

BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI LAPOK

# Kohászat

Vaskohászat

Öntészet

Fémkohászat

Anyagtudomány

Hírmondó

153. évfolyam

2020/5-6. szám



Jó szerencsét!

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület lapja.

Alapította Péch Antal 1868-ban.

## TARTALOM

### Vaskohászat

**1 Tardy Pál:** A globális járvány kezdetének hatása az acéliparra

**6 Thiele Ádám – Hári László – Magyar Domonkos:** Az acél kovácstűzbeli elégsének metallurgiai háttere – damasztolt anyagokon kialakuló felületi hibák magyarzata

### Öntészet

**11 Majoros Csaba – Szabó Richárd – Molnár Dániel:** Kettős működtetésű utántömörítés hatása a vastag falú nyomásos öntvény belső térfogati inhomogenitására

**16 Dargai Viktória – Tóth Gergő – Varga László:** A vízüveges maghomokkeverékek melegeformációs és írithetőségi tulajdonságainak vizsgálata

### Fémkohászat

**22 Illés István Balázs – Nagy Sándor – Kékesi Tamás:** LCD-hulladékokból történő indium fémkinyerés hidrometallurgiai úton

**31 Renkó József Bálint – Szabó Péter János:** EN-AW 6082 alumíniumötvözt többtengelyű kovácsolásának fizikai és virtuális szimulációja

### Anyagtudomány

**36 Kaptay György:** Kémiai elemek a kohászat szolgálatában és azon túl

**42 Nagy Erzsébet – Kristály Ferenc – Barkóczy Péter – Mertinger Valéria:** Orientált fémes szerkezetek vizsgálata Rietveld-illesztés alkalmazásával

### Híromdó

**47 Tájékoztató az OMBKE választmányi üléseiről**

**53 A Miskolci Egyetem hírei**

**54 A Magyar Öntészeti Szövetség 31. közgyűlése**

**55 Kötüntetést kapott az EKMITA**

**56 Köszöntések (Boross Péter, Katkó Károly, Pordán Zsigmond)**

**58 Nekrológok (Dr. Patay Pál, Dr. Szarka Gyula, Baán István, Simon Béla)**

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

## FROM THE CONTENT

**Tardy Pál: The effect of the pandemia on the steel industry ... .. 1**  
The global pandemia started in spring 2020 resulted in heavy consequences in the steel industry. Using information collected from large international organizations the situation of the global and European steel industry was discussed. Economic performance started to strongly decrease everywhere except China. The situation of the large steel consumer branches and the effects on steel consumption was analysed. As a result of the pandemia the situation of the steel industry was strongly affected: production and use of steel decreased in 2020. For 2021 moderate improvement is assumed. Consequences in the Hungarian steel industry were shortly discussed.

**Thiele Ádám: The metallurgy of the burning of steel in the forge fire – explanation of pattern failures in pattern-welded materials ... .. 6**  
Due to overheating during forge welding, shiny and patchy pattern failures might appear on the surface of pattern-welded objects. Over 1350 °C, when steel starts to burn and spark in the forge fire, a spongy structured sprayed steel lump is formed by diffusion-welded steel sparks. This spongy lump is often forge-welded again to the surface resulting in a well visible and deprecative pattern failure after etching. This paper tries to describe the detailed physical-chemical conditions of the burning of steel in the forge fire and the forming of the spongy lump on the surface of the work piece.

**Majoros Csaba – Szabó Richárd – Molnár Dániel: The effect of the duplex squeeze technology on the inhomogeneity of high pressure die castings ... .. 11**  
The paper presents the implementation of the duplex, direct and indirect squeeze technology, the construction of the die, and effects of the technological parameter alternatives. In this research, the start of the squeeze pin movement is altered, connected to the start of the 2nd phase. The optimal technological parameters are determined based on the local solidification conditions, where the operational region was altered between the early ineffective movement and the late non-squeeze-able condition. The effectivity of the duplex squeeze was determined by the analysis of the inner cavities and the inhomogeneity of the microstructure.

**Dargai Viktória – Tóth Gergő – Varga László: Decoring and heat deformation measurements of water glass sand core systems ... .. 16**  
The focus of our work on water glass systems was, to measure their decoring ability and heat deformation with different binder and additive materials present. The experiments were carried out in the Foundry Institute's sand laboratory at the University of Miskolc. In addition to our work, we have also made measurements towards the physical properties of each test specimens, which underwent heat deformation and heat loading tests.

**Illés István Balázs. – Nagy Sándor – Kékesi Tamás: Recovery of indium metal from LCD waste by hydrometallurgy ... .. 22**  
We have carried out laboratory experiments to examine the feasibility of an environmentally safe and efficient process to obtain indium. After the manual dismantling of the liquid crystal displays (LCD), a proper heat treatment was applied before peeling the polarizing foil mechanically. The liquid crystals were removed by ultrasonic washing. The leaching of indium from the indium-tin-oxide (ITO) layer of the crushed glass-based material with hydrochloric acid can be partly selective by exploiting the kinetic conditions. The major impurities (Fe, Sn) can be basically removed by hydrolytic precipitation. The efficiency of purification can be enhanced by reducing the iron into the Fe(II) state. Metallic indium was obtained by cementation at the surface of an aluminium plate. An efficient melting can be assured by various methods.

