváltozás a könyök legyező alakú részében játszódik le, a szükséges idő az ívhossztól függ:

$$\Delta t = \frac{i}{v} = \frac{r\Phi}{v} \quad (35)$$

Ebből az alakváltozási sebesség felírható:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta t} = \varepsilon_{sq} v \frac{1}{r\Phi} \quad (36)$$

Lekerekített könyök esetén az alakváltozási sebesség a keresztmetszetben belülről kifelé haladva csökken, a jellege hiperbolikus (9.

ábra). A gyakorlatban a súrlódás hatásától kívül eső részen 2-3-szoros alakváltozási sebesség különbség van.

Éles könyök esetén az alakváltozás a fő nyírási síkban játszódik le, amelynek kiterjedése az áramlási irányra merőlegesen zérus, ebből az következne, hogy az alakváltozási sebesség végtelen nagy, másrészt az is megállapítható, hogy az alakváltozási sebesség a keresztmetszetben állandó.

Végeselemes modellezéssel megmutatható, hogy az alakváltozási zóna kiterjedése mekkora, durva közelítéssel ez vehető a csatornaméret 20%-ának. Tipikusan az éles könyökben kb. 5-ször nagyobb a létrejövő alakváltozási sebesség, mint a teljesen lekerekített könyökben. A 110 fokos éles könyökben 2 mm-es alakváltozási zónát feltételezve 0,013 1/s.

### 2.4. A könyöksajtolás kétdimenziós végelelemes modellje

A könyöksajtolás végelelemes modellezésével a kiindulási alaphoz használt analitikus modellnél a valósághoz jobban közelítő mechanikai modellt hozunk létre, melynek használatával két fontos mechanikai paraméter, a fajlagos alakváltozás mező és a fajlagos alakváltozási sebesség mező kialakulását és lefolyását vizsgáljuk különböző könyökgeometriák esetén az alábbi feladatok megoldásával:

1. A könyöksajtolás kontinuummechanikai analíziséből meghatározzuk a 110 fokos éles és 90 fokos lekerekített könyökgeometria

esetén az egyenértékű fajlagos alakváltozás nagyságát, valamint megbecsüljük az átlagos fajlagos alakváltozási sebesség nagyságát. A mechanikai modell ideálisan képlékeny, a súrlódás hatásától eltekintünk.

2. A könyöksajtolás végelelemes modelljét az említett két könyökgeometriához hozzuk létre súrlódásmentes és súrlódásos esetben, és vizsgáljuk a létrejövő teljes deformációt a munkadarabon ideálisan rugalmas, képlékenykeményedő anyagmodell esetén. A fajlagos alakváltozási mezőt számítjuk, ami az elérhető intenzív képlékeny alakítás mértékét mutatja, valamint a fajlagos alakváltozási sebesség mezőt vizsgáljuk, ami az intenzív képlékeny alakítás helyét mutatja.

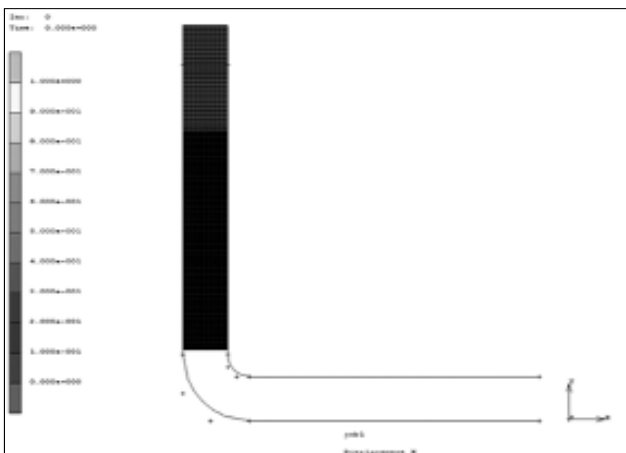
#### 2.4.1. A modellezés folyamata

Kétféle csatorna geometriát modelleztünk, az egyik 90°-os csatornaszögű, teljesen lekerekített (10. ábra), a másik 110°-os csatornaszögű éles könyök (11. ábra). A csatornaméret mindkét esetben 10 mm.

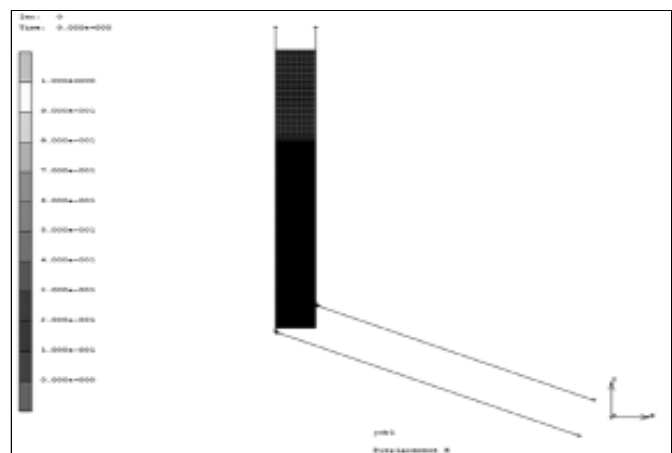
Az éles könyök modelljében, a könyökben 1 mm-es lekerekítést (12. ábra) kellett alkalmazni a szimuláció stabil futása érdekében.

A valós próbatest 10 mm-es átmérőjű, 80 mm hosszú, aminek a keresztmetszetét modelleztük síkalakváltozás esetére. A modell hálózása a 13. ábrán látható.

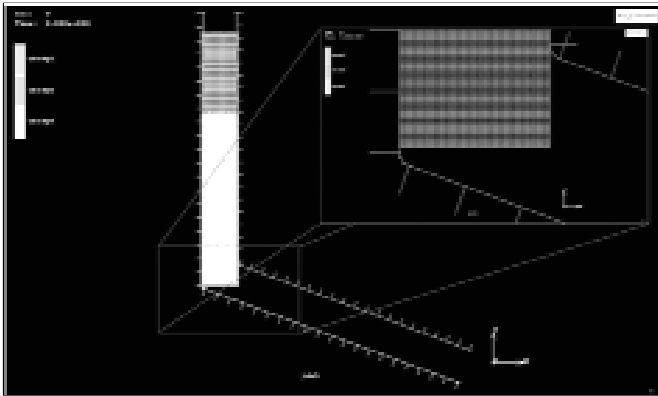
A sajtoló csatornát merev testként modelleztük, azaz a csatorna maga nem deformálódhat, a csatorna sík-



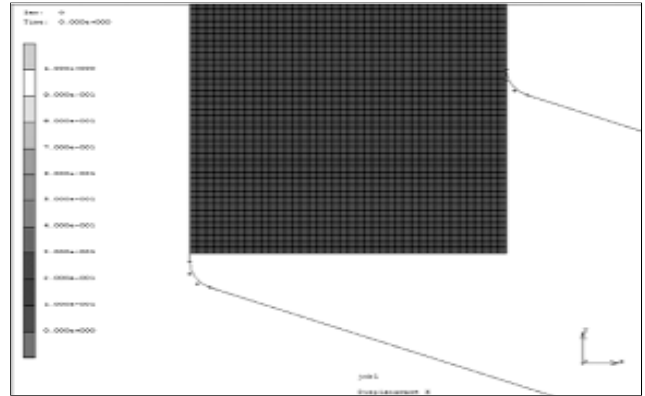
■ 10. ábra. 90°-os, teljesen lekerekített könyök kialakítás



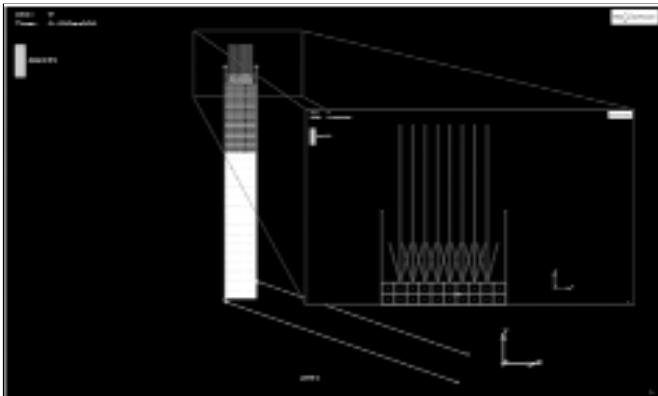
■ 11. ábra. 110°-os, éles könyök kialakítás



■ 12. ábra. 1 mm-es lekerekítés a stabil futás érdekében



■ 13. ábra. Rácsos felosztás



■ 14. ábra. 2 mm/perc előtolás a próbatest felső csomópontjaira

beli metszetét a külső és belső oldalon egy-egy görbével rajzoltuk be. A 90°-os csatorna belső oldalán a lekerekítési sugár 5 mm, a külső oldalon 15 mm. A próbatest anyagát ideálisan rugalmas, ideálisan keményedő, alakváltozási sebesség érzéketlen anyagmodellel írtuk le. A rézre vonatkozó anyagjellemzőket használtuk:

beli metszetét a külső és belső oldalon egy-egy görbével rajzoltuk be. A 90°-os csatorna belső oldalán a lekerekítési sugár 5 mm, a külső oldalon 15 mm. A próbatest anyagát ideálisan rugalmas, ideálisan keményedő, alakváltozási sebesség érzéketlen anyagmodellel írtuk le. A rézre vonatkozó anyagjellemzőket használtuk:

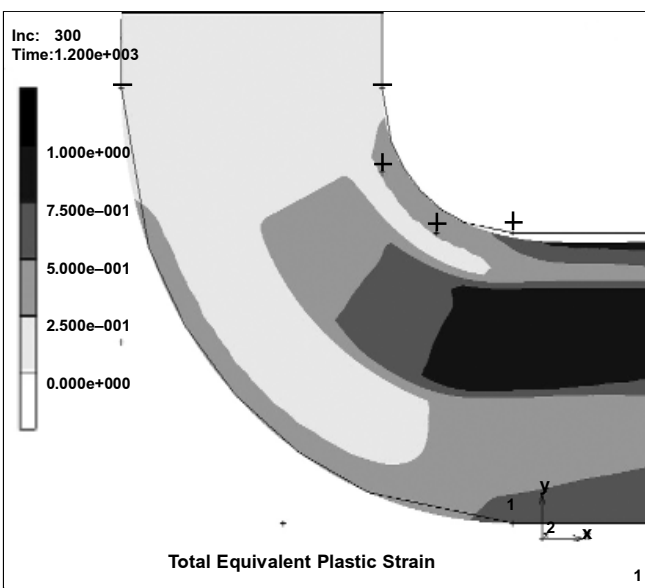
rugalmassági modulusz: 110 GPa, Poisson-tényező: 0,33, folyáshatár:  $R_p = 100$  MPa, a keményedés pedig  $\Delta\epsilon_p = 10$  értékéhez 10%-os.

Peremfeltételként egyedül az előtolást (14. ábra) alkalmaztuk, ennek mérteke 2 mm/perc. Ezt az előtolást a próbatest bemenő csatorna felőli végének felületén elhelyezkedő csomópontokra időben változó eltoládként alkalmaztuk. A szimulációban összesen maximum 40 mm-nyi átsajtolást futtatunk, az ehhez tartozó időtartam 1200 másodperc. A szimulációt az egyenértékű alak-

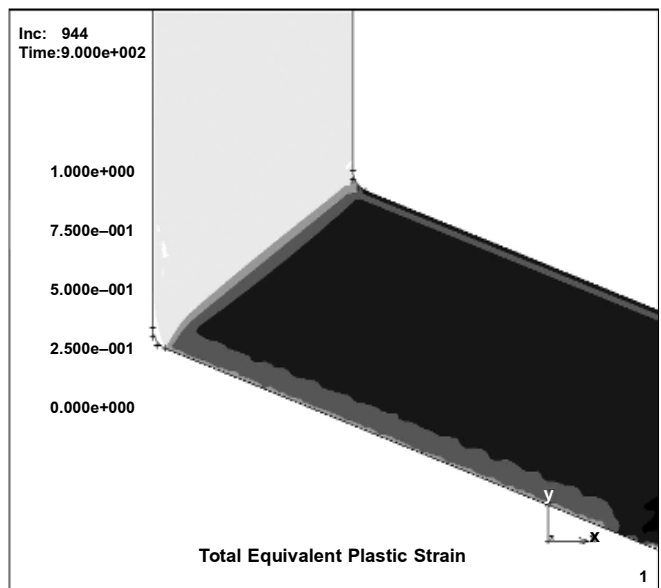
változási mező és az egyenértékű alakváltozási sebesség mező kiértékeléséhez futtatjuk.

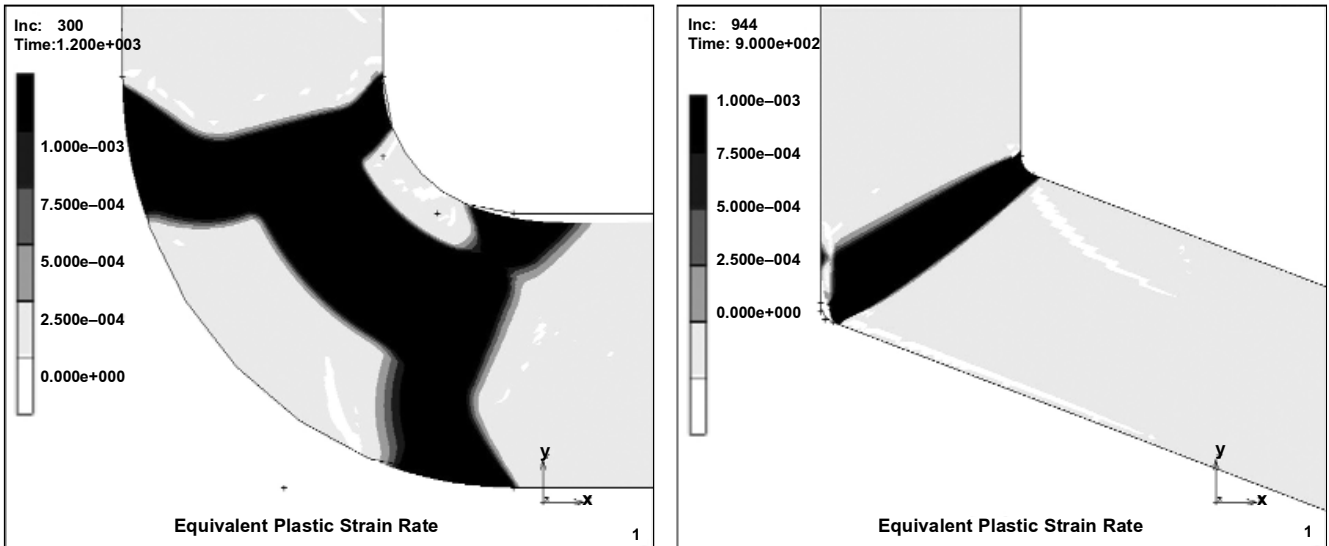
#### 2.4.2. Az egyenértékű alakváltozási mező és az egyenértékű alakváltozási sebesség kiértékelése

A szimuláció sikeres futtatása után először az egyenértékű alakváltozási mezőt vizsgáltuk mindkét csatornakialakítás esetén. Sűrűdásmentes esetben (15. ábra) az éles könyökkialakításnál az alakváltozás eloszlás egyenletesebb, a lekerekített könyök-nél helyenként változó, ugyanis éles könyök esetén az ECAP során a két csatorna keresztvezési síkjának megfelelő fő nyírási síkban (MSP) erőteljes, egyszerű nyírás játszódik le (15.b ábra), lekerekített könyök esetén a nyírási sík egy legyezőszerű felületté nyílik (15.a ábra). Az egyszerű mechanikai modellel végzett számítá-



■ 15. ábra. Egyenértékű alakváltozás mező (a) lekerekített és (b) éles könyök esetén sűrűdásmentes esetben





■ 16. ábra. Egyenértékű alakváltozási sebesség mező (a) lekerekített és (b) éles könyök esetén súrlódásmentes esetben

sok alapján a 110 fokos éles könyökben egyszeri átnyomás esetén az alakváltozás mértéke 0,8, a 90 fokos lekerekített könyökben pedig egyszeri átnyomás esetén 0,9-re adódik. A szimuláció eredményei ezt nagyon jól visszaigazolják. Lekerekített könyökkel százados nagyságrendű eltéréseket tapasztalhatunk, mivel itt az alakváltozás nem egyenletes, mint éles könyökkel, éles könyök használatakor viszont ezredes pontosságú eredményeket kaptunk. Ezt követően az egyenértékű alakváltozási sebesség eredményeit értékeljük. Az alakváltozási sebesség az éles, 110 fokos könyökben a belső oldaltól a külső oldalig állandó és körülbelül 0,016 1/s-nek becsültük (16.b ábra). A leke-

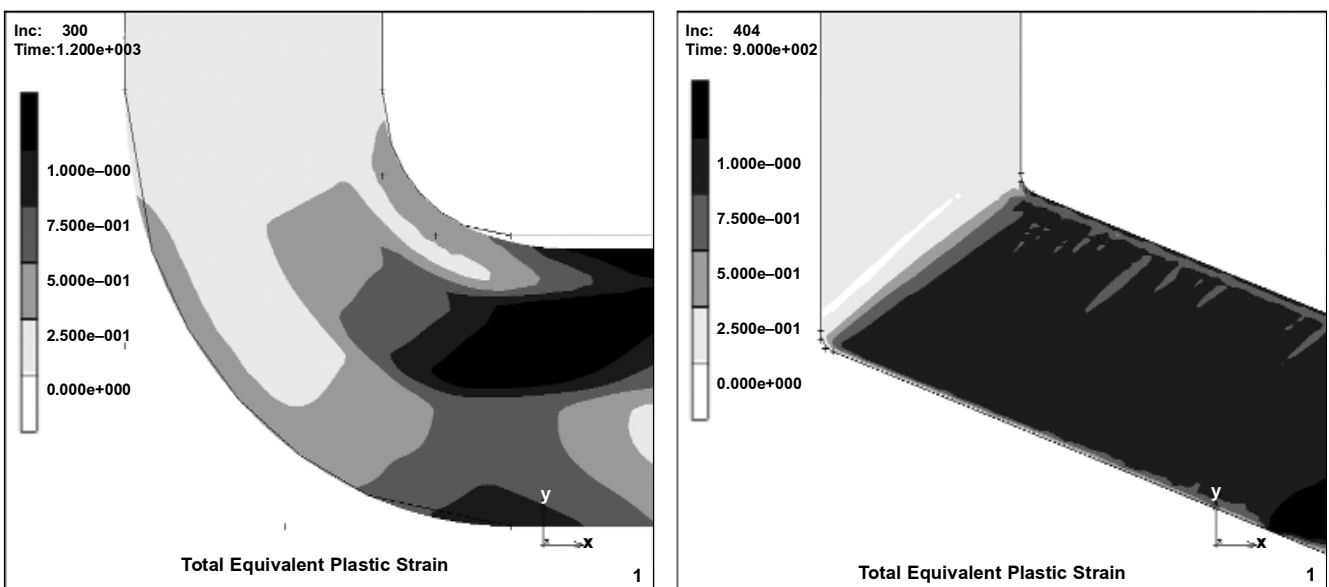
rekített 90 fokos kialakítás esetén az alakváltozási sebesség a belső oldaltól a külső oldal felé csökken nagyságrendileg az éles könyökben számított érték 1/10-e körül (16.a ábra). A súrlódásos esetekre vonatkozó számítások eredményei a 17. és a 18. ábrán láthatók.

A végeelemes modellezésből az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

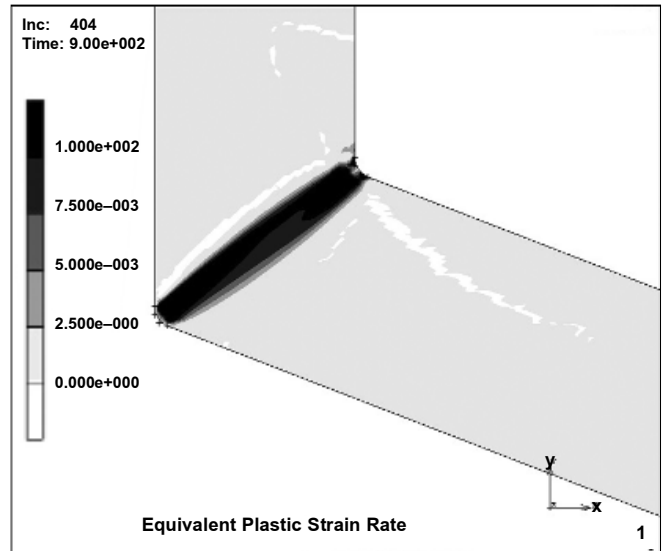
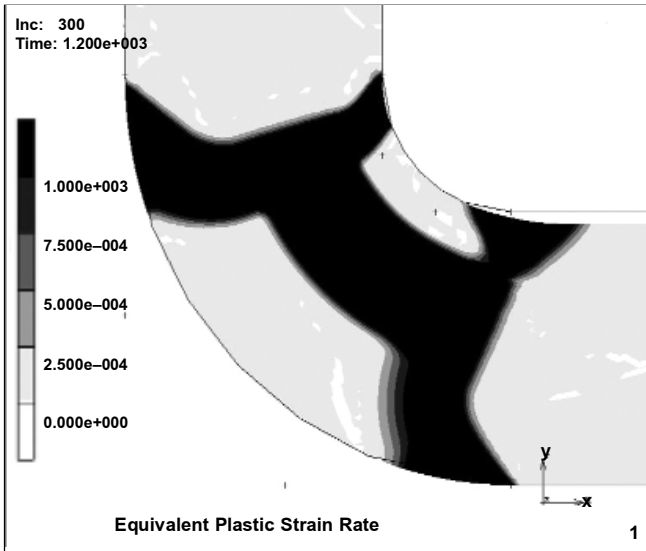
- a deformációra vonatkozóan: éles könyöknél súrlódásmentes esetben a könyök külső oldalát nem tölti ki teljesen a munkadarab, a súrlódásos esetben igen, ez utóbbi a reális; lekerekített könyök esetén súrlódástól függetlenül a kimenő csatornánál a belső oldalon van üreg a nagy lekerekítési sugár miatt, ez a kísér-

letekben is igazolódott;

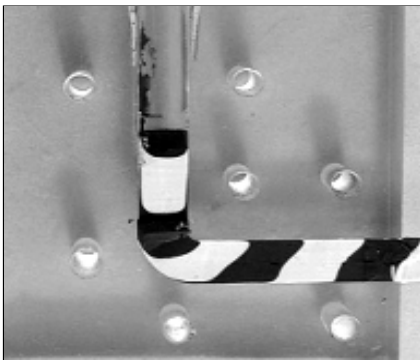
- a fajlagos alakváltozásra vonatkozóan: éles könyöknél súrlódásmentes esetben az alakváltozás mértéke 0,8, ez megegyezik az analitikus eredménnyel, a súrlódás növelésével enyhén nő. A 90 fokos lekerekített könyöknél súrlódástól függetlenül az intenzíven alakváltozó zóna csak a könyök belső oldalához közelebbi sávban alakul ki;
- a fajlagos alakváltozási sebességre vonatkozóan: éles könyöknél súrlódásmentes esetben az alakváltozó zóna a fő nyírási sík környezetében kb. 2 mm-es sávban terjed ki, és viszonylag homogén, mértéke az analitikus modellel becsült értékkel egy nagyságrendbe esik. Súrlódás-



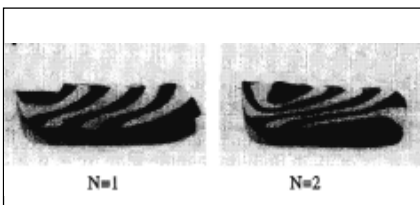
■ 17. ábra. Egyenértékű alakváltozás mező (a) lekerekített és (b) éles könyök esetén súrlódásos ( $\mu = 0,1$ ) esetben



■ 18. ábra. Egyenértékű alakváltozási sebesség mező (a) lekerekített és (b) éles könyök esetén súrlódásos ( $\mu = 0,1$ ) esetben



■ 19. ábra. Modellkísérlet a félig átnyomott gyurmából készült próbatesten létrejövő alakváltozás bemutatására



■ 20. ábra. Egy- és kétszeri átsajtolás utáni gyurmaalakok. A szerszám csatornaszöge és könyökszöge 90 fokos, a csatorna műszerolajjal kent [4]

sos esetben az alakváltozó kissé megnövekszik, és kevésbé lesz homogén, főleg a súrlódó él közelében. Lekerekített könyök esetén a nagy lekerekítési sugár miatt nem legyező alakú az deformációs zóna, a csatorna belépő és kilépő síkjában van képlékeny alakváltozás, valamint egy sávban a belső oldalhoz közel, a könyök nagy kiterjedésű részében csak rugalmas az alakváltozás.

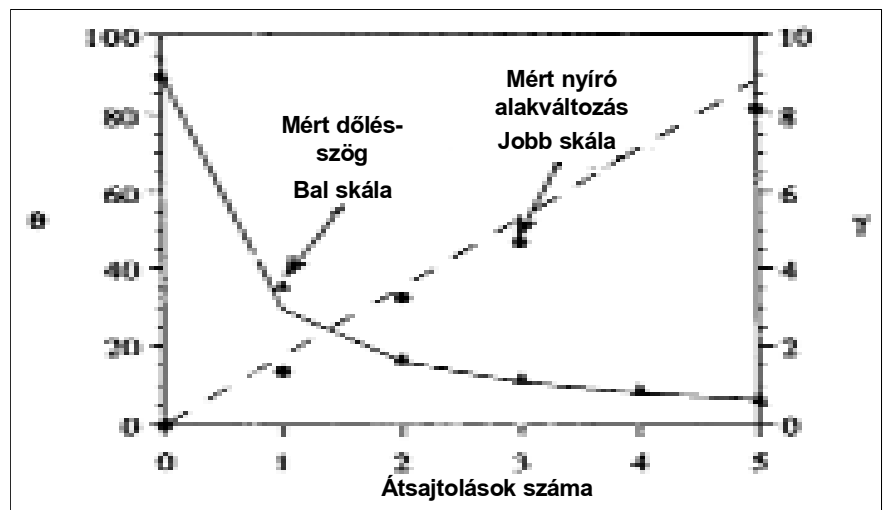
### 2.5. A plaztilines modellkísérlet kvantitatív értékelése

Az előző fejezetek alapján megállapítható, hogy súrlódásmentes és ideálisan képlékeny anyagnál a könyök-sajtolásnál létrejövő alakváltozást egyedül a csatorna geometriája határozza meg. Az alakváltozás az előzőekben definiált dőlésszöggel jellemezve egy egyszerű modellkísérlettel megmutatható volt. A kísérlethez a hengeres próbatesteket fekete és fehér gyurmából rétegesen alakítottuk ki tengelyre merőleges csíkokkal. A próbatesteket plexiből készült 90 fokos csatorna-, és könyökszögű szerszámon nyomtuk át. A súrlódás csökkentése érdekében a csatornát szilikonzsírral kentük. A 19. ábrán lát-

ható a félig átnyomott próbatesten létrejövő alakváltozás. A bemenő csatornában 90 fokos dőlésszögű sávok csatornával érintkező részei kis mértékben visszahajlanak, a súrlódás a kenés ellenére sem küszöbölhető ki teljesen. Az átsajtolás hatására kialakuló dőlés a kimenő oldalon jól látható.

Hasonló kísérleteket végzett [4] 90 fokos csatorna- és könyökszögű szerszámmal. A 20. ábrán láthatók az egy- és kétszeri átsajtolás utáni gyurmaalakok. A súrlódás hatására itt nagy mértékben visszahajlottak a sávok csatornafallal érintkező részei. A középvonalban létrejövő dőlésszög változása jól mutatja a nagymértékű nyírási alakváltozást.

A középvonalban mért dőlés-



■ 21. ábra. Nyírási alakváltozás és dőlési szög az átsajtolás számának függvényében, 90 fokos csatorna és könyökszögűnél. A pontok mérési adatok, a vonalak az elméleti értékek [4].

szögekből számítható a nyírási alakváltozás, valamint ez összehasonlítható az 1b és 1c táblázatban levő elméleti értékekkel, melyeket az Iwahashi-módszerrel számítottunk ki. Az összehasonlítás látható a 21. ábrán. A középvezonalban mért értékek ponttal jelöltek, nagyon jól illeszkednek az elméleti görbékre.

## 2.6. Az egyenértékű alakváltozás kapcsolata az anyagjellemzőkkel

A könyöksajtolás során létrejövő szemcsefinomodás az anyag szilárdságának növekedését okozza, szilárdság és a szemcseméret közötti összefüggést a Hall-Petch egyenlet írja le. Kérdés lehet viszont az, hogy az egyenértékű alakváltozás függvényében hogyan változik a szilárdság. Erre vonatkozóan fizikai összefüggés nem található, viszont tapasztalati összefüggés felállítható. [6] az Iwahashi-féle egyenértékű alakváltozás és az anyagjellemzők kapcsolatát a következő alakban írta le egy Gauss-egyenlettel:

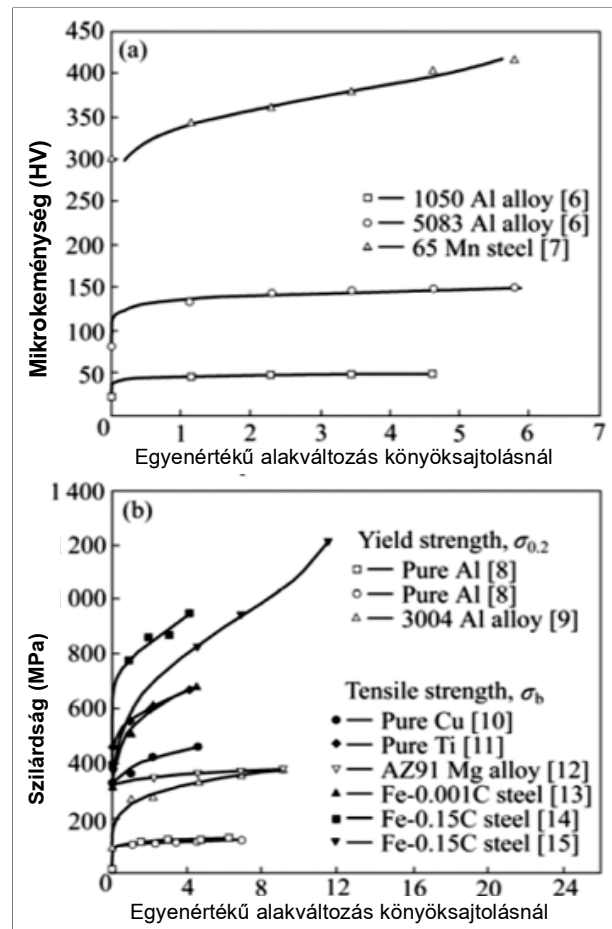
$$\varepsilon_{eq} = k_0 \exp[-(k_1 M - k_2)]$$

ahol  $M$  a szilárdsági anyagjellemző, mely lehet a folyáshatár vagy a keménység,  $k_0$ ,  $k_1$  és  $k_2$  pedig illesztő paraméterek. A 22. ábrán különböző anyagokra vonatkozóan lát-

ható a keménység (a) és szilárdság (b) az egyenértékű alakváltozás függvényében, valamint az adatokra a fenti összefüggéssel illesztett görbe. Az illeszkedés jósága minden esetre közel 1. Az illesztő paraméterek, valamint az összefüggés alkalmazhatósága megtalálható a 2. táblázatban.

## 3. A könyöksajtoló szerszám

Könyöksajtolás során a munkadarabot két egymással szöget bezáró és megegyező keresztmetszetű csatornán nyomjuk át. A szakirodalomban kétféle szerszám típus leírása található meg. Vannak olyan szerszámok, amelyekből a munkadarab csak teljes átsajtolás után vehető ki, vagyis a szerszámtest nem alakváltozást folyamatában is nyomon kívánjuk követni, bontható – könyöksajtolás során lejátszódó mégpedig a könyökrészben bontható

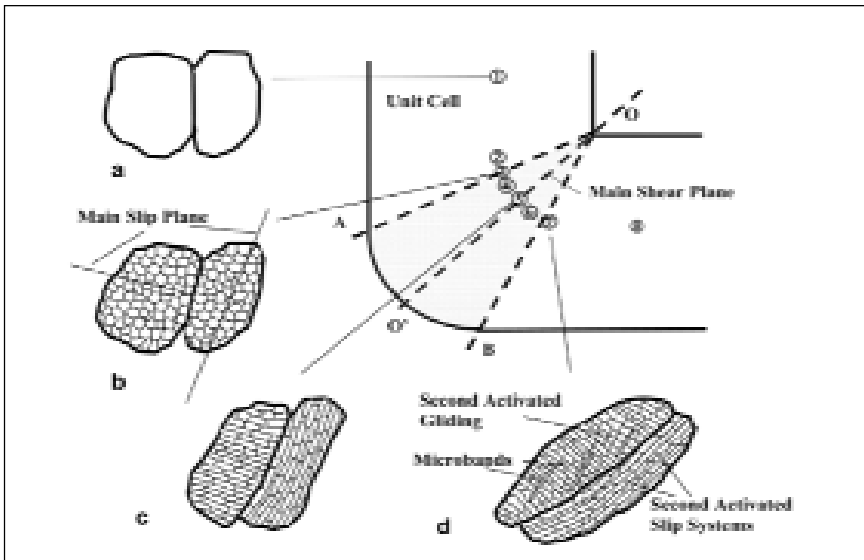


22. ábra. Különböző anyagok könyöksajtolásánál a keménység (a) és szilárdság (b) az egyenértékű alakváltozás függvényében, valamint az illesztett görbe.

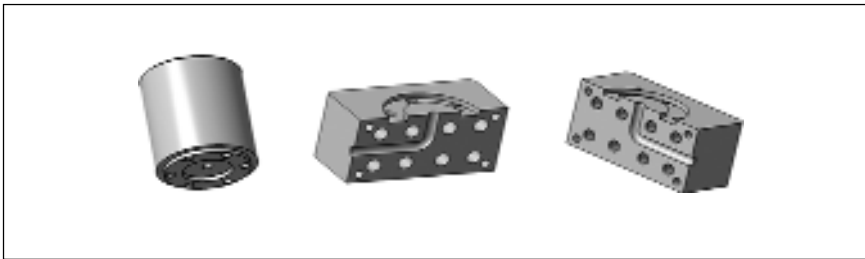
2. Táblázat. Különböző anyagokra meghatározott illesztő paraméterek, valamint az összefüggés alkalmazhatósága, Zhao nyomán.

EM	ET	EP	ES	Expression of equivalent strain	$R^2$	AS
1050 Al alloy [6]	RT	4	4.62	$\varepsilon = 2.3 \exp[-(0.25HV - 11.51)^2]$	1	Within 3 passes
5083Al alloy [6]	RT	5	5.78	$\varepsilon = 2.3 \exp[-(0.074HV - 10.44)^2]$	1	Within 3 passes
65Mn steel [7]	650 °C	5	5.78	$\varepsilon = 6.0 \exp[-(0.014HV - 5.94)^2]$	0.99	No data over 5 passes
Pure Al [8]	RT	4	6.33	$\varepsilon = 3.2 \exp[-(0.076\sigma_{0.2} - 8.93)^2]$	1	Within 3 passes
Pure Al [8]	RT	6	6.93	$\varepsilon = 5.0 \exp[-(0.093\sigma_{0.2} - 11.11)^2]$	0.99	Within 5 passes
3004 Al alloy [9]	RT	8	9.24	$\varepsilon = 6.3 \exp[-(0.030\sigma_{0.2} - 9.38)^2]$	1	Within 6 passes
Pure Cu [10]	RT	16	18.40	$\varepsilon = 3.6 \exp[-(0.076\sigma_b - 33.14)^2]$	0.9	Within 4 passes
Pure Ti [11]	350 °C	8	8.43	$\varepsilon = 4.7 \exp[-(0.0075\sigma_b - 5.37)^2]$	1	Within 4 passes
AZ91 Mg alloy [12]	270 °C	8	9.24	$\varepsilon = 1.6 \exp[-(0.049\sigma_b - 18.00)^2]$	0.98	Within 4 passes
Fe-0.001C steel [13]	RT	10	11.55	$\varepsilon = 4.0 \exp[-(0.062\sigma_b - 38.52)^2]$	0.9	Within 4 passes
Fe-0.15C steel [14]	350 °C	4	4.22	$\varepsilon = 1.5 \exp[-(0.0056\sigma_b - 5.57)^2]$	0.97	No data over 4 passes
Fe-0.15C steel [15]	RT	10	11.55	$\varepsilon = 11.6 \exp[-(0.0023\sigma_b - 2.89)^2]$	0.97	No data over 10 passes

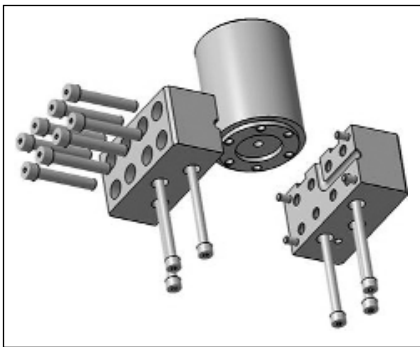
Note: EM denotes experimental materials; ET denotes experimental temperature; RT denotes room temperature; EP and ES denote extrusion pass and equivalent strain, respectively;  $R^2$  denotes goodness of regression fitting; AS denotes applicable scope; HV denotes Vickers hardness.