**Renkó József – Szabó Péter János: Physical and virtual simulation of multi-axial forging processes on EN-AW 6082 aluminium alloy ... .. 31**  
Multi-axial forging of EN-AW 6082 aluminum alloy was performed on a MaxStrain device of Gleeble 3800 thermophysical simulator. During each forging cycle, approximately the same plastic strain was applied. The plastic strain was 0.4 in each step, and the accumulated equivalent plastic strain was about 4. The investigated strain rate was 0.1 1/s. The temperature change during the whole process was measured using a thermocouple placed next to the deformation zone. Finite element modeling of the physical simulation was performed using QForm3D 9.0.9 software. During the physical simulation, the movement of the tool and the change in temperature were recorded. The recorded tool displacement curves were used as boundary conditions in the finite element modeling. The temperature-time and force-displacement diagrams of the physical simulation were compared with the diagrams obtained from finite element modeling.

**George Kaptay: Chemical elements usable in metallurgical engineering and beyond ... .. 36**  
The 94 natural and the 24 artificial chemical elements are discussed and are divided to the group of usable / useful (not radioactive) 81 elements and to the group of 37 radioactive elements. Further it is shown that 16 out of the 81 useful elements are strongly toxic, so they can be used only within controlled industrial conditions. Banning of the 16 strongly toxic elements from the public products is in progress, so these products can be made only of 65 non-toxic elements. It is shown that the properties of only 75 elements out of the useful 81 elements are known with engineering accuracy, while the properties of the rest of 6 elements (mostly those of lithium) are known with insufficient precision due to the high variability in the isotopic distribution of those 6 elements in different parts of the Earth crust.

(Continued on page 35.)

• **Szerkesztőség:** 1051 Budapest, Október 6. utca 7., III. em. • **Telefon:** 06-1-201-7337 •  
• **E-mail:** bkl.kohaszat@gmail.com • **Internetcím:** www.ombkenet.hu/bkl/kohaszat.html •

• **Felelős szerkesztő:** Balázs Tamás •

• **A szerkesztőség tagjai:** Biró Nóra, dr. Buzáné dr. Dénes Margit, dr. Dévényi László, dr. Dúl Jenő, dr. Harcsik Béla, dr. Kóródi István, Schudich Anna, dr. Szombatfalvy Anna, dr. Tardy Pál, dr. Török Tamás •

• **Kiadó:** Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület • **Felelős kiadó:** dr. Hatala Pál •

• **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, utánnomása, sokszorosítása és adatrendszerekben való tárolása kizárólag a kiadó engedélyével történhet. •

• **Indexeli az EBSCO Publishing Inc.** •

TARDY PÁL

## A globális járvány kezdetének hatása az acéliparra

**A 2020 tavaszán kialakult globális járvány az acéliparban is súlyos következményekkel járt. Nagy nemzetközi szervezetek adatainak felhasználásával áttekintettük a világ és az EU gazdaságában és acéliparában kialakult helyzetet. A gazdasági teljesítmény 2020-ban Kína kivételével mindenütt jelentősen csökken. Elemeztük a nagy acélfelhasználó ágazatok helyzetét, az acélfelhasználás ebből eredő változásait. A kialakult válság súlyos helyzetet eredményezett az acéliparban: csökkent a felhasználás és a termelés. Az előrejelzések 2021-re már növekedést feltételeznek. Röviden összefoglaltuk a válság következményeit a magyar acéliparban is.**

### 1. Bevezetés

Az acélipar nemzeti és nemzetközi szervezetei minden év elején közzé teszik az ágazatra vonatkozó előrejelzéseiket. Szerző rendszeresen hasonló anyagokat készített a hazai acélipar és szaklapunk számára. Ez év elején elkészült a 2020-ra vonatkozó kézirat is, melyben az akkori információk alapján alapvetően a korábbi trendek folytatását feltételezte 2020-ra is. Mielőtt a dolgozat nyomdába került volna, Kína után Európában is kitört a járvány, ami teljesen új helyzetet teremtett: a gazdaság drámai sebességgel világszerte súlyos válságba került. Ez teljesen megváltoztatta a kilátásokat. A dolgozat ezért nem került közlésre.

A válság kezdete (2020. március) óta kb. fél év telt el. Ezalatt számos tapasztalat összegyűlt arról, hogy milyen változásokat indított meg a járvány a gazdaság és az acélipar helyzetében és kilátásaiban. Az elérhető információk természetesen csak néhány hónapos tapasztalatokon alapulnak, így hosszabb távú trendeket csak merész feltételezések alapján lehet megállapítani. A nagy nemzetközi szervezetek adataiban számos információt és feltételezést tettek közzé; a dolgozat ezek tanulmányozása alapján készült.

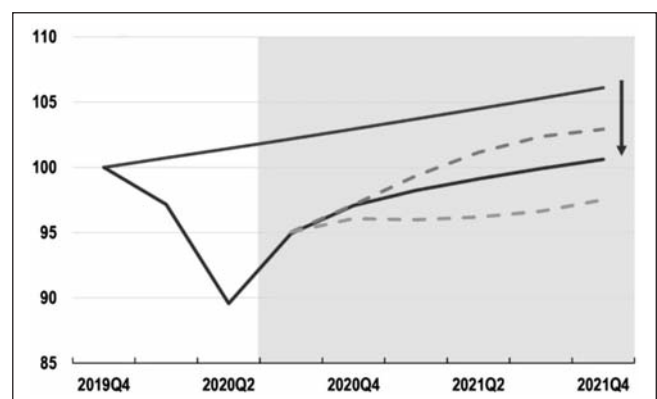
### 2. A gazdaságban kialakult válság

2020 elején a nemzetközi gazdasági elemzők (World Bank, OECD) a korábbi évek fejlődési trendjének folytatását jósolták 2020-ra. A globális járvány következményei azonban rendkívül rövid idő alatt érezhetővé váltak a gazdaságban: globális méretekben, példátlan mértékű recesszió alakult ki. Békeidőkben erre utoljára az 1930-as gazdasági válság idején volt példa. A kormányok világszerte pénzügyi eszközökkel igyekeznek csökkenteni a recesszió következményeit; ennek eredményeként lassult a visszaesés, és az optimista közgazdászok 2021-re már enyhe növekedést várnak.

Az 1. ábra a 2019 végén készült előrejelzés mellett a

legújabb, 2020 szeptemberi gazdasági előrejelzéseket tartalmazza. A koronavírus-járvány kitörése előtt (2019 novemberében) 2021 végéig lassú, egyenletes fejlődést feltételeztek. 2020 szeptemberére a járvány következményeként drámaian megváltoztak a várakozások: eszerint az év közepéig kb. 10%-kal csökken a gazdasági teljesítmény, amit először gyorsabb, majd lassabb növekedés követ. Ennek eredményeként kb. 2021 második felében elérheti a 2019-es szintet. Az optimista scenárió ennél valamivel gyorsabb, a pesszimista lassabb növekedést feltételez; utóbbi szerint 2021-ben még kisebb lesz a gazdasági teljesítmény a válság előttinél. Figyelembe véve, hogy időközben megindult a járvány második hulláma, inkább a pesszimista előrejelzés tűnik reálisnak, ami szerint a gazdaság teljesítménye 2021 végén nem fogja elérni a korábbi szintet.

Az 1. táblázat néhány jelentős súlyú gazdaságra mutatja az OECD 2020 januárjában (a járvány kitörése előtt) és 2020 szeptemberében készített előrejelzését és azok különbségét. Németországot a magyar gazdaságra gyakorolt erős hatása miatt vettük be a táblázatba. A különbségek önmagukért beszélnek. Az is látható, hogy a fejlett országokban sokkal nagyobb mértékű volt a visszaesés, mint Kínában, ahol mérsékelt növekedést tapasztaltak.



1. ábra. A globális gazdasági teljesítmény várható változása az OECD szerint, %

**1. táblázat.** Az OECD 2020 januárjában és szeptemberében készült előrejelzései a GDP változására (éves növekedés, %)

Ország/régió	2019	2020 januári előrejelzés	2020 szeptemberi előrejelzés	Különbség a két előrejelzésben, %
Világ	2,6	3,4	- 4,5	7,9
Eurózána	1,3	1,4	- 7,9	9,3
Németország	0,6	1,2	- 5,4	6,6
USA	2,2	2,3	- 3,8	6,1
Kína	6,1	6,0	1,8	4,2

A válság kibontakozásának hatására számos országban enyhítették a pénzpolitika szigorát. Csökkentették a kamatokat, a bankok számára könnyítették a hitelezési feltételeket, támogatták az eszközbeszerzéseket, engedték az eladósodás növekedését. Biztosították a dolgozók és vállalkozások bevételeit, garantálták a magánemberek adósságát stb. Specifikus módszerekkel segítik a legjobban érintett szektorok (idegenforgalom, vendéglátás) túlélését. A támogatások mellett állami beruházásokkal is segítik a munkahelyek megtartását. Az EU-ban különösen Németország, Franciaország és Olaszország próbálja meg ilyen módszerekkel gyorsítani a konszolidációt, de ide tartozik az EU 750 Mrd eurós támogatási terve is, ami a 2019-es EU GDP 5,5%-a. (Ismeretesek a magyar kormány hasonló lépései.) Az intézkedések eredményeként a közepesen fejlett országok adóssága 6% fölé emelkedett.

### 3. A globális válság hatása a világ acéliparára

A recesszió a nagy acélfelhasználó ágazatokra is kiterjedt, ami a felhasználás csökkenéséhez vezetett. A World Steel Association szerint az építőipar teljesítménye globálisan 3,9%-kal, az autóiparé 18%-kal, a gépiparé 9,8%-kal csökkenthet 2020-ban.