■ 23. ábra. Polikristályos OFHC-rézben könyöksajtolás közben lejátszódó, az egyes kristallitok orientációjától függő alakváltozást szemléltető vázlat.



■ 24. ábra. A W 303 minőségű szerszámacélból készítendő könyöksajtoló szerszám fő részeinek 3D-s modellje



■ 25. ábra. Az összeszerelés menetét bemutató vázlat

– szerszámra van szükségünk. Ilyen jellegű vizsgálatokat végzett Xue [13], akinek munkája a könyöksajtolás közben lejátszódó alakváltozás mechanizmusának megértését nagymértékben szolgálta.

A polikristályos rézben az egyes kristallitokban lejátszódó, azok egyedi orientációjától függő változásokat egy szemléletes ábrában is összefoglalta, amelyet a 23. ábrán mutatunk be.

A könyöksajtoló réz mikroszerkeze-

tére az ún. elnyújtott réteges struktúrára jellemző, amelyet az angolszász irodalomban ELS-nek vagyis Elongated Lamellar Structure-nak neveznek. Az ilyen szövetszerkezetre 250-400 nm lamellatávolság jellemző, és a lamellákat az alakváltozás későbbi szakaszában a lamellafalakkal szöveget bezáró csúszási síkok mentén lejátszódó alakváltozás feldarabolhatja.

Mivel a kutatási projektünk egyik alapvető célja az ultrafinom szövetszerkezethez vezető folyamatok kutatása volt, érthető, hogy a bontható szerszám megvalósítása mellett döntöttünk.

### 3.1. A könyöksajtoló szerszám ismertetése

Két, csatornakiakításukban eltérő szerszámot készítettünk. A 10 mm átmérőjű csatorna két szakasza az egyik esetben egymásra merőleges, 90°-os, míg a másik szerszámokban 110°-os volt. A 90°-os szerszámokban a csatornák találkozási helye lekerekít-

tett, míg a 110°-os szerszámokban éles, lekerekítés nélküli. A szerszámoknak alkalmasnak kell lennie a legfeljebb 200 MPa folyási határú fémek megmunkálására, vagyis még lágyacélok is megmunkálhatók.

A csatorna keresztmetszete, a csatornaszög és a megmunkálható anyag folyási határa együttesen határozzák meg a szerszám mechanikai terhelését, a méretezést az alábbi elemekre kellett elvégeznünk:

- a nyomótüskére,
- a befogató hengerre,
- a könyökrész bontható szerszámfeleire,
- a szorítócsavarokra.

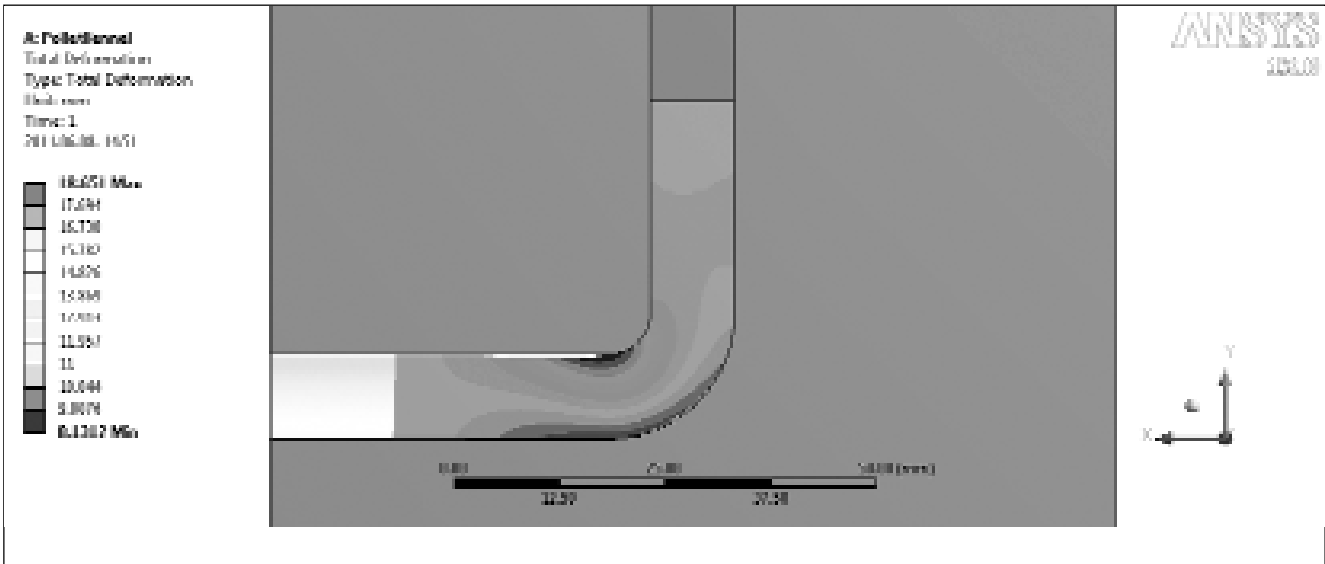
A szerszám minden egyes elemét Böhler W 303 típusú szerszámacélból készítettük el. A szerszám anyaga edzett illetve nemesített állapotú.

A szerszám egyes alkatrészeinek kialakításakor a Fémalk Zrt. megmunkálási lehetőségeit vettük alapul [14]. Arra törekedtünk, hogy a megmunkálások zöme CNC esztergán vagy marógépeken végrehajtható legyen, és csak az íves részek megmunkáláskor kelljen szikraforgácsoláshoz folyamodni. A szerszámot három részből alakítottuk ki, amelynek 3D-s modelljét a 24. ábrán mutatjuk be.

Az ábrán látható hengeres befogató elem vezeti meg a munkadarabot, és a benne mozgó nyomótüske segítségével végezzük el az átsajtolást. A befogató elem akadályozza meg a munkadarab és a nyomótüske kihajlását a sajtolás első, kezdeti szakaszában. A befogató elemekben lévő furat és a nyomótüske felülete egyaránt edzett és köszörült felületű.

Az eltérő csatornageometriájú szerszámok befogató eleme hasonló kialakítású, de az elcserélhetőség elkerülése érdekében azok illetétek a szerszám alsó, bontható részéhez. Az eltérő csatornageometriájú szerszámok bontható részeinek kialakítása teljesen azonos, csak a csatorna kialakításában van közöttük különbség.

A szerszámot alulról kezdve, ún. „átmenő konstrukcióban” szereljük össze. Ez a konstrukció biztosítja a szerszám szükséges szilárdságát. A szerszám alsó bontható részét nyolc M12-es csavar fogja össze, míg az alsó részt a hengeres befogató elemhez hat M10-es csavar rögzíti. A szer-



■ 26. ábra. A munkadarab X-irányú elmozdulása, a jellegzetes „mintázattal”

szám egyes elemeinek illesztését, valamint a 90°-os és 110°-os csatornaszögű szerszámok egyes elemei közötti „keveredést” megátolódó illesztő szegekkel oldottuk meg.

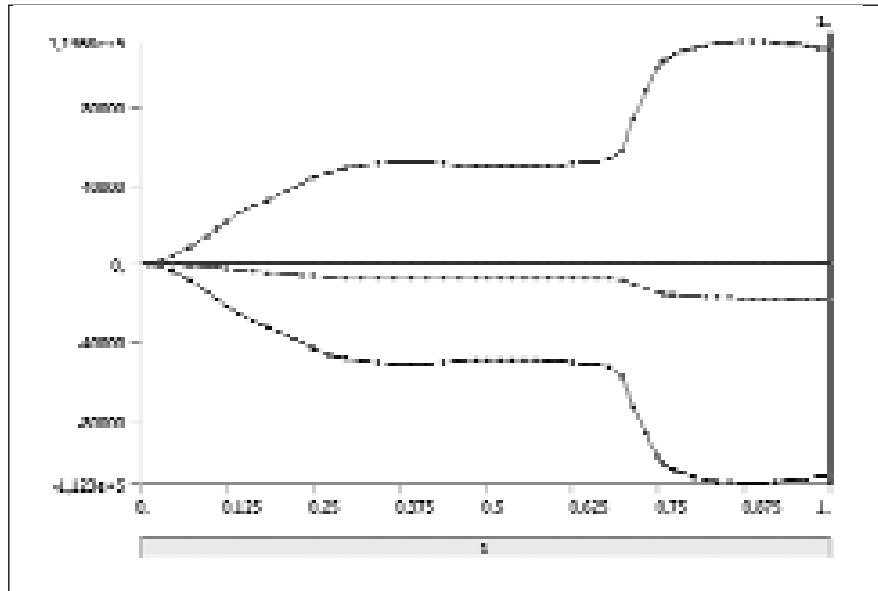
A könyöksajtoló szerszám összeszerelésének menetét a 25. ábra mutatja. A szerszámot következő három lépésben kell összeszerelni:

- 1) Először a szerszám alsó bontható részét képező két felet építjük össze, miután meggyőződünk, hogy az illesztő szegek a helyükön vannak-e.
- 2) A következő lépésben a szerszám alsó két felét összefogó nyolc M12-es csavart két lépésben kell meghúzni cikk-cakk alakban.
- 3) Ezután a hengeres befogó elemet rögzítjük hat M10-es csavarral a már összeszerelt, bontható alsó szerszámrészekhez, egymással szemben lépkedve.

### 3.2. A szerszám befogó hengere és alsó része között ébredő szétfeszítő erő ANSYS szoftverrel végzett elemzés alapján

A könyöksajtolás térbeli vége-seleemes modelljével az alábbi kérdésekre kerestük a választ:

- mekkora a befogó henger és a szerszám alsó része közötti szétfeszítő erő, amelyre a csavarkötést méretezni kell,
- létrejön-e a szimuláció során az a mintázat, amelyet a plasztilines kísérlet során meg lehetett figyelni.



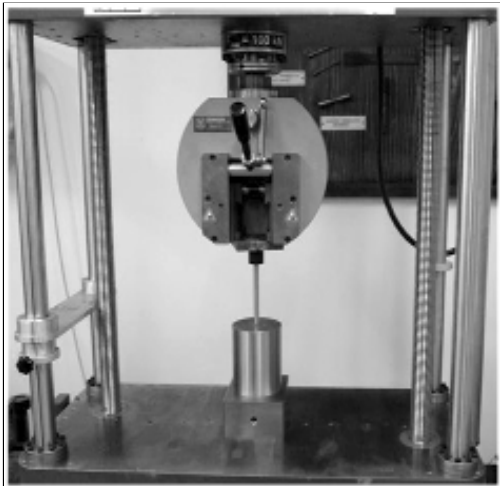
■ 27. ábra. A szerszámot szétfeszítő erő az elmozdulás függvényében (az 1 egység felel meg 3 mm-nek)

Mivel az analízis a szétfeszítő erő meghatározására irányult, ezért a befogó hengert és a nyomótüskét merev testnek tekintettük, és a számítási teljesítmény növelése érdekében kihasználtuk a szimmetria feltételt. Mivel a munkadarab anyaga a terhelés hatására a folyáshatárát túllépi, így non-lineár anyagmodellt választottunk az analízisekhez.

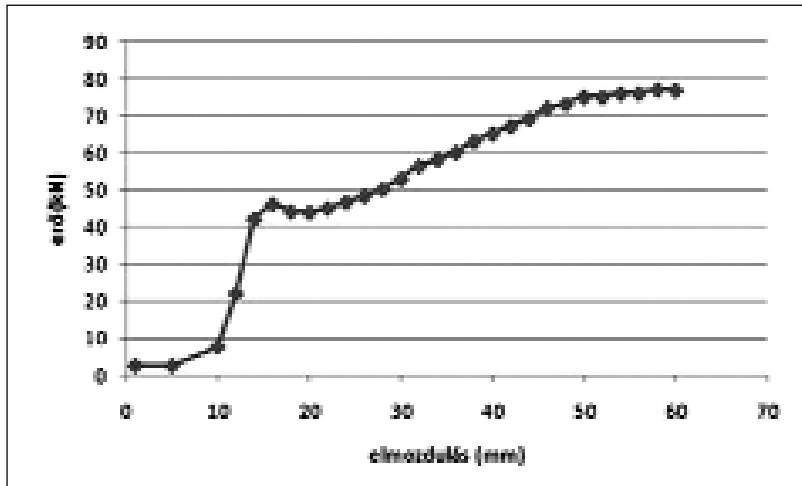
A szerszámgeometriát SolidWorks programban készítettük el, és azt abból importáltuk az Ansys szoftverbe. Összesen 22479 csomópont és 5476 elem építi fel a modellt. Az alaptest hálózása csak a csatornára terjed ki, hogy az érintkezési feltételt (kontak-

tot) definiálni lehessen. A nyomótüske 4 eleme pedig a nem-elváló kontakt definiálásához szükséges.

A 3D-s Ansys szimulációhoz színelumíniumra vonatkozó anyagjellemzőket vettünk figyelembe. Mivel a feladat során az alumínium próbatestet „átnyomjuk” a szerszámon, fontos a megfelelő kontaktálások definiálása. Súrlódásmentes kapcsolatot állítottunk be, és definiáltuk a szimmetria feltételt. Mivel merev testként kezeltük a befogóhengert és a nyomótüskét is, ezért a kényszerek esetén „Join”-ot választottunk. Ez a befogóhenger esetén teljes lefogást, a nyomótüske



■ 28. ábra. A mérési összeállítás



■ 29. ábra. A sajtolás erőszükséglete a 110°-os szerszám használatakor

esetén 30 mm-s elmozdulás kényesert jelentett. A súrlódásos elmozdulás vizsgálatát Pure-penalty modellel hajtottuk végre.

A sikeres futtatás eredményeképpen visszakaptuk a plaztilines kísérlet során kialakult mintázatot, amint azt a 26. ábra mutatja.

A 27. ábra alapján megkaptuk a JOINT próba erőértékét, amely a szerszámot szétfeszítő erőt szolgáltatja, amely alumínium esetén 112 kN.

Amint azt már a 25. ábrával kapcsolatban bemutattuk, a szerszámot tengelyirányban hat M10-es csavar fogja össze. Figyelembe véve a csavarok szilárdsági kategóriáját, valamint a szétfeszítő erőre kapott kb. 120 kN-os erőt, belátható, hogy a csavarokat legfeljebb a terhelhetőségük 15%-áig vesszük igénybe. Gondos összeszerelés esetén a hat csavar által biztosított összefogás megakadályozza a megmunkálandó anyagnak a két szerszámfél közé való bejutását.

#### 4. Az OFHC-rézrel végzett kísérlet bemutatása

Nagy tisztaságú polikristályos OFHC-rézből készült 10 mm átmérőjű, 40 vagy 80 mm hosszúságú próbatesteket sajtolunk át szobahőmérsékleten 2 mm/perc sebességgel a lekerekített 90°-os vagy a lekerekítetlen 110°-os szerszámon. A szerszám kenése lítium vagy MoS<sub>2</sub> alapú kenőanyaggal történt. Az átnyomás egy Messphysik B100-as 100 kN terhelhetőségű szakítógépen történt, a mérési összeállítás a 28. ábrán látható. A szerszám



■ 30. ábra. Félig átsajtolt próbatestek a szerszámban

mot kenés és összeszerelés után a gép asztalára helyeztük, a befogató hengerbe betöltöttük az ugyancsak zsírral kent munkadarabot, majd betöltük a nyomótüskével a darab elakadásáig kézzel. A gép felső pófája alá egy teherátvivő lemezt tettünk, amit a traverz lefelé mozgatásával felütköztettünk a nyomótüskére. A traverz tovább mozgattuk lefelé kézi vezérléssel gyorsjáratban, míg az erő értéke el nem éri a kb. 2 kN-os értéket, ekkor éri el a próbatest a könyököt. Ez után automatikus vezérléssel 2 mm/perc sebességgel végezzük az átsajtolást.

Az átsajtolás erő-elmozdulás diagramja a 29. ábrán látható egy próbatestnek a 110°-os szerszámon való átsajtolásánál. Kezdetben az erő lassan nő, ahogy a próbatest eléri a kimenő csatornát, előfeszül, majd elkezd megfolyni. Ekkor az erő hirtelen megnő kb. 45 kN-os értékre, majd 1-2 kN-nal visszaesik. Ez a próbatest első 10 mm-es alakítása, ami átmeneti jellegű, ez után stabilizálódik az alakítás. A grafikonon ez a 10-20 mm-ig tartó gépi koordinátánál történik meg. Ez után az erő lassan, de egyenlete-

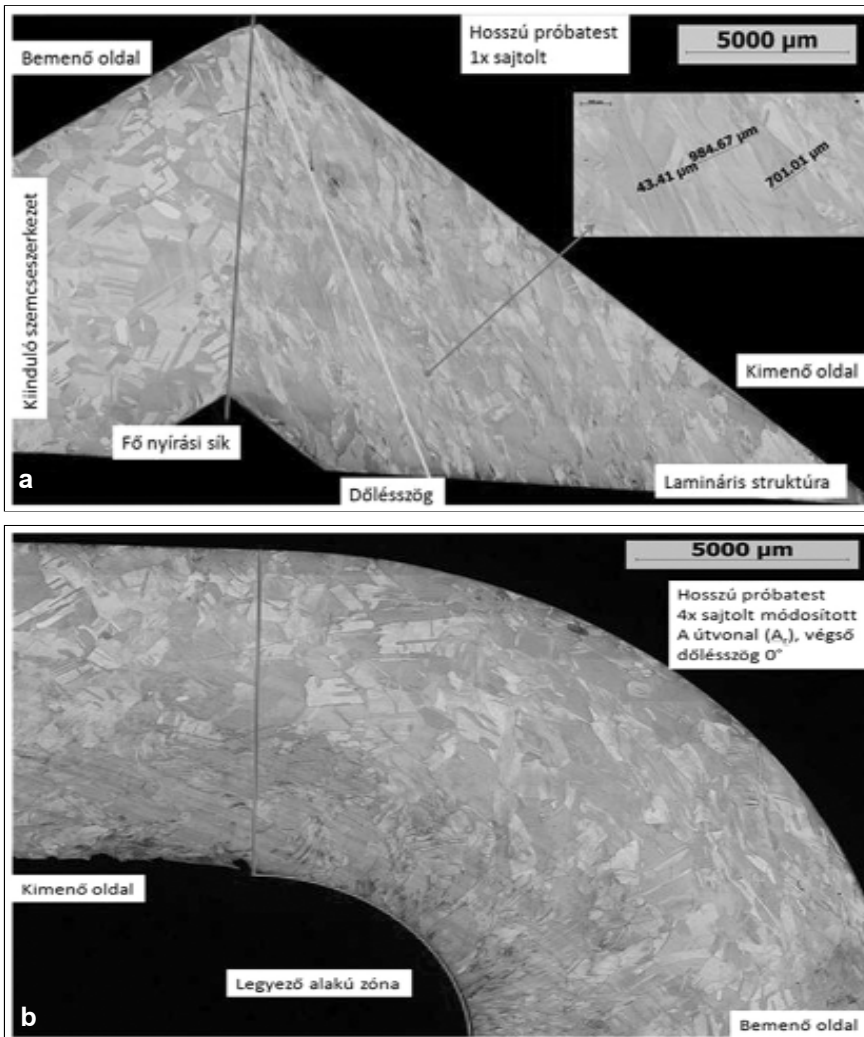
sen nő a következő 40 mm-en kb. 75 kN-ig. Az átsajtolt próbatestekről készült fényképek a 30. ábrán láthatók a szerszám szétszerelésekor a próbatest kivétele előtt a szerszámfélből.

A további vizsgálatokra kiválasztott próbatesteket a hossz tengelyük mentén szikraforgácsolással kettévágtuk, majd a hossz méretüket a 30 mm átmérőjű beágyazáshoz igazítottuk.

#### 4.1. A fémtani vizsgálatok eredményei

A mintákat optikai mikroszkóppal és EBSD feltétellel ellátott pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM), valamint transzmissziós elektronmikroszkóppal (TEM) vizsgáltuk. A 31. ábrán láthatók az optikai mikroszkópos képek az éles könyökben 1x (a) és a lekerekített könyökben 4x átsajtolt minta mikroszerkezetéről.

Éles könyök esetén az ECAP során a két csatorna keresztvezési síkjának megfelelő fő nyírási síkban (MSP) erőteljes, egyszerű nyírás játszódik le, lekerekített könyök esetén a nyírási sík egy legyezőszerű felülettelé nyí-



■ 31. ábra. Fénymikroszkópos képek az éles könyökben 1x (a) és a lekerekített könyökben 4x (b) átsajtolt minta mikroszerkezetéről

lik. Az alakváltozás mértéke kis mértékben változik.

A 110 °-os éles könyökben egyszeri átnyomás esetén az alakváltozás

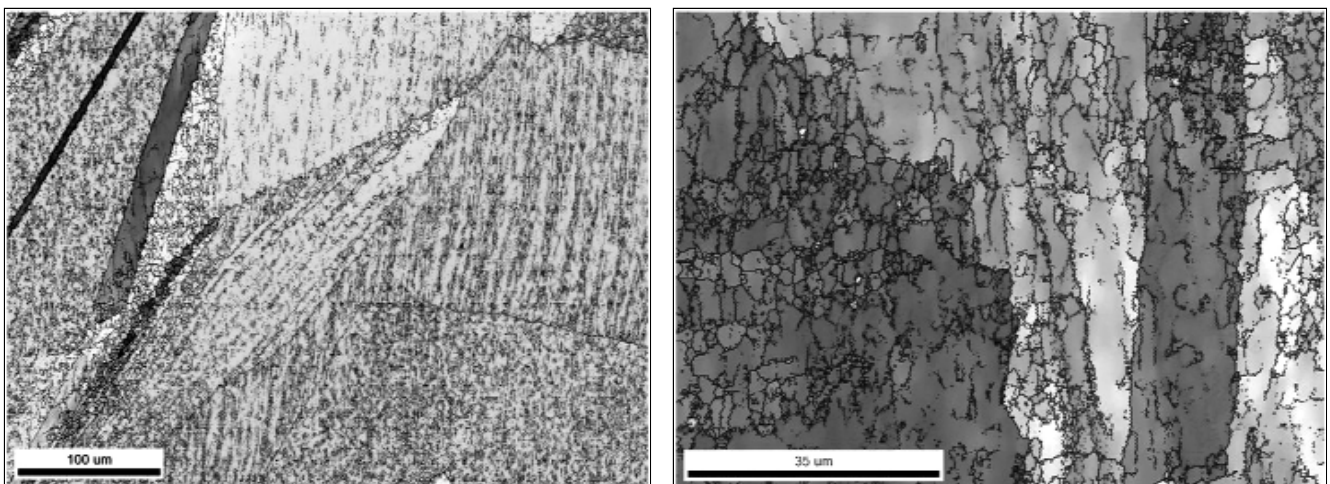
mértéke 0,8, az alakváltozási sebesség a belső oldaltól a külső oldalig állandó és kb. 1 min<sup>-1</sup>. A kialakuló dőlésszög 0,5 fokos eltéréssel adja az

elméleti 35,53 fokot. A kimenő oldalon a dőlésszög alatti lamináris szemcseszerkezet alakul ki. A súrlódás hatása látható az érintkezési felület közelében levő szemcsék deformációján, valamint a véglap dőlésszögének változásán.

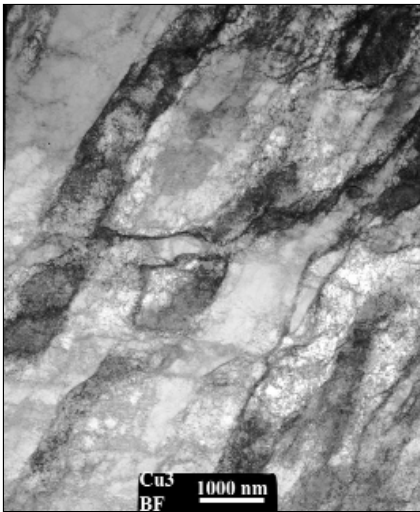
A 90°-os lekerekített könyökben egyszeri átnyomás esetén az alakváltozás mértéke 0,9, négyszeri átnyomással 3,6. Az alakváltozási sebesség a belső oldaltól a külső oldalig csökken az éles könyök 1/10-e körüli értékre. A módosított útvonalnál páros számú átnyomásnál a dőlésszög 0°. Viszonylag sok feldarabolódott szemcsé látható, de csak a belső oldalon, a nagy alakváltozási sebességű helyhez közel. Az 2.4. fejezetben a végeselemes modellel megmutattuk, hogy intenzív képlékeny alakváltozás a lekerekített könyökben csak a belső oldalon játszódik le.

Az EBSD technika különösen alkalmas az ultrafinom szövetszerkezet jellegzetességeinek vizsgálatára, hiszen az egyes tartományok orientációjának meghatározásán túl alkalmas a szövetben előforduló nagy- és kisszögű szemcsehatárok megkülönböztetésére is.

A 32. ábrán láthatók az EBSD-s képek az éles könyökben átsajtolt minta kimenő oldaláról, valamint a lekerekített, négyszer átsajtolt minta könyökbeli belső oldaláról. A viszonylag nagy méretű (50-100 μm) szemcséken belül sok kisszögű szemcsehatár található, melyek jellemző mérete 5 μm alatti, és ezek a kiindu-



■ 32. ábra. EBSD kép az éles könyökben átsajtolt minta kimenő oldaláról (a), valamint a lekerekített 4x átsajtolt minta könyökbeli belső oldaláról (b) (Dr. Szabó Péter János felvételei, BME)



■ 33. ábra. TEM-es felvétel az éles könyökben átsajtolt minta kimenő oldaláról (Radnóczy György KFKI-MFA felvételeiből)

lópontjai az ultrafinom szemcseszerkezet kialakulásának.

Transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálattal készült felvétel látható a 33. ábrán az éles könyökben átsajtolt minta kimenő oldalából vett részletről. A tömbi mintából kb. 0,5 mm vastag lemezeket vágtak le, amelyeket mechanikusan vékonyítottak 50 µm-ig, utána ionsugaras vékonyítással vékonyították tovább, amíg a minta ki nem lyukadt. A lyuk szélén keletkező vékony tartományokról készült a transzmissziós elektronmikroszkópos felvétel. A 33. ábrán a jól azonosítható réteges struktúra lamellatávolságának jellemző mérete néhány mikrométer, amelyeket belül a diszlokációs falak tovább tagolnak. A szerkezet eléggé inhomogénnek tűnik, a nagyobb szemcsék mellett egészen kicsi lemez alakú cellák (hosszában és keresztben is elvágva) is a szerkezet jellemzőiként vannak jelen. Ez a struktúra jól megfelel a szakirodalomban található ELS struktúráknak.

### Összefoglalás

Éles könyök esetén a számított dőlésszögben rétegződő struktúra jön

létre, elnyújtott szemcsékkel, a keresztmetszetben egyenletes eloszlásban, de egyszeri átnyomásnál a teljes alakváltozás kevés a szemcsék nagymértékű elaprózódásához. A kezdeti 500 µm-es szemcsékhez képest az alakított szemcsékben az optikai mikroszkóppal megfigyelhető legkisebb méret kb. 40 µm-es. Lekerekített könyökben a nagyságrenddel kisebb alakváltozási sebesség ellenére a többszöri (4x) átsajtolás hatására a nagy alakváltozási sebességű oldalon látható a szemcsék elaprózódása, mely a külső oldalon nem történik meg. Mindkét sajtolási esetre vonatkozóan az EBSD ábrákon látható, hogy a szemcséken belül nagy mennyiségű kis szögű szemcsehatár található 5 µm alatti jellemző mérettel. Ugyanezt bizonyítják a TEM-es vizsgálatok eredményei is.

### Irodalomjegyzék

- [1] V. M. Segal, V. I. Reznikov, A. E. Drobyshevskij, V. I. Kopylov: *Metally*, 1 115. 1981
- [2] V. M. Segal V. I. Reznikov, V. I. Kopylov, D. A. Pavlik, V. F. Malyshev. In: *Processes of plastic transformation of metals*, Minsk, Navuka i Teknika, p. 295. 1984
- [3] R. Z. Valiev (editor): *Ultrafine-grained materials prepared by severe plastic deformation*. *Annales de Chimie*, vol. 21. Science des Matériaux, p. 369, Special issue. 1996
- [4] Y. Wu, I. Baker: *An Experimental Study of Equal Channel Angular Extrusion*. Pergamon Scripta Materialia, Vol 37. No. 4. pp. 437–442. 1997
- [5] Verő B., Bodnár V., Nagy G.: *Könyöksajtolás útján a nanovilágba*. Az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet által kiírt „nanotechnológiai kísérletek és alkalmazási demonstrációk – NanoDemo” felhívás

- [6] Zhao Jun, Wang Zhen-hua, Sun Shu-hua, Zhao De-li, Ren Li-guo, Fu Wan-tang: *A new method of characterizing equivalent strain for equal channel angular processing*. *J. Cent. South Univ. Technol.*, 16. 0349–0353, 2009
- [7] Chan et al.: *42nd MWPS Conf. Proc. ISS*, vol. XXXVIII, 2000. pp. 523–531
- [8] Gonda V.: *A keménység változása könyöksajtolás közben nagy tisztaságú réz alapanyagban XIV. Képlékenyalakító Konferencia*, 2012. február 16–17, Miskolc
- [9] Y. Iwahashi, J. Wang, Z. Horita, M. Nemoto, T. Langdon: *Principle of equal-channel angular pressing for the processing of ultrafine grained materials*. *Scripta Materialia*, Vol. 35, No. 2, pp. 143–146, 1996
- [10] Bobor K. Krállics Gy.: *Könyöksajtolás különböző alakítási útjainak vizsgálata nem-monotonitás szempontjából*. OGÉT 2010–XVIII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó. Baia Mare, Románia, 2010. 04. 22.–2010. 04. 25. Kolozsvár, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, pp. 71–74. Paper 12.
- [11] Tóth S. L.: *Computational Materials Science* 32 pp. 568–576, 2005.
- [12] A. R. Eivani, A. K. Taheri: *An upper bound solution of ECAE process with outer curved corner*. *Journal of Materials Processing Technology*, 2007. 182 p. 555–563.
- [13] Q. Xue, I. J. Beyerlein, D. J. Alexander, G. T. Gray: *III. Mechanisms for initial grain refinement in OFHC copper during equal channel angular pressing*. *Acta Materialia*, Volume 55, Issue 2, January 2007, Pages 655–668.
- [14] Kramm György személyes közlése

### Készült a projekt zárórendezvénye emlékére

A régió és a Dunaújvárosi Főiskola válasza az anyagtudomány és technológia új kihívásaira

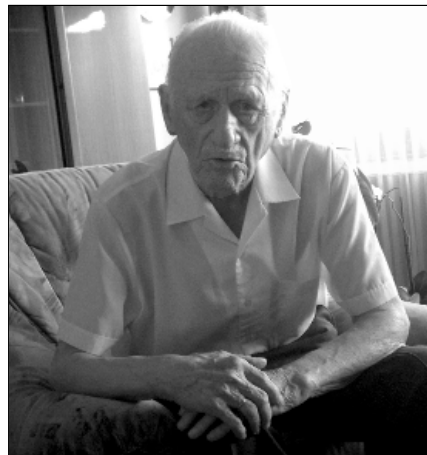
TÁMOP-4.2.2-08/1/2008-0016



## A vaskohászat hengerlési szakembere és történetének kutatója

Interjú dr. Rempört Zoltánnal\*

*Idős kohómérnökeink közül 2011-ben ketten vehették át a Miskolci Egyetemen vasdiplomájukat, Prosz Ervin és dr. Rempört Zoltán. Fél évszázada kapták meg mérnöki oklevelüket. Sajnos, Prosz Ervin időközben elhunyt. Rempört Zoltánnal, mint az évfolyam egyetlen köztünk élő tagjával, a vaskohászati szakma megbecsült személyiségével, egyesületünk tiszteleti tagjával Lengyelné Kiss Katalin készítette interjút otthonában.*



**LKK:** Kedves Zoli bácsi! Engedje meg, hogy így szólítsam, ahogyan azt régóta megengedte nekem. Akik tudunk balesetéről, mind szívből örülünk, hogy a csonttörést követő műtét után szépen gyógyul. Így nincs akadálya annak, hogy életpályájáról beszélgesünk, nem csak a szűken vett szakmai dolgokat nézve, hanem közel 90 esztendő életútjára is visszatekintve. Tudjuk, hogy Vas megyében, Alsóságon született 1922-ben. Hol töltötte ifjúkori éveit?

**RZ:** Kemenesalja központi mezővárosában születtem, jómódú parasztcsaládból származom. Ott jártam elemi iskolába, majd Celldömölkön és Pápán, a Református Kollégiumban folytattam középiskolai tanulmányaimat. Mániákus könyvolvasó gyerek voltam, s erősen vonzódtam az irodalom, a latin-görög kultúra iránt. Pápán a Kollégium irodalmi önképző körének lelkes tagja lettem. Itt nemcsak a híres pápai diákok, *Jókai, Petőfi* munkásságával foglalkoztunk, hanem az akkori jelenkor irodalmát, költészetét is elemeztük. A fiatal költőkről tartott előadásomban például kiemeltem, hogy a kismizettelek első szószólója *Sinka István* volt, aki a Sárret pásztorainak nyomorúságos sorsát verseiben megjelenítette. Nagy sikerélményt jelentett nekem, hogy 7. osztályos koromban, 16 évesen, diáktársaim szavazata alapján én nyertem el a Beöthy-nagydíjat, amely az évfolyam

legjobb irodalmárának járt. 1942-ben érettségiztem, és a magyar–latin szakos tanári pálya képe lebegett előttem.

**LKK:** Mikor és milyen módon választotta mégis a reáltudományokat?

**RZ:** Véletlenül. Érettségi után feljöttem Pestre, az Eötvös Kollégiumba egy beszélgetésre. Itt valahogyan az derült ki számomra, hogy a klasszikus műveltség Magyarországon is leáldozóban van. Másrészt, mikor visszamentem Pápára, jobban hallgattam a matematika-tanáromra, s miután jó példamegoldó készségem révén ebből a tárgyból is osztályelső voltam, ő biztatott engem, hogy menjek inkább reálterületre. Én ugyanis nem voltam kitűnő tanuló, én tehetséges diák voltam.

Döntésemet talán az is befolyásolta, hogy ebben az időszakban az ország igen erős iparosításba kezdett. A környékről persze elsősorban erdőmérnöki pályára mentek Sopronba, de nagyon sokan választották az elektromérnöki pályát is. Én a közeli Ajkán szándékoztam majd elhelyezkedni, és megtudtam, hogy ott kohómérnökre és vegyészmérnökre van szükség. Miután azonban Budapesten a vegyészmérnöki karra erős túljelentkezés volt, a József nádor Műegyetem soproni kohómérnöki karát céloztam meg.

**LKK:** Az 1942/43-as tanévben kezdett Sopronban Zoli bácsi. Milyen emlékeket őriz abból az időből?

**RZ:** Sajnos, nem sok jó emlékem

van Sopronból. Az első évben még csak-csak volt diákélet, a következő években azonban belebonyolódtunk a háborúba, volt ott minden, légiriadó, berepülés, bombázás, frontátvonulás, romeltakarítás. Közben természetesen állandóan keményen kellett tanulni, mert az államhatalomnak az volt a terve, hogy ennek az évfolyamnak a háború végéig végezni kell.