A 2. táblázat az acélfelhasználás várható alakulását mutatja. Az adatok szerint a fejlett országokban 2020-ban két számjegyű csökkenést várnak. A globális felhasználás hasonló mértékű csökkenését Kína pozitív adatai mérsé-

**2. táblázat.** Az acélfelhasználás várható alakulása a WSA 2020 júniusi előrejelzése szerint (éves változás, %)

Ország/régió	2019	2020	2021
Világ	3,4	- 6,4	3,8
Világfelhasználás, Mt	1766	1653	1717
EU	- 5,6	- 15,8	10,4
Németország	- 12,0	- 20,0	12,0
NAFTA	- 4,0	- 20,0	6,2
FÁK	5,6	- 10,3	7,1
Kína	8,5	1,0	0,0
Japán	- 3,4	- 19,1	6,8
India	4,9	- 18,0	15,0
Világ Kína nélkül	- 1,5	- 14,2	8,6

**3. táblázat.** A nyersacéltermelés alakulása 2019 áprilisa és 2020 augusztusa között (Mt)

Régió/ország	2019. április	2020. április	2020. aug.
Világ	157,6	137,0	156,2
Kína	84,9	85,0	94,8
A világ Kína nélkül	72,7	51,9	61,4
Kína részaránya a világtermelésben, %	53,8	62,0	60,0

kelhetik; Kína súlya ugyanis mind a globális acélfelhasználásban, mind az acéltermelésben meghaladja az 50%-ot. A világfelhasználás 2020-ban több mint 100 Mt-val lesz kevesebb az előző évinél, és 2021-ben sem fogja elérni a válság előtti szintet.

A világ nyersacéltermelése a járvány kitörése előtti években nem sokat változott, az acélfelhasználás drámai csökkenése azonban értelemszerűen a felhasználáshoz hasonló változást okozott (3. táblázat). 2019 és 2020 között ~ 20 Mt-val csökkent a havi termelés Kínán kívül; Kínában viszont lényegében nem változott. Figyelemre méltó, hogy 2020 augusztusában már a korábbihoz hasonló volt a globális termelés. A táblázat jól szemlélteti Kína kiemelt helyzetét a világ acéliparában: súlya a termelésben 60% fölé nőtt. Az acéltermelési adatok összhangban vannak a gazdasági teljesítmény és az acélfelhasználás változásaival.

Kína előretörése a világ acélgártásában hosszabb idő óta tart. 1999-ben 15,7%, 2009-ben 46,4% volt a részese-dése; 2019-ben pedig már meghaladta az 50%-ot. Ez a dinamikus gazdasági fejlődése mellett annak is a következménye, hogy nagy a magas acélintenzitású tevékenységek (út- és vasútépítés, nehézgépipar, infrastrukturális fejlesztések) részaránya gazdaságukban.

### 4. Az EU gazdasága és acélipara

Az EUROFER rendszeresen elkészíti jelentését az Unió acéliparáról, elemezve a gazdaság alakulását, a nagy acélfelhasználó ágazatok helyzetét és kilátásait, az acélfelhasználás, termelés és kereskedelem várható változásait. Információinkat elsősorban ezekből a forrásokból szereztük be.

Az összesített gazdasági adatokat a 4. táblázat tartalmazza.

A táblázat szerint a legtöbb mutató kis mértékben már 2019-ben is csökkent, 2020-ban pedig a mutatók többségében két számjegyű a visszaesés. Az is látszik, hogy a kormányok a kormányzati kiadások növelésével próbálják enyhíteni a helyzetet. Az Eurofer már 2021-re jelentős növekedést jósol, ami túlzottan optimistának tűnik.

Az acélipar szempontjából a gazdaságon belül elsősorban a nagy acélfelhasználó ágazatok teljesítményének alakulása fontos.

Az építőipar a többi szektornál általában lassabban reagál a gazdasági változásokra. 2020 első negyedében

**4. táblázat.** Az EU makrogazdasági adatai az EUROFER szerint (éves változás, %)

	2018	2019	2020	2021
GDP	1,9	1,4	- 8,7	6,7
Privát fogyasztás	1,6	1,5	- 8,0	7,2
Kormányzati felhasználás	1,1	2,0	1,8	1,9
Beruházás	3,2	2,5	- 11,7	8,0
Gépipari beruházás	2,9	1,0	- 17,4	11,8
Építőipari beruházás	3,1	2,7	- 10,5	7,6
Export	3,3	2,7	- 14,2	10,6
Import	3,5	3,4	- 13,7	11,0
Munkanélküliség (% az adott évben)	7,3	6,6	8,9	7,9
Infláció	1,8	1,4	0,6	1,3
Ipari termelés	1,6	- 1,0	- 10,9	8,8

még több országban növekedett a teljesítménye. A gazdasági válság kibontakozásával a lakásépítések és az irodaház-építések volumene visszaesett. A kormányok ezt az állami finanszírozású építkezések (elsősorban az infrastruktúra) növelésével próbálják ellensúlyozni. Az építőipari teljesítmény ezzel együtt 5,3%-kal csökkenhet 2020-ban, amit 2021-ben 4%-os növekedés követhet.

Az autóipar recessziója már 2018-ban megkezdődött. A személygépkocsik eladása 2020 márciusában (a járvány kezdetén) kevesebb, mint a felére csökkent, a haszonjárművéké valamivel kisebb mértékben. Az autógyártás Európában a járvány indulásakor csaknem teljesen leállt, április végén azonban több helyen újra beindult. A szállítási problémák miatt az alapanyag- és alkatrészellátás akadózott. Egyelőre nehéz megjósolni, hogy mikor futhat fel újra a termelés, amit az is fékez, hogy a várható eladások is visszaestek. Az acélfelhasználó ágazatok közül az autóipar került a legnehezebb helyzetbe (éves szinten 26% csökkenés).

A gépipar teljesítménye egyrészt a részbeni leállások, másrészt a csökkent eladási lehetőségek miatt 2020 első negyedében 8,6%-kal esett vissza az előző év hasonló időszakához viszonyítva. A nemzetközi kereskedelem drámai csökkenése, a Brexit okozta bizonytalanságok és a védővámok miatt az exportlehetőségek is korlátozódtak. A helyzet javulását a kormányok elősegíthetik a hitelfeltételek enyhítésével és állami beavatkozásokkal.

Az acélcsofgyártás követte a felhasználó ágazatok (építőipar, gépipar, járműipar) visszaesését. 2020 első negyedében 13,3%-kal csökkent a termelés. A nagyméretű csövek (olaj- és gázszállításra) iránti igény a területen kialakult politikai és kereskedelmi viták miatt visszaesett. Az olajpiacon a jövő is bizonytalan. A termelt mennyiség 2020-ban közel 20%-kal kisebb lesz az előző évinél.

A háztartási gépek iránti igény a járvány hatására szintén jelentősen csökkent, 2020-ra 10,8%-os visszaesést jósolnak az előző évhez képest.

Az acélfelhasználó ágazatok termelésének várható éves változását az 5. táblázatban foglaltuk össze.

Az EU-ban a legnagyobb felhasználó az építőipar, ami több mint harmadát teszi ki a felhasználásnak; nagyfelhasználó még az autóipar, a gépipar és az acélcsofgyártás, 10-20% közötti részaránnyal. Az adatok szerint a termelés csökkenése több szektorban már 2019-ben megindult, de mérsékelt volt. A járvány hatása 2020 második negyedében volt a legnagyobb, amikor közel negyedével csökkent az ágazatok össztermelése, de az autóipar a felére esett vissza. A járvány legnagyobb vesztese kétségtelenül az autóipar: a 2. negyedévben felére csökkent a termelése. 2021-re valamennyi szektorban növekedést

feltételeznek, ami azonban egyik szektor esetében sem ellensúlyozza az előző év visszaesését.

Az acélfelhasználás jellemzésére két mutatót szokás alkalmazni: a *tényleges (reális) felhasználást*, amely a raktárkészletekből felhasznált termékek mennyiségét is tartalmazza, valamint az ún. *látszólagos felhasználást*, amely nem tartalmazza a raktárkészletek változását. Az acélipar számára elsősorban a látszólagos felhasználás fontos, mert ez jelzi a beszállítási lehetőségek alakulását.

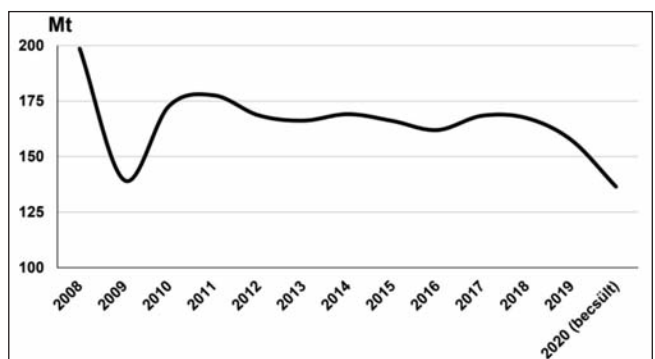
A kétfajta felhasználás éves változásának adatait a 6. táblázat tartalmazza.

A felhasználás két számjegyű csökkenésében a járvány indulásakor nagy szerepe volt a felhasználó vállalatoknál bekövetkezett időleges leállásoknak. A járványügyi szigor enyhítése valamit javított a helyzeten. A raktárkészletek leépítése miatt a látszólagos felhasználás nagyobb mértékben csökkent a reális felhasználásnál. 2021-ben lényegesen javulhat a helyzet. Az előjelek szerint a raktárkészleteket növelni kezdik a felhasználók, ami pozitívan befolyásolja a látszólagos felhasználást.

A nyersacéltermelés a 2008-2009-es globális válság hatására bekövetkezett drámai esés óta nem tudott visz-

**6. táblázat.** A reális és látszólagos acélfelhasználás alakulása (változás az előző év hasonló adatához képest, %)

	Reális felhasználás	Látszólagos felhasználás
2019. év	-2,6	-5,3
2020. 1. n.	-5,8	-12,0
2020. 2. n.	-26,4	-31,8
2020. 3. n.	-13,3	-17,2
2020. 4. n.	-8,2	-4,0
2020. év	-13,6	-16,6
2021. 1. n.	19,1	2,7
2021. 2. n.	15,6	35,1
2021. 3. n.	15,6	17,9
2021. 4. n.	8,6	6,0
2021. év	9,7	14,0



**2. ábra.** A nyersacéltermelés alakulása az EU-ban 2008 és 2020 között (Mt)

**5. táblázat.** A szektorok részesedése a felhasználásban és teljesítményük alakulása 2019–2021 között (éves változás, %)