**LKK:** Tehát gyorsítottan végeztek?

**RZ:** Annyi gyorsítás volt, hogy a 9. félévet előbbre hozták, '45 nyarára tették. Ez a dolog számomra, mint később kiderült, sorsdöntő volt. Két hónapon át a Borsodnádasdi Lemezgyárban voltam gyakornok, ahol hengerléssel finomlemez gyártottak. Itt jöttem rá, hogy számomra nem az alumíniumipar a legvonzóbb terület, hanem a vaskohászat, amely a sokféle ötvözetével, gyártmányával sokkal szélesebb körű, sokkal változatosabb ismereteket kíván, s ezen kívül nagyobb az elhelyezkedési lehetőség is. Az ajkai gyár akkor még csak felfutóban volt. A másik ilyen tapasztalat pedig az volt, hogy az acélhengerlés az egyik legérdekesebb kohászati tevékenység. Itt jegyeztem el

\*A kiegészítő adatok közléséért köszönet illeti Clement Andor okl. kohómérnököt, a Hengerész Szakcsoport egykori titkárát.

magam a hengerléssel, amihez aztán szinte egész szakmai pályafutásom alatt hű maradtam.

No, most még egy érdekességet hadd mondjak el Sopronról. '46 júliusában ugyan levizsgáztam mindenből, de a záróvizsgát csak szeptemberben tettem le. Ekkor újra elmentem Sopronba, ahol akkor tartotta a Nemzeti Paraszt Párt a nagygyűlését, még pedig két fő szóval, az elnök *Veress Péterrel* és a belügyminiszter *Erdei Ferencsel*. A nagygyűlésen kérdéseket lehetett feltenni a szónokoknak. Én csak hallgatóként voltam jelen, de a soproni értelmiség részéről záporoztak feléjük a kérdések. Főképpen két kérdés maradt meg bennem: Meddig lesznek jelen Magyarországon az orosz csapatok? és Moszkva követeli-e, hogy Magyarországon kommunista hatalom legyen, vagy belemegy egy különutas rendszer kialakításába, a demokratikus, baloldali kormány továbbélésébe. Erdei Ferenc azt válaszolta, hogy a békekötés két éven belül meglesz, és akkor várható, hogy az orosz csapatok kivonulnak Magyarországról. A másik kérdésre azt a választ adta, hogy Moszkvából olyan ígéretet kaptak, hogy ugyan ragaszkodnak ahhoz, hogy csak baloldali pártok szerepeljenek a kormányban Magyarországon, de nem ragaszkodnak feltétlenül a kommunista uralomhoz. Ha utólag visszagondolok erre, szegény Erdei Ferenc milyen naiv volt! Pedig az egyik legértelmesebb hazai értelmiségi volt.

**LKK:** Dunántúli származása ellenére hogyan került mégis Észak-Magyarországra?

**RZ:** A háború utáni újjáépítés és a jótétemeli termelés rengeteg kohászati termék gyártását igényelte. Mikor végeztünk az egyetemen, munkahelyként a Dunántúlon Ajka és Győr jöhetett számításba, ezeken kívül Csepel, és az ország keleti felében Diósgyőr kért mérnököt. Engem akkor ugye már a hengerészet érdekelt, s mivel Csepelre más évfolyamtársaim pályáztak, többek között Proszta Ervin, maradt Diósgyőr. Ezért évfolyamtársammal, *Nagy Zoltánnal* (nem azzal a Nagy Zoltánnal, aki egyesületi főtitkár is volt), ketten elindultunk és azonnal fel is vettek bennünket. Én természetesen a hengerműbe mentem, Nagy Zoltán pedig az öntödébe.

Diósgyőrben akkor már rendezettek voltak a viszonyok, a bombázások nyomait eltüntették és az üzemek folyama-

tosan termeltek. Feltűnt, hogy odaérkezésünkkor igen erős politikai mozgolódás volt a gyárban. Az acélöntödében szociáldemokrata vezetők voltak, régi párt volt ez Diósgyőrben. A vezetők nem túrték a mérnököket. Nagy Zoltán barátomnak is kijelentette az üzem vezetője, hagyja el az öntödét, mert nincs rá szükség. Zoli azonban értelmes ember volt és azt mondta: Jó! Ne foglalkoztasson mint mérnököt, de azt nem tagadhatja meg, hogy mint segédmunkás, gyakoroljam az öntést. Na, hát ezt nem tagadta meg az üzem vezetője, és fél év múlva korrigálta az álláspontját, odavette maga mellé mérnöknek. A vasöntödében még erélyesebb volt az elutasítás. Két év múlva érkezett *Zambó Pál*, odahelyezték a vasöntödébe. Az öntöde vezetősége kivezettette őt az üzemből, és el kellett azt hagynia. Így ment át először a laborba, utána pedig az elektroacélműben dolgozott. Diósgyőrben hosszú évekig nem túrték meg mérnököt.

A hengerműben nem volt jelen a szociáldemokrata párt, de akkor szerveződött a kommunista párt. S a kommunisták valahogy a legértelmesebb előhengerészek közül kerültek ki. Valószínűleg felülről kaptak utasítást, hogy a mérnököket ne piszkálják. Így ott engem barátságosan fogadtak.

A hengerműnek akkor *Schön Gyula* műszaki főtanácsos volt a vezetője. Diósgyőr akkor még a MÁVAG-rendszerben működött, ő mellé osztottak be adjutánsnak. A főtanácsos úr, – aki később Gyula bátyám lett –, nagyon intelligens, művelt, értelmes ember volt, de nehezen mozgott. Három nyelven beszélt tökéletesen, magyarul, németül és tótul. Igen nagy tanulási lehetőséget biztosított számomra. Kiadta a feladatot, s az intézkedéseket és a végrehajtást rám bízta. Nagy önállóságot kaptam, és a beosztottak is fokozatosan megkedveltek. Ehhez persze hozzájárult több esetben a fellépésem is. Néhány hete voltam csak ott, amikor egy alkalommal a régi sínsor hengerállványa körül nézelődtem. A műszakosok, akik a hengerlést végezték, olyan nagyon még nem tudták, hogy ki-mi vagyok. A másod-előhengerész, *Székács Bálint* meglátott és odalépett hozzám. Kezembe adta a fogót és azt mondta: – Húzza! Egy hihetetlen nagy fogó volt, amivel a darabokat forgatták. Szégyelltem volna elutasítani, megragadtam, és

a hengerészek nagy derűltége közepette, kicsit ügyetlenül, de azért elkezdtem vele forogni az izzó acélrudat. Szerencsére már műszakváltás előtt voltunk, s akkor azt mondtam Székács Bálintnak:

– Bálint! Jöjjenek be mind a rajzterembe!

Ott a kezébe adtam a körzöt, és azt mondtam:

– Folytassa ezt a hengerüregelési tervrajzot!

– Én nem tudok rajzolni – felelte.

– Én megfogtam a fogót, akkor maga is fogja meg a körzöt! Ha meg nem megy, akkor ne legénykedjen!

Erre megint nagy derűltég lett, így fogadtak be engem a hengerészek.

**LKK:** Úgy látszik, Zoli bácsi nem ment a szomszédba egy kis tréfaért. Milyen munkák folytak akkor Diósgyőrben?

**RZ:** Mikor dolgozni kezdtem, '46 őszén, a helyreállítási munkákhoz gyártottunk anyagot, részben a romok eltakarításához, részben pedig jóvátételre. Ma is birtokomban van két dicséret-emléklap, amely bizonyítja, hogy az első évben bekapcsolódtam a Margit-híd és a Lánchíd lemezelemeinek a gyártásába. De foglalkoztunk nagyvasúti sínek gyártásával is. Jóvátételre szállítottunk nagy mennyiségben L- és U-idomacél rudakat. A jóvátételei szállításokat egy szovjet-orosz mérnök vette át, hetente kétszer meglátogatott bennünket a tolmácsával, és miután a főtanácsos úr nem szívesen találkozott vele, nekem kellett vele tárgyalnom. Végül olyan mértékben összebarátkoztunk, hogy egészen megkedvelt. Egyébként nem sokáig gyártottunk jóvátételre, mert az oroszok elengedték a jóvátételt, helyette kereskedelmi szerződést kötöttek a magyar kormánnyal. Ezt nem hangoztatja ma senki.

**LKK:** Hogyan tudott megfelelni a politikai elvárásoknak?

**RZ:** Fokozatosan haladtam a ranglétrán. Két éves gyakorlat után – még a MÁVAG-előírások szerint – kineveztek üzemvezetőnek a hengerműbe. Rá egy évre a kommunisták vették át az irányítást, ekkor előléptettek hengerművi gyárrezlegvezetőnek. Tulajdonképpen a főtanácsos úr helyére, akit bevontak a tervezőrezleg vezetésébe. Nem örültem neki, megmondom őszintén, de hát ezt kellett tenni, nem volt apelláta.

Nagyon érdekes volt azonban a tár-

sadalmi helyzetem. Eleinte mérnök úrnak, fiatal mérnök úrnak szólítottak. Amikor a kommunisták átvették a hatalmat, akkor Rempport elvtárs lettem, anélkül persze, hogy párttag lettem volna. Volt vagy három év, amikor nem tudták a beosztottjaim, hogy hogyan szólítsanak. Az „úr” szó kiment a divatból, az elvtárs megszólítást az úristennek sem tudták megszokni. Voltam én Kisfőnök, Főnök, aztán valamelyik fiatalember rászokott a „Zoli bácsi” megszólításra. 27 éves voltam, és elneveztek Zoli bácsinak, és ez annyira elterjedt, hogy már az 50 éves hengerészek is így szólítottak. Történt egyszer az a vicces eset, hogy egy külső ügyfél jött hozzánk s megkérdezte valamelyik hengerműi embert, hogy hol van a hengerműi iroda és hogy hívják a vezetőjét? Mire azt a választ kapta:

– Az iroda ott van, és hát Zoli bácsi a vezető.

Bejött az idegen, s mondta a titkárnőnek, hogy

– Zoli bácsihoz jöttem!

Mire a titkárnő:

– Tessék bemenni, bent van az irodájában.

Bejött a tag, körülnézett, ott látott engem és azt mondta:

– Kérem, én a Zoli bácsit keresem!

– Uram, legyen erős, akit keres, az én vagyok, a Zoli bácsi!

**LKK:** 28-29 évesen tehát már így szólították: Zoli bácsi?

**RZ:** Igen, s ez a legkedvesebb megszólítás számomra ma is.

**LKK:** Örülök, hogy én is így szólítottam, mióta ismerem.

**RZ:** Amikor később a Lőrinci Hengerműbe kerültem, ott is kijelentettem a kollégáknak, nehogy elkezdjenek urazni, Rempport úr, doktor úr stb., tessék Zoli bácsinak szólítani. De ezt jó ideje már az öregség jogán is kérhetem.

**LKK:** Meséljen még a diósgyőri évekről, miért tartja jó iskolának az ott eltöltött időt?

**RZ:** Diósgyőrben összesen hat évet töltöttem, főként vezetőként. Az orosz szállítmányokat ellenőrző átvevővel – mint mondtam – jó viszonyba kerültem. Ő kifogásolta, hogy a bányászaink egyik lába nincs teljesen kitöltve, legyünk szívesek ezt kiküszöbölni. Engem is izgatott a feladat, magam mellé vettem *Ormay (Ocsenás) Gyula* kohómérnök kollégát és azt mondtam neki:

– Gyula, rendbe kell tennünk ezeket

a síneket, légy szíves hozz ceruzát, és állj neki! Te rajzolsz, együtt megbeszéljük, hogy mit, és átalakítjuk az üregeket, majd bejárunk együtt a gyárba próbázásra. Addig próbázunk, amíg tökéletesre nem hengereljük a szelvényeket.

Bizony, alaposan megdolgoztunk ezekkel az üregezőkkel. A megfeszített munkának az lett az eredménye, hogy Gyula nagyon megtanult üregezni, én pedig rendbe hoztam a szelvényeket, és igen nagy elismerést kaptam az átvevőtől.

De most maradjunk még egy kicsit a pártvonalon. Diósgyőrben a műszaki vezető gárda nagyobb részt párton kívüliekből állt. Akkoriban nagyon szerettek volna fiatal mérnököket beszervezni a KMP-be, és igen erős nyomásnak tettek ki bennünket is. Például így írt rólam a helyi lap: „Az üzemvezető, aki zsebében hordja a párttitkárt!” Egy másik alkalommal a következő cikk jelent meg: „Vannak vezetők, akik nem támaszkodnak a népre!” Ez alatt azt kellett érteni, hogy nem párttagok. Nyilvánvalóan rólam volt szó. A végén aztán olyan nagy volt nyomás, hogy azt mondták a barátaim – akik már korábban beléptek a pártba –, ne marhászkodj, hagyd a fenébe az ellenállást! Úgyhogy beléptem én is a pártba. 1950–56 között voltam párttag, utána már nem volt érdekes.

**LKK:** Utána már nem volt ilyen presszió?

**RZ:** Nem volt akkora. Addigra már olyan szakmai tekintélyem volt, hogy az értelmesebb kommunista vezetők barátkoztak velem anélkül is, hogy párttag lettem volna.

Diósgyőr egyébként szakmailag igen jó iskola volt. Bár abban az időszakban a hengerműveket még nagyobb mértékben nem fejlesztették, de új nagyolvasztót építettek, tehát a nyersvasgyártást növelték, de mellette a Siemens–Martin-kemencéket is korszerűsítették. A hengerműben csak apróbb beruházásokat hajtottunk végre a saját elképzelésem szerint. Egy izzító-kemencét állítottunk fel feketén, azután legálisan egy normalizáló kemencét, ezenkívül a csiszológépet bővítettük az ötvöztetett féltermékek felületének tisztítására. Bevezettük a bányatámacélok gyártását, tudniillik a bányászatot is több ütemben fejlesztette az ország, és különböző szilárdságú és profilú bányatámrudakat kellett hengerelni. Azután

ezeket meghajlították és egy sátorszerű vázat készítettek belőle. Jóval később egyszer bányajáráson vettem részt, és meglepetéssel láttam, hogy „Úristen, ezeket mi gyártottuk 50 évvel ezelőtt!”.

Az 50-es évek elején aztán szinte teljesen elmaradtak a Szovjetunióba való szállítások, ellenben a háborús nyersanyagok gyártására kellett nagyobb arányban ráállni. Ezek ötvöztetett acélból készült hengerelt termékek voltak. Akkor beleástam magam ezeknek a nagyszilárdságú acélokban, a gyorsacélokban, a forgácsoló szerszámok céljára alkalmas és a korrózióálló acélokban a hengerléstechnikájába. Egy-egy új összetételű minőség hengerlésénél gyakran megtörtént, hogy a művezető mellett én is személyesen ellenőriztem, betartják-e a hőmérsékletet, milyen az üregkopás stb.? Diósgyőrben a fő szempont a termelés növelése volt. Jó is volt, hogy nem fejlesztettük nagy ütemben akkor a hengersorokat, mert a termelést úgy kellett növelni, hogy a leggyártott martinacél és elektroacél adagokat mind fel tudjuk dolgozni, és mi feldolgoztuk. Növeltük a termelést állandóan, évről évre. Nagyon meg voltam vele elégedve, s mielőtt eljöttem volna, kiszemeltek vezérigazgató-helyettesnek. Erre gyorsan elpuoltam Diósgyőrből, mert engem mindig inkább a műszaki feladatok vonzottak.

**LKK:** Diósgyőrből merre vezetett a szakmai út?

**RZ:** A Nehézipari Minisztérium hengerész szakembert keresett, megpályáztam az állást és áthelyeztek a minisztériumba. Odakerülésem után három hónap múlva a munkahelyem átalakult Kohászati Minisztériummá, ez egy évig volt, akkor ismét megváltozott a név, és lett Kohó- és Gépipari Minisztérium. Ennek a Kohóipari Osztályán dolgoztam az Arany János utcában, majd ez átalakult Kohóipari Központtá, s a mai MVAE Október 6. utcai helyére költözött.

**LKK:** Meséljen még a diósgyőri évekről, hiszen ha jól tudom, a családalapítása is erre az időszakra esik.

**RZ:** Igen. Diósgyőrrel kapcsolatban ezt nem szabad kihagyni: Én ott éltem társadalmi életet is éltem. Nagy Zoltán barátommal a Miskolc és Diósgyőr-Vasgyár közötti területen fekvő Károly utca utolsó házában kaptunk egy szép nagy szobát. Két év múlva Zoli megnő-

sült. Akkor kétévi katonáskodás után érkezett oda Zambó Pali, s betársult Zoli barátom helyére. Másfél év múlva azonban ő is megnősült. Ahogy Zambó eltávozott, jött *Schummel Rezső*, ám másfél év múlva ő is „elkelt”. Akkor hozám költözött *Répássy Gellért*, s egy év múlva ő is megnősült. A társaságunkhoz tartozó, legénysorban lévő kollégák között akkor már az a mondás járta: „El kell menni Remporthoz lakótársnak, majd ő kiházasít”. A történetnek az vett véget, hogy a végén én is megnősültem. Jellemző, hogy akiket „kiházasítottam”, a gyermekeiknek keresztszülője lettem, sokáig tartott velük a barátság. Később, ha Diósgyőrbe el-eljutottam, olyan szeretettel vettek körül, amire még ma is jó szívvel emlékszem vissza.

**LKK:** S Zoli bácsinak hogyan sikerült társat találnia, ha szabad megkérdezni? Ki hálózta be egy ilyen hosszú legényélet után?

**RZ:** Ő volt az, falumbeli leányzó. (Zoli bácsi az interjú alatt végig jelenlévő feleségére, sz. *Esztergályos Iréne*-re mutat.) 13 éves korától kezdve udvaroltam neki. Akkor még polgári iskolába járt, szemrevaló teremtés volt. Zongorázni tanult, értelmes, művelt, szellemileg is nagyon igényes leány volt, irodalomról, zenéről jobban el tudtam beszélgetni vele, mint akárki mással. 11 év korkülönbség van közöttünk. Megvártam míg leérettségizik, akkor feleségül kértem, s vittem magammal Diósgyőrbe. Ott éltünk néhány hónapig, aztán az állásváltással felköltöztünk Budapestre. Két szép gyermekünk született, *Zoli* és *Zsuzsi*, s két unokánk boldogítja öregségünket.

**LKK:** Mi történt Budapesten?

**RZ:** Másfél évig a minisztérium vas kohászati igazgatóságán csoportfőnként, két évig pedig Csepelen, a hengermű vezetőjeként tevékenykedtem. Tulajdonképpen a rövid idő túl sok tevékenységre nem adott lehetőséget, inkább a tanulás szempontjából jelentett számomra nyereséget a két munkahely. A minisztériumban összeírtam az országban hengerelt termékek listáját, s ekkor jelent meg az első könyvem is *Szeless László* és *dr. Kismarti Loránd* társszerzők közreműködésével.

**LKK:** Volt már lehetőség arra, hogy nemzetközi összehasonlítást tegyenek?

**RZ:** Nem, ez a legsötétebb Rákosi-korszak volt. Az orosz könyvekhez hoz-

zájutottunk, sokat le is fordítottunk magyarra, ezeket olvastam, tanulmányoztam.

Ebből az időből még egy élményem van. Tagja lettem annak a főbizottságnak, amely a Dunai Vasmű végleges hengerműi programját meghatározta. Itt az ország legkitűnőbb hengerészeiből álló szakmai társaságban dolgozhattam, *Tetmajer Alfréd*dal, *Szeless László*val, *Geleji Sándor*ral és *Árkos Frigyes*sel.

Utólag itt érdemes azt megemlíteni, hogy a Duna menti vasmű létesítésével kapcsolatban a magyar értelmiségi közvélemény rendkívül nagy tévedésben van. 10 évvel ezelőtt kezembe került egy politikai tárgyú könyv, amely egy ismert hazai közíró kezéből került ki. Ebben a könyvben azt állította, hogy a Dunai Vasműt *Rákosi Mátyás* azért állította fel, hogy a „láncozó kutya”, *Titó* ellen indítandó háborúban legyen hadibázisa.

**LKK:** Igen, erről hallottam. Nekem megvan Zoli bácsinak egy erről szóló cikke, amit a Technikatörténeti Szemlébe írt, hogy Mohács térségében már jóval régebben megvizsgálták egy Duna menti vasmű létesítésének a lehetőségét.

**RZ:** Így van. A Duna menti vasmű gondolata *gróf Széchenyi István*tól származik, aki azt is vizsgálta, hogyan lehetne ezt megvalósítani. Mivel azonban a Duna mellett nem volt vasércbánya, távolról pedig a szállítási nehézségek akkor még megoldhatatlanok voltak, a dunai vasmű gondolata „jégre került”. Csak az 1938-ban megindított iparosítás keretén belül adott újbóli vizsgálatára utasítást *Bornemissza Géza* iparügyi miniszter. Egyértelműen tanúsíthatom azt is, hogy a Dunai Vasmű (1951 novemberétől 1956 végéig Sztálin Vasmű) termelési programjában semmiféle hadi célú termék sem az indulás előtti, sem az azt követő években nem szerepelt.

Végeredményben abban, hogy tisztán szélesabroncs-hengerlés lett a végső termelési program, a legnagyobb szerepe a két egykori rimamurány-salgótarjáni ipari vezetőnek, *Tetmajer Alfréd*nak és *Szeless László*nak volt. Korábban Salgótarjánban kb. 20 cm széles, ún. keskenyabroncsot hengereltek hidegen. Most Dunapentelén sikerült a régi céljukat megvalósítani, megépülhetett egy 1,0–1,5 méter szé-

les lemezt gyártó megleghengercsor és tekerceselőmű. Ilyet gyárt ma is Dunaújváros, persze már sokkal korszerűbb alapanyagokból és szélesebb választékban.

**LKK:** Milyen tapasztalatokat szerzett Csepelen és hogyan került a Lőrinci Hengerműbe?

**RZ:** Csepelen rendkívül sokat adtak a gyors intézkedésre. Kétszer ad, ki gyorsan ad – ez a mondás járta. Egyébként gyakorlatilag én ott túl sokat nem tettem. Bementem egy-két üzembe, ahol flottul mentek a dolgok, és máris belecsöppentünk az 1954-es évbe, amikor *Nagy Imre* leállította a nehézipar fejlesztését.

1955-ben üzent *Herczeg Ferenc* miniszterhelyettes, hogy át akar vinni Csepelről a Lőrinci Hengerműbe főmérnöknek. Visszaüzentem, hogy nem fogadom el, mert itt nagyon jó helyem van, nagyon jó társaságban vagyok. Remek szakembergárda verődött ott össze, tisztos fizetésem is volt, sajnáltam volna otthagyni. De aztán mégis menni kellett. Egy évre rá meghalt a hengermű igazgatója, és megint üzent a miniszterhelyettes, hogy menjek át oda igazgatónak, neki szüksége van ott rám. Nem lehetett már kitérni, végül is nem lehetett huzakodni *Herczeggel*, akivel egyébként jó viszonyban voltam. 1956 tavaszán bementem hozzá, és azt mondtam neki: Rendben, átmegyek a Lőrinci Hengerműbe, de nem vállalom az igazgatói posztot, nevezzen ki főmérnöknek. Az volt még a kérésem, hogy igazgatónak nevezze ki *Roszjár Gyulát*, akit Diósgyőrből ismertem, a minisztériumban beosztott volt, egy rendkívül energikus, nagy munkabírású kolléga, majd ő intézi a párt, a szakszervezet és az egyéb szociális ügyeket, én pedig garantálom, hogy a gyár rendbe fog jönni. Így 1956 tavaszán kineveztek bennünket a volt Lipták-gyár helyén létesült Lőrinci Hengerműbe, s innentől kezdve nyugdíjba vonulásomig, 26 éven keresztül együtt vezettük a gyárat. Az 56-os népfelkelés nem okozott különösebb fennakadást, bezárattuk a gyárat, hazaküldtük a dolgozókat, s 57-ben az első üzemek között voltunk, ahol beindult újra a termelés.

**LKK:** Hogyan élte meg azt a 26 évet, amelyet a Lőrinci Hengerműben töltött? Hallottam, hogy nyugdíjba vonulásakor szakestéllyel búcsúztak el a kollégák Öntől, és hogy utódai később

is nagy megbecsülésben részesítették. Végül is mit hozott rendbe Zoli bácsi a Lőrinci Hengerműben?

**RZ:** Először is megdupláztuk a gyár termelését. Amikor odamentünk, főképpen sok és hosszú üzemzavar jellemezte a gyárat, ezen félév alatt úgy segítettünk, hogy megszerveztük a tartalékalkatrész-gazdálkodást, és a jobban fogyó alkatrészekből többet készleteztünk. Ezenkívül úrrá lettünk a Diósgyőrből felkerült munkások és a Pestről és környékéről toborzottak között folyó állandó vitán, ami hátráltatta a termelést.

**LKK:** Ezt úgy értem, hogy voltak lőrinci törzstagok még a Lipták-gyár idejéből?

**RZ:** Nem. Diósgyőrből lett áttelepítve a hengerállvány 1950 tavaszán-nyarán, azzal jöttek fel hengerészek, kikészítősök – egy mag –, akik nagyobb részt kommunista párttagok voltak, és ők akartak ott diktálni minden áron. Amúgy a gyár igen jó helyen feküdt, mert a lajosmizsei vasútvonalnak ott volt a kispesti állomása, és ettől három percre volt a Lőrinci Hengermű. Szóval feszültségek voltak, de ezt mi erős kézzel, igen gyorsan levezettük, rendet teremtettünk Gyulával.

**LKK:** Volt valamilyen speciális termelési profilja a Lőrinci Hengerműnek Csepelhez vagy Diósgyőrhöz képest?

**RZ:** A Lőrinci Hengermű közvetlenül a miniszter alá volt rendelve. Csak durvalemezeket, vagyis 7–50 mm közötti vastagságú lemezeket hengereltünk. A fő termék a hídlemez volt, mivel gyakorlatilag az összes hazai hidat lerombolták a II. világháborúban, azoknak a folyamatos újjáépítéséhez kellett a mi termékeink. Aztán később jöttek a gömbtartályok, melyekben a földgázt tárolták. Még a paksi atomerőműhöz is szállítottunk durvalemezeket. Mi gyártottuk az alumíniumelektrolizáló kádak lemezeit, de nagyon sok hajólemez, a mozdonyok javításához pedig kazánlemez is gyártottunk, az évek során sok millió tonnát. Legfontosabb vevőnk a Ganz–MÁVAG volt. A lényeg az, hogy egy év után nyereséggé tettük a vállalatot, rendet teremtettünk, és egész végig, a nyugdíjba vonulásunkig nyereséges volt a Lőrinci Hengermű. Az alapanyagot kezdetben Diósgyőrből kaptuk, majd a Dunai Vasműtől, de importból is szereztünk be.

**LKK:** Visszafofgatták a nyereséget?

**RZ:** Csak egy részét. Arra nagyon vigyáztunk, hogy minden évben kisebb-nagyobb beruházásokat hajthassunk végre. Évente 10-12 pontból álló műszaki fejlesztési tervünk volt, és a nyereségből visszatartott pénzből ez alapján fejlesztettünk. Ennek eredményeként két új csarnokot állítottunk fel, az egyiket hőkezelőnek rendeztük be, a másikat pedig az export lemezek rendszerezéséhez és tárolásához. A legnagyobb sikert talán a kikészítő átalakításával értük el, ahol a fizikai munkát majdnem teljesen kiváltottuk. Új ollókat telepítettünk, görgőpályát helyeztünk üzembe, az olló- és görgőkezelőket fülkékben helyeztük el, így a munkavédelmi szempontokat is figyelembe vettük. A lemezek forgatásához, beállításához mágneses manipulátorokat szereltünk fel. Sikerült meghosszabbítani a lemezeret, a bugateret, felállítottunk egy gépműhelyt, egy villanszerelő műhelyt és egy tekerceselő üzemet. De ezen túlmenően új kemencéket is telepítettünk.

Szakmailag a legnagyobb eredményt azzal értük el, hogy igen nagy méretű lemezek hegeszthető minőségben való gyártását is megoldottuk. Például az Erzsébet-híd összes lemezét mi szállítottuk, akkor még diósgyőri acélból. Ugyanez vonatkozik az újvidéki Duna-hídra, amit az amerikaiak bombáztak le a délszláv háborúban.

A korra jellemző jelentős újjátómozgalom is kialakult. Ebben élen járt a kemence-karbantartás és -fejlesztés vezetője, *Koch Róbert* kolléga, vagy a hengermű meghajtóművének nagyobb teljesítményre való tervezésével *Korponai Gyula*. A palackos oxigént felváltó folyékony oxigén bevezetésénél *Kutas Béla* segédkezett. *Gáspár István* főmechanikus pedig a nagy szilárdságú műanyag öntését vezette be, ebből csapágy- és más gépalkatrészeket gyártottunk. Nagy segítségünkre voltak azok a közép- és alsófokú vezetők, akik szívvel-lélekkel kohászoknak vallották magukat, és az utasításainkat nemcsak végrehajtották, hanem igyekeztek azt a legtükéletesebben tenni. Például *Király Ferenc* karbantartó művezető, vagy *Kiss István* előhengerész.

**LKK:** Zoli bácsin kívül volt-e még egy olyan vezető, aki egy gyárat ilyen sokáig irányított?

**RZ:** Ismereteim szerint nem nagyon. Talán *Borovszky Ambrus* volt ilyen

sokáig a Dunai Vasmű vezérigazgatója.

Kétségtelen, hogy a külső körülmények is néha kedveztek nekünk. A 60-as években vezették fel az alföldi földgázt Budapestre. Az elsők között csaptunk le rá, s vezettettük be a gyárba, ezzel a hevítési kultúránkat jelentősen javítottuk a korábbi generátorgáz- vagy pakuratüzeléssel szemben. A 70-es években pedig az a szerencse ért bennünket, hogy sikerült szovjet relációjú, folyamatosan öntött acélbugát szerezni, amit nemcsak méltányos áron kaptunk, hanem igen jó minőségben is. Közben számos kísérletet végeztünk a nagyobb folyáshatárú és a mikroöt-vözött lemezek gyártására, és eljutottunk még az úgynevezett offshore-lemezekhez is. Ezek olyan termékek, amelyekben a mechanikai tulajdonságok kereszt- és vastagságirányban közel azonosak. Ebben a legszorosabban *dr. Horváth Aurél* kollégával, a Dunai Vasmű főmetallurgusával működtem együtt.

**LKK:** A Lőrinci Hengerműből 1983-ban vonult nyugdíjba. Szakmai életrajzát itt nincs módunk közölni, de a [www.ombkenet.hu](http://www.ombkenet.hu) honlapon elérhető. Ebből is kitűnik, hogy a Lőrinci Hengerműben töltött évek alatt nemcsak a hengerész és acélszerkezeti szakma elismert személyisége volt, hanem számos állami és egyesületi kitüntetéssel ismerték el munkásságát, megbecsülést és köztiszteletet kapott mindenütt. A sok szakcikk, tanulmány és hús, részben társszerzőkkel írott szakmai könyve mellett megjelent már történeti munkája is?

**RZ:** Ekkor még csak egy önálló könyvem jelent meg, a Lőrinci Hengermű története, melyet 1974-ben írtam a gyár fennállásának 25. évfordulója alkalmából. Éppen akkor írtak ki egy országos pályázatot, arra elküldtem, és a 2. díjat nyertem vele. Volt vagy 20 pályázó. Később kiderült, hogy *Berend T. Iván* részére tűzték ki az első díjat, csak nem készült el a művével, így tulajdonképpen a második lett az első díj. A könyv egyébként csak később, 1977-ben jelent meg.

**LKK:** Miért váltott át a technológiai terület műveléséről a technikatörténet kutatására?

**RZ:** Ezt két dolognak köszönhetem. Egyrészt a Pápáról magammal hozott irodalmi érdeklődésnek, másrészt *Kiszely Gyulának*. Gyula barátunk még

az 50-es évek közepén alakította meg a Kohászattörténeli Bizottságot. Különböző szakembereket toborzott össze, történészeket, régészeket, mérnököket és ez a bizottság nagy elánal kezdett a vas múltjával a kohászat történelével, muzeológiájával és régészetével foglalkozni. Tulajdonképpen egy laza társaság volt, tevékenységüket azonban Kiszely igen nagy energiával összefogta. Még diósgyőri fiatal mérnökként engem is beszervezett, és a bizottság munkáját az üzemi munkám mellett – ahogy lehetett –, segítettem. Másolatokat készítettem, fordítottam, részt vettem régészeti területek felkutatásában, de talán legtöbbet az anyagiak előteremtésével használtam. Biztosítottam kocsit az ásatásokra kivonuló régészeknek, meggyőztem az ipari vezetőket, hogy anyagilag segítsék a bucake-mencék kiemelését és múzeumba való szállítását. Még *Schmidt Gyurkától* is kicsikartam némi pénzt a részükre. Szóval, így segítettem őket. Aztán ugye, Kiszely Gyula felhívta a figyelmemet bizonyos irodalmakra.

**LKK:** Gondolom, főleg a Heckenast-féle kutatásokra.

**RZ:** Igen, a KTB keretében ismerkedtem meg *Heckenast Gusztáv* történelsszel, *Vastagh Gábor* vegyész-mérnökkel, *Nováki Gyula* régésszel, később *Gömöri János* régésszel is, akik a koraközépkori vaskohászat történelét kutatták. Aztán én is beleástam magam a levéltári kutatásokba, s négy cikket írtunk Kiszelyvel közösen. Ilyen volt például a csabari gyár történelé. Egy történész hölgy ugyanis leköszölte azt a leltárjegyzőkönyvet, melyet *Zrínyi Péter bán* kivégzésekor vettek fel, mert elvették ugye a birtokot a csabari gyárral együtt. Latinul volt az egész leírás, de én jelesen érettségiztem a Pápai Kollégiumban, egy párszor elolvastam, meg aztán a szótárt is forgattam egy kicsit, lefordítottam, s 1987-ben a Kohászati Lapokban lehoztuk az addigi legrégebbi vasgyártásról szóló dokumentum alapján a csabari vasgyár történelét.

Amikor aztán nyugdíjba mentem – ez ugye 1983-ban volt – akkor azt mondtam, hogy itt Magyarországon a kohászat fejlesztése tovább nem várható. Én a kohászatot fejlesztettem, de leépíteni nem vagyok hajlandó! Így kezdtem aztán egyre többet a technikatörténel e szejletével foglalkozni, és az OMBKE Történeli Bizottságában is aktívan tevékenykedve, segítettem ezt a

területet. Rengeteget kutattam az Országos Levéltárban, mindennapi vendég voltam a Széchenyi Könyvtárban, aztán a múzeumok archívumaiban, a Magyar Állami Földtani Intézetben és az egyetemi könyvtárakban, Pesten és Miskolcon, az MTA könyvtárában. A legtöbb időt az Országos Levéltárban töltöttem, ahová Kiszely Gyula a bécsi Hofkammertől és selmebányai bányászati archívumból mikrofilmen átkérte a kohászati vonatkozású anyagokat, több ezer filmkockát. Ezeket is mind átnéztem. Pokoli mennyiségű anyagot gyűjtöttem össze, vagy 20 darab A4-es méretű jegyzet-tömböt írtam tele. A magyar vaskohászat egész történelét áttanulmányoztam, döntően a XIX. századot. Ebből a témából írtam három könyvet 1995-ben, 2003-ban és 2005-ben. A kiadást a Montanpress Kft. vállalta, *Tóth Andrásné Terike* vezetésével. Az első kötet megjelentetését *Horváth István*, a Duna-ferr vezérigazgatója támogatta, a második kötetét *dr. Dutkó Lajos*, utódom a Lőrinci Hengerműben, a harmadik kötetét pedig *dr. Dutkó Lajos* és *dr. Sándor József*, a Fémalk Kft. igazgatója, valamint lányom, *Rempert Zsuzsa*. Hálás vagyok feleségemnek is, aki valamennyi munkámat lektorálta. Megírtuk közösen családjaink történelét is. 2007-ben befejeztem a hazai vaskohászat 1100 éves történelét összefoglaló könyvem kéziratát. Sajnos, talán a sok levéltári böngészésnek is köszönhetően, látásom nagyon megromlott, írásra már nem vállalkozom, de e kötet megjelenését jó lenne megérni.