Szektor	Felhaszn. részarány	2019. év	2020. 1. n.	2020. 2. n.	2020. 3. n.	2020. 4. n.	2020. év	2021. év
Építőipar	35%	3,9	-0,9	-12,4	-5,4	-2,4	-5,3	4,0
Gépipar	14%	-0,3	-8,6	-21,5	-13,7	-9,6	-13,4	6,8
Autóipar	18%	-4,6	-16,0	-51,5	-26,8	-8,1	-26,0	25,3
Acélcsof	13%	0,3	-13,3	-32,0	-20,8	-10,6	-19,4	9,8
Fémfém.	14%	-5,5	-5,5	-18,6	-9,0	-5,6	-9,8	7,8
Háztartás	3%	-1,2	-5,2	-20,2	-9,9	-8,5	-10,8	5,7
Egyebek	3%	0	-4,7	-13,4	-9,1	-6,8	-8,5	4,7
Összesen	100%	0,3	-7,2	-24,6	-12,9	-6,3	-12,8	8,9

szatérni az előző évek szintjére (2. ábra). 2010 és 2019 között 155–175 Mt között volt az éves termelés; 2020 első felév adatai alapján 2020-ban 140 Mt körüli nyersacéltermelés várható.

A járvány hatásai az acélkereskedelemben is megjelentek. Az import már 2019-ben 11%-kal csökkent, majd 2020 első négy hónapjában a lapostermékek importja 17%-kal, a hosszútermékeké pedig 11%-kal tovább esett. A legnagyobb beszállító ebben az időszakban Törökország, Oroszország, Korea, India és Ukrajna volt (a teljes import 70%-a tőlük származott). A hosszútermékek részaránya az importban 21%-ot tett ki.

Az EU acél készterméke exportja az első négy hónapban 15%-kal csökkent. Az export legnagyobb célországa Törökország, Svájc, az USA, Kína és Egyiptom volt, ezen belül Egyiptomba 7%-kal, Kínába 3%-kal nőtt az export.

Az EU acélimportja évek óta meghaladja az exportot, azaz az Unió nettó importőr. A nettó import 2020 első négy hónapjában valamivel több mint 1 Mt volt havonta. A legnagyobb deficit Korea és Oroszország esetében keletke-

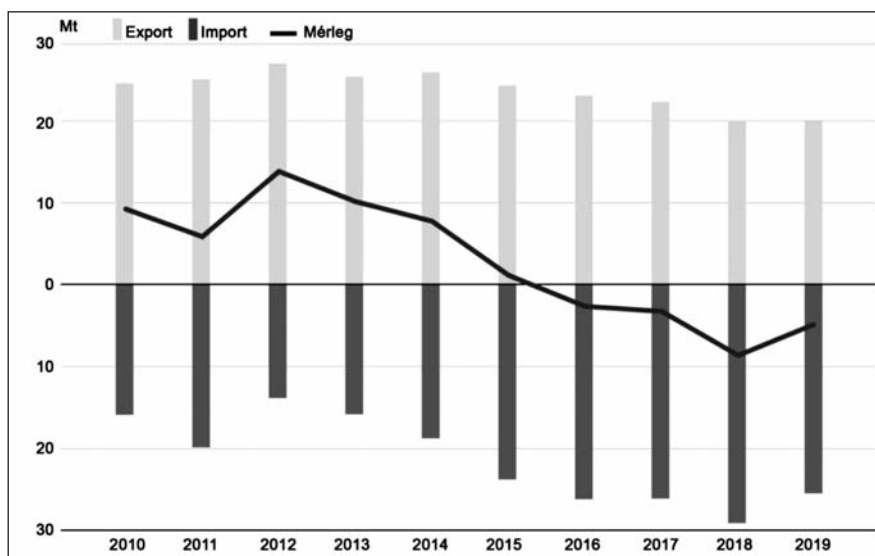
zett (~ 250 kt/hó), őket Törökország követte (62 kt). Az EU nettó acél exportja USA, Svájc és Algéria irányában volt a legnagyobb. A 2021. évben várható acél felhasználás-növekedést valószínűleg elsősorban az EU-ba exportálók fogják kihasználni, a megengedett kvótáik kihasználásával (erre 2020-ban nem volt módjuk), azaz tovább nőhet a nettó import (3. ábra).

A kilátásokat rontják az EU-ba exportáló országokban folyamatban lévő kapacitásnövelések is. A felesleges kapacitások nagysága évek óta probléma, amivel nemzetközi szinten az OECD Acélbizottsága foglalkozik. Az EU az elmúlt 10 évben 22 Mt acélgyártó kapacitást épített le, ugyanakkor 2019-ben Ázsiában ~ 30 Mt-val nőtt a kapacitás. A globális kapacitás nagyságát 2360 Mt-ra becsülik, szemben a 2020-ban várható ~1800 Mt nyersacéltermeléssel. Ez kb. 79% kapacitáskihasználást jelent globális szinten. A felesleges kapacitásokkal és olcsó munkaerővel rendelkező országok nagy várakozással tekintenek a 2021-re jósolt pozitív acélpiaci fejleményekre. Az EU piacvédelmét módosították (szigorították) ugyan, de az új kvótarendszer a jelenlegi helyzetben nem sokat segíthet.

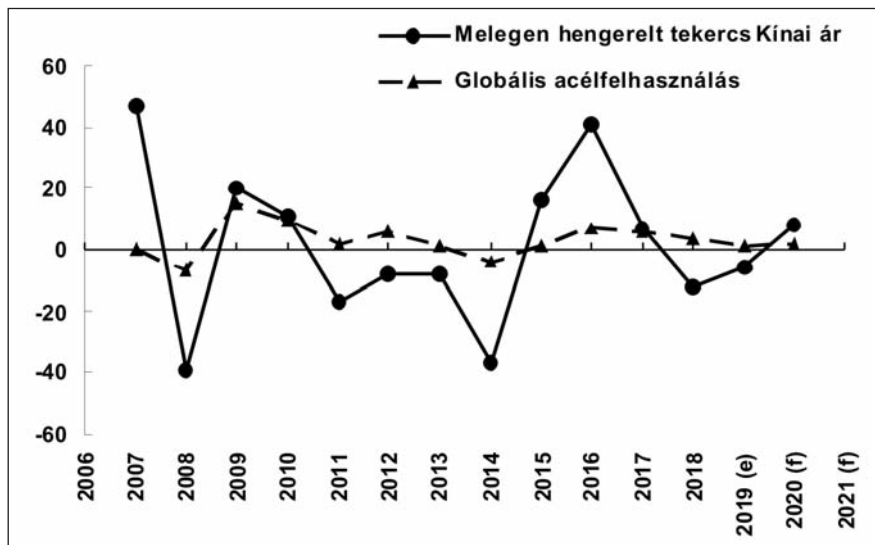
Az acéltermékek ára a meghatározó kínai piacon a felhasználással párhuzamosan változik (4. ábra). Az árváltozások mértéke lényegesen nagyobb a felhasználás változásánál. Régóta megfigyelt trend, hogy amennyiben a felhasználás csak kis mértékben (1-2%) nő, az árak még csökkenhetnek. Az ábra szerint a 2019-es árak globális szinten ~10%-kal alacsonyabbak voltak az előző évinél. Az ábra a válság kitörése előtti időszakban készült, így nem tartalmazza a válság hatásait. Érdemes változás 2020-ban nem várható; ha a 2021-re vonatkozó előrejelzés realizálódik, némi növekedés lehetséges.

Az európai acélipari vállalatok versenyképességének fenntartását a piaci helyzet mellett további tényezők is nehezítik. Közülük az EU klímapolitikáját és környezetvédelmi szabályozását kell kiemelni. Mindkét tényező jelentősen növeli a termelési költségeket. Fontos ezért, hogy az EU ezirányú törekvései ne haladják meg lényegesen a versenytárs régiókéét. További probléma, hogy az EU acéliparában foglalkoztatottak bére magas a kevésbé fejlett, nagy acéltermelő országokhoz képest, ami megjelenik a termelési költségekben.

Az EU acéliparának legnagyobb előnye a nagy hozzáadott érték: a minőségi, speciális acéltermékeknek nagy a részaránya. Ebben annak is szerepe van, hogy az ágazat területén jelentős kutatás-fejlesztési munka



■ 3. ábra. Az EU ötvözetlen acél exportja (felül) és importja (alul), valamint külkereskedelmi mérlege 2010 óta (Mt)



■ 4. ábra. Az acél felhasználás és az acéltermékek árának változása az előző évhez viszonyítva, %

folyik. Acélkereskedelme – mint láttuk – volumenében negatív mérleget mutat, amit az értékes acéltermékek nettó-exportja jelentős részben ellensúlyoz.

Az EU acéliparában leírt fejlemények mindamellett súlyosan érintették az acélipari vállalatokat. Számos vállalat került olyan helyzetbe, hogy gazdaságosságának fenntartása érdekében elbocsátásokat, időleges leállásokat határozott el.

Az EUROFER az acélipar növekvő nehézségeit látva többször is kiáltványt intézett az Európai Unió illetékes szervezeteihez. A legfrissebb felhívást a BKL Kohászat 2019. évi 3. számában tettük közzé. Ebben egyebek között a piacvédelem hatékonyságának javítását, a több országban alkalmazott piactorzító hatású intézkedések tiltását, az acéliparnak és termékeinek a fenntartható fejlődésben betöltött szerepének elismerését kérték.

## 5. Röviden a hazai helyzetről

A hazai acélipar egyike a legkisebbeknek az EU-ban; emiatt az átlagosnál súlyosabban érintik az Unió acéliparának problémái. A nyersacéltermelés az elmúlt évtizedben 1,5-2 Mt között változott. A kis volumen mellett további hátrány, hogy az EU acéliparának átlagához képest kicsiny a hozzáadott érték: a Dunafer eladásainak zöme alaptermék.