**LKK:** A hazai vasgyártás történeléből lehet-e tanulságokat levonni?

**RZ:** Természetesen igen, az a kérdés, hogy milyen szempontból, és mennyi kérdést teszünk fel. Ezek közül hármat emelnék ki. Az egyik kérdés az, hogy milyen helyet foglalt el a vasgyártás a hazai és a világ gazdaságban. Ez a kérdés azért jogos, mert a nagy ipari országokban a vasgyártás hosszabb időn keresztül vezető szerepet töltött be, pl. Angliában a XIX. században, az USA-ban és Németországban a század végén. Magyarországon azonban soha sem lett a vasgyártás húzóágazat. Hazánkban mindig az élelmiszeripar vezetett és a vas- és fémipar – benne a kohászat – meglehetősen leszakadva, csak ezután következett. Ha ennek okát keressük, elsősorban abban találjuk meg, hogy a törökdülés idején az

ország hihetetlen mértékben elszegényedett, az egy főre eső vasfogyasztás messze elmaradt Európa nyugati részétől, ezenkívül nagy szerepet kapott az is, hogy a hazai szenek – jóllehet bőségben álltak rendelkezésre, – a kohászat igényeinek nem feleltek meg. Ez nem jelenti azt, hogy a vaskohászat nem töltött be az ország gazdasági életében igen jelentős szerepet. Csak nem mint húzóágazat, hanem mint háttérpar. Minden gazdasági tevékenység ugyanis rászorult a vasra, mint szerszám-, fegyver-, illetve szerkezeti anyagra.

Második kérdés: Felfejlődött-e a hazai vasgyártás technológiája Nyugat-Európa színvonalára? Magyarországon a vaskohászatban egyetlen olyan találmány sem jelent meg, amely világméretben elterjedhetett volna. Magyarország a vasgyártás technológiáját a Nyugattól vette át, ezért általában követő helyzetben maradt egészen a XX. század elejéig. A hámorok és a nagyolvasztók elterjedése kb. 150, a koksztüzeléses vasgyártás kb. 100 évvel, a kavarási vasgyártás és a hengerlés 50 évvel később következett be nálunk. A XIX. század végén és az első világháború előtt azonban a követési idő lerövidült. A folytácélgártás legfeljebb 10–15 évet késett, az elektroacélgártás szinte egy időben követte az európai fejlődést, és ugyancsak azonos időben jelent meg Diósgyőriben az Ilgner-rendszerű hengersor. Az első világháború idejéig tehát Magyarországon a vasgyártás utolérte a világot. Az egy főre eső acélgártás azonban kevesebb volt, mint Európában. Az azóta eltelt időben erőfeszítések történtek ugyan, de a hazai vasgyártás nem érte utol az európai színvonalat.

Mindezek után a legfontosabb kérdés, előnyös-e a vasgyártás a népjólét szempontjából? A XIX. századi elődeink egységesen bizonyították és hitték, hogy a vasgyártás növelése a népjólét emelését hozza magával. Véleményüket igazolja például, hogy a XIX. sz. közepén Miskolc és Eger azonos számú lakóval rendelkezett. A század végére Miskolc kétszer annyi lakost számlált, mint Eger, jóllehet Eger egyházi központ volt. De Ózd, az egykori isten háta mögötti település, a jelentéktelen szegény falu, a gazdálkodás központjává vált és legalább 15 km-es körzetben megváltoztatta teljesen a tájat.

**LKK:** Nem biztos, hogy előnyére.

**RZ:** Én azokkal értek egyet, akik azt vallják, hogy a hazai vas- és acélgyártást legalább nullszaldósan fenn kell tartani, ami azt jelenti, hogy az exportált és importált vasáru értéke közel azonos legyen. A társadalomnak így valószínű kevesebbe kerül a vas alapanyagainak a behozatala, mint a kész vasáru beszerzése.

**LKK:** Zoli bácsi irodalmi érdeklődése egész életében megmaradt. Mesélne valamit a *Németh Lászlóval* való kapcsolatáról?

**RZ:** Közöttünk amolyan bátyám-öcsém baráti kapcsolat alakult ki. Ez úgy indult, hogy Némethy Laci barátommal, akivel együtt voltunk mérnökök Diósgyőrben, egy kirándulás alkalmával, Csehszlovákiában összeismerkedtünk *Magdával*, Németh László lányával. Összebarátkoztunk vele annyira, hogy édesapjával meghívatott bennünket Zebegénybe, ahol akkoriban tanyáztott a család mind a négy lányával. Laci rögtön elkezdett udvarolni Magdának, én pedig beszédbe elegyedtem a nagy íróval. Ő is nagyon kíváncsi volt rám, mint fiatal mérnök-gyárigazgatóra, főleg, amikor kiderült, hogy édesapja is pápai kollégista volt, mint én. No, a végén Némethy Laci összeházasodott

Magdával. A poén a következő: Pesten tartották az esküvőt, a Laci tanúja természetesen én voltam, a Magdié pedig *Bibó István*. Az esketést *Ravasz László*, nyugalmazott püspök végezte. Most képzelje el az én helyzetemet! Az esküvői ebédnél a családtagokon kívül három történelmi személyiség ült velem szemben: Németh László a nagy író, aztán Ravasz László, a közismert és nagy népszerűségnek örvendő püspök és Bibó István, kora kiváló és elismert politológusa.

Később Laciék felkerültek Budapestre, és átmenetileg apósághoz költöztek. Szabad bejárásom volt hozzájuk, s akkor mindig összefutottam Németh Lászlóval, aki engem mindig elkapott: Zoli nincs kedved egyet sétálni? Hát ki merte volna azt mondani, hogy nincs. Olykor két-három óra hosszat is sétáltunk a Városmajorban, beszélgettünk politikáról, társadalmi, gazdasági kérdésekről, általános és aktuális magyarságproblémákról. Egyszer azt mondja nekem az író felesége: „Tudod Zoli, Laci két emberrel hajlandó politizálni: *Ilyés Gyulával* meg veled, a különbség az, hogy ha Gyulával politizál, akkor utána két napig nem tud aludni, ha viszont veled beszélget, akkor meg-

nyugszik, hogy jól gondolja a politikai helyzetet.” Na most, ez a kapcsolat közel öt évig állt fenn, azzal szakadt meg, hogy Némethyék disszidáltak. Kanadában kötöttek ki, és ez az összekötő kapocs megszűnt. Aztán én is megnősültem, bár még sokáig tartottuk a kapcsolatot, de aztán valahogy elhalványodott.

**LKK:** Kedves Zoli bácsi! Sajnos, a lap terjedelme nem engedi meg, hogy életének többi érdekes részéről is részletesen beszámoljunk. Közelgő 90. születésnapjához szívből gratulálunk. Kívánjuk, hogy szellemi frissességét továbbra is megtartva erősödjék fizikai állapota, családjá és a kohászok nagy családjá örömére.

**RZ:** Köszönöm. Azt is írja le Katika, hogy nekem mennyire jólesett, hogy életem folyamán a szakma és az egyesület értékelte tenni akarásomat. Nyugdíjba vonulásomkor fel akartak terjeszteni Munka Érdemrend arany fokozata kitüntetésre, de én azt kértem, ne tegyék, mert politikai jellegű kitüntetésnek nem örülnék. A mai napig sokan megkeresnek, kikérik tanácsaimat, nem felejtettek el. Én is kívánok minden Kollégának életéhez, boldogulásához Jó szerencsét!

## 8. Nemzetközi Konferencia CLEAN STEEL (Tiszta acél) 2012. május 14–16., Budapest

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület a Magyar Vas- és Acélipari Egyesüléssel együttműködve szervezi a konferenciát.

A szervezést az acélipar számos nemzetközi szervezete (az *EUROFER*, a *Worldsteel*, az *EU Szén és Acél Kutatási Alapja*, az *Acélipari Egyesületek Európai Szövetsége*) és nemzeti szervezete támogatja.

*A konferencia célja, hogy az acélok zárványosságát csökkentő, tisztaságát javító technológiák elméleti alapjainak és üzemi gyakorlatának területén elért legújabb eredményekről adjon tájékoztatást és vitalehetőséget a világ minden részéből érkező előadók és résztvevők számára.*

A konferenciára több mint 60 előadást jelentettek be; különösen sok előadás érkezett Svédországból, Németországból, Kínából és Angliából. Magyar részről 4 előadás fog elhangozni.

A megnyitó plenáris előadások mellett a következő témakörökben (szekciókban) lesznek előadások:

- a zárványok keletkezése és módosítása – szimuláció és modellezés;
- az olvadék keverés és az áramlási viszonyok hatása;
- a salakok, folyósítószerkezetek és tűzálló anyagok hatása;
- különféle acélok tisztaságának javítása;
- a zárványosság és a folyamatos öntés;
- a tisztaság meghatározása olvadékban és szilárd acélban;
- a zárványosság hatása az acélok tulajdonságaira.

*A konferencia hivatalos nyelve:* angol

*A konferencia színhelye:* Danubius Hotel Flamenco (Budapest, Tas vezér u. 7)

A részletes program a konferencia honlapján érhető el ([www.cleansteel8.hu](http://www.cleansteel8.hu))

A magyar résztvevők számára biztosított kedvezményes lehetőségekről a konferencia szervező irodája ad tájékoztatást ([info@cleansteel8.com](mailto:info@cleansteel8.com)).

LIU JINHAI – LI GUOLU – ZHANG HUIYOU ÉS TSAI

## Karbidos ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas mikroszerkezetének és tulajdonságainak vizsgálata\*

*Az új műszaki szerkezeti anyagok nagy szilárdsággal és szívóssággal rendelkeznek. Az ADI-t, az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvasat, egyre több területen alkalmazzák, így a gépjármű és a mezőgazdasági gépjáratás, a bányászat, a vasút területén és egyéb területeken. A mikroszerkezetben lévő gömbgrafit üregképző szerepe következtében az abrazív kopásállóság nem megfelelő. E cikk a CADI-nak nevezett, karbidot tartalmazó ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas tulajdonságaival és mikroszerkezetével foglalkozik. Bizonyított, hogy az ausztemperálás hőmérséklete nagyban befolyásolja a CADI mikroszerkezetét, fajlagos ütőmunkáját, keménységét és kopásállóságát. Az ausztemperálás hőmérsékletének növelésével a tűs ferrit vastagabb és nagyobb lesz, a fajlagos ütőmunka növekszik, míg a keménység csökken. Az ausztemperálási hőmérsékletnek bonyolult hatása van a nedves kopásállóságra.*

*Szerzők CADI őrlőgolyókat öntöttek, majd üzemi vizsgálatot végeztek rajtuk. Összehasonlítva az alacsony krómtartalmú öntöttvas golyókkal, megállapítható, hogy a CADI golyóknak az ércőrlő malomban bekövetkező súlyvesztése fele a kis krómtartalmúakénak.*

Az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvasnak (ADI) átfogóan jó mechanikai tulajdonságai vannak, úgymint kitűnő szakítószilárdság, megfelelő fajlagos ütőmunka, jó kifaradási tulajdonságok dinamikus igénybevételkor, és nagy kopásállóság stb. Egyre elterjedtebb az ADI használata a gépjárművek, a mezőgazdasági berendezések, a bányászat és a vasút területén [1–3]. Az ADI mechanikai tulajdonságai főként az ausztemperálás hőmérsékletétől függenek. Kisebb ausztemperálási hőmérséklet esetén az ADI szakítószilárdsága és keménysége nagyobb lesz. Az ilyen mechanikai tulajdonságokkal rendelkező öntvény általában koptató igénybevétel esetén is alkalmazható, de a jelenlévő gömbgrafit miatt a lágyabb mikroszerkezet következtében az abrazív kopásállósága nem nagyon kielégítő.

Az ADI abrazív kopásállóságának növelése céljából az utóbbi években új típusú abrazív anyagot fejlesztettek ki, az ún. karbidos ausztemperált gömbgrafitos öntöttvasat (CADI) [4–7].

A CADI bizonyos mennyiségű karbidot tartalmaz az auszferrites mátrixban. A hagyományos ADI-val összehasonlítva nagyobb a keménysége és az abrazív kopással szembeni ellenállása, ugyanakkor a karbidok miatt a fajlagos ütőmunkája kisebb. A CADI keménysége a nagy krómtartalmú öntöttvasénak felel meg, és sokkal nagyobb, mint a kis krómtartalmú öntöttvasé, amelyet széles körben alkalmaznak a bányászatban őrlőgolyóként. Azonban a CADI fajlagos ütőmunkája kétszer-négyszer nagyobb, mint a nagy krómtartalmú öntöttvasé, és ötször-tízszer, mint a kis krómtartalmúé [8].

Az abrazív kopással szembeni ellenállósága nagyobb, mint az ugyanolyan keménységű kopásálló acélé [5]. Ebből kifolyólag a CADI újfajta kopásálló anyagnak gondolható.

Ebben a cikkben a szerzők a CADI mikroszerkezetével, mechanikai tulajdonságaival, abrazív kopással szembeni ellenállóképességével kapcsolatos tapasztalataikat írják le, valamint a CADI őrlőgolyókkal végzett üzemi kísérletek eredményeit ismertetik.

### 1. Kísérletek

A legnagyobb különbség az ADI és a CADI között az, hogy a CADI tartalmaz bizonyos mennyiségű, az auszferrites mátrixban eloszló karbidot, ezzel szemben az ADI mikroszerkezete egyáltalán nem tartalmaz karbidot. A karbidok jelenléte az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvasban a kopásállóság nagymértékű javulását eredményezi. A karbidok létrehozására a mikroszerkezetben többnyire négy módszert használnak.

A legáltalánosabb módszer a karbidok létrehozására a belső (kémiai vagy fordított) kérgesedés [5]. E módszer szerint karbidstabilizálók, pl. króm, molibdén, titán segítségével karbidokat hozunk létre a gömbgrafitos öntöttvas mikroszerkezetében szabályozott hűtéssel az ürtés alatt, ill. a karbonegyeneérték pontos beállításával (a kívánt hipoeutektikus összetétel létrehozása céljából). Meg kell említeni, hogy az ezzel a módszerrel létrehozott karbidok az utólagos ausztemperálási hőkezelés során szabályozott mértékben visszaoldódnak. A többi módszernél a karbidok létrehozása irányított felületi hűtéssel [7], karbidok olvadékba történő mecha-

\*Előadás a 69. öntészeti világtalálkozón, 2010. okt. 16-20. Hangzhou, Kína

nikus adagolásával, vagy hegesztési módszerekkel pl. felrakó hegesztéssel történik.

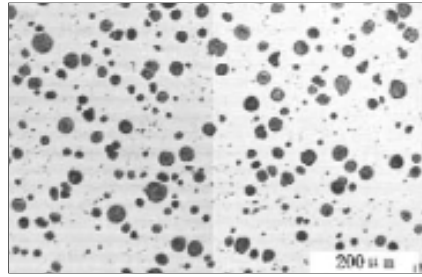
Ebben a vizsgálatban karbidképző ötvözőelemeket, pl. mangánt, krómot, molibdént adtak a vizsgált ötvözethez. A próbadarab a metastabilis Fe–C diagram szerint kristályosodott. Az adott karbidhányadot nyers, öntött szerkezetben hozzák létre.

A vizsgált ötvözetet 30 kg befogadóképességű, savanyú bélésű közép-frekvenciás indukciós kemencében olvasztották. A gömbösítést szendvics-eljárással végezték. A választott FeSiMg6RE gömbösítő anyagot 1,4 tm%-os mennyiségben adták az olvadékhoz. Módosító anyagként 1% mennyiségben BaSi-ötvözetet használtak. A beoltást az üstben végezték. A kemencéből az olvadékot 1500–1520 °C-on csapolták, míg az öntési hőmérséklet 1380–1400 °C volt. A 20x20x110 mm-es próbatestet vízűveges homokformába öntötték.

A próbadarabokat csiszolást követően 920 °C-on ausztenitesítették, egy órán át ellenállásfűtésű kamrás kemencében hőn tartották. Az ausztemperálást 300 kg-os sófürdős kád-kemencében végezték, a darabokat 210–320 °C-os tartományban 120 percig hőn tartották. A sóban a KNO<sub>3</sub> és NaNO<sub>2</sub> aránya 1:1 volt. Ezt követően megvizsgálták az ausztemperált darabok mikroszerkezetét, keménységét és fajlagos ütőmunkáját.

A CADI próbadarabok kopásállóságát MLS 225 típusú nedves, gumitárcsás homokdörzsolő berendezéssel vizsgálták. A vizsgálati feltételek a következők voltak: 210 N terhelés, 178 mm átmérőjű és 240 / perc fordulatszámú gumikorong, 50–100 µm szemcseméretű normál mosott homok. A homok és a víz aránya 1500 g:1000 g volt. A koptató próbatestek mérete 57 mm x 25,5 mm x 6 mm.

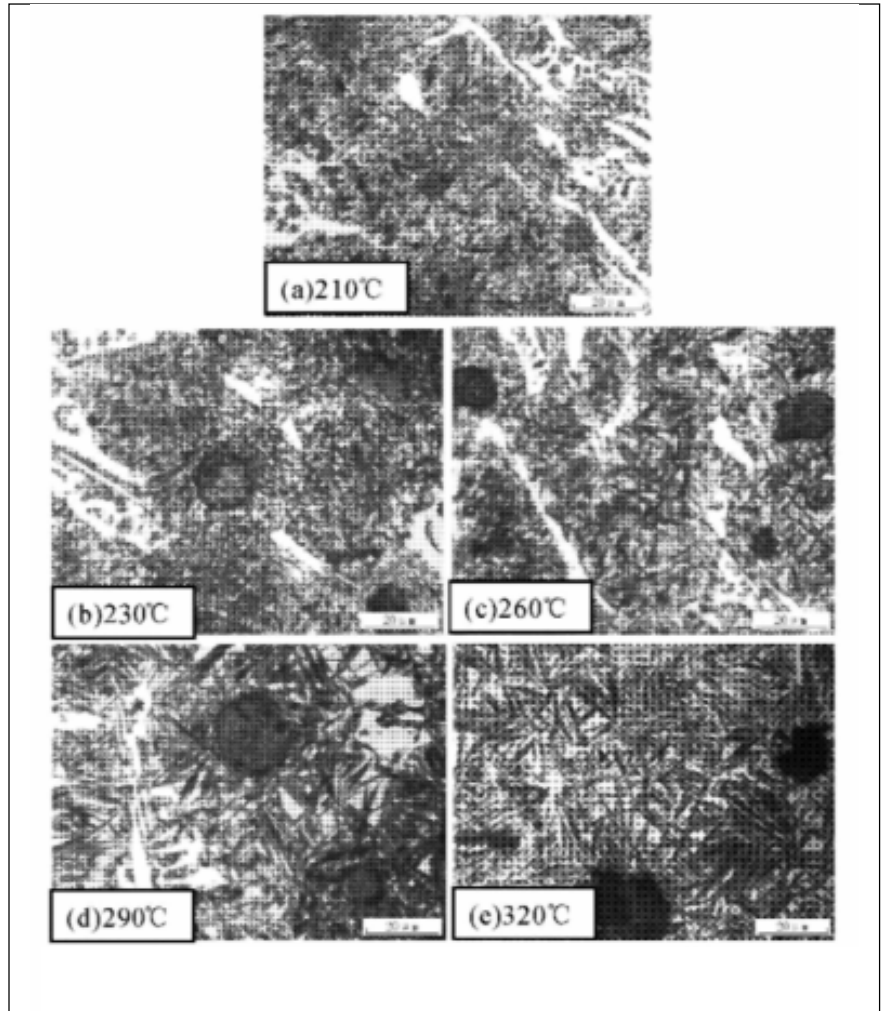
A mintát előzetesen n=1000 fordulattal csiszolták, majd a tényleges kopásvizsgálatot a gumitárcsa 5000 fordulata után végezték. A minta tömegét a kopás előtt és után is megmérték. Az abrazív kopásállóságot a relatív kopásállósággal fejezték ki. Ugyanakkor ADI mintákon összehasonlító kopásvizsgálatot végeztek, és a relatív kopásállóságot az ausztemperált és a karbidosan ausztemperált darabok súlyvesztésének arányával fejezték ki.



■ 1. ábra. Gömbgrafit



■ 2. ábra. Öntött állapotú mikroszerkezet



■ 3. ábra. Az ausztemperálási hőmérséklet hatása a CADI mikroszerkezetére (4% Nitallal maratva)

## 2. Eredmények

### 2.1 Mikroszerkezet

A gömbgrafit eloszlását az öntött mikroszerkezetben az 1. ábra mutatja. A gömbösítés mértéke 91% körüli, a grafitgömbök száma kb. 300 db/mm<sup>2</sup>. Az öntött állapotú, troostitot és karbidot tartalmazó mátrixot a 2. ábra mutatja.

A 3. ábrán az auszferites, gömbgrafitos ill. karbidos CADI próbatestek mikroszerkezete látható, amelyet egy óras, 920 °C-on végrehajtott auszteni-

tesítéssel, majd két óras, 210–320 °C-os sófürdős kezeléssel állítottak elő.

A 3. ábra szerinti 230 °C-nál kisebb ausztemperálási hőmérséklet esetén a tús ferrit finom szerkezetű, a hányada nagy, és kevés a visszamaradó ausztenit. Előfordulhat, hogy a mátrixban martenzit is található. Az ausztemperálási hőmérséklet növelésével a tús ferrit vastagabb és nagyobb/durvább lesz. A karbonban dús ausztenit mennyisége pedig egyre több lesz.

## 2.2 Az ausztemperálási hőmérséklet hatása a CADi mechanikai tulajdonságaira

Az ausztemperálási hőmérséklet hatását a CADi fajlagos ütőmunkájára illetve keménységére a 4. és 5. ábra szemlélteti.

Látható, hogy ha az izotermikus hőmérséklet 230 °C alatt van, kisebb a CADi fajlagos ütőmunkája, míg a keménysége nagyobb. 230 °C izotermikus hőmérséklet felett a fajlagos ütőmunka nő, míg a keménysége a hőmérséklet növelésével fokozatosan csökken. Mikor az izotermikus hőmérséklet 290 °C fölé kerül, kis csökkenés tapasztalható a fajlagos ütőmunka értékeiben, s a keménységnövekedési hajlam is csekély.

## 2.3 Abráziv kopásállóság

Az 1. táblázat mutatja a kopásvizsgálati eredményeket.

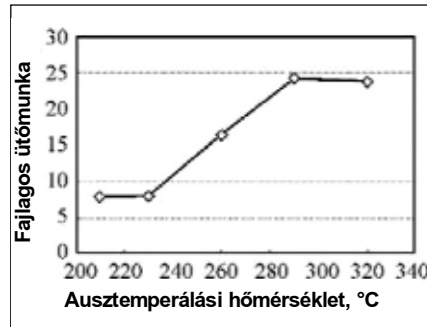
A mangán hatását a CADi relatív kopásállóságára 260 °C-os ausztemperálási hőmérsékleten a 6. ábra mutatja. A 6. ábra alapján a CADi relatív kopásállósága legalább 2,69-szer nagyobb, mint a hagyományos ADI-é. Ezen felül a kopásállóság fokozatosan nő a mangántartalommal. Ismeretes, hogy a mangán dúsulásra hajlamos elem, a kristályosodás során a maradó olvadékban koncentrálnak.

A mangán dúsulása karbidok kialakulásához vezet az eutektikum kristályosodása végén. A karbidok a szemcsehatárok mentén figyelhetők meg. Minél nagyobb a mangántartalom az ötvözetben, annál nagyobb lesz a karbid mennyisége. A mangán, beépülve a szilárd oldat rácsszerkezetébe, torzulást idéz elő a rácsban, ez a szilárdság növekedését eredményezi. A CADi kopásállósága a mangántartalommal növekszik.

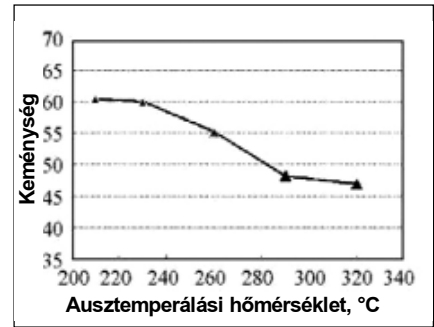
A 7. ábra az ausztemperálási hőmérséklet és a kopásállóság kapcsolatát mutatja 1,5%-os mangántartalomnál. Kezdetben a hőmérséklet növekedésével csökken a relatív kopásállóság. 260 °C körüli ausztemperálási hőmérsékletnél a legkisebb a kopásállóság. Ugyanakkor 290 °C felett a kopásállóság növekszik.

## 3. Az eredmények értékelése

Az ausztenitesítést (hőntartás 920 °C-on egy órán át) követően a darabokat



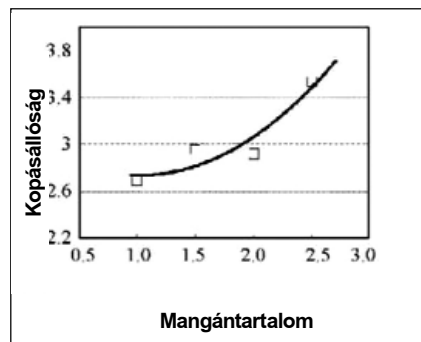
4. ábra. Az ausztemperálási hőmérséklet hatása a CADi fajlagos ütőmunkájára



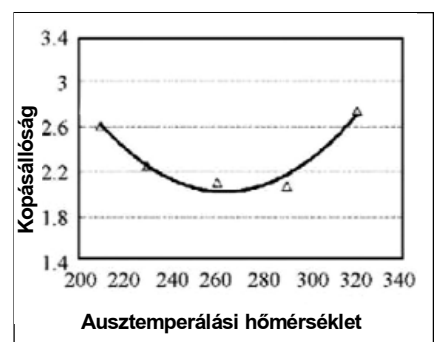
5. ábra. Az ausztemperálási hőmérséklet hatása a CADi keménységére

1. táblázat. Kopásvizsgálati eredmények különböző mangántartalom és ausztenitesítési hőmérséklet esetén

Próbatestek	Keménység,	HRC Tömeg, g	Relatív kopásállóság
ADI	46,0	0,1480	1,0000
1% Mn	57,6	0,0550	2,6909
1,5% Mn	60,4	0,0500	2,9600
2,0% Mn	61,4	0,0507	2,9191
2,5% Mn	60,0	0,0419	3,5322
210 °C	59,4	0,0568	2,6084
230 °C	58,7	0,0660	2,2559
260 °C	56,7	0,0703	2,1069
290 °C	52,2	0,0714	2,0776
320 °C	49,4	0,0541	2,7411



6. ábra. A mangán hatása a CADi kopásállóságára



7. ábra. Az ausztemperálási hőmérséklet hatása a CADi kopásállóságára

gyorsan sófürdős kádkeencébe helyezték. Az ausztemperálás folyamatának kezdetén az ausztenit átalakulása nem megy végbe azonnal. Rövid inkubáció után megindul a tús ferrit csíráképződése, majd növekedése. A ferrit kis karbon tartalma miatt, a karbon a még nem átalakult ausztenit felé diffundál, tús ferrit növekedésével. Az ausztenit karbon tartalma növekedni fog. Mikor az ausztenitben a karbon tartalma kicsi, termodinamikai szempontból nem stabil, ezért szobahőmérsékletre hűtés során martenzitté alakul. A kádkeencében, hosszabb hőntartási időnél, a tús ferrit növekedése felgyorsul és az ausztenit karbon tartalma tovább nö-

vekszik. Mikor a karbon tartalom eléri az 1,8–2,2%-ot, az ausztenit termodinamikailag stabilabbá válik. Az ausztenit lehűlésekor nem alakulhat át martenzitté. A karbonban dús ausztenit általában két formában jelenhet meg, csomós vagy lemezes alakban a ferrit tűk között.

A fenti elemzés szerint az auszferit morfológiája függ a vas- és karbon atomok diffúziós képességétől, a tús ferrit csíráképződésének hajtóerejétől. Fontos tényező az izotermikus hőmérséklet, amely befolyásolja az elemek diffúziós együtthatóját és a tús ferrit csíráképződési hajlamát. A diffúziós együttható exponenciális függvény szerint növekszik a hőmér-

séklettel. Mikor az ausztemperálás hőmérséklete kisebb, a túlhűtött ausztenit ferritté alakulásának a hajtóereje nagyobb, az ausztenit és az ausztenit-gömbgrafit szemcsehatárán van a tús ferrit legnagyobb csíráképződési potenciálja. Ebben az esetben a tús ferrit csíráképződése könnyebb lesz. Ugyanakkor a karbon diffúziója a mátrixban ezen a kis hőmérsékleten nehezebb. Ebből következik, hogy a tús ferrit több karbont tartalmazhat, míg az ausztenit kevesebbet. Az ausztenit a kis karbontartalma miatt instabil, martenzitté alakulhat az ausztemperálás után szobahőmérsékletre történő hűtése során. Ennek eredményeként alacsony ausztemperálási hőmérséklet esetén a CADI fajlagos ütmunkája kisebb, míg a keménysége nagyobb. Az izotermikus hőmérséklet növelésével a tús ferrit csíráképződésének hajtóereje és a képződő csírák száma is kisebb lesz. Ugyanakkor a vakanciák koncentrációja a túlhűtött ausztenitben nő, és ez a vas- és karbonatomok diffúziós együttműködésének nagy mértékű növekedéséhez vezet. A tús ferrit növekedési sebessége felgyorsul. Ugyanakkor a hőntartási idő alatt a ferrit gyorsan nő, vastagabb, nagyobb lesz, mint alacsony hőmérsékleten.

A karbon könnyen feldúsul az ausztenitben, és az ausztenit mennyisége nagyobb lesz. Az ausztemperálási hőmérséklet emelkedésével nő a fajlagos ütmunka nagysága, viszont csökken a keménység. Mikor az ausztemperálási hőmérséklet  $290\text{ }^{\circ}\text{C}$  fölé nő, a tús ferrit még vastagabb és nagyobb lesz, a visszamaradó ausztenit nagyobb blokkokra oszlik fel, így a keménység csökken. Egyidejűleg a karbon feldúsul az ausztenitben az ausztenit és a tús ferrit szemcsehatárán, karbidos átalakulás megy végbe. A karbidok miatt a CADI fajlagos ütmunkája bizonyos mértékben csökken [9].  $320\text{ }^{\circ}\text{C}$  ausztemperálási hőmérsékleten az auszferítés mátrixban a tús ferrit részlegesen párhuzamos csomók formájában jelenik meg, amely hasonló ausztemperált acélban a felső bainit megjelenéséhez.

A CADI kopási mechanizmusa különbözik a kopásálló acélétól és más kopásálló vasöntvényekétől. Először is, a CADI tartalmaz bizonyos mennyiségű karbidot, amely a mátrix-

ban váz szerepet játszik. Ez a kopással szembeni ellenállás növekedéséhez vezet. Ezen felül a karbonban dús ausztenit a CADI auszferítésében nagy feszültség hatására átalakulhat martenzitté, így a CADI felületi keménysége több mint HRC 60-ra nőhet. Ezért a CADI darabok felületének mindig van egy nagyobb keménységű, kopásálló rétege. Ez nem olyan, mint az acél cementálása. Amikor a kemény, cementált réteg lekopik, a belső mikroszerkezetnek csekély a kopásállósága.

Nedves koptatás során a CADI kopásállósága két tényezőtől függ: az anyag keménységétől és a korrózióval szembeni ellenállástól. A vizsgálatunkban ez nyilvánvaló. Mikor az ausztemperálás hőmérséklete alacsony, a mikroszerkezet finom tús ferritet, kevés ausztenitet, karbidokat és esetleg martenzitet tartalmaz. Ez a mikroszerkezet elősegíti a nagy keménységet, és ellenálló a csiszolóanyagoknak a mátrixba való beágyazódásával szemben. Ezért a kopásállóság nagyobb. Az ausztemperálási hőmérséklet növelésével csökken a keménység és a kopásállóság. A fenti eset alapján a CADI keménysége játssza a fő szerepet a kopási folyamat során. Mikor az ausztemperálási hőmérséklet nagyobb mint  $290\text{ }^{\circ}\text{C}$ , nagyobb mennyiségben marad vissza a karbonban dús ausztenit. Az ausztenit a nedves kopási folyamatban jó korrózióállósággal rendelkezik. Habár a nagyobb ausztemperálási hőmérséklettel kisebb lesz a CADI keménysége, nedves körülmények között a kopásállóság javulása figyelhető meg [10].

#### 4. Felhasználás

A fenti, optimális eredmények alapján egy adag CADI őrlőgolyót állítottak elő. Az őrlőgolyók fajlagos ütmunkája  $11\text{ J/cm}^2$ , a keménysége HRC 56 volt. Ezeket a golyókat 3 m hosszú, 1,5 m átmérőjű malomba helyezték. Az üzemi vizsgálat 2009. szeptember 18-án kezdődött. Egy hónapos üzemeltetés után a CADI őrlőgolyókat kivették a berendezésből. Megmérték a golyók tömegét, továbbá az őrlt érc mennyiségét. A CADI őrlőgolyók súlyvesztése kb. 307 g/t érc értékűnek bizonyult, amely a fele a kis krómtar-



■ 8. ábra. CADI őrlőgolyók használat után

talmú öntöttvas golyókénak. A CADI őrlőgolyók a használat után sem veszítették el gömbölyű formájukat és fényes felületüket (8. ábra). Még fontosabb, hogy a használat során egy golyó sem tört össze.

#### 5. Következtetések

Az ausztemperálási hőmérséklet jelentősen befolyásolja a CADI mikroszerkezetét és keménységét. Az ausztemperálási hőmérséklet növelésével a tús ferrit vastag és nagy méretű lesz, a karbonban dús ausztenit mennyisége nő, a CADI fajlagos ütmunkája fokozatosan emelkedik, míg a keménysége csökken.

Az ausztemperálási hőmérsékletnek összetett hatása van a CADI abrazív kopásállóságára nedves gumitárcsás koptatási körülmények között. Először is, a kopásállóság az ausztemperálási hőmérséklet csökkenésével együtt csökken. Mikor ez a hőmérséklet eléri a  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot, a kopásállóság a legalacsonyabb. Ezzel szemben, amikor a hőmérséklet  $290\text{ }^{\circ}\text{C}$  fölé jut, a kopásállóság nő. A mangántartalom növelésével nő a CADI kopásállósága.

A CADI-t használhatják bányászati őrlőgolyók készítésére. Az üzemi vizsgálat során megállapították, hogy a CADI őrlőgolyóknak kicsi a tömegvesztése a kis króm-tartalmú öntöttvaséhoz viszonyítva. A törésszám zéró, és a golyók használat után is fényes felületűek és gömbölyűek maradnak.

#### Irodalom

- [1] ADI Solutions Aid Vehicle Design. Foundry Trade Journal, 2004. vol. 178 (3612) p. 54–56.
- [2] Zeng, Yi-cheng, Li ke-rui and

Zhang zhong-chou: Production, Application and Development Forecast of Isothermally – Quenched (Austempered) Ductile Iron in China. Modern Cast Iron, 2007. 27(1).

- [3] The application of high-strength cast irons (ADI – austempered ductile iron) in high-performance diesel engines – part 1. Foundry Trade Journal, October 2006. p. 248–250.
- [4] Lynn Postle: Furnace is a key to CADI Solution. Foundry Trade Journal, 2006, vol. 180 (3632).
- [5] K. L. Hayrynen and K. R. Bran-

denberg: Carbide Austempered Ductile Iron (CADI) – The New Wear Material, Transaction of American Foundry Society, 2003, v. 111, p. 845–850.

- [6] Gao Song, Liu Jin-hai, Li Guo-lu, Xu Zhuo and Zhu Chen: Effect of Austempering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of CADI. China Foundry, 2008, 57 (3).
- [7] S. Laino, J. A. Sikora, R. C. Dommarco: Development of wear resistant carbide austempered ductile iron (CADI). Wear, 2007, 08, 013.

- [8] Liu Jin-hai, Ye Xue-xian, Zhang Hiu – you Li Guo-lu: Application and prospect of ADI and CADI in Metallurgical and Mine Industries. Modern Cast Iron, 2008, 28 (4).
- [9] Wei Bingqing, Liang Ji and Wu Dehai: Bainite Nodular Graphite iron. Beijing, Mechanical Industry Publish House, 2001, 39–53.
- [10] Liu Xian: Research of Carbide Austempered Ductile Iron Grinding Ball (Master Thesis), Hebei University of Technology, 2009.

LENGYELNÉ KISS KATALIN – SZENDE GYÖRGY

## Csaba Metál, a sikeres vállalat

Lapunk szerkesztőségének megbízásából 2011. november 17-én meglátogattuk a Csaba Metál Zrt. békéscsabai és szeghalmi gyárát. Beszélgetést folytattunk *Pintér Zoltánnal*, az Rt. cégvezetőjével és *Kitajka Bélával*, a szeghalmi fémszerkezetgyár igazgatójával. Bejártuk a békéscsabai alumíniumöntöde és a szeghalmi fémszerkezetgyár üzemait, megismerkedtünk a termékekkel és a gyártási eljárásokkal. A tapasztalatainkról röviden beszámolunk a következőkben.

A cég tulajdonosa és alapítója *Majoros Béla* vezérigazgató, akinek 25 éves tapasztalata van a gravitációs kokilla- és a nyomásos öntészet terén. 1993-ban lett vállalkozó (Majoros Metál Nyomásos Öntöde Kft.), és 1999 augusztusában alapította a jelenlegi céget, 19 fővel. 2010-ben az Rt.-nek 467 alkalmazottja volt, és 4,7 milliárd Ft-os árbevétele. Ez a szeghalmi fémszerkezetgyárral együtt értendő, amelyet 2005-ben vettek meg az Ikarus Holding Zrt.-től. A 2010. évi árbevétel (16 M EUR) még a válság nyomát mutatja. 2008-ban már 17 M EUR volt a bevétel, ami 2009-ben 13 M EUR-ra esett, de a 2011. évi terv már 28 M EUR volt, és 2012-ben 36 M EUR-t várnak!

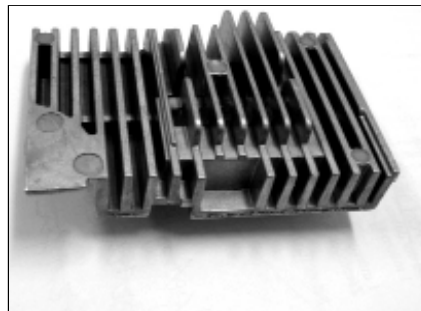
2010-ben a gyár termelésének értékben a 84%-át a járműipar vásárolta meg, olyan cégek, mint a Continental Teves, Trelleborg, Hella,

Alpine, Delphi. Néhány jellegzetes öntvény látható az 1–4. ábrákon. A Csaba Metál közvetett szállítója olyan cégeknek mint az Audi, BMW, Chrysler, Ford, Jaguar, Mercedes, Nissan, Renault, Toyota, Volkswagen, Volvo. Hozzávetőleg 50 öntvényféleséget gyártanak. A rendelésállomány kellően stabil, mintegy 60%-a három

nagy vevőtől származik, a többi 10–15 kisebbtől.

A termékek hozzáadott értékét növelni kívánják különleges tisztítási és kikészítési módszerekkel, az öntvények bővülő megmunkálásával és előszereléssel.

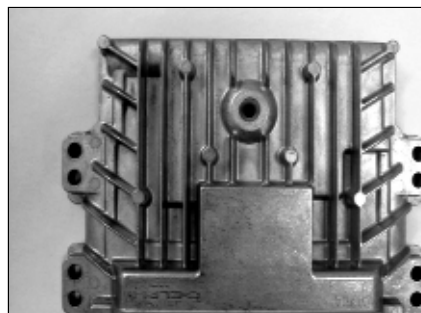
A létszám a csabai és a szeghalmi gyár között 3:2 arányban oszlik meg.



■ 1. ábra. Hűtőborda, VW Passat és Pheaton



■ 2. ábra. Fékalkatrész, BMW X6 Hybrid, Ford Escape Hybrid



■ 3. ábra. Vezérlésház, Renault Megane



■ 4. ábra. Tartó, BMW MINI, Renault Megane, Fiat Bravo

A csabai gyárban kilenc mérnök dolgozik, köztük két kohómérnök. Több ízben – utoljára két évvel ezelőtt – indítottak házon belüli öntő szakképzést, együttműködésben a munkaügyi központtal.

A jelenleg is termelő öntőde alacsony, nem daruzott (mezőgazdasági TSZ), könnyűszerkezetű épületekbe települt, amelyek az 5. ábrán láthatók. Már épül a korszerű, magas, daruzott, 4150 m<sup>2</sup>-es, a meglévőkhöz csatlakozó üzemsarnok, amelybe a tervek szerint ez év nyarán, üzemelés közben fognak beköltözni.

A céget egészében a dinamikus fejlesztés jellemzi. A jelenleg folyó és 2012-ben teljesülő eszközbeszerzési program összege 923 millió Ft, amiben 187 millió vissza nem térítendő támogatás, és EU-támogatás is van. Az új csarnok mintegy 700 M Ft költségének közel 50%-a szintén pályázati támogatás.

2011-ben öt új nyomásosöntő gépet, két megmunkáló központot, egy nagyteljesítményű vályús koptató berendezést, és egy zsírtalanító tisztító berendezést állítottak üzembe. Ebben az évben – többek között – egy ezer és egy ötszáz tonnás záróerejű öntőgépet, két megmunkáló központot és felületi tisztaságot ellenőrző laboratóriumot vesznek alkalmazásba az eszközbeszerzési program keretében.

Az öntőde vásárolt alapanyagot [EN AC 46000-(AlSi9Cu3)-(DIN 226); EN AC 44300-(AlSi12(Fe))-(DIN 230); EN AC 47100-(AlSi12(Cu))-(DIN 231)] olvaszt 500 kg/óra és 1500 kg/óra közötti teljesítményű Striko



■ 6. ábra. Olvasztókemence



■ 5. ábra. Az öntőde épületei

gáztüzelésű aknás kemencékkel (6. ábra) és rotoros, nitrogénes gáz-talanítással. Egytonnás, villamos hőntartó kemencéket használnak. A folyékony fémét egyelőre – daruk híján – targoncákkal szállítják.

Az öntőde gépparkja a következőkből áll:

**Vízszintes, hidegkamrás nyomásos-öntő gépek:**

STP Presse	DGK-1000
OMS	OL-950
IDRA	OL-800
ITALPRESSE IP	750
WEINGARTEN	GDK-700
OMS	GDK-700
BÜHLER	HB-630
IDRA	OL-560
WEINGARTEN GDK-500 (két darab)	
FRECH	DAK-450
IDRA	OL-225

**Vízszintes, automatikus vezérlésű gyártó cellák:**

IDRA OL-1000
IDRA OLK-700
IDRA GDK-500
IDRA OLK-400

Az öntődei kapacitásukat az 500-2500 tonnás záróerő-tartományban kívánják növelni.



■ 7. ábra. Mérőgépek

Nyomásosöntő szerszámokat nem gyártanak, azokat szakosodott, hazai és német gyártó cégektől szerzik be, de a szerszámok javítására berendezkedtek. Rendelkeznek felkészült szakemberekkel és a szükséges berendezésekkel is. A szerszámok hőszabályozását Tooltemp rendszerrel oldották meg. A szerszámokat vásárolt, vizes alapú bevonóanyaggal kezelik, amelyet központi rendszerből adagolnak. A folyékony hulladékot gyűjtik és regenerálják.

Az öntvények tisztítását, kikészítését mechanikus présekkel, szemcseszórá és koptató berendezésekkel végzik. Egyes termékeik (például vezérlőházak) ragasztásos szerelésre kerülnek és hermetikusan kell zárniuk, ezért ultrahangos mosó és zsírtalanító eljárást alkalmaznak és a tisztaságot ellenőrző laboratóriumot létesítenek. Ezeket az öntvényeket a követelményeknek megfelelő módon, különleges csomagolással látják el.

A cég fejleszti a minőségbiztosítási rendszerét. 2004-ben ISO 14001, és ISO/TS 16949 minősítést szerzett. Az öntőde egyebek között saját rönt-



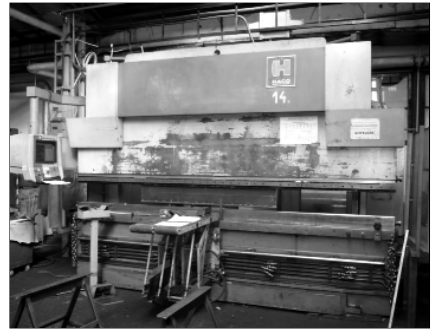
■ 8. ábra. Trélerek



■ 9. ábra. Pótkocsi



■ 10. ábra. 6 kW-os, 2x4 m asztalméretű lézeres vágóberendezés



■ 11. ábra. CNC élhajlító gép

gen és spektroszkópos vizsgálati eszközökkel, valamint háromdimenziós mérőgépekkel rendelkeznek. Az utóbbiak láthatók a 7. ábrán.

Összefoglalásul megállapíthatjuk, hogy a Csaba Metál nyomásos öntőde dinamikusan fejlődő, jó piaci helyzetű, termelékeny és magas műszaki színvonalú üzem, amely nehéz körülmények között is talpon maradt és jelentős alapokat hozott létre az Rt. mindkét gyárának a fejlesztéséhez.

A szeghalmi fémszerkezetgyár a régmúltban a Csepel Autógyár gyáregysége volt, majd az 1990-es években az Ikarushoz került. 2005-ben pénzügyi felszámolás után vásárolta meg a Csaba Metál, így leállás nélkül működhetett tovább. Megtartották a korábban ott dolgozó szakembereket, gyártási profilt, és a legtöbb part-

nerkapcsolatot. A gyár jelenleg önállóan gazdálkodó egység, amelyben az utóbbi években a rutinszerű termelés mellett jelentős termékfejlesztést is végrehajtottak.

A gyárban autóbuszok, haszongépjárművek, mezőgazdasági munkagépek alvázait, alkatrészeit és fel-



■ 12. ábra. A Nagydíj

építményeit gyártják. Néhány jellegzetes terméket mutatnak a 8–9. ábrák.

A profilnak megfelelően, a gyár főbb technológiai folyamatai: darabolás, lemezalakítás, hegesztés, forgácsolás, felületkezelés, hőkezelés, szerelés és anyagmozgatás. Néhány jellemző berendezést mutatnak a 10–11. ábrák.

A gyár minőségbiztosítási rendszerét visszatérően a TÜV Rheinland vizsgálja és minősíti.

A termékfejlesztés során kiemelkedő eredményt értek el: létrehozták a CSM URBANUS midibuszot, amely 2011-ben Magyar Termék Nagydíjat nyert (12. ábra).

Ismételten gratulálunk ehhez a vállalatnak, és további sikeres munkát kívánunk.

## Köszöntjük Erich Nechtelbergert, testvérlapunk főszerkesztőjét

*Dipl.-Ing. Erich Nechtelberger* bányatanácsos, az osztrák öntészeti szakfolyóirat, a Giesserei Rundschau főszerkesztője nemrég ünnepelte 75. születésnapját.

A Mura menti Bruckban született, a leobeni Bányászati-kohászati Főiskolán (most Montanuniversität) szerzett kohómérnöki oklevelet. 1962-től az ÖGI-ben (Osztrák Öntészeti Intézet) dolgozott a kísérleti öntődében. 1979-ben az intézmény helyettes vezetője, 1983-ban az alkalmazott öntészeti kutatások irányítója, egyben az Intézet igazgatója lett. 1998-ban vonult nyugdíjba, s adta át helyét és feladatkörét utódjának. Szakmai mun-

kájának egyik legnagyobb eredménye, hogy az ÖGI élén töltött 15 év után jó pénzügyi helyzetben adta át a stafétabotot.

Tevékenysége az öntészeti tudományok és ötvözetek szinte minden területére kiterjedt. Kutatási, fejlesztési és szakértői munkájának eredményeit mintegy 60 közleményben adta közre. Több mint 50 előadást tartott jelentős szakmai rendezvényeken, kongresszusokon, s három találmánya is van. A különféle öntöttvasak tulajdonságainak növelt hőmérsékleten, 500 °C-on való vizsgálatának eredményeit összefoglaló könyvét angol, japán



és koreai nyelvre is lefordították.

Neve és munkássága a Távol-Keleten különösen akkor vált ismertté, amikor egy japán hajómotorgyártó cég licence alapján a kiel MaK-gép-

gyárban szerelt dízelmotorok hengerfejeit – javaslata alapján – vermikulárgrafitos öntöttvasból kezdték gyártani.

Erich Nechtelberger számos osztrák és külföldi szakmai egyesület, szerkesztőség tagja. Szakmai és társadalmi munkáját kitüntetésekkel ismerték el. Csehországban, Szlovéniában az öntészeti egyesület tiszteleti tagja lett, hazájában 1990-ben megkapta az Osztrák Öntők Egyesületének Aranyérmét, 1994-ben Steiermark tartomány Nagy Emlékérmét, 1998-ban az Ausztrál–Osztrák Közös

Kutatási Szervezet tiszteleti tagja lett. 2010-ben a Német Öntészeti Egyesület drezdai közgyűlésén a két ország szakmai egyesületei és tudományos intézményei közötti együttműködés során kifejtett tudományos munkásságáért és személyes odaadásáért Bernhard–Ossan-éremmel tüntették ki, és tiszteleti taggá választották.

2001-től mint a VÖG (Osztrák Öntészeti Szövetség) igazgatóhelyettese, szerkesztője, majd 2002-től felelős szerkesztője a Giesserei Rundschaunak.

Erich Nechtelbergert a hazai öntőszakemberek is jól ismerik, korrekt, segítőkész partner, akire mindig támaszkodhattunk a közép-európai öntészeti egyesületeket összefogó ún. Haxagonálé programjaiban, de akár a múzeumaink együttműködésében, az egyetemközi kapcsolatokban vagy a Vaskultúra útja mozgalom kapcsán is.

75. születésnapján a magyar öntők is tisztelettel köszöntik, további eredményes munkálkodást, jó egészséget és Jó szerencsét! kívánnak.

Glück auf!

(LKK)

## HÍREK

### Személyi változások

Az MMKM Öntödei Múzeuma élén tevékenykedő *dr. Lengyelné Kiss Katalin* 2012. január 16-ával felmentették. A múzeum vezetésére *Képes Gábor* főmuzeológus, műszaki muzeológiai osztályvezető kapott megbírást.

A fenntartó Nemzeti Erőforrás Minisztérium által az anyaintézményre

rótt megszorítások miatt a múzeum létszáma egy muzeológusra, egy 4 órás műszaki munkatársra és egy teremőrre apadt.

Az MMKM Alumíniumipari Múzeumban a múzeumvezetőn kívül egy gazdasági ügyintéző dolgozik, a Kohászati Múzeumban pedig a múzeumvezető mellett egy múzeumpedagógus és egy gazdasági ügyintéző maradt meg.

Kérjük szakosztályainkat, szakmai egyesüléseinket, tagtársainkat, hogy társadalmi munkával és támogatásokkal segítsék szakmai emlékhelyeink életben tartását.

**A Szerkesztőség**

**Az OMBKE Ferencz István Észak-dunántúli Kohászati Regionális Szervezete 2012. június 29–30-án (pénteken és szombaton) tartja a XIX. Tudományos szakmai napot és baráti találkozót.**

A rendezvény helyszínét és részletes programját a rendezők a későbbiekben fogják az érdekelteknek eljuttatni.

### IV. Őskohász tábor

Vajon hogyan állították elő honfoglaló elődeink a vasat? A Közép-Európában egyedülálló Őskohász táborban a résztvevők csodálatos szépségű, erdős-patakos területen lehetnek részesei a látványos és emberközeli középkori vasipar tudományos igényességgel történő újjáélesztésének. Megismerkedhetnek azokkal a nehéz és fáradságos korabeli vaselőállítási és -megmunkálási technológiákkal, amelyek során közös munkával eljuttunk a földtől a vastárgyig...

#### INFORMÁCIÓK

Szervező: Somogy Természetvédelmi Szervezet és Zöld Folyosó Közalapítvány

Helyszín: Somogyfajsz (a Balatontól 40 km délre)

Részvételi díj: 25.000,- Ft/fő, amely magában foglalja a napi háromszori étkezést és a szállást a somogyfajsz kastélyban

Jelentkezés: Thiele Ádám okl. gépészmérnök, adam.thiele@hotmail.com, (30) 374 0671

További információ: [www.bucavasgyuro.net](http://www.bucavasgyuro.net)



#### PROGRAM

**Július 28.** (szombat) – Megérkezés reggel, faszénégető boksza építése és begyűjtése, kohóépítés. **Július 29.** (vasárnap) – Gyepvasérc bányászat, kohóépítés, kohók kiszáritása, faszénégetés. **Július 30.** (hétfő) – Gyepvasérc pörkölés és előkészítés, kohók kiszáritása, faszénégetés. **Július 31.** (kedd) – A faszénégető boksza kibontása, kohósítások a megépített kohókban, kapott vasbucák kovácsolása. **Augusztus 1.** (szerda) – Vastárgyak kikovácsolása az előállított vasbucákból, hazaindulás koraeste. Esténként előadások, filmvetítés archeometallurgiai témában.

FÜLÖP KRISZTIÁN

## Hetvenéves az alumínium képlékeny alakítás Székesfehérváron (1941–2011)

*Ahogy már korábbi számainkban beszámoltunk róla, az Alcoa-Köfém Kft. 2011-ben ünnepelte a jogelőd vállalat alapításának 70. évfordulóját (1. kép). A múlt emlékeit, a sikeres rég- és közelmúltat az Alumíniumipari Múzeum önálló tárlat keretében mutatta be. Az évforduló okot ad arra, hogy áttekinthessük a vállalat történetét, az utat, amelyet a kukoricaföldeken történt első kapavágástól a mai napig bejárt. Az alapítás a német hadigépezet céljait volt hivatott kiszolgálni. Még igazából fel sem épült a gyár, amikor elérte a háború, és előbb a német, majd a szovjet hadsereg kezdte leszerelni. A dolgozók mentették meg, és kezdték szinte azonnal újjáépíteni, és szovjet érdekeltségként sikerült az alapításkor tervezett szintet elérni. 1954-től magyar vállalattá válva kezdődött az eredeti kereteket sokszorosan meghaladó fejlesztés, amely napjainkig szinte megszakítás nélkül folyik. 1996 óta az amerikai Alcoa a tulajdonosa az immár Alcoa-Köfém Kft. néven bejegyzett vállalatnak, amely továbbra is Európa egyik legkorszerűbb alumínium-feldolgozó gyára.*

### A gyáralapítástól a termelés beindításáig (1941–1945)

A nagy kapacitású önálló alumínium félgyártmányipar a II. világháború előtt elsősorban a hadi repülőgépipar igényeinek kielégítésére fejlődött ki az Egyesült Államokban, a Szovjetunióban és természetesen Németországban. A németek már elvesztették az angliai csatát, az angolszász légifőlény és a növekvő számú légítámadások hatásának kivédésére további decentralizáció volt szükséges, ezért Magyarországot be akarták vonni a gyártásba, amihez partnerekre is találtak a magyar ipar részéről.

A Magyar Bauxitbánya Rt. igazgatósága az Ajkai Timföldgyár és Alumíniumkohó építése során került

*Fülöp Krisztián az MMKM Alumíniumipari Múzeuma intézményvezetője. 2008-ban végzett az Eötvös Loránd Tudományegyetem múzeum-pedagógia szakán. 2005-től a múzeum múzeum-pedagógusa, 2010-től intézményvezető.*

kapcsolatba a berlini Dürener Metalwerke könnyűfémű vezetőivel és együtt próbálták a magyar–német repülőgépgyártási programba becsat-

lakozni. A német cég nem rendelkezett timföldgyárral és kohóval, ezért a Magyar Bauxitbánya Rt. részére tett alumínium hengermű felépítésére ajánlatot, amelyről a szerződést 1941. június 25-én kötötték meg.

A majdani hengermű telepítésre alkalmas területet Székesfehérvár biztosította a legkedvezőbb feltételekkel (vasútvonal, víz, villamos áram).

A tervek 1941 nyarán készültek el, az építkezés '42 tavaszán kezdődött, az első hengerlésre '43 tavaszán került sor.

A teljes technológiát a német cég tervezte. A tervek szerint a hengermű gerincét egy Schloemann gyártmányú hengerekkel rendelkező átemelő asztalú meleghengerállvány képezte, melyhez a hidegállványok csatlakoztak. A szalaghengerlés számára két



1. kép. Az Alcoa-Köfém irodaháza



■ 2. kép. A Könnyűfémmű első melegállványa

szalagállvány szolgált volna. A prémű főberendezését egy szintén Schloemann gyártmányú 1500 tonnás hidraulikus cső- és rúdprés képezte volna. A préskovácsmű berendezését a tervek szerint három dörzsgörgős sajtoló és a hozzá tartozó segédberendezések alkották. Az öntöde részére két db három tonna befogadóképességű, 180 kV-os olvasztókemencét és 220 kV-os, 5 tonnás pihentető kemencét terveztek.

A háborús események miatt nem a tervezett berendezések kerültek Fehérvárra, a Schloemann gyártmányú hengerek és prés helyett egy 1906-os kiöregedett hengerek, amelyen még az Al-Cu-Mg (dural) ötvözet kifejlesztője, Alfred Wilm a kísérleti hengerléseket végezte, és egy, a tervezett némettel azonos paraméterű francia prés került beszállításra. Ez utóbbit nem is helyezték üzembe a háború vége előtt. A szerelési munkák ideje alatt kb. 30 főből álló csoport a gyártási technológia elsajátítására közel fél évet német üzemekben töltött.

Az első üzemszerű hengerlés 1943. április 21-én történt meg (2. kép). Az első saját gyártmányú lemezt május 17-én nemesítették. Az öntöde és hengermű júliusban üzemképes állapotba került. 1943. júliusban, az első normális üzemi hónapban 36 560 kg lemezt állítottak elő. Kizárólag plattírozott lemezeket gyártottak, az öntött tuskók kiváló minőség

ge miatt előhengerlés nélkül, Al99,5 és Al-Mn lemezeket erősítettek az előzőleg pácolt és érdesített felületre.

Gyakorlatilag a Kőfém későbbi vertikuma a háború előtt kiépült (táblás lemezhengermű, présgép, húzópad), bár még 1944 októberében, sőt november első felében is nagyobb fémalkatrész-szállítmányok érkeztek Németországból. Felszerelésükre azonban már nem került sor. Fejér megye területének jó része november végén hadszíntérré vált.

A három hónapig tartó harcok alatt a Könnyűfémmű telepe komolyabb sérüléseket nem szenvedett. Jelentős volt azonban a kár, amit a kiürítés (gépek, nyersanyagok és félkésztermékek elszállítása) okozott.

### A háború utáni újrakezdés éve (1945–1954)

A háború után a gyártelepen már 1945. május 18-án megindult a romeltakarító munka. A háborús károk helyreállítása után az alumíniumipari vertikum minden fázisa fejlődésnek indult. A tulajdonviszonyok változása (államosítás, majd Magyar–Szovjet Bauxit–Alumínium Részvénytársaság /MASZOBAL, 1952/) a nemzetközi együttműködés kezdetét jelentette.

Bár az 1948 és 1954 közötti időszakban Magyarországon a kohóépítésére volt a főszerep és a félgyártmánygyártásban lényegesebb beruházás nem valósult meg, egyes berendezések cseréje és a növekvő alulapanyag-ellátás eredményeképp a kezdeti rendelésihiánnyal való küszködést követően folyamatosan nőtt a Könnyűfémmű termelése. Működött az a termelői kapacitás, amelyet az üzem alapításakor terveztek, (de amelynek megvalósítását akkor a háború megakadályozta), és 1953-ban 10 kt félgyártmányt termelt.

1952-ben szovjet apport útján megvalósult az első fejlesztés, amely a hengermű rekonstrukcióját jelentette. A háborús események miatt már a telepítéskor is elavult – 1900-as évek elejéről származó – duó és trió állványok, továbbá kulcsgépek kicserélése, illetve bővítése valósult meg.

Az alapvetően hengerelt termékek választékának bővítését célzó fejlesztés keretében felállítottak egy harmadik hengert. Az új Skoda le-

mezállványokat a Schloemann meghajtású hengerekhez csatolták, a DEMAG állványok helyére új meglehenger került. A két új hazai gyártmányú, indukciós olvasztókemencével az öntöde elérte a kívánt kapacitást, kisebb kiegészítésekkel 1961-ig így üzemelt.

### A Székesfehérvári Könnyűfémmű megalapítása, az első fejlesztések (1954–1957), a gyárfejlesztés első üteme (1958–1962)

1954 végén a Szovjetunió lemondott a vegyes vállalatban való érdekeltségéről, és ezzel a vállalat a magyar állam tulajdonában, Székesfehérvári Könnyűfémmű néven működött tovább.

A fejlesztések elmaradása miatt a magyar ipar számára nem állt rendelkezésre sem mennyiségben, sem minőségben elegendő félgyártmány. Ennek feloldására 1954 és 1957 között néhány kisebb beruházást hajtottak végre, alapvetően a hengerelt termékek választékának bővítése céljából (hengerműcsarnok megtoldása, hengercsiszoló gép, görgős lemezegető), de az igazi megoldást az 1958-ban megkezdett kétlépcsős bővítés eredményezte. A beruházást az tette lehetővé, hogy a két ország között megkötött államközi hitelmegállapításban a Szovjetunió vállalta gépi berendezések szállítását. Az építkezés 1958-ban indult és 1962-ben már a prémű üzemelt.

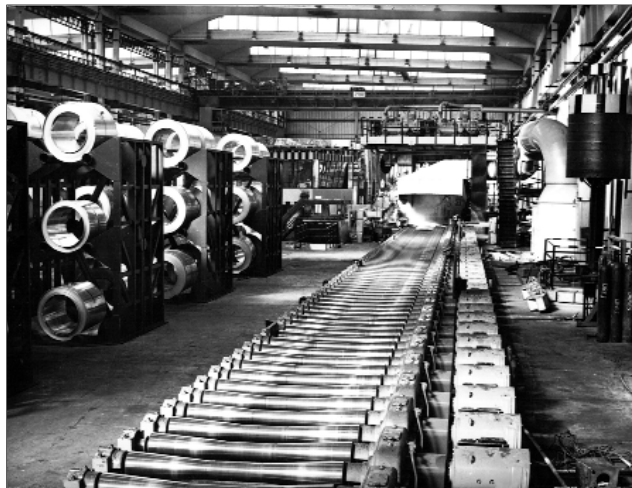
A fejlesztés keretében megépült egy új tuskóöntöde és egy új prémű csarnok.

Az új épületben felszerelt öntödét 30 kt/év kapacitásra tervezték, az új prés és húzómű, valamint a régi hengermű kiszolgálására. Három olvasztó/öntő egységét 15 t-ás olajfűtésű kemencék, 10 t-ás ellenállás fűtésű pihentető- és öntökemencék, valamint 6,5 m-es öntögödör alkotta (3. kép).

Az új prés- és húzóműbe három központi működtetésű vízhidraulikus prést (50, 35 és 16 MN-os nyomóerővel) és egy 12 MN-os olajhidraulikus szovjet prést telepítettek. Ez volt az üzem első egyedi olajhidraulikus meghajtású prése. Az új prés- és húzómű tervezett kapacitása 10 700 tonna/év volt.



■ 3. kép. Öntödei látkép 1961-ből



■ 4. kép. Meleghengerállvány 1971

### Magyar–Szovjet Timföld–Alumínium Egyezmény, a MAT megalakulása, a gyárfejlesztés 2. üteme (1962–1971)

Az ötvenes évek végén nyilvánvalóvá vált, hogy a további növekedés gátja a hazai szűkös energiaforrás, amely a kohászat növekedését gátolta. Keresni kellett tehát a lehetőséget, hogy az ország bauxitkészletének fémtartalma magasan feldolgozott formában hasznosuljon.

Lényegében két lehetőség állt fenn:

1. Az alumínium vertikum értékteremtő befejező munkaszakaszainak (félgyártmány és készárugyártás) arányos növeléséről való lemondás.
2. Az alumíniumkohászatot nemzetközi kooperációban történő megvalósítása.

1962. november 15-én aláírták a Magyar–Szovjet Timföld–Alumínium Egyezményt. (1980-ban 330 kt timföldet szállítottak ki kohósításra, és 165 kt alumínium érkezett vissza). Az egyezmény új távlatokat nyitott meg a magyar félgyártmánygyártás előtt. Jelentős mennyiségű alulapanyaghoz jutott a félgyártmány ipar. (Az egyezménnyel összefüggésben 1963. július 1-jei hatállyal létrejött a Magyar Alumíniumipari Tröszt, amely az alumíniumipar teljes vertikumát átfogta.)

Ezen a bázison megkezdődött a gyárfejlesztés 2. ütemének megvalósítása, amely egy 50 000 tonna/év kapacitású hengerlési tuskóöntödét és egy 60 000 tonna/év kapacitású

szélesszalag hengermű megépítését foglalta magában.

A rendkívül fáradságos és megterhelő munka mellett a gyártást az alacsony kihozatal és termelékenység, a szűk határok között mozgó választék, az elavult berendezésekből és eljárásokból fakadó gyenge és változó minőség jellemezte. Ilyen előzmények mellett kezdődött meg 1965 augusztusában a szélesszalag hengermű és hengerlési tuskóöntöde építése, és ezzel a magyar hengerelt alumíniumgyártás 30-40 éves elmaradásának behozása, új alapokra való helyezése. Az addigi átlagos 200 kg-os tuskótömeg 3,5 t-ra emelkedett. Az anyagot feltekeresztették, és így került a hideghengerműbe. Kiváztak az első magyarok Belaja Kalitvába, betanulásra. A maximális hengerlési szélesség 1500 mm, a hengerelt termékek minimális vastagsága 0,5 mm volt. Hétszeresére nőtt a hengerlési sebesség, nagymértékben javult a kihozatal, megbízhatóságba vált a termékek minősége és kiszélesedett a termékválaszték. Ez a beruházás minőségi változást hozott a gép és ember kapcsolatában. A korábbi gyártási folyamat manuális részét (kézi kerek hengerállítás) végző emberekből a hengerlítő villamos motorok kezelői, irányítói és felügyelői lettek (4. kép).

A szélesszalag hengermű működésének feltétele volt a megfelelő hengerlési tuskó biztosítása. Ezért a szélesszalag hengermű fejlesztésével párhuzamosan megépült – a korábbi sajtólási tuskóöntöde folytatásaként – a hengerlési tuskóöntöde is.

Az öntöde tervezett kapacitása 30 kt/évről 118 kt/évre nőtt.

A gyárfejlesztés 2. ütemében megvalósított beruházásokat 1971. november 5-én adták át, és ezzel a Könnyűfémmű gyakorlatilag kialakította mai arculatát, és megindulhatott a mennyiségi és minőségi fejlődés magasabb szintje felé.

### A gyárfejlesztés 3. üteme (1973–1976)

E fejlesztési szakasz keretében a szélesszalag hengerműben kiegészítő és minőségjavító berendezéseket helyeztek üzembe. A kiegészítő fejlesztéssel a két ütem alatt létrehozott 60 ezer tonna/év kapacitás 71,5 ezer tonna/évre növekedett.

A felhasználók számára új lehetőségeket biztosított a csőhegesztő, szalaghullámosító, profilhajlító, perforáló és a reluxa lakkozó berendezések beállítása, és ezzel az új, fokozott kikészítettségű gyártmányok megjelenése.

A megnövekedett termelés, a termékek minősége megváltoztatta a fogyasztási struktúrát. A növekedés indexe jelentősen meghaladta az európai országok növekedési ütemét. Megkezdődött az elhanyagolt területek alumíniumigényének kielégítése (építőipar, tömegcikk ipar). Az évi 4,3 kg/fő éves alumínium felhasználás 1962 és 1971 között 10,3 kg-ra, majd a következő négy évben tovább növekedve 14,4 kg-ra emelkedett. Ez meghaladta a legfejlettebb országok színvonalát, az NSZK és Svédország szintjén volt.

A préműi fejlesztés 1974-ben kezdődött meg és 1978-ig megépült a prémű 3. hajója, amelyben két új 25 MN-os ZAMET olajhidraulikus prést, és egy meglévő, de rekonstrukció során kikészítő serral kiegészített prést állítottak fel. Az új prés, a rekonstrukció és a folyamatos műszakra való átállás együttes hatására a korábbi 26 ezer tonna/évről 36 ezer tonna/évre nőtt a prémű kapacitása.

### A gyárfejlesztés hatékonyságot javító 4. üteme (1975–1983)

A magyar alumíniumipar legdinamikusabb fejlődése az 1970-es évek második felében következett be. A Timföld–Alumínium Egyezmény fémháza és a korábbi fejlesztések eredményei alapot biztosítottak az üzem további jelentős fejlesztésére. A meglévő berendezések szűk keresztmetszetének feloldásával, rekonstrukciókkal és kiegészítésekkel, továbbá új – egyidejűleg minőségjavító és választékbővítő – berendezések beállításával, a hengerelt termékgyártó kapacitást adott választékban kb. 100–110 ezer tonna/évre a sajtoló és húzótermékgyártó kapacitást, adott választékban kb. 50 ezer tonna/évre, a kovácsolt termék gyártási kapacitást pedig 2 ezer tonna/évre növelték.

A meglévő öntöde egy új 60/40 tonnás olvasztó-pihentető tuskóöntő egységgel, azaz 32 ezer tonna/év kapacitással bővült. Új, nagy teljesítményű homogenizáló kemencék, tuskódaraboló szalag- és körfűrész,

salakfeldolgozó-fémvisszanyerő és más berendezések létesültek.

A hengerműben két nagyteljesítményű tuskóelőmelegítő kemence épült. A meleghengesor széleskörű rekonstrukcióval – szinkroncsévéelő, szélező, bugaolló, görgősor hosszabítás stb. – alkalmassá vált a korábbi 3 tonnás tuskók helyett max. 7,2 tonnás tuskók fogadására, nagyobb teljesítmény, jobb kihozatal és minőség elérésére.

Az 1. és 2. számú hideghengerállvány, valamint a kikészítősorok rekonstrukciója lehetővé tette háromszorosára növelt tömegű tekercsek alkalmazását, a teljesítmény növelését. Az UNGERER zsírtalanító-nyújtvaegyengető egység javította a minőséget és bővítette a választékot. A beruházás legjelentősebb, a minőséget, választékot és exportképességet leginkább meghatározó tétele a japán (IHI) gyártmányú hideghengesor beszerzése volt (5. kép).

Az egyirányú, max. 1200 m/perc sebességű, min. 0,2 x 800–1600 mm-es keresztmetszetű szalagok hengerlésére alkalmas állvány rendelkezett mindazokkal az egységekkel (hengerhajlító, síkkifevés szabályozó, automatikus mérő-vezérlő, számítógépes támogató stb. rendszerek), amelyeket ebben az időszakban a világon kifejlesztettek és sikerrel alkalmaztak.

### Az 1984-et követő időszak eredményei és ellentmondásai, privatizáció, Alcoa-Köfém Kft.

A Magyar–Szovjet Timföld–Alumínium Egyezmény fémháza az 1965 utáni években alumínium félgyártmány gyártásunk dinamikusan és szinte folyamatosan fejlődött.

Az első időszakban a fejlesztés döntően extenzív jellegű volt, és a belföldi felhasználók mennyiségi és választékbeli igényeit helyezte előtérbe.

Az 1977 után megvalósított gyár-, gyártás- és gyártmányfejlesztéseknél a kapacitások bővítése és a meglévő berendezések nagyarányú rekonstrukciói egyre inkább összekapcsolódtak a minőségjavítás, a választékbővítés és az export versenyképesség növelés intenzív követelményeivel. Ennek segítségével a termelőknél előállítható, nagyobb hozzáadott értékű biztosított méretpontos préskovácsstermékek és a fokozott kikészítettségű félgyártmányok termelését (dugattyúk, folyamatosan hegesztett csövek, lakkozott relaxszalagok, hajlított idomok, hullámlemez) nagymértékben növelték.

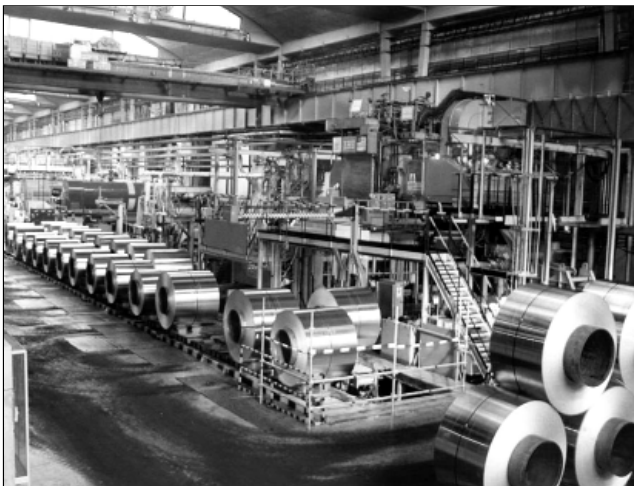
A könnyűszerkezetes építési programhoz csatlakozva hőzáró nyílászárók, térelhatárolók, radiátorok feltételeit hozták létre. A korábban importtermék hidraulikus bányatám kiváltása hozzájárult a bányászat munkakörülményeinek javításához (6. kép).

1984-től 1991-ig egy ellentmondásos időszaknak lehettünk a tanúi. 1984-től kezdve a gyár- és gyártásfejlesztés a korábbi ütemhez és mértékhez képest – forráshiány miatt megtorpant.

A Könnyűfémű kohóalumínium szükségletét kétoldalú timföldegyezmény alapján a Szovjetunióból szerezte be. A megállapodás 1990-et követő meghosszabbítására a politikai és gazdasági rendszerváltás körülményei között semmi esély nem volt. A Könnyűféműnek nem állt rendelkezésére saját pénzügyi forrás, tartalék, amelyből kísérletet tehetett volna megújulásra. A fenti, válságos helyzetből való kijutást, a gyár fennmaradását csak egy tökeerős stratégiai célú beruházó szerepvállalása, az ezzel együtt járó tőkeinjekció, továbbá fejlesztési források folyamatos rendelkezésre állása biztosíthaták. Ezen követelmények megvalósítására 1990 küszöbén csak külföldi befektető jöhetett számításba.

Hosszú tárgyalások eredményeként 1993. január 1-jén az Alcoa a Könnyűfémű 50,1%-os tulajdonosa lett, majd 1996. július 1-jén megvásárolta a tulajdon fennmaradó 49,9%-át is. Az akvizíciót követően a vállalat bejegyzett neve Alcoa-Köfém Kft. lett.

Az akvizíciót követő első években intenzív programot hajtottak végre, amely „halasztott karbantartás” né-



■ 5. kép. Japán hengerállvány 1981

ven vált ismertté. Elkészült az épületek és berendezések teljes körű felmérése azzal a céllal, hogy meg lehessen határozni a modernizálási-felújítási programok mélységét, költségvetését és határidőit.

Az 1995-ben kezdődött fűtésrekonstrukció keretében egy korszerűbb, gazdaságosabb és környezetvédelmi szempontoknak megfelelő hőellátó rendszer épült ki.

Az Alcoa előírásoknak megfelelően, és a helyi előírásokat legalább teljesítő, de inkább túlteljesítő vállalati biztonságtechnikai és környezetvédelmi körülményeket teremtett. A vállalat szigorú biztonságtechnikai programot vezetett be, melynek keretében sokféle technológiai változtatás is történt a biztonságot fenyegető veszélyek és azok következményeinek megszüntetésére. Különösen sok technológiai változtatás célozta meg a kockázatok csökkentését és a védelmet. Elvégezték a szennyezett talajok eltávolítását és a föld alatti tartályok leszerelését. Hosszú távú, a legkorszerűbb igényeknek is megfelelő azbesztlebontási program indult. Bevezették az ISO 9000 iránymutatásain alapuló minőségi rendszert.

Az 1993 és 1996 közötti időszakban a gyártóberendezések teljes körét racionalizálták. A régi, elavult gépeket és kemencéket leszerelték, a stratégiai berendezéseket pedig felújították.

### A fejlesztések újraindulása (1996-tól napjainkig)

A fejlesztések újraindulása a Keréktermékgyár 1996-os indulásához köthető.

Az üzem tehergépjárművekhez, vonatokhoz és autóbuszokhoz gyárt tömegtermelésben méret és dizájn szerint több mint 100 féle préskóvácsolt alumíniumkereket. Termékeinek nagy része európai piacra kerül, ezzel Európában az alumíniumkerekek piacán piacvezető. Az induló kapacitás az európai piac növekedését kihasználva 2005-ben jelentős beruházással tovább nőtt a megmunkáló, kikészítő és csomagoló kapacitásbővítés eredményeképpen. A kóvácsoláshoz szükséges tuskót az ön-

töde biztosítja, amelyhez több, teljesen új technológiát kellett bevezetni.

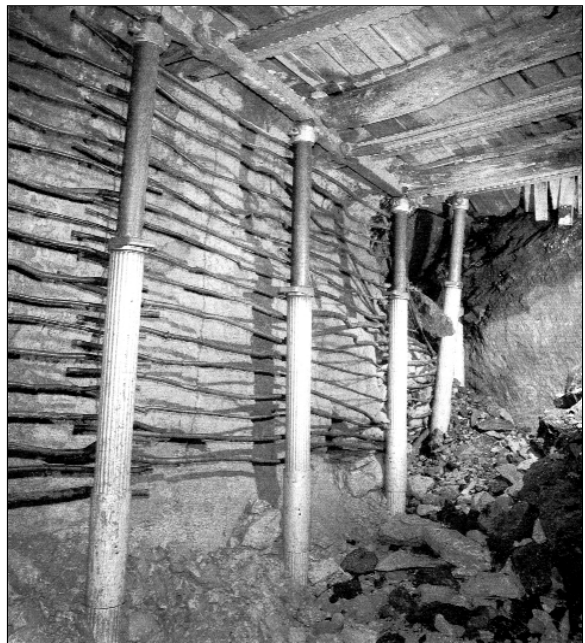
A hengerműi fejlesztések 1997 végén a negyedik Ebner-kemence telepítésével kezdődtek, ami jelentős kapacitásbővítést jelentett. 1999-ben telepítették a mai színvonalnak megfelelő tárcsavágó berendezést. Az új tárcsavágó lehetővé tette a tárcsa termék kihozatalának szembetűnő javítását és a tárcsagyártás költségeinek versenyképes szintre csökkentését.

A gyártott termék minősége jó alapot teremtett ahhoz, hogy Európában vezető tárcsagyártóvá váljon.

1999-ben és 2000-ben újra a plattírozott alumíniumtermékek gyártásába kezdett a hengermű és sikeres kísérletek után az Alcoa-n belül kizárólagos európai beszállítójává vált olyan nagy autóipari cégeknek, mint a DENSO.

A kerek könnyebb tisztíthatóságára irányuló vevői igényekre válaszul a Keréktermék Divízió egy szabadalommal védett új bevonatolási eljárást dolgozott ki, ezzel bővítve termék portfólióját. A Kőfém területén első újonnan épített, 2800 m<sup>2</sup> alapterületű csarnokukban telepítették le az európai piacra szánt kerek előállításához szükséges, valamint az iparágban fellelhető legmodernebb és leginkább környezetbarát eszközparkot. A termelés 2007 novemberében indult.

A Hengermű életében is a 2007-es év hozta a legnagyobb változást, 1981 után újabb hidegállványt (a negyediket) telepítettek, ez a történelmi következetesség jegyében egy Achenback-típusú, mint a legelső hengerállvány volt (100 év telt el a gyártásuk között). Az addigi min. 0,20 mm vastagság 0,040 mm-re csökkent, lehetővé téve ezzel főként a vékony termékek gyártásának növelését az autóipar részére. Ezzel kialakult az Alcoa-Kőfém mai termékstruktúrája.



■ 6. kép. Alumínium bányatám

70 év nagy idő, különösen az állandó változások, folyamatos növekedés, fejlődés mellett. A gyár történelme során voltak nehézségek, tulajdonosváltások, gyártási kultúrák változtak. A jubileumra összeállított kiállítás megtekintése jó alkalom biztosított, hogy végigsétálva a képek között folyamatában láthassuk azt a fejlődést, amely a mindenkori sikerességet biztosította. A mindennapi munkát és az ünnepnapokat bemutató képek segítségével pedig megérthettük azt a fontos szerepet, amelyet a Kőfém az itt dolgozók és a város életében betöltött. A Kőfém dolgozói büszkék hagyományaikra, a „magyar ezüst” történetében betöltött meghatározó szerepükre. Terveink szerint erről a BKL Kohászat következő számában önálló cikk formájában olvashatnak.

### Irodalomjegyzék

1. Dr. Harsányi József. A Székesfehérvári Könnyűfémű történetének 50 éve. 1991.
2. Székesfehérvári Könnyűfémű – Alcoa-Kőfém Kft. Felelős szerk.: Horváth Tamás, 2001.
3. A magyar alumínium 50 éve. Főszerk.: dr. Várhegyi Győző, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984

# Rézleválasztás acélhuzalra pirofoszfátos galvánfürdőkből

*A nagysebességű huzalgyártó sorokon az acélhuzal rézzel bevonása is folyamatosan történik. A rezező galváncellákon átfutó acélhuzal felületére történő katódos rézleválasztáshoz ugyanakkor általában a szokványostól sok tekintetben eltérő jellemzőkkel rendelkező fürdőket használnak a világban. A közelmúltban Magyarországon (AMSG Kft.) is üzembe helyeztek egy ilyen típusú galvanizáló sort, melynél néhány kritikus üzemviteli paraméter változtatásának a hatását tanulmányoztuk laboratóriumi körülmények között az intézet felülettechnikai laboratóriumában. Temperált Hull-cellában sík acéllemez próbák felületére széles áramsűrűség-tartományban elektrolizálva választottunk le lúgos pirofoszfátos fürdőkből vékony rézbevonatokat, melyeket többféle korszerű vizsgálo technikát (SEM, GD OES) alkalmazva minősítettünk, és következtetéseket vontunk le a réz-bevonatképzés megbízhatóbb kézben tartása érdekében.*

## Bevezetés

Ötvözetlen szénacélok tiszta és aktív fémes felületére a hagyományos, például kénsavas-réz-szulfát tartalmú galvánrezező fürdőkből gyakorlatilag nem lehet igazán jól tapadó rézbevonatot leválasztani, a vasnak a rézhez képest jóval negatívabb standard elektródpotenciálja miatt [1]. A közelmúltig ennek a problémának az áthidalására a galvántechnika gyakorlatában jól bevált eljárás volt olyan, főleg cianidos fürdők [2] alkalmazása, melyekben előrezeve a vas-acél felületét, biztosítani lehetett a jól tapadó réteg kiépülését. Az ilyen típusú galvánrezező elektrolit oldatok cianid anionjainak a Cu(I)-kationokkal alkotott erős komplex kötéseinek köszönhetően erősen gátoltá válik az aktív és reakcióképes vas közvetlen (kontakt)redukciós (ún. cementálásos) reakciója a komplexált rézionokkal. A réz(II)-ionokkal a cianidnál valamivel gyengébb, de még megfelelően erős komplexeket képeznek a

pirofoszfát ( $P_2O_7^{4-}$ )-anionok. Erre a felismerésre alapozva fejlesztették ki a pirofoszfátos galvánrezező fürdőket [3]. Ilyen típusú fürdőt használnak a szentgotthárdi AMSG Kft. folyamatos huzalgalvanizáló során is, ahonnan frissen bekevert és használt üzemi fürdő oldatokat kaptunk a laboratóriumi vizsgálataink céljára.

## Réz-pirofoszfátos vizes galván-elektrolit oldatok

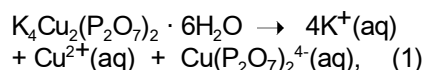
A pirofoszfát tartalmú galvánrezező fürdők kialakulásáról és néhány korai típusáról Pinner [3] közölt összefoglaló adatokat. A mikroelektronikai iparban, például a nyomtatott áramköri lapok furatfémezésére, ma is

**1. táblázat.** Pirofoszfátos galvánrezező fürdők elemzéssel meghatározott néhány jellemző összetevője

Réz	$Cu^{2+}$	20 – 40 g/dm <sup>3</sup>	0,32 – 0,63 mol · dm <sup>-3</sup>
Pirofoszfát	$P_2O_7^{4-}$	100 – 300 g/dm <sup>3</sup>	0,57 – 1,72 mol · dm <sup>-3</sup>
Nitrát	$NO_3^-$	5 – 10 g/dm <sup>3</sup>	0,08 – 0,16 mol · dm <sup>-3</sup>
Ammónia	$NH_3$	1 – 3 g/dm <sup>3</sup>	0,06 – 0,18 mol · dm <sup>-3</sup>

pirofoszfátos galvánrezező fürdőket használnak, melyek fő összetevői és azok jellemző koncentráció-tartományai alig különböznek a korábban szabadalmaztatott és sikeresen bevezetett fürdőkétől (1. táblázat) [4].

Az 1. táblázatban közölt ionkoncentrációknak megfelelő mennyiségű vízdoldható sókból ( $Cu_2P_2O_7 \cdot 3H_2O$ ;  $K_4P_2O_7$ ;  $KNO_3$  stb.) készítik a fürdőt. Első közelítésben a réz-pirofoszfát és a kálium-pirofoszfát kettős sóját /  $K_4Cu_2(P_2O_7)_2 \cdot 6H_2O$  / tekintve a fürdő fő alkotóinak, a táblázatban feltüntetett oldatrendszernek ilyen közepesen tömény oldatára nézve feltételezhető az alábbi oldódási disszociációs, illetve komplexképződési folyamat:



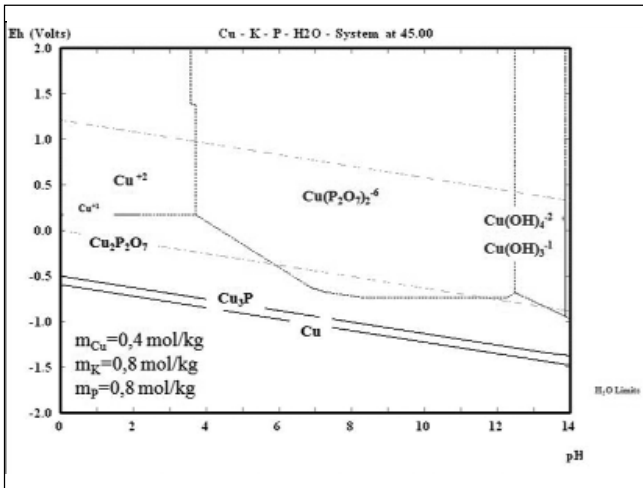
(ahol az (aq) a vízben oldott speciesszek keletkezésére utal). Az oldószerben (vízben) literenként ~0,4 mol rezeztartalmú  $K_4Cu_2(P_2O_7)_2 \cdot 6H_2O$  sóból termodinamikai egyensúlyi körülmények között legvalószínűbben képződő ionos speciesszek stabilitási tartományai igen szemléletesen mutathatók be az ún. Pourbaix-diagramokon az oldat pH-jának és egyensúlyi elektródpotenciáljának a függvényében. Az 1. és 2. ábrán a 45 °C-

**Török Tamás** egyetemi tanár, a Miskolci Egyetem Metallurgiai és Öntészeti Intézetének igazgatója szakmai életrajza a BKL Kohászat 2009/5. számában olvasható.

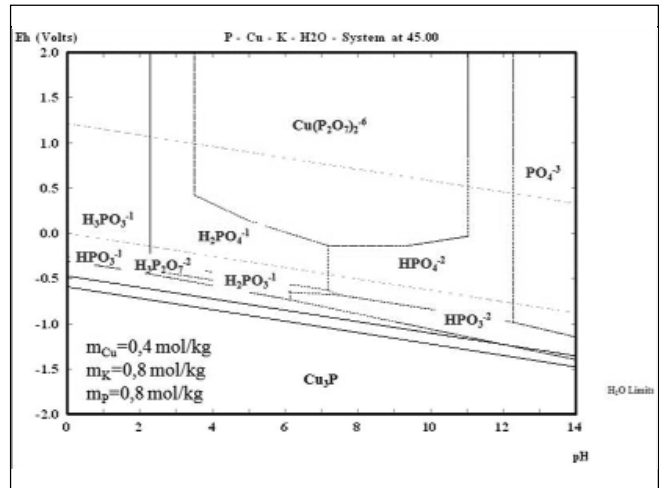
**Orosz Viktor** a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának tudományos segédmunkatársa. 2008-ban kerámia- és szilikástechnológus diplomát kapott, majd szeptembertől a ME Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola nappali tagozatos hallgatója volt, ahol 2011 júniusában abszolutóriumot szerzett. 2011 szeptemberétől a ME Metallurgiai és Öntészeti Intézet Kémiai Metallurgiai és Felülettechnikai Tanszé-

kén dolgozik. Jelenleg a felületbevonási és bevonatvizsgálati módszerek laboratóriumi vizsgálataival foglalkozik.

**Fekete Zoltán** 1981-ben szerzett vegyész-mérnöki diplomát a Veszprémi Vegyipari Egyetem Radiokémia Ágazatán. 1993-ban védte meg egyetemi doktori disszertációját a Veszprémi Vegyipari Egyetemen. A disszertáció – Amorf szilícium-dioxid előállítás a vizes oldatból történő leválasztással – alapján szabadalom is született. 1993 óta a versenyszférában dolgozik, több multinacionális cég alkalmazásában. Jelenleg az ArcelorMittal Szentgotthárd Kft. alkalmazottja.



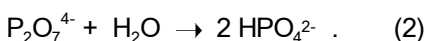
■ 1. ábra. A kálium-réz-pirofoszfát tartalmú vizes oldatban a Cu –K –P elemeket a táblázatban feltüntetett mennyiségekben tartalmazó egyensúlyi rendszer termodinamikailag legvalószínűbb réz tartalmú ionos specieszei 45 °C hőmérsékleten. (A víz stabilitás-területét a két szaggatott vonal jelzi.)



■ 2. ábra. A kálium-réz-pirofoszfát tartalmú vizes oldatban a Cu –K –P elemeket a táblázatban feltüntetett mennyiségekben tartalmazó egyensúlyi rendszer termodinamikailag legvalószínűbb foszfortartalmú ionos specieszei 45 °C hőmérsékleten. A víz stabilitás-területét két szaggatott vonal jelzi.

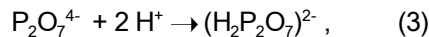
os munkahőmérsékletre számolt stabilitás-tartományokat szemléltetjük a HSC Chemistry 5.1 termodinamikai szoftver adatbázisában rendelkezésre álló egyensúlyi termodinamikai adatok [5] alapján.

A termodinamikai számítások szerinti egyensúlyi állapotokat tekintve (1. és 2. ábra) az (1) reakcióegyenlet szerinti mennyiségben, ahol a Cu és a  $P_2O_7$  molaránya csak 1:1, az oldatban még nincs jelentős „fölöslege” a pirofoszfát anionoknak. Mégis a semleges körüli, illetve lúgos tartományban az oldatban már anionos pirofoszfát komplexekben kötött állapotban van jelen az oldott réz nagyobb része. E két ábrán az is jól látható, hogy a réz-pirofoszfát komplexeknek a bomlása, a pH csökkenésének (savasabb oldatokban) és a pH növekedésének (lúgosabb oldatokban) hatására egyaránt előfordulhat. A 7...11 közötti pH-tartományban főleg  $Cu(P_2O_7)_2^{6-}$  és  $Cu(P_2O_7)^{2-}$  negatív töltésű komplex anionok vannak jelen az oldatban. Ezeknek a réz-pirofoszfát komplex anionoknak a stabilitása viszont csak közepes erősségű, így ezeknél az oldatoknál számolni kell a lassan végbemenő hidrolízissel, a pirofoszfát anionoknak ortofoszfáttá alakulásával, különösen a negatívabb elektródpotenciálú tartományokban:



A pH > 11...12, azaz erősebben lúgos tartományban bekövetkezhet a

$Cu^{2+}$  ionok részleges kiválása is, oldhatatlan hidroxid csapadék (szilárd fázisú kolloid  $Cu(OH)_2$  formájában), amire az 1. ábrán a réz-hidroxokomplexek megjelenése utal. A pH < 7 tartományban viszont a  $CuH_2P_2O_7(s)$  vagy  $Cu_2P_2O_7(s)$  precipitátumok válhatnak ki. Emellett a pirofoszfátos oldatok savanyításakor a pirofoszfát anionok protonálódni is képesek:



illetve ilyen körülmények között könnyebben fognak hidrolizálni is (pl. a (2) egyenlet szerint). Mindezeket a lehetséges oldatkémiai átalakulásokat meglehetősen nagy súllyal kell figyelembe venni a galvántechnikai gyakorlatban, amikor az adott pirofoszfátos galvánrezező fürdők stabilitását elektrolízis közben kell megbízható módon és lehetőség szerint minél hosszabb ideig fenntartani.

### Katódos rézleválasztás pirofoszfátos üzemi fürdőből

A réz-pirofoszfátos galvánfürdők egyik legfontosabb jellemzője az oldat pirofoszfát- ( $P_2O_7$ ) és réztartalmának aránya, amit ezen oldott összetevők g/l koncentrációban kifejezett arányszámával (ún. faktor) jellemeznek. A  $K_4Cu_2(P_2O_7)_2 \cdot 6H_2O$  vegyületet vízben oldva ez a mutatószám csak  $2 \times 174 / 2 \times 63,5 = 2,7$ , aminél jóval nagyobb (~6,5...8,5) faktorú, azaz pirofoszfát fölöslegű, für-

dőkkel dolgoznak a galvánüzemek a gyakorlatban, hogy minél nagyobb biztonsággal elkerüljék a fentebb vázolt bomlási, illetve nemkívánatos oldatkémiai átalakulási folyamatokat. Az általunk részletesebben tanulmányozott üzemi fürdő faktora is ebbe a tartományba esett, és az egyéb alkotók koncentrációi is az 1. táblázatban közölt érték-tartományokon belüliek voltak.

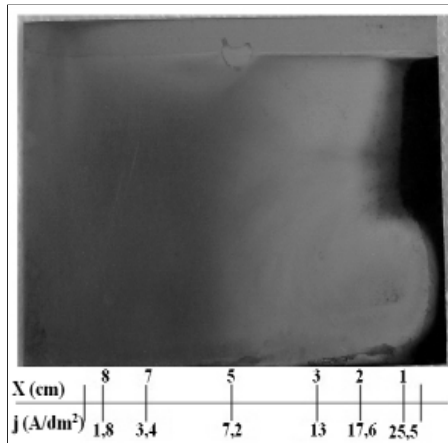
A pirofoszfátos fürdőkből történő katódos rézleválasztás sebességét – különösen a folyamatos húzal- vagy szalaggalvanizáló sorok esetében – célszerű minél nagyobb áramsűrűség értékre beállítani. Az AMSC Kft. gyakorlatában ez közel  $10 A \cdot dm^{-2}$ -es katódos áramsűrűséget jelent, és ilyen nagy áramsűrűségnél már a diffúziós katódpolarizáció határozza meg a leválás kinetikáját, ami miatt különösen fontossá válik a fürdőoldat minél intenzívebb mozgatása, keverése. A laboratóriumi vizsgálatok tervezésénél ez utóbbi tényezőt is figyelembe véve állítottunk össze egy olyan Hull-cellás laboratóriumi galvanizáló kisberendezést, amellyel kevés számú mérésből is tájékozódni tudunk az elektrolízis körülményeinek (összetétel, hőmérséklet, szennyezők), de különösen a katódos áramsűrűségnek a bevonat kiépülésére gyakorolt hatásáról.

### Hull-cellás laboratóriumi vizsgálatok

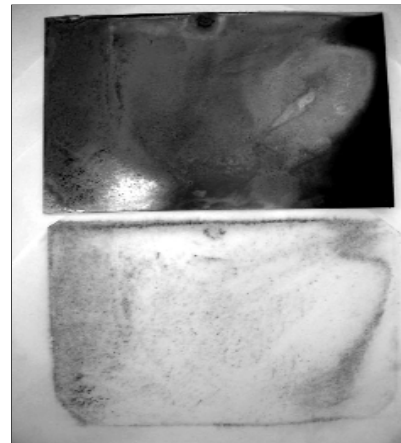
A Hull-cellás vizsgálatokra alkalmas



■ **3. ábra.** Az intézeti felülettechnikai laboratóriumban összeállított Hull-cellás berendezés



■ **4. ábra.** Hull-cellás vizsgálatban (5 A áramerősség, ½ perc leválasztási idő) acél mintalemez felületére pirofoszfátos fürdőből leválasztott rézbevonat



■ **5. ábra.** Félperces elektrolízis után nyert rézbevonatról készült fénykép és a szűrőpapírral átítatott feroxil teszt eredménye

laboratóriumi cella paramétereit magyar szabványban [6] is megtalálhatjuk. Ennek alapján építettük meg a 3. ábrán látható, termosztáttal közel állandó hőmérsékleten tartható laboratóriumi cellát a szükséges segédberendezésekkel (szabályozható DC-tápegység, mágneses (később propelleres) keverő, digitális hőmérő, pH-mérő) együtt.

A Hull-cellában megvalósított katódos fémleválasztáskor a cella ~10 cm hosszúságú oldalához illesztett katódlemez éle mentén a hivatkozott szabványban táblázatosan közölt adatpárokat skálázva és a leválasztási kísérletek során rézzel bevont felületű egyik mintalemezt a 4. ábrán mutatjuk be.

Látható, hogy az adott méretű és geometriai kialakítású Hull-cella katódlemezének éle mentén a meglehetősen széles áramsűrűség-tartományban, 1,5 ... 25 A · dm<sup>2</sup> között, vizsgálható a fémleválás, mindössze egyetlen kísérleti beállítással.

### Leválasztott vékonybevonatok vizsgálata

Az AMSC Kft. acélhuzal galvanizáló során először az aktív fémes felületű acélhuzal a lúgos pirofoszfátos galvánrezező fürdővel kerül érintkezésbe. Ebben a lépésben vékony rézréteg leválasztása történik a huzal felületére, magas áramsűrűséggel. Eynyire vékony galvánbevonatok általában csak részlegesen képesek fedni a hordozó (szubsztrát) felületét, vagyis kisebb-nagyobb mértékű póru-

sosságra számítani lehet, ami a fürdő vastartalmának kisebb mértékű növekedéséhez is vezethet a pórusokon keresztüli kémiai beoldódás következtében.

A vékonyan galvánrezezt mintalemezek pórusainak a kimutatására az ún. feroxil tesztet [7] használtuk. A frissen galvanizált felületű mintákat mintegy fél percig érintkeztetve a tesztoldattal átítatott szűrőpapírral, szabad szemmel is kivehetők voltak a pontszerű kékes foltok, ahol a reagens-oldat reakcióba léphetett a vas alappal. A fényképfelvételen (5. ábra) jól kivehető, hogy a Hull-cellás vizsgálat mintalemezének a középső részén is vannak pórusok, ahol mintegy 1 µm-es vastagságban vált le a réz a pirofoszfátos fürdőből.

A pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatok során a Hull-cellában kísérleti körülmények között leválasztott rézbevonatok mikroszerkezetének és morfológiájának ellenőrzését is elvégeztük. A szakirodalomban [8] talált pirofoszfátos galvánréz bevonatok szerkezeti felépítésével összehasonlítva megállapítottuk, hogy a Hull-cellában leválasztott rézbevonat mikroszerkezete és az azt felépítő gömbszerű részecskék morfológiája nagymértékben megegyezik, tehát a Hull-cella alkalmas az ilyen jellegű bevonatok széleskörű vizsgálatára. Az általunk készített felvételeken az egymásra leválasztott részecskék szoros kapcsolatban vannak, összefüggő, homogén bevonatfelületet képeznek. A felületen látható szemcsék mérettartománya egyenletes, a szemcsék

alakja gömbszerű, deformált alakú vagy agglomerálódott halmazok ritkán fordulnak elő.

Szilárd fém- és fémötvözet minták gyártásközi ellenőrzésére a szikra- vagy ívgerjesztésű spektrométereket elterjedten használják a kohászatban és a fémiparban. A Metallurgiai és Öntészeti Intézetben található „GD Profiler 2” típusú berendezés különleges gerjesztő forrásának (Grimm-féle kisülési cső [9]) köszönhetően viszont különleges felületanalitikai vizsgálatok is elvégezhetők elektromosan vezető, félvezető vagy akár elektromosan szigetelő tulajdonságú anyagok és rétegek/bevonatok elemi összetételének a meghatározására mintegy 200 µm-es mélységig, ún. profilelemzéssel. A Hull-cellás kísérletekkel az acéllemezre leválasztott réz összetételét kétféle mintalemeznél vizsgáltuk: tiszta, üzemi pirofoszfátos fürdőből leválasztott rézbevonatos mintalemeznél és ólommal mesterségesen szennyezett (1,5 g/l), üzemi pirofoszfátos fürdőből leválasztott rezezt mintalemeznél. A vizsgált lemezek szélétől azonos távolságban levő pontok mélység szerinti összetétel-változását a 7. és 8. ábrákon szemléltetjük.

A spektrumokon jól látszanak azok az elemek, amelyek a porlasztási idő függvényében adott intenzitású jelet adtak. A porlasztási idő növekedésével – egyre mélyebbre hatolva a bevonatban – végül a teljes bevonat elporlasztódik, s ezt követően a vas intenzitása már rohamosan növekszik. A pirofoszfátos galvánfürdők összeté-

teléből és a leválási mechanizmusból adódóan, a spektrumokon a réz–acél átmeneti rétegben a foszfor feldúsulása is megfigyelhető. A többi szennyező elem (O, K, N) jelenléte a bevonatban, szintén a fürdőből való beépülés következménye. A két spektrum közötti legfontosabb különbség a bevonatban megjelenő ólom, az ólommal mesterségesen elszennyezett fürdő alkalmazásakor. A huzalgártási technológia része egy zárt rendszerben üzemeltetett hőkezelő (ún. patentírozó) egység, melyben az ólomolvadékon áthúzott huzalok felületére csekély mértékben ólomszennyezés kerülhet és emiatt a galvanizációs műveletek elején a biztonságos üzemeltetés érdekében az esetleges kismértékű ólomszennyezés hatásaival is számolni kell. A GD OES vizsgálattal egyértelműen kimutattuk, hogy a fürdőbe jutó ólomszennyezés kis mértékben beépül a bevonatba, befolyásolva ezzel a réteg tulajdonságait (fényesség, szemcse-eloszlás, pórustartalom). Ezért fontos az üzemi technológiában a patentírozás utáni, galvanizálást megelőző tisztítás megfelelő vezetése.

## Összefoglalás

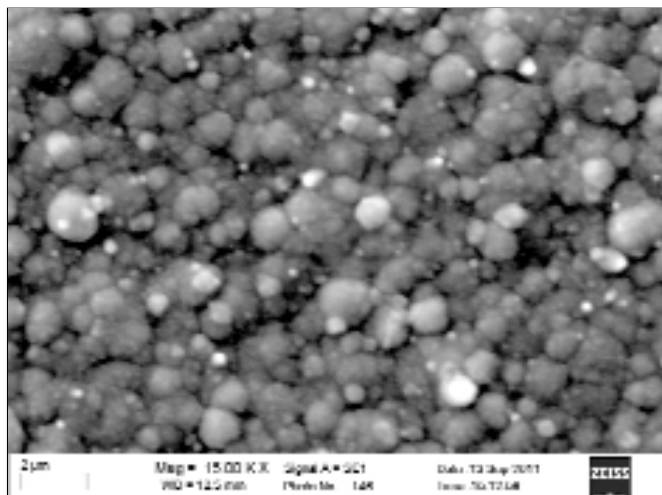
Acélhuzalok rézzel történő bevonása réz(II)-pirofoszfátos galvanizálásból kifejezetten környezetbarát megoldás. A fürdők stabilitása azonban a hagyományos cianidosokéhoz képest viszonylag kicsi. Az ArcelorMittal Szentgotthárd Kft.-vel közös kutatási együttműködés keretében ezért termodinamikai adatokból kiszámoltuk ezen oldatok meghatározó, jellemző oldatkémiai specicszeinek stabilitási

tartományait, majd laboratóriumi katódos rézleválasztási vizsgálatokat is végeztünk az üzemi oldatokkal Hull-cellában. A széles áramsűrűség-tartomány mellett leválasztott rézbevonatokat nagyműszeres (SEM, GD OES) vizsgálótechnikákat alkalmazva minősítettük.

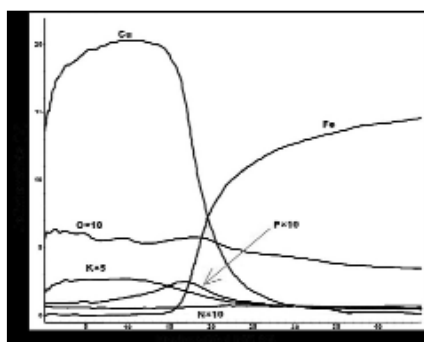
Többek között kimutattuk a fürdőoldat ólommal szennyeződése hatására a levált vékony rézbevonatba beépült ólom, illetve az egyéb fürdőoldat-alkotók (P, K, O, N) mélység szerinti eloszlásának viszonylagos változását. A GD mélységprofil-elemzéssel azt is igazolni tudtuk, hogy az acéllemez felületével érintkezésbe kerülő oldatból a vason szelektíven adszorbeálódó pirofoszfát-anionok P-tartalma a rézbevonatba beépülve csekély foszfordúsulást eredményez a bevonat szubsztráttal érintkező belső részén.

## Köszönetnyilvánítás

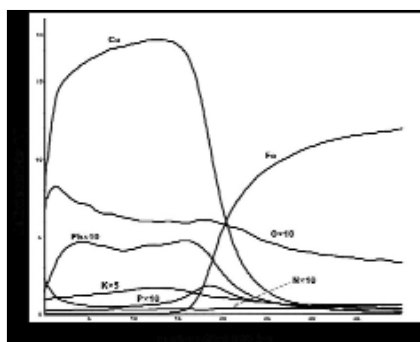
A jelen tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap Társfinanszírozásával valósult meg.



6. ábra. Pirofoszfátos fürdőből Hull-cellában leválasztott bevonatról készített SEM felvétel (N= 15000 x)



7. ábra. Szennyezetlen pirofoszfátos fürdőben leválasztott (1/2 perc, 5A) rezezt mintalemez GD-spektruma, mélységprofil a teljes bevonatról



8. ábra. Ólommal szennyezett pirofoszfátos fürdőben leválasztott (1/2 perc, 5A) rézbevonatos mintalemez GD-spektruma, mélységprofil a teljes bevonatról

## Hivatkozások

1. Korszerű fémipari felületkezelési és hulladékgazdálkodási módszerek, CD-tankönyv, Phare 2004 (Szerk.: Török T.)
2. Mandich, N.: Cyanide Copper Plating Reinvents Itself, 29–35 March 2005, Metal Finishing, Electroplating Processes
3. Pinner, R.: Copper and Copper Alloy Plating C.D.A., London, 1962 p.71.
4. <http://electroplating-process.blogspot.com/2008/05/copper-pyrophosphate-plating.html>
5. HSC Chemistry 5.1 October 31, 2002, A. Roine, Outokumpu Research Oy
6. Galvánelektrolitok lemezvizsgálata, Magyar Szabványügyi Hivatal: MI 18869-77
7. ASTM B 733 – 04 szabvány 9.6.1 pont
8. Lekka, M. – Zendron, G. – Zanella, C. – Lanzutti, A. – Fedrizzi, L. – Bonora, P. L.: Corrosion properties of micro- and nanocomposite copper matrix coatings produced from a copper pyrophosphate bath under pulse current, Surface & Coatings Technology 205 (2011) 3438–3447
9. Bouchacourt, M. – Schwoehrer, F.: Grimm Source, 2.2. fejezet (55–61 oldal) In.: R. Payling, D. G. Jones, A. Bengtson (Eds.): Glow Discharge Optical Emission Spectrometry, John Wiley & Sons, Chichester, 1997

BABCSÁNNÉ KISS JUDIT – SÓKI PÉTER – BLASKOVICS FERENC – SZÁMEL GYÖRGY – TÓTH LÁSZLÓ – BEKE SÁNDOR – BABCSÁN NORBERT

## Fémhabok fejlesztése csontbarát ortopéd implantátumok gyártása céljából

*Napjainkban a legalkalmasabb orvosbiológiai alapanyagok közé tartoznak a fémes bioanyagok. A legfontosabb ilyen anyagok a rozsdamentes acél, a kobaltalapú ötvözetek, a titán és ötvözetei. A Ti-ötvözetek közül a Ti6Al4V ötvözetet használják széles körben. Cikkünk a Ti- és Fe-habok előállításáról, illetve implantátumként való felhasználásáról szól. Kísérleteink során porózus vas- és titánmintákat állítottunk elő, optimalizáltuk a receptúrát és a hőkezelési folyamatokat, valamint mikroszkópos vizsgálatokkal jellemeztük a habok felületét és struktúráját. Modell implantátumként 8 mm átmérőjű acélkorongok felületét bevonatoltuk öntőpépes eljárással előállított, szinterelt porózus fémréteggel. A kialakított hab struktúráját vizsgáltuk röntgentomográfiai módszerrel is. A kiválasztott mintákon sejtenöves vizsgálatokat végeztünk, az előzetes kísérletek biztató eredményeket hoztak.*

### Bevezetés

Az anyagtudomány és a vizsgálati technika rohamos fejlődése robbanásszerű változást hozott az elmúlt évtizedben az emberi testben alkal-

mazható implantátumok területén is. A különböző texturált és porózus szerkezetű protézisfelületek előnye, hogy a beültetés helyén a szomszédos csontszövet képes megtapadni és beépülni a cellás struktúrába, elő-

segítve a biológiai-mechanikai kapcsolat kialakítását és növelve a kötés szilárdságát. Az implantátumokat biokompatibilis anyagokból készítik, és a rajtuk kidolgozott porózus felületek alapanyagaként is ezen anyagok csoportjából választanak. Az ismert szabadalmak többségében alkalmazott protézis anyagok a titán, a Ti6Al4V és egyéb titánötvözetek, a Co-Cr ötvözetek, a Co-Cr-Mo ötvözet (vitalium) és a rozsdamentes acél. Ezek közül is a titán kapja a legnagyobb figyelmet, kiváló szilárdsága és korrózióállósága miatt, ezenkívül használata során nincsenek allergiás problémák, alkalmas mágneses rezonancia vizsgálatra és a legjobb biokompatibilitással rendelkezik a fémes bioanyagok körében [1, 2]. Összefoglalva, a kívánt texturált felületek kialakítása történhet közvetlenül

**Babcsánné Kiss Judit** okl. gépészmérnök, diplomáját a Miskolci Egyetemen szerezte. Jelenleg a Bay Zoltán Intézet tudományos munkatársa, kutatási területe a cellás anyagok, ezen belül is a nyílt porozitású fémek. A projektben a fémhabosítási kísérletek és a fejlesztési munka elvégzéséért felelt.

**Sóki Péter** az ELTE és ME közös képzésében végzett okl. mérnök-fizikusként. 2011-től a Bay Zoltán Intézet és a Miskolci Egyetem közös doktorandusza, témája a röntgen radioszkópia és tomográfia, valamint eszközfejlesztés. A projektben kifejlesztett habok tomográfiai vizsgálatát és azok struktúrájának jellemzését végezte el.

**Blaskovics Ferenc** okl. gépészmérnök, a Metrimed Orvosi Műszergyártó Kft. ügyvezetője, elismert feltaláló, számos szabadalom kidolgozója. Szakterülete a protézis-fémalapanyagok és implantátumok kutatás-fejlesztése, tervezése, gyártása, alkalmazásuk menedzselése, valamint a beültetés orvostechnikai munkáit támogató eszközök megalkotása. A fejlesztést kompetens szakmai tanácsadóként segítette.

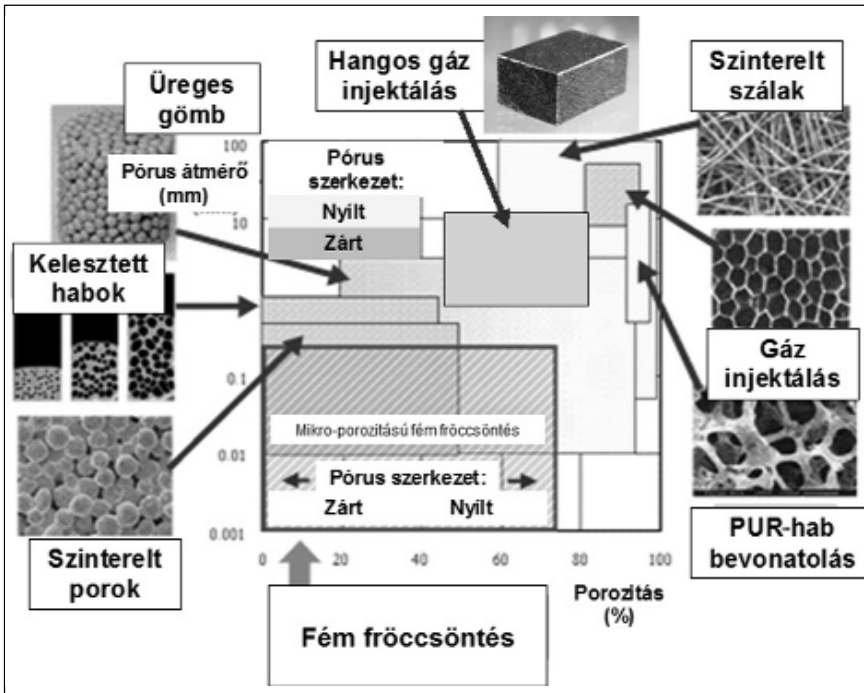
**Számel György** a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen végzett okl. vegyészmérnökként. 2011-től a Bay Zoltán Intézet és a Miskolci Egyetem közös doktorandusza. Kutatási területe a fémoldatok és habok reológiája. A fejlesztésben az alapanyagok megfelelő előkészítése volt a feladata.

**Prof. dr. Tóth László** okl. gépészmérnök, a műszaki tudomány

doktora, a Miskolci Egyetemen habilitált. A Bay Zoltán Intézet volt igazgatója, most vezető tanácsadója, valamint a Debreceni Egyetem tanára. Szakterületei a szerkezetek integritásának megítéléséhez kapcsolódó, anyagtudományi és anyagszerkezeti vonatkozású tématerületek. A fejlesztésben szakmai tanácsadóként működött közre.

**Dr. Beke Sándor** anyagmérnöki diplomáját a Miskolci Egyetemen, doktori fokozatát a Bécsi Műszaki Egyetemen szerezte. Jelenleg a Bay Zoltán Intézet posztdoktori munkatársa, szakterülete a fémhabok és egyéb cellás anyagok. A projektben a kísérlettervezésért és a szakmai dokumentációért felelt.

**Dr. Babcsán Norbert** mérnök-fizikus diplomáját a Miskolci Egyetem és az Eötvös Lóránd Tudományegyetem közös képzésében szerezte 1996-ban, oktatott a Miskolci Egyetemen, majd 2003-ban doktori fokozatot szerzett. Sok éves hazai és külföldi kutatói tapasztalattal rendelkezik az anyagtudomány és kutatásmenedzsment területén, számos ipari kutatási projekt vezetője volt. A Bay Zoltán Intézet volt igazgatója, jelenleg az intézet Anyagfejlesztési Osztályának vezetője, és az ME címzetes egyetemi docense. A fémhabok fejlesztése során ért el világszínvonalú eredményeket, a cellás anyagok területén nemzetközileg elismert szakértő, több kapcsolódó szabadalom fűződik a nevéhez. Jelen kutatási projektben annak vezetőjeként irányította a fejlesztési munkát.



■ 1. ábra. Porózus fémek előállítási módszerei [9, 10, 11, 12]



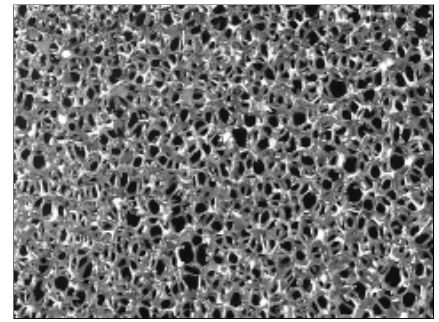
■ 3. ábra. 3D elektronsugaras olvasztásos technológiával előállított implantátumok

a protézis öntése során, vagy a kész felület utólagos bevonatolásával. A porózus felület létrehozható fémpor vagy fémszálak szinterelésével, hálószerű, nyitott cellás polimer struktúra fém bevonatolásával és szintereléssel, vagy fémhuzalokból álló rácsok és szövetek alkalmazásával, utólagos ráhegesztésével [3, 4, 5]. A porózus felületek és fémszövetek alkalmazhatók önálló implantátumként, vagy különböző technikákkal felvihetők tömör protézisfelületekre mint szubsztrátra, illetve a mechanikai tulajdonságok és a funkcionalitás javítására bevonatok képezhetők rajtuk [6, 7, 8]. A cellás felépítésű fémek előállításának számos módja létezik. Az 1. ábra ismerteti a különféle eljárások során kialakuló struktúrákat a pórusméret és a porozitás függvényében.

Jelenleg a piacon kapható implantátum fémhabok közül a legígéretesebb fejlesztéssel a drezdai Fraunho-

fer intézet rendelkezik [13]. Az eljárásuk során fémpor szuszpenziót alkalmaznak, amit nyílt cellás PUR-hab formába mártanak. Ezt követi a szárítás és a vákuumszinterelési eljárás. A titán fémhabokat már egy spin-off cégen keresztül a piacon is értékesítik. Az eljárásuk során a titán C, N, O, H koncentrációja alacsony szinten tartható, így nem következik be ridegedés, és a habcella falak nem törnek le, a forgácsok nem okoznak gyulladást.

Egy, a svédek által kifejlesztett technológiával, az elektronsugaras olvasztásos technológia és a 3D nyomtatás együttes alkalmazásával, szinte tetszőleges fémporok alkalmazásával érhető el a kívánt formájú porózus szerkezet. A technológiát, és az így előállított implantátumokat már számos országban alkalmazzák [14]. Az eddigi technológiák jó minőségű, de költséges volta egy egyszerű, a habosítási eljárásához köthető poró-

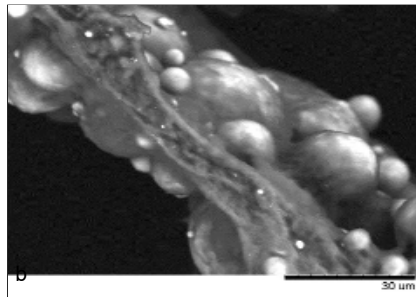
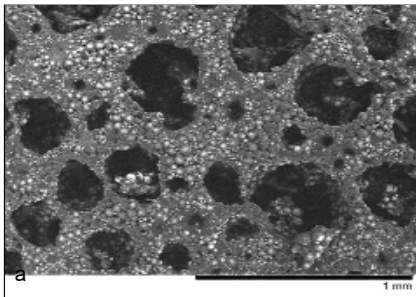


■ 2. ábra. PUR-hab vázra szinterelt Ti-hab

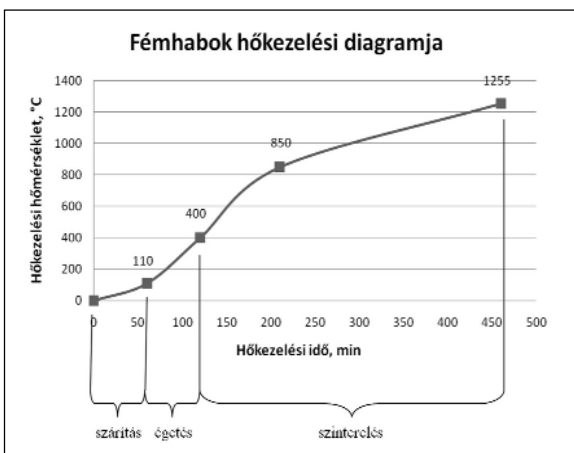
zus implantátum előállítását tesz ki szükségessé. Kutatásaink során a fémpor szuszpenzió direkt habosítását tűztük ki célul és olyan bonyolultabb fémháló alapú implantátum előállítását, ami tömör és fémszövetet tartalmazó erősítő kérget is tartalmaz [15].

### Fémhabok előállítása

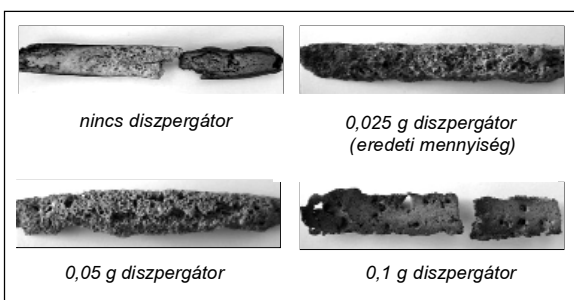
A legkisebb pórusméretű fémhabok öntőpépes eljárással (slurry method) állíthatók elő. A porózus fémek ilyen módon történő előállítása során egy szerves (vizes) hordozóban szétosztott finom fémpor és habképző anyag (stabilizátor) összekeverésével kapott szuszpenziót habosítják. A fémpor a habok Plateau határaiban helyezkedik el. Mivel a cellafalak nem tartalmaznak fémszemcséket, kipukkadnak és nyílt cellás habot hoznak létre. A legegyszerűbben habveréssel habosított pépet öntőformába öntik, ahol felveszi a kívánt alakot, majd az ezt követő szárítás hatására kialakul a szilárd struktúra. A kötések létrejöttét és a megfelelő szilárdságot a szárítást követő szinterelési technológiai lépés biztosítja, ahol a fémporszemcsék fémesen összekötődnek, és a szerves anyagok kiégnek [16]. Az eljárásunk különlegességét a szuszpenzió habosításának módja adja, ami történhet külső gázbevitellel a szuszpenzió keverése során (pl. titánpor és tojásfehérjehab) vagy gázt fejlesztő kémiai reakció útján, ami már a hőkezelés közben zajlik (pl. az alumíniumport és sósavat, vagy egyéb savakat tartalmazó szuszpenzió). A bemutatott módszert alkalmazták többek között nikkel-, vas-, réz- és bronzhabok létrehozására, de előállítható vele titán-, alumínium- és rozsdamentes acélhab is. A hőkezelés során, az oxidok keletke-



■ 4. ábra. Tojásfehérjével stabilizált titánhab porózus szerkezetének (a) és cellafal keresztmetszetének (b) elektronmikroszkópos felvételei, szinterelés előtt jól láthatóak a titánpor szemcséi



■ 5. ábra. Az előállított porózus fémek hőkezelési diagramja



■ 6. ábra. Diszpergálószer mennyiségének hatása a Ti-hab szerkezetére

zésének elkerülése érdekében vákuum- vagy védőgáz szinterelést célszerű alkalmazni [17]. Kísérleteink során az alábbi kiinduló anyagokat használtuk, amelyek hasonlóak a kerámiahabok előállításánál használt komponensekhez [18]:

- fémpor (Ti-por, Fe-por),
- habképző anyagok (protein vagy lipid, a cellafalakat stabilizálják),
- diszpergálószer (feladata a fémpor agglomeráció elkerülése és a szuszpenzió folyékonyabbá tétele),
- desztillált víz.

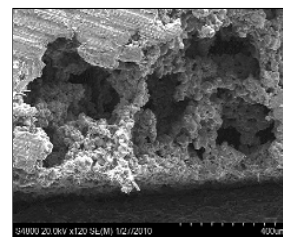
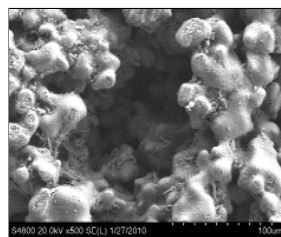
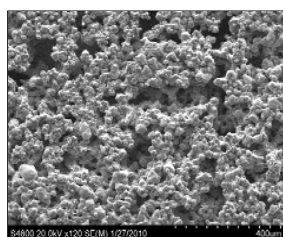
Fémporral töltött habok előállításánál, külső gázbevezetéssel történő

szuszpenzió habosítása esetén a cellás szerkezet protein, illetve valamilyen polimer segítségével stabilizálható. A protein habképző és kötőanyag is egyben. Az így előállított hab szerkezetét hőkezelés, szárítás segítségével tudjuk fixálni [19]. A porúságot és a porozitást befolyásoló tényezők:

- a fémpor szemcsemérete,
- az öntőpép összetétele (a habképző, a diszpergátor és a fémpor aránya),
- az öntőpép keverési ideje,
- a szinterelés ideje, hőmérséklete.

A **titánhabok** előállítása során többféle receptúrát kipróbáltunk, a legjobb a következő volt:

- 10 g fémpor (Ti6Al4V ötvözet, gömbszerű por  $\varnothing \leq 78 \mu\text{m}$ ),
- 0,8 g habképző anyag (tojásfehérje vagy lipid),
- 0,05 g diszpergálószer (DISPEX A40),
- 4 g desztillált víz.



■ 7. ábra. Lipiddel stabilizált vashabminta szinterelés utáni elektronmikroszkópos felvétele

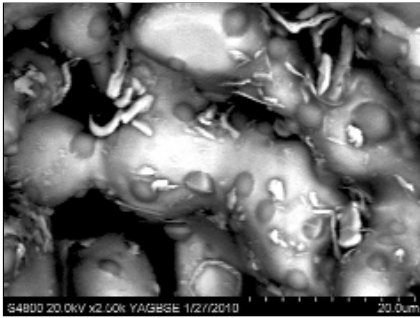
A komponenseket kimértük, ös-szekevertük és 10 percig kémcsőrázón kevertettük. Az elkészített pépet megfelelő formába öntöttük. A nyers pépet szárítókemencében 110 °C-on 1 órán keresztül szárítottuk, majd a kötőanyag kiégetését ugyanebben a kemencében 400 °C-on 1 órán át, levegő atmoszférában végeztük.

Az általunk előállított szárított titánhabról készített SEM-felvételeken jól látható a proteinnel és diszpergátorral készített hab struktúrája és a titán gömb alakú szemcséi (4. ábra).

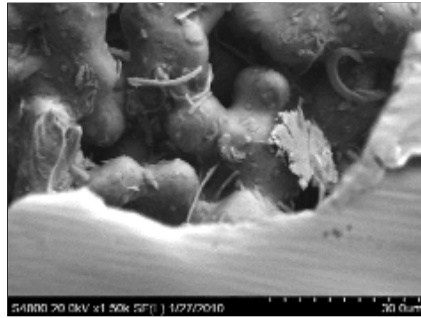
A szárítást követően a habok szinterelését csökkenő kemencében, argon atmoszférában végeztük. A szinterelést 5 °C/perc felfűtési idővel végeztük, titánhab esetén két lépcsőben: 850 °C-on 30 percen keresztül, majd 1255 °C-on 120 percen át (5. ábra). A lassú felfűtés és a megfelelő mennyiségű argongáz áramoltatása megakadályozza a minta erős oxidálódását.

A Ti-habok porúságának változtatását a diszpergálószer mennyiségének változtatásával befolyásolhatjuk. A hatás megállapításához kísérletsorozatot végeztünk, adagként 5 g Ti-porhoz lipidet (Phospholipon 90H), 2 g desztillált vizet és változó mennyiségű diszpergálószer (DISPEX A40) adagolva (6. ábra).

Látható, hogy ha nem használunk a fémhabok készítéséhez diszpergálószer, a habstruktúra nem tud stabilizálódni, ill. ha túl sok (0,1 g 5 g Ti-hoz) diszpergálószer alkalmazunk, akkor az is tönkretesz a habosítószerezrel létrehozott habot. A 0,05 g diszpergálószerrel bekevert habnál létrejöttek nagyobb buborékok. A 0,025 g diszpergálószerrel (5 g Ti-porhoz) végzett kísérlet során a hab porúságát közel egyforma, eloszlásuk egyenletes volt.



■ **8. ábra.** Vashab szemcséinek nyakképződése



■ **9. ábra.** Acélkorong szubsztráton lévő porózus fémbevonat elektronmikroszkópos felvétele



■ **10. ábra.** Lipiddel stabilizált szinterelt titánhab szeletei, a szeletek átmérője 10 mm

A **vashabok** esetén a titánhabokkal azonos receptúrát (lipid stabilizátort) használtunk, azonban a 850 °C-os szinterelési lépést kihagytuk. A létrejött porózus struktúra jellemzése pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokkal történt. A 7. ábrán látható a cellás szerkezet, ami megközelítőleg 100-150 µm-es pórusokat tartalmaz.

A 8. ábrán látható a fémhab szerkezetét alakító szemcsék kapcsolódása, illetve a szemcsék közötti nyakak képződése.

A vashabokat még öntőpépes állapotban vaskorongokra helyeztük, majd együtt szárítottuk és szintereltük. A 9. ábrán látható a bevonatolni kívánt acélkorong és a vashab megfelelő kontaktusa. A szubsztrát és a hab kötési energiájának meghatározásához azonban további vizsgálatok szükségesek.

A szinterelt titánhabból 0,5 mm-es szeleteket készítettünk (10. ábra) az MTA Kísérleti Orvostudományi Kutatóintézet (MTA-KOKI) részére sejtnövesztéses kísérletek céljából. Az elkészített vashabok tomográfiai képei a 11. ábrán láthatók.

## Összefoglalás

Az ortopéd implantátumok alkalmazásánál döntő jelentőségű a megfelelő mikroszerkezetű felület kialakítása. A kívánt felületi érdesség elérésére számos ipari eljárás alkalmas, de elérhető nyílt cellás fémhabokkal is. Kísérleteink során ún. slurry technológiát használtunk. Az öntőpép összetételének változtatásával és a hőkezelés optimalizálásával előállítottunk 150 µm körüli pórusmérettel rendelkező nyílt cellás fémhabot is, amely a sejtnövekedés szempontjából

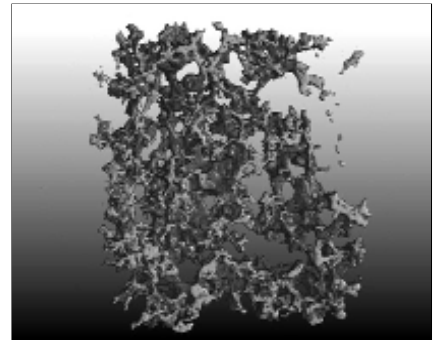
ideálisnak tekinthető.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton szeretnének köszönetet mondani a MetriMed Kft. által nyújtott szakmai segítségért és a kísérletekhez adott mintákért. A fémhabok előállítása a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség által támogatott „bio-surf” pályázat keretében történt. A projekt címe: „Szintetikus peptidok alkalmazása specifikus sejtadhéziós felületek, implantátum bevonatok előállítására.”

## Irodalom

- [1] Niinomi, M.: Recent research and development in titanium alloys for biomedical applications and health-care goods, *Sci. and Tech. of Adv. Mat.*, 4, pp445–454, 2003.
- [2] Salimon, A. et al.: Potential applications for steel and titanium metal foams, *J. of Mat. Sci.*, 40, pp5793–5799, 2005.
- [3] US4570271 szabadalom
- [4] US5441537 szabadalom
- [5] US5108435 szabadalom
- [6] US5658334 szabadalom
- [7] US7578851 szabadalom
- [8] US7740795 szabadalom
- [9] <http://www.taisei-kogyo.com>
- [10] Orbulov, I. N. – Ginzler, J.: Compressive characteristics of metal matrix syntactic foams. *Composites Part A-Applied Science and Manufacturing* 43 (2012) 553–561.
- [11] Kun P. – Orbulov I. N.: AlCu5 és AlMgSi1 mátrixú szintetikus fémhabok előállítása és vizsgálata. *Bányászati Kohászati Lapok – Kohászati* 144 (2011:3) 51–55.
- [12] Orbulov, I. N. – Dobránszky, J. – Németh, Á.: Microstructural characterization of syntactic foams. *Journal of Materials Science* 44 (2009:15) 4013–4019.



■ **11. ábra.** Az elkészített lipiddel stabilizált szinterelt vashab CT-felvétele, képszélesség 10 mm

[13] <http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2010/09/titanium-foams-replace-injured-bones.html>

[14] <http://www.arcam.com>

[15] Babcsánné Kiss J. – Blaskovics F. – Babcsán N. – Sóki P. – Szerémi J.: Fémszövettel ellátott, fémhabbal töltött, biokompatibilis fémvázú csontszerű implantátum létrehozatalára irányuló eljárás és implantátum, Magyar szabadalmi bejelentés P1100467.

[16] Kenesei P. – Kádár Cs. – Rajkovits Zs. – Lendvai J.: Fémhabok előállításának módszerei, *Anyagok világa*, II. évfolyam 2. szám 2001. április

[17] Davies, G. J. – Zhe, S.: Metallic foams: their production, properties and applications, *Journal of Materials Science*, Vol. 18 (1983) pp.1899–1911

[18] Berthold, A.: Herstellung proteinbasierter keramischer Schäume mit gesteuerter Porengrößenverteilung – prozesstechnische Einflussfaktoren und Grenzflächenaspekte von Proteinlösungen, PhD-disszertáció, TU Berlin (2006)

[19] Freidank, H.: Synchrotron-Tomographie an proteinbasierten keramischen Schäumen, Diplomarbeit Technische Fachhochschule Berlin, 2006.

## ■ KÖSZÖNTÉSEK

### 90. születésnapját ünnepelte

**Komár László** apai nagyapját 1856-ban hozatták le a Felvidékről henger-masternek az ózdi vasgyárba. Innen a család kötődése a kohászathoz, a későbbiekben már a Rimamurány–Salgótarjáni Vasmű Rt. alkalmazásában.



Ózdon született 1921. november 12-én. Elemi iskoláit már Borsodnádasd Lemezgyártelepen, a középiskoláit Egerben a ciszterci gimnáziumban végezte. Érettségi után vették fel a soproni József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem kohómérnöki tagozatára. 1951. február 9-én nyert vaskohómérnöki oklevelet Sopronban.

Az Ózdi Kohászati Üzemek Nagyolvasztóművébe 1950-ben lépett be. Kezdetben üzemmérnökként, később technológus mérnökként dolgozott a technológiai és kutatási főosztály keretében, mindvégig a nyersvasgyártás területén. 1980-ban a vezérigazgató tanácsadó szervezetében lett műszaki-gazdasági tanácsadó. Itt dolgozott az 1983. évi nyugdíjazásáig, majd ezután 1987 végéig.

Az 1950-es évek minden nagyarányú kohótechnikai- és technológiai fejlesztés előkészítésében, kidolgozásában, üzemi bevezetésében részt vett. Számos kutatás-kísérlet vezetője volt, vagy ilyenekben közreműködött, hasonlóképpen külföldi-hazai tanulmányútjainak hasznosításában. Pl. optimális földgázbefűvés kohókba, nyersvas kéntelenítés, optimális salakösszetétel megállapítása, a termovízió alkalmazása üzemi berendezések meghibásodásánál. Országos szintű munkabizottságokban vett részt és dolgozta ki a területén kirótt feladatokat.

Különböző újítások szerzője, társszerzője, pl. a zsugorítvány minőség-

javításához a kettős keverés megvalósítása, az öntészeti nyersvas kohón kívüli előállítás.

Az 50-es években a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem ózdi esti tagozatán a vas-és acélöntészet előadója. Előadásokat tartott a mérnöki továbbképzés keretében és tanfolyamokon. Cikkei jelentek meg az Ózdi Acél szaklapban.

Többszörös Kiváló Dolgozó, a kohó- és gépipari miniszteri Kiváló Munkáért-díj, vállalati Alkotói Nívódíj, Eötvös Lóránd-díj, 50 éves egyesületi tagságért kapott Sóltz Vilmos-émlékérem tulajdonosa.

### 85. születésnapját ünnepelte

**Mokri Pál** aranyokleveles kohómérnök, a megszüntetett Ózdi Kohászati Üzemek nyugalmazott szakértője 1926-ban született Ózdon, és 2011. január 19-én töltötte be 85. életévét.

Apai nagyapja a XIX. század vége előtt, Morvaországból került Salgótarjánba, ahol mint előhengerész dolgozott és családot alapított. Édesapját 1913-ban helyezték Ózdra hengeresztergályosnak.

Az elemi iskola elvégzése után, 1940-ben irodafiúként a finomhengerműben kezdett dolgozni és munka mellett, magántanulóként elvégezte Putnokon a polgári iskolát. Megtanult németül, aminek nagy hasznát vette, mert 1945-ben Németországban munkaszolgálatosként egy acélöntödében, majd Ausztriában parasztoknál dolgozott. A háború után hadifogolyként Ukrajnában szénbányában, pékségben, mozdonygyárban, vasöntödében, fűrészüzemben, vasútépítésen stb. dolgozott. A hadifogságban a német nyelvtudása többször is életének megmentője volt. 1948-ban érkezett haza és ismét az



ózdi finomhengerműben kapott munkát.

Munka mellett 1948–53 között a Műszaki Főiskola és a R. M. Nehézipari Műszaki Egyetem hallgatójaként kohász szakmérnöki oklevelet szerzett. 1951-től metallográfiai anyagvizsgáló, majd az anyagátadási osztály és a metallográfia vezetője, 1958–65 között a műszaki kutatási főosztály vezetője volt, 1965-től a kutatási osztályt és a technológia osztályt vezette. 1982-től a marketing iroda szakértője lett, ahol 1986. évi nyugdíjazása után is további öt évig, 1991. február végéig, összesen 51 évet dolgozott az Ózdi Kohászati Üzemekben.

Több szabadalom társszerzője, többszörös Kiváló Dolgozó, Kiváló Kohász, MT Kiváló Munkáért, vállalati Alkotói Nívódíj, Kiváló Újító arany-, Munka Érdemrend ezüst fokozat, Honvédelmi Érdemérem tulajdonosa. 1985-ben Állami Díj (megosztva), 2003-ban ötven éves munkáért Aranyoklevél, 2004-ben az OMBKE 50 éves tagságért Sóltz Vilmos-émlékérem kitüntetést kapott.

### 80. születésnapját ünnepelte

**Baráz András** 2011. december 15-én ünnepelte 80. születésnapját. Egy kis borsodi faluban, Borsodnádason született. 1942-ben a nyergesújfalui szalézi gimnáziumban tanult, majd 1951-ben az ózdi József Attila Gimnáziumban érettségizett.

Mi lehetett egy kohász falu szülőtének életútja, ha nem a kohászat? 1957-ben a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen kohómérnöki diplomát szerzett.

Kezdő mérnökként a csepeli a Vas-és Acélöntödébe került üzemmérnökként. Ott élte le élete nagy részét az



öntöde különböző területein beosztottként és vezetőként. 1970-ben kohóipari gazdasági mérnöki diplomát szerzett. 1973-tól a Csepel Művek vezérigazgatóságán műszaki és gazdasági szaktanácsadó, majd a Műszaki Fejlesztési Igazgatóságon fejlesztési főmérnök. 1983-ban visszament első munkahelyére, a Vas- és Acélöntödébe. 1990-ben közel a nyugdíjas évek kezdetéhez, még telt erejéből egy váltásra, a Minerálimpexnél főmunkatársként hasznosította közgazdasági ismereteit és német nyelvtudását, amelyet 1963-ban, az Idegen Nyelvek Főiskoláján szerzett.

A Csepeli Vas- és Acélöntöde fejlesztési tevékenysége során, a járműprogram kapcsán alkalma volt felsőfokú nyelvvizsgájához sokoldalú gyakorlatot szerezni, nyelvtudását fejleszteni, amelyet munkája során hasznosított. A hosszú évtizedek alatt mindig tanult, szerette a nyelveket, az új szakmai ismereteket.

Munkájáért számos vállalati és állami kitüntetésben részesült. Aktívan részt vett az Egyesület munkájában, amelynek nyugdíjasként ma is tagja.

1992-ben ment nyugdíjba, azóta aktív pihenéssel tölti idejét.

Sok régi munkatársával tartja a kapcsolatot, de már csak a kohászat múltjáról beszélgetnek.

**Kovács Dezső** okl. kohómérnök 2011. január 12-én töltötte be 80. életévét. Közgazdasági középiskolai végzettséggel nyert felvételt a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemre, ahol diplomáját 1956 áprilisában kapta meg a vas- és fémkohómérnöki szakon. Ezt követően a szakminisztérium a diósgyőri Lenin Kohászati Művekhez helyezte, ahol a Nagyolvasztó gyáregységénél technológusi munkakörben dolgozott, a három hónapos tartalékos tűzértszti tanfolyamra történő behívásáig. Ennek letöltése után a gyárban felépült Érczsugorító üzemvezető-helyettesi teendőit látta el. 1962 évtől kezdődően a gyár fejlesztési főmérnökségén, gyárfejlesztő mérnöki beosztásban zsugorítás-



sal történő ércelőkészítés és a nyersvasgyártással összefüggő korszerűsítési témákkal foglalkozott.

1966-tól kezdődően a Diósgyőri és Ózdi Nagyolvasztók nyersvas gyártási alapanyagaként használt vasérc darabosítására épülő Ércelőkészítő Mű (BÉM) technológiai üzembe helyezésének előkészítésére műszaki osztályvezetőként kapott megbízást.

A BÉM termelési felfutását követően a Miskolci Egyetemen második diplomaként megvédte gazdaságmérnöki diplomáját. Ezen szakismereteit az Észak-magyarországi Vegyiművek szervezési csoportvezetőjeként hasznosította nyugdíjazásáig, 1990 végéig.

A kohászatban végzett tevékenységéért miniszteri Kiváló Dolgozó kitüntetést kapott.

A kohómérnöki diploma megvédésének 50 éves jubileuma alkalmából a Miskolci Egyetem 2006-ban arany díszoklevéllel ismerte el a sok éves mérnöki munkáját.

Munkája mellett nyolc éven át ellátta az OMBKE helyi csoportjának titkári teendőit és a szakmai konferenciák rendezését. Egyesületi tevékenységét – tagságának kerekaszámú évforduló alkalmával – Sóltz Vilmos emlékéremmel jutalmazta a közgyűlés.

## 70. születésnapját ünnepelte

**Dr. Kiss Mátyás** 1941-ben született Mezőkövesden. A középiskolát a miskolci Gábor Áron Kohóipari Technikumban végezte. Majd egyetemi tanulmányokba kezdett a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Kohómérnöki Karán, ahol '65-ben kiváló eredménnyel szerzett kohómérnöki oklevelet.

Végzés után az akkor alakuló Automatikai Tanszék alapító tagjai között volt, ahol nyugdíjba menetelig oktatóként dolgozott. A kezdetektől részt vett a Tanszék fejlesztésében, oktatási rendszerének kialakításában, előadások és gyakorlatok tartalmi anyagának kidolgozásában és folyamatos korszerűsítésében. A Kohómérnöki és Gé-



pészmérnöki Karon a „Képlékenyalakítási folyamatok számítógépes irányítása”, „Mérés és Irányítástechnika”, „Automatika”, „Képlékenyalakítási folyamatok automatizálása”, a Bányamérnöki Karon pedig az „Automatika” tantárgyak összeállítását, előadásainak, gyakorlatainak tartását végezte, ehhez kapcsolódóan számos diplomaterv, TDK munka és demonstrátori feladat tudományos vezetője volt.

1970-ben a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán irányítástechnikai szakmérnöki oklevelet szerzett, 1977-ben pedig „summa cum laude” védte meg doktori disszertációját, amelynek témája ívkemencék számítógépes modellezése és automatizálása volt.

Posztgraduális és szakmérnöki képzésben ipari kemencék műszerezésével és automatizálásával kapcsolatos tárgyak tematikájának összeállításában, mérnöktovábbképzési tanfolyamok szervezésében, valamint a fémalakító és az ipari kemencék szakmérnöki szakok államvizsga bizottsági munkáiban is rendszeresen részt vett.

Társzerzőkkel öt egyetemi jegyzet és tankönyv megírása fűződik nevéhez. Publikációi, konferencia előadásai ipari folyamatok modellezésével, automatizálásával, számítógépes folyamatirányításával foglalkoztak, továbbá automatika oktatási, valamint környezetvédelmi irányítási témákhoz kapcsolódtak.

Kutató-fejlesztő munkákban, és az ipari kapcsolatok kialakításában is nagy szerepe volt, összesen 25 ipari fejlesztő munkában vett részt, ebből 15-ben témavezetőként illetve résztémavezetőként. Közreműködött egyetemi szabadalom megvalósításában és több ipari szakvélemény elkészítésében.

**Szegedy-Maszák Tibor** 1941. október 4-én született Kispesten. 1959-ben öntő technikus oklevelet szerzett a csepeli technikumban, majd 1971-ben levelező hallgatóként diplomát szerzett a Nehézipari Műszaki Egyetem kohómérnöki karán, a metallurgiai szak öntő ágazatán.

Munkáját 1959 augusztusában kezdte, az akkori Vörös Csillag Traktorgyárban, és a vállalat dolgo-

zója maradt 2003. évi nyugdíjba vonulásáig. A több mint 40 éves pályafutása alatt az öntészet és a minőségirányítási szakma szorosan összekapcsolódott. 1982-ig technológusként, közben vasöntődei technológia vezetőként dolgozott. Az öntvények gyártás-tervezését, vállalásának technológiai előkészítését, korszerű gyártástechnológiák bevezetését (pl. furángyártás magkészítés) végezte. 1973-tól a RÁBA öntvények, a számítógépes irányítási rendszer, az amerikai piacra szállított fékdob és acélöntvények anyagspecifikációjának adaptálását végezte.



1982-ben vállalati pályázat útján minőségbiztosítási főosztályvezetőnek nevezték ki. Ezt követően nyugdíjba vonulásáig a kispesti gyár minőségirányítási vezetőjeként dolgozott, nyugdíjazása után a cégnél minőségirányítási tanácsadóként tevékenykedik. 1995-ben irányításával – szakcég bevonásával – kiépült a gyár minőségirányítási rendszere, megszerzték a TÜV CERT tanúsítványt, amelyet napjainkig – kiegészülve ISO/TS 16949 járműipari elemekkel és a környezetirányítási rendszerrel – eredményesen auditáltatnak.

A kispesti gyár 2001. decemberi tulajdonosváltásánál tagja a magyar tulajdonosi menedzsmentnek. A piaci körülmények kedvezőtlen alakulása miatt a fellendülés 2007-ben megtorpant, és ezután a jogutód Hoffer

Acélöntő és Szolgáltató Kft. néven működő cégnél tevékenykedett.

Ma is kiemelt tisztelettel és köszönettel emlékezik meg az öntészeti és minőségirányítási szakmákban őt segítő elődeiről, tanítómestereiről: *dr. Nándori Gyula* professzorról, *Aschner Gábor*, *Berényi József*, *Krachun István*, *Ispán Olivér* minőségi és öntő szakemberekről.

Az OMBKE-nek 42 éve tagja. Alapító tagja volt 1972-ben a Fialalokat Szervező Munkabizottságnak (FISZEMUBI). Ebben az időszakban sok fiatal kapcsolódott be az egyesület életébe, akik ma meghatározó személyiségei a szakmának. 40 éves tagságáért Soltz Vilmos-emlékérmet kapott. Tagja a Magyar Minőség Társaságnak (MMT).

## NEKROLÓGOK

### Dr. Buray Zoltán (1919–2011)



*Újabb nagy veszteség érte a magyar alumíniumipart jelentős személyiségének távozása miatt. 2011. február 5-én életének 92. évében elhunyt dr. Buray Zoltán.*

*Az egykori piarista diák a József Nádor Műegyetemen 1943-ban nyert gépészmérnöki oklevelet, majd 1943–1945 között katonai szolgálatot teljesített.*

*A háború után a Műegyetem Mechanikai Technológiai Tanszékén tanársegédként anyagvizsgálattal foglalkozott. 1950-től a Könnyűfémipari Kutató Intézet, majd a Fémipari Kutató Intézet munkatársa, tudományos tanácsadója, a hegesztéstechnológia laboratórium-vezetője volt, 1982-ben történt nyugalmába vonulásáig. Kutatómunkája mellett az egyetemi doktori, majd a műszaki tudományok kandidátusa, és a PhD-fokozatot is megszerezte.*

*Kutatási tevékenysége középpontjában a könnyűfémek, elsősorban az alumínium és ötvözetek hegesztési technológiája és a hegesztett könnyűfém-szerkezetek tervezési-méretezési problémái álltak. Jelentős nemzetközi ered-*

*ményeket ért el az alumínium hegesztésének és hegesztett kötéseinek vizsgálata terén, új hegesztőpálcákat és hegeszthető ötvözeteket kísérletezett ki.*

*Nagy szakirodalmi tevékenységet fejtett ki, amelyet könyvrészleteken, egyetemi jegyzeteken túl mintegy 130 szakcikk, továbbá hét szabadalom – melyekben feltaláló volt – is bizonyított. Életét és munkásságát több kitüntetéssel, közöttük kormánykitüntetéssel is elismerték.*

*Az OMBKE-nek 1949 óta volt tagja, részt vett az egyesület konferenciáinak, tanácskozásainak rendezésében, előadások tartásával is. Tagja volt a GTE hegesztési szakosztályának. 40 és 50 éves egyesületi tagságáért Soltz Vilmos-emlékérmet kapott.*

*Temetésére a Farkasréti temetőben, szülei sírjában került sor. Egykori munkatársai és barátai ezúton kívánnak neki utolsó*

*Jó szerencsét!*

**-ok-**

## Kálmán Béla

(1946–2011)



Gyorsan körbefutott a szomorú hír, hogy Kálmán Béla okleveles kohómérnök, a Qualital cégcsoport MÖSZ-díjas nyugalmazott műszaki igazgatója életének 65. évében 2011. március 13-án elhunyt.

Kálmán Béla 1946. február elsején a Veszprém megyei kis községben, Vanyolán született. Az általános iskolát helyben végezte, a középiskolát a győri Gépipari Technikum közlekedési gépész szakán. 1964-ben beiratkozott a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemre. Itt a kohómérnöki kar, metallurgiai szak, öntő ágazatán tanulta a szakmát. Kohómérnöki diplomáját 1969-ben szerezte meg.

Akkoriban Apcon a Csepel Művek új gyára, a Qualital Könnyűfémöntöde a friss diplomásokat, Bélát és három évfolyamtársát tárt karokkal fogadta. Ő technológusként kezdte pályáját, első sikereit a kokillaöntödében a MAN-liscenc alapján gyártott alumínium motoröntvények technológiai finomításával érte el. 1972-ben a Technológiai Osztály vezetőjévé nevezték ki, ahol irányításával számos új öntvény került programba. Rövidesen a közúti motoröntvények gyártásának országos szakintézőjévé vált.

Újabb sikeres munkái közül említhető a nagysorozatú, különösen precíz öntést megkívánó, 300 bar nyomást is bíró Wagner-festékszóró öntvénycsalád.

A kilencvenes évek elején a Qmetal Kft. főmunkatársa, a Qualital Kft. ügyvezető igazgatója, a B. T. Holding Qualiform Kft. műszaki és kereskedelmi igazgatója, 2007 januárjától a cég műszaki igazgatója volt. 2010-ben már nyugdíjasként, betegségével küzdve is dolgozott.

Rendszeresen foglalkozott az egyetemi hallgatók és ifjú mérnökök munkájával, oktatásukkal, elmenetelükkel. Számos főiskolai, egyetemi szakdolgozat, diplomaterv készült önzetlen irányítása alatt. Az egyesületi munkára is jutott ideje, 1976-tól a helyi csoport vezetőségi tagja volt.

Temetésén – a nagyon szeretett Vanyolán – családja, rokonai, kollégái búcsúztatták. Március 25-én, gyászszakestélyén is részt vettek szakosztályunk vezető képviselői.

Fájó szívvel, emlékedet megőrizve búcsúzunk, és kívánunk utolsó

Jó szerencsét!

 Fogarasi Béla

## Altnéder János

(1919–2011)



Gyász híreinkben már tudósítottunk haláláról. Ezúton tisztelettel fejet hajtunk kohómérnök kollégánk életműve előtt, aki 92 évesen, 2011. október 7-én egy mérnökdiasztia tagjaként távozott. Anyai dédapja, nagyapja és édesapja Selmecebányán végzett, ő 1942-ben Sopronban, fia pedig 1970-ben Miskolcon kapott kohómérnöki oklevelet.

Hosszú élete során 12 évet Ózdi Kohászati Üzemekben, 20 évet a Dunai Vasműben dolgozott, majd 6 évet a Kohászati Gyárépítő Vállalatnál. 1980-ban ment nyugdíjba. 1986–1990 között az Energiagazdálkodási Intézetben volt nyugdíjas szakértő.

Munkája során mindvégig az energiagazdálkodás és a tüzeléstechnika szakterületét művelte. Kedvenc témája az ipari kemencék energiafogyasztásának csökkentése volt.

Jelentős szakmai sikereket ért el Ózdon a gázgenerátor üzemeltetése, Dunaújvárosban a Martin-kemencék tüzeléstechnikájának fejlesztése, később pedig különféle hőcserélő berendezések tervezése által. Eredményes munkáját több Kiváló Dolgozó és Kiváló Újító Kitüntetés is jelzi.

Üzemi munkája mellett Ózdon a

technikumban, a Miskolci Egyetem esti tagozatán, Dunaújvárosban pedig a kohóipari technikumban, majd a főiskolán tüzeléstant, kemenceépítést tanított és jegyzeteket is írt.

Számos cikke jelent meg a Kohászati Lapokban. Egyesületünknek 1956 óta, 55 éven át volt tagja, rendezvényeink résztvevője. Szakmai könyvtárát egyesületünknek adományozta, melyet a Kohászati Múzeumban helyeztünk el és katalogizáltunk.

Egyenes jellemű, rendkívül szorgalmas, jó kolléga volt. Szakmai és világnézeti meggyőződéséhez mindig korrekteen tartotta magát akkor is, ha az esetenként hátrányt jelentett számára.

Mélyen vallásos, katolikus családjában feleségével négy gyermeket neveltek fel. Megérte 13 unokája és 15 dédunokája születését is.

Hamvait – méltó szertartás mellett – 2011. október 28-án a szülőföld, Sopron földjébe helyezték.

Kedves János, mint tanítványod is, a magyar kohásztársadalom nevében búcsúzom. Isten Veled! Nyugodj békében! S ezzel mondunk utolsó

Jó szerencsét!

 Dr. Takács István

## Schultheisz Gyula (1928–2011)



1928. január 21-én született Bonyhádon. Elemi iskoláit az ottani református iskolában végezte, majd 1948-ban az Evangélikus Gimnáziumban érettségizett. Még ebben az évben beiratkozott a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem soproni karának kohász tagozatára. Az egyetem nevének többszöri megváltoztatása után 1952 júliusában a Rákosi Mátyás Nehézipari Műszaki Egyetem Kohómérnöki karán, a technológus szakon végzett.

A MASZOBAL Székesfehérvári Alumínium Hengerművében kezdett dolgozni 1952. augusztus 1-jétől. 1953. január 1-jétől a hengermű üzemvezetője lett. Több új termék gyártását is megkezdte ebben az időben a Hengermű, pl. gázpalackok és tubusok gyártásához tárcsákat, árammérőhöz szalagot. Bevezették a gyorslágyítást, a hűtőgépekhez kidolgozták a csőjáratos lemezek gyártását. Számos kísérletet végeztek az alumínium termékek közötti állapotának (félkemény, negyedkemény állapot stb.) elérésére. Közben feladata volt az ifjú, éppen végzett szakemberek betanítása. Az 1956-os forradalom után leváltották, alacsonyabb munkakörbe helyezték. Ez időponttól a technológiai alapok, technológiák kidolgozása volt a feladata. Tíz éven keresztül hengerész szakmunkásokat oktatót, számukra társszerzővel tankönyveket írt. A BKL-ben megjelent szakkikvei is bizonyították képzettségét és rátermettségét.

A kemény munka eredményeként 1967-ben a Kőfém Termelési Főosztályának lett a vezetője, ahol jelentős szerepe volt a vállalat tőkés exportjának megszervezésében.

1974 nyarán kapott megbízást a

présművet, a húzóművet és a préskóvácsművet magába foglaló Présmű Gyáregység vezetésére.

1982-ben a Kereskedelmi Főosztály vezetője lett. 1983-ban Ausztriában a Hungaloxnál cégvezetőnek nevezték ki, legfontosabb feladata a magyar áruk pontos szállításának megszervezése volt. 1989-ben egy rövid időre nyugdíjba ment, majd visszahívták Bécsbe az utódok betanítására, amin 1993-ig, végleges nyugdíjba vonulásáig dolgozott.

Munkája alapján sokszor részesült Kiváló Dolgozó és Kiváló Újító kitüntetésben, egy alkalommal a Nehézipar Kiváló Dolgozója elismerést kapta.

1950 óta az OMBKE tagja, az 1955-ben a Székesfehérvári Könnyűféműben megalakult üzemi csoport alapítója 11 társával együtt.

Háromszor kapta meg a Sóltz Vilmos-emlékérmet, egyszer az Egyesületi Munkáért-plakettet. Példamutató egyéniségének, szakmáértettségének eredménye családja körében is jelentkezik, lánya és veje szintén kohómérnök. A családon belüli kitüntetése: „Imádni való nagypapa és dédi”.

Valamennyiünket elszomorított az újságban talált gyászjelentés:

„Szomorúan értesítjük mindazokat, akik ismerték és szerették, hogy Schultheisz Gyula okl. kohómérnök életének 84. évében, 2011. november 19-én elhunyt. Végakarátának megfelelően szűk családi körben temették el. Gyászoló család.”

Ismertük és szerettük, ezért az értesítést szomorú szívvel olvastuk, és szakmánk búcsúszavaival mondtuk:

Jó szerencsét Gyula bátyánk!

 Csömöz Ferenc

## Dr. Schippert László (1932–2011)



Dr. Schippert László okl. kohómérnök 1932. január 2-án született Felsőgallán. A középiskolát Tatán és Kecskeméten végezte, ahol 1950-ben érettségizett. 1950-től Miskolcon volt kohómérnök-hallgató, és 1954-ben kapott fémkohómérnöki oklevelet.

1954–55 között a Csepel Művek Fémművében tuskóöntéssel, 1956–57-ben a taskenti Kábelgyárban vékony- és finomhuzalhúzással, majd 1958–61 között a Székesfehérvári Könnyűféműben lemezhengerléssel foglalkozott. 1962–63-ban a NiM színesfémipari főosztályán területi főmérnök, 1964–73 között a Székesfehérvári Könnyűfémű főmérnöke volt. Vezetése alatt dol-

gozták ki a Szovjetunióból hozott mintára a technológiai alapok rendszerét, amely felölelte a fém beérkezéstől a termék előállításáig és a munkavédelemig a feldolgozás teljes menetét. Részt vett a Kőfém fejlesztési munkájában, valamint a CEGEDUR-ismeretanyag adaptációjában is. Ő létesítette – feleségével együtt – az üzemben működő Központi Technológiai Kutató Laboratóriumot. 1974-től 1992-ben történt nyugdíjazásáig előbb a Fémipari Kutató Intézet fejlesztési igazgatójaként, később tudományos tanácsadóként tevékenykedett.

1973-ban kandidátusi, majd 1989-ben a műszaki tudomány doktora tudo-

mányos fokozatot szerzett, a hengerlési semleges szögek vizsgálatával. Tagja volt a szakterületével kapcsolatos akadémiai bizottságoknak. Mintegy 40 közlemény őrzi tevékenységét.

Az OMBKE-nek 1951-től volt tagja, és a fémkohászati szakosztály budapesti csoportjában dolgozott.

Életének 80. évében, 2011. december 3-án hunyt el. Temetése 2011. december 22-én, a Fiumei úti temető szóróparcellájában volt. Váratlan halála sok fémkohászt megrázott, akik ezúton mondanak neki utolsó

Jó szerencsét!

 Szabics József

## Fuchs Erik (1930–2011)



2011. december 27-én eltávozott az élők sorából dr. Fuchs Erik professzor, okleveles kohómérnök, az anyagtudomány egyik magyarországi megalapozója, az űranyag-technológiai kutatások elindítója, sok, ma az anyagtudomány területén vezető szerepet játszó kutató és egyetemi oktató tanítómestere.

Fuchs Erik György 1930. június 12-én született Győrött. Sopronban, 1952-ben kapott kohómérnöki oklevelet, 1963-ban doktori, 1962-ben kandidátusi, majd 1974-ben akadémiai doktori címet szerzett. 1985-ben a Miskolci Egyetem c. egyetemi tanára, 2004-ben tiszteletbeli doktora lett.

1952–1987 között a Vasipari Kutató Intézet főfoglalkozású aspiránsa, tudományos munkatársa, osztályvezetője, végül kutatásszervezési főmérnöke volt. A Vaskut ellehetetlenülésével – 1987-től az 1990. évi nyugdíjazásáig – a Miskolci Egyetem Műszerközpontjának ügyvezető igazgatójaként dolgozott. Nyugdíjasként még szervezője, és három évig ügyvezetője volt a Soproni Egyetem Innovációs Irodájának, ill. a nemzetközi együttműködésben tervezett Soproni Technológiai Centrumnak.

A felsőoktatásban egyetemi hallgató kora óta tevékenykedett: 1949-től a soproni egyetemi kar Fizikai Tanszékének demonstrátora. Oktatott a Budapesti Műszaki Egyetemen, a Mérnöki Továbbképző Intézet keretei között, főként azonban a mai Miskolci Egyetem (ME) Fémtani Tanszékén. Egy szemeszteren át vendégtanára volt a Freibergi Bányászati Akadémiának 1972-ben, és a Collegium Hungaricum ösztöndíjasaként vendégkutatója a Bécsi Műszaki Egyetem Alkalmazott Fizikai Tanszékének 1972–73-ban.

1970-től évtizedeken át tagja, tisztségviselője volt a Magyar Tudományos Akadémia különböző bizottságainak. Részt vett a Tudományos Minősítő Bizottság munkájában; 1980-tól tagja és koordinátora volt a Nemzetközi Űrkutatási Bizottság Magyar Nemzeti Bizottságának. Részt vett OMF- és MTESZ-bizottságok munkájában. Alapító tagja, tisztségviselője volt a Ma-

gyar Innovációs Kamarának.

Tagja – 2011 óta tiszteleti tagja – volt a Gépipari Tudományos Egyesületnek (GTE), tagja az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak, alapító tagja a Magyar Asztronautikai Társaságnak (MANT).

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesületnek 1950 óta volt tagja. Alapító tagja, sok évig elnöke volt az OMBKE egykori Anyagvizsgáló Szakcsoportjának. A Kohászati Anyagvizsgáló Napok egyik létrehozója és 1985-ig az egyik fő szervezője.

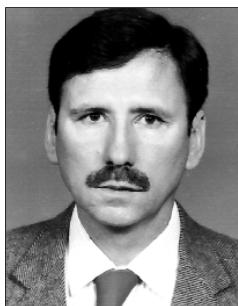
Kezdetől fogva meghatározó szerepe volt az egykori Vaskut fémtani-anyagszerkezettani kutatólaboratóriumainak megszervezésében, a kísérleti fizika lehetőségeinek előtérbe helyezésében, az anyagtudományi alapon nyugvó, új kutatási-fejlesztési szemlélet ágazati elfogadtatásában. Napjainkig kiható, iskolateremtő eredményességgel vont be a munkájába kiváló képességű pályakezdeket. Következésképpen szorgalmazta az országban meglévő szellemi kapacitások, különösen a műszaki kutatóhelyek és a természettudományos műhelyek interdiszciplináris együttműködését. Fontos szerepe volt több, fokozatosan lehetővé váló nemzetközi együttműködés kialakításában.

Rendszeresen tartott előadásokat hazai és nemzetközi, szakmai rendezvényeken. Öt egyetemi jegyzete, és több mint 100 tudományos publikációja jelent meg, nagyrészt külföldi folyóiratokban. Feltalálótársa számos, köztük két űr-anyagtechnológiai vonatkozású szabadalomnak.

Számos kitüntetést kapott: a kohászat kiváló dolgozója (1972), Akadémiai Díj (1974), Soltz Vilmos-émlékérem (OMBKE, 1979, 1990, 2000 ill. 2010), Munka Érdemrend, ezüst fokozat (1980), Kiváló Feltaláló, arany fokozat (1983), Fonó Albert-díj (MANT, 2010), tiszteleti tag (GTE, 2011), Magyar Köztársasági Érdemrend Lovagkeresztje, polgári tagozat, (2011. aug. 20.).

Halála nagy veszteség az egész műszaki társadalom számára.

**Dr. Zsámboki  
László**  
(1936–2012)



Tisztelt Gyászoló Gyülekezet!

A 120 évvel ezelőtt Selmecbányán alapított Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület nevében búcsúzom dr. Zsámboki Lászlótól, a selmecbányai montanisztikai szellemi központ legnagyobb kutatójától, legjobb ismerőjétől.

Zsámboki Lászlót fiatal korában látólag semmi sem predesztinálta arra, hogy a magyar bányász és kohász szakmatörténelem kiemelkedő személyiségévé váljon. Budapesten jogi diplomát szerzett 1958-ban; közben egyetemi hallgatóként aktív szereplője volt az 1956-os budapesti forradalmi eseményeknek is: a Kossuth téren könnyebb sebesülést szerzett a véres terrorakció során. Az, hogy ezt követően jogászként nem tudott elhelyezkedni, olyan fordulat volt életében, ami az életét kiteljesítő, sikeres pályára vezette. Rövid kitérő után 1959-ben került Miskolcra, a Nehézipari Műszaki Egyetemre, ahol a könyvtárban kezdett dolgozni. Ez döntő találkozásnak bizonyult életében: azt a néhány évet, amit 1961 után a Kohómérnöki Kar dékáni hivatalában töltött, arra használta fel, hogy 1965-ben másoddiplomaként könyvtárszakon is oklevelet szerzett. 1969-ben így már ezzel a szakképesítéssel került vissza az egyetemi könyvtárba, amely időközben új, korszerű épületet kapott.

Dékáni hivatalvezetőként került kapcsolatba a bányász-kohász szakma olyan elkötelezett professzoraival, akik az akkori korszellem ellenében is kutatták és ápták a hazai montanisztikai oktatás múltját, a selmeci hagyományokat. Közülük Gyulay Zoltán professzort kell kiemelni, aki 1966 és 72 között az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület elnöke volt és ebben a minőségében is ösztönözte az immár végérvényesen könyvtárossá vált Zsámboki Lászlót a magyar bányászati és kohászati felsőoktatás mintegy 150 éves selmecbányai történelmének feldolgozására. A ma legendásnak tekintett, az egyesület emlékérméinek nevével megőrzött selmeci professzorok a 18–19. században Selmecbányát nemzetközileg is kiemelkedő jelentőségű tudományos-oktatási központtá tették, amelynek módszereire 1794-ben a párizsi Ecole Polytechnique alapító levelében követendő példaként hívták fel a figyelmet. A nagy tudású, nagy tekintélyű professzorok világszínvonalú könyvtárat hoztak létre; ennek felmérését és rendezését ő irányí-

totta. Az egyetemi könyvtár épületében kialakított Selmeci Műemlék Könyvtár ma nemcsak a szakmatörténet kutatóinak kedvelt kutatóhelye, mert a több száz éves, igényes nyomdatechnikával készült, ragyogó ábrákat tartalmazó kiadványok rajtuk kívül sok más látogatót is vonzanak. A könyvtárról 1976-ban készült összefoglaló művére méltán volt büszke. A könyvtár igazgatójaként, majd főigazgatójaként könyvek, kiadványok, publikációk sora került ki a keze alól. Az egyetemi levéltár, majd az egyetemi múzeum létrehozása és működésének megindítása is az ő nevéhez fűződik. 2005-ben ugyan nyugdíjba ment, de haláláig folytatta szakmatörténeti munkáját.

Zsámboki László munkáinak és számos kitüntetésének, elismerésének felsorolása meghaladja ennek a búcsúztatónak a kereteit. Egyesületi kitüntetései közül most csak a legnagyobbat, a tiszteleti tagságot emelem ki. Ehelyett Zsámboki Lászlóról, mint emberről szeretnék beszélni. Amikor 1961-ben a kohász kar dékáni hivatalába került, én kohómérnök-hallgató voltam Miskolcon. Hallgatóként szimpatikus, kulturált, segítőkész fiatal emberként tartottuk számon. Ezt követően szétváltak útjaink; én Budapestre kerültem, ő maradt Miskolcon. Az egyesületi munkába azonban már a 60-as évek közepén bekapcsolódtam és ettől kezdve az egyesületi hierarchia lépcsőit végig járva abban a közegben tevékenykedtem, ahol ő is dolgozott. Egyesületi vezetőként szükségszerűen foglalkoznom kellett az egyesület múltjával, a hazai montanisztikai oktatás történetével. Előadásaim, publikációim készítésénél megkerülhetetlen forrásmunkák voltak könyvei, cikkei, előadásai. Mindig, mindenkinek rendelkezésre állt személyes tanácsadásra, konzultációra; ezt én is többször igénybe vettem.

A neves szakmatörténész kellemes, megnyerő egyéniség volt, aki szívesen részt vett a bányászok és kohászok baráti találkozóin; élvezte a hagyományos dalokat, a fiatal és idős kollegák társaságát. Csendes, kulturált stílusa mellett jó humorérzéke volt; a bajsza alatt megjelenő mosolyról már sejteni lehetett, ha valami vidám dolog jutott eszébe, amit meg akart osztani társaival. 70. születésnapjára – hogy is lehetett volna másképpen – Selmecbányán rendezett nagyvonalú ünnepséget a történelmi hangulatot árasztó Kammerhof épületében. Máig szép emlék mindnyájunknak, akik részt vehettünk rajta.

Dr. Zsámboki László teljes, eredményes életet élt. Érvényesek rá Dsida Jenő sorai:

Megtettem mindent, amit megtehettem,  
kinek tartoztam, mindent megfizettem.

Elengedem mindenki tartozását,  
felejtse el arcom romló földi mását.

Kedves Laci, a hazai bányász-kohász társadalom nem felejt el Téged, szeretettel megőrizzük emlé-

kedet, életműved pedig mindnyájunkat túl fog élni.

Isten veled, nyugodjál békében,  
Jó szerencsét!

*Tardy Pál*

Dr. Zsámboki László, a Miskolci Egyetem Könyvtár, Levéltár, Múzeum címzetes főigazgatója 2012. január 25-én hunyt el. Kunszentmiklóson, a Felszezi temető családi sírboltjában helyezték örök nyugalomra 2012. február 7-én.

## Dr. Horváth Ferenc

(1929–2012)



Szomorú szívvel és mély fájdalommal hajtom meg fejem dr. Horváth Ferenc hamvai előtt és búcsúzom tőle mindazok nevében, akik őt becsülték, tisztelték, lett legyen ők diák vagy egyetemi társai, munkatársai, barátai, az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesületben tagtársai.

A sors úgy hozta, baráti és munkakapcsolatunk egy egész korszakot ívelt át, mely kezdődött 1948-ban és tartott a közelmúltban bekövetkezett haláláig. Elmondhatom, ismerem őt. Ismerem őt, mint egy szorgalmas, nemes lelkű, segítőkész, a legjobban rajzoló, szerkesztő évfolyamtársat, ismerem őt, mint a szakmáját kiválóan értő, precíz, határozott mérmőköt és elismerem őt kiváló vezetőnek, aki következetes, lényeglátó, önmagával és másokkal szemben is szigorú, aki nem tűri a sok mellébeszélést, akinek vezetése alatt alkotói szabadság légköre uralkodott. Különbféle posztok betöltése után, három évig volt a győri Öntöde és Kovácsológyár igazgatója, majd 20 éven át az Öntödei Vállalat vezérigazgatója. Vezérigazgatósága alatt abból a 13 rendkívül elmaradt, egymástól távollévő gyárból sikerült egy egységes, nyereségesen, az akkori viszonyok között jó színvonalon működő nagyvállalatot kovácsolni és a megszűnéséig, 1985-ig megtartani. Eredményes vezetését számos kitüntetéssel, a Vállalat munkáját évről évre kiváló minősítéssel honorálta a felsőbbség.

A gyorsan fejlődő technikával lépést tartott. Egyetemi doktori disz-

sertációját 1979-ben summa cum laude minősítéssel védte meg.

Az OMBKE-nek, mint tudományos egyesületnek aktív tagja és patronálója, az Öntödei Szakosztálynak pedig egy cikluson át elnöke volt. A ma már nemzetközi hírű Öntödei Múzeum alapítójának nem csak az egyike, hanem anyagi támogatója is volt.

Nyugállományba vonulása után az átalakulás kezdődő kibontakozásától távol tartotta magát. A család, a pihenés került előtérbe, majd súlyos operáción esett át, mely nem múlt el nyomtalanul, mint ahogy szeretett felesége elvesztése sem. A nagy csaták tárgyai, a sakkfigurák és a kártyalapok egyre ritkábban kerültek elő, majd teljesen elmaradtak. S a mintegy két hónappal ezelőtti rohammal a rá jellemző szívóssággal még küzdött, de sajnos ez esetben alulmaradt.

Kedves Barátom! A halállal vívott küzdelmedet ugyan elveszítetted, de az irántad érzett tiszteletet, barátságot semmi sem győzheti le, senki sem veheti el.

Örülök, hogy hosszú éveken át munkatársad, barátod lehettem. Az öntészet érdekében kifejtett munkádrol joggal mondhatom el a kohász himnusz utolsó soráival: kellett ez a honnak, Te derék Kohász.

Nyugodjál békében!

*Dr. Kovács Dezső*

Dr. Horváth Ferenc 2012. január 30-án hunyt el. Temetése február 16-án volt a kelenföldi Szent Gellért-plébániatemplom urnatemetőjében.

Dr. Szabó Ferenc az OMBKE tiszteleti tagja, a Dunai Vasmű 1976–1992 között volt vezérigazgatója 2012. február 14-én elhunyt. Búcsúztatója 2012. február 21-én volt a dunaújvárosi temetőben. Nekrológiát a következő számunkban közöljük.

# Szemelvények kohászatunk múltjából

## Korompa (németül Kropf, szlovákul Kropachy)



A korompai vasmű 1907-ben

Észak-Magyarországnak azon a részén, amely ma Szlovákiát alkotja, a 19. sz. legnagyobb vasműve a Szepes vármegyei Korompán jött létre. A Hernád völgyében fekvő községet szász hospesek alapították, 1246-ban említi először írott forrás. A környező hegyekben aranyat, ezüstöt, rezet és vasat bányásztak. Helybeli jobbagyok által működtetett vashámorokat 1549-től kezdve említenek. Az 1780-as években *gróf Csáky Imre* két bucakemencéje és két hámore évente mintegy 1100 bécsi mázsa vasat termelt.

Iglón 1840-ben *Trangous Lajos* vezetésével egy bányatársulat alakult meg, ez Korompán 180 ezer Ft költséggel vasgyárat létesített. A faszenes nagyolvasztó, a kupolókemence és három frisstüzes hámor két év múlva kezdett termelni. A jó folyékonyságú nyersvas zöméből öntvényeket gyártottak, a fennmaradó részből a hámorek rudat kovácsoltak. Bérbe vették a Sáros megyei Máriavölgyben lévő frissítő- és rúdhengerművet, és a Tarca mentén fekvő Balázsvágáson is üzembe helyeztek egy frissítőhámort. Két év múlva Korompán lemezhengemorsor és forgácsolóműhely létesült, az utóbbi főleg öntvényeket munkált meg, de bányaberendezések és különféle gépek gyártásával is foglalkozott.

Trangous Lajost a negyvennyolcas forradalom és szabadságharc elején *Kossuth Lajos* a Pénzügyminisztérium bányászati osztályának vezetésével bízta meg. 1848 őszén Korompán elkezdték a puskacsövek és szuronyok gyártását. 1864-ben 36 ezer mázsa nyersvasat termeltek, ebből 15 ezer mázsa öntvény készült. Korompán volt Észak-Magyarország egyik legnagyobb vasöntödéje.

1880-ban felépítették a második faszenes nagyolvasztót, a nyersvas egy részével a zólyomi vas- és bádogyárat és a diósgyőri Bessemer-művet látták el. Kovácsolóüzem létesült, jelentősen fejlődött a gépgyártás, gőzgépet, szivattyút, fűvógépet Ausztriába és Porosz-Sziléziába is szállítottak. Az öntvénygyártás a Meidinger-kályhákkal, víz- és gázvezetékcsövekkel bővült. A foglalkoztatottak száma elérte a 450-et, ebből 149 esett az öntödére.

A korompai vasmű- és bányatársulatot 1895-ben a bécsi vállalkozók által létrehozott Hernádvölgyi Magyar Vasipar Rt. vette át, és a régi gyár mellé korszerű vas- és acélművet kezdtek építeni. A 24 m magas, napi 140 t teljesítőképességű koksos nagyolvasztó az ország legmodernebb kohója volt. A vasbányák Korompa déli határában, valamint a Gölnicbányához tartozó Klippbergben voltak, az ércet a pörkölöbe, majd a vasműbe 4,7 km hosszú kötélpálya szállította. Az acélműben két kavaro- és két martinkemence volt, továbbá durva- és finomhengemorsor.

1900-ban a részvények többségét a Rimamurány–Salgótarjáni Vasmű Rt. szerezte meg, de a korompai gyár megtartotta önállóságát. Rövidesen üzembe helyezték a második koksos nagyolvasztót, a faszenes kohókat és a vasöntödét pedig megszüntették. Az első világháború kitörése előtt, 1913-ban Korompán 84500 t nyersvasat, immár öt martinkemencével 101500 t acélöntecset, 6300 t sínt, tartót, szalagot és lemezt gyártottak.

 K. L.

Források:

*Heckenast G.*: A magyarországi vaskohászat története a feudalizmus korában. Bp., 1991.

*Rempert Z.*: Magyarország vasgyártása a dualizmus korában. Bp., 2005.

*Dejny hutníctva na Slovensku.* Košice, 2006.

## A Dunaújvárosi Főiskola



2000-ben, amikor a Főiskola önálló felsőoktatási intézménnyé alakult, határozott elképzelés volt arról, hogy miként váljon Dunaújváros és a régió szellemi innovációs központjává. A képzési és kutatási területek bővítését annak szolgálatába állították, hogy létrejöhessen egy korszerű intézmény, a Közép-európai Innovációs és Technológiai Campus.

Tudatos oktatási és infrastrukturális fejlesztéseikkel elérték, hogy az elmúlt húsz évben hallgatóik száma a nyolcszorosára emelkedett, és jelenleg közel ötezer hallgatója van az intézménynek. 2010-ben már 9 BSc/BA-alapszak és 24 felsőfokú szakképzési szak, 2007-től az első mesterszak, a mérnök-tanár MA-képzés is választható. Ezzel egy időben külföldi hallgatók is tanulnak, angol nyelven főként ukrán és ázsiai hallgatókat oktatnak az Engineering Business Management BSc-szakon.

Az elmúlt tíz évben, közel tízmilliárdos fejlesztésnek köszönhetően campus épült: a belvárosi főépülettel és a szomszédos kollégiumokkal valóságos körgyűrűt alkotnak az új létesítmények és a felújított és bérelt korszerű kollégiumok. Az infrastrukturális fejlesztések még nem fejeződtek be, Regionális Egyetemi Tudásközpontként hallgatóbarát, európai campus épül.

A jelenlegi és leendő partnerekkel, valamint a jövő diplomásaival közös érdek, hogy igényeiknek megfelelő képzést kapjanak, együttműködve az oktatás-, és kutatásfejlesztésben egymás javát is szolgálják.

A fenntartó Oktatási és Kulturális Minisztérium felismerte regionális törekvések fontosságát, bizalmat szavazott, és az adófizető polgárok mellett a partnereknek is köszönhetően ma már korszerű létesítményekben kiváló eszközpark, és gyakorlati helyek is segítik a mérnöki, informatikai, közgazdasági, kommunikációs és pedagógiai területeken tanuló hallgatók elméleti és gyakorlati felkészülését.

A színvonalas kollégiumokban ma már valamennyi szállást igénylő elsőéves hallgatónak – a főiskolai belső informatikai hálózatra, internet-csatlakozásra és kábeltelevíziózásra is lehetőséget adó, fürdőszobás lakóegységekben – szállást tudnak adni. A szobákban hűtőszekrény, az emeleten korszerűen felszerelt konyhák és mosókonyhák teljes komfortot jelentenek számukra. A szobák a nemzetközi Youth Hostel hálózat kínálatában is szerepelnek.

A szabadidő kulturált eltöltésére korszerű könyvtár, konferenciaterem, Diákcentrum, a fitness centrumot is magába foglaló Campus Klub, Sport- és Rendezvény-csarnok, valamint szabadtéri sportpályák állnak a főiskolai polgárok rendelkezésére.

Az intézmény főépülete 1951–1953 között épült *Malomsoki József* és *dr. Avas Mihály*, az épületben működő Kerpely Antal Kohászati Technikum első igazgatója tervei alapján.

Az intézmény elnevezése és címe az évek során változott:

1962–1969 Felsőfokú Kohóipari Technikum (FKT);

1969–1990 (miskolci) Nehézipari Műszaki Egyetem Kohó és Fémipari Főiskolai Kara (NME KFFK);

1990–2000 Miskolci Egyetem Dunaújvárosi Főiskolai Kara (ME DFK);

2000. január 1-jétől Dunaújvárosi Főiskola (DF) / College of Dunaújváros / Fachhochschule Dunaújváros.