A felhasználó ágazatok (elsősorban a járműipar és az építőipar) teljesítménye hazánkban a járvány kitörése előtt látványosan nőtt, ami értelemszerűen az acélfelhasználást is növelte; 2019-ben legalább 3 Mt-ra tehető az ország acélfelhasználása, aminek nyersacél igénye ~ 3,5 Mt. Mivel a hazai nyersacélgyártó kapacitás ~ 2 Mt, már eleve jelentős nettó acélimportőr az ország; a gyártott és a felhasználók által igényelt termékválaszték közötti nagy különbség a lapostermékek esetében az importkényszert tovább növeli. Ez az acéláraktól függetlenül jelentős exportra kényszeríti a vállalatot, ami alacsony acélárak esetében veszteségessé válhat.

A járvány hatására nőttek a hazai acélipar problémái. Az erre vonatkozó információkat a Magyar Vas- és Acélipari Egyesülésnek a WSA-nak küldött adataiból vettük át, amelyeket a Dunafer Magazin c. szaklapban is publikáltak. A hazai acélfelhasználás ezek szerint a 7. táblázatnak megfelelően alakulhat: 2020-ban 7% csökkenés várható, amit 2021-ben 8%-os növekedés követhet.

A nyersacéltermelésben a pandémia hatása nyár végén jelent meg hátróztan: június és szeptember között 30%-kal csökkent a termelés (5. ábra). A gazdaság stabilizálódásával 2021-ben mérsékelt növekedéssel lehet számolni.

A hazai acélipari vállalatok a többi EU tagállam vállalataihoz hasonlóan nehéz helyzetbe kerültek. A sajtó elsősorban a Dunafer problémáiról számolt be, ahol a vezetés – hasonlóan más tagországi vállalatokhoz – a dolgozókat érintő intézkedéseket hozott.

A helyzetet enyhíthetné, ha – ugyancsak EU-példákat követve – az

állam módot találja a hazai vállalatok közvetett vagy közvetlen támogatására. Ilyen lehetőségek például:

- A legális támogatás lehetőségeit kihasználva támogatni a vállalatok környezetvédelmi és klímavédelmi fejlesztéseit.
- Az adópolitika lehetőségeit kihasználva csökkenteni a termelési költségeket.
- Import dömping elleni védelem. Ehhez a magyar kormány csatlakozzon az EUROFER acélkereskedelem korrekciójára vonatkozó javaslatához.
- Kormányzati stratégiai megállapodásokon keresztül szorgalmazni kellene a hazai gyártású acélipari termékek minél nagyobb mértékű felhasználását.
- A Paks II. beruházáshoz kapcsolódóan törekedni kell arra, hogy minél több hazai gyártású acéltermék (lapos- és hosszútermék) kerüljön felhasználásra. Ezt a beruházóval kötendő szerződésben is rögzíteni kellene.

## 6. Összefoglalás

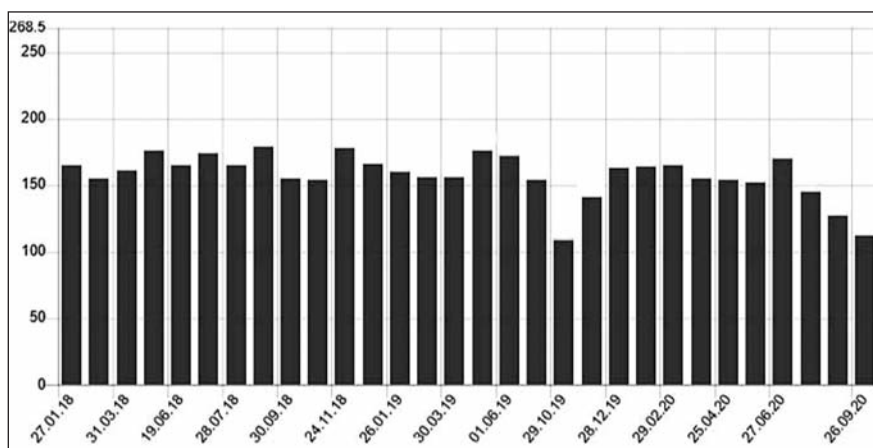
A Kínában korábban, majd Európában 2020 tavaszán kitört járvány a gazdaságot és azzal együtt az acélipart is világszerte nehéz helyzetbe hozta. A nemzetközi acélipari és pénzügyi szervezetek folyamatosan közölték ezzel kapcsolatos adataikat és értékelésüket, amelyek értelemszerűen csak az utóbbi hónapokra terjedhetek ki. Ezeket áttekintve legfontosabb megállapításaink az alábbiakban foglalhatók össze:

– A fejlett országok (EU, USA) gazdasága 2020-ban várhatólag ~ 4–8%-kal zsugorodik, Kínáé viszont kis mértékben nőhet. A fejlett régiókban ennek eredményeként jelentősen csökken az acélfelhasználás és a nyersacéltermelés.

– Az EU-ban az építőipar, a járműipar és a gépipar a legnagyobb acélfelhasználó; közülük az autóipar teljesítménye csökken legnagyobb mértékben (2020-ban kb.

**7. táblázat.** A látszólagos acélfelhasználás alakulása Magyarországon

	2017	2018	2019	2020 előrejelzés	2021 előrejelzés
<b>Látszólagos felhasználás (Mt)</b>	2,659	2,780	2,959	2,752	2,972
<b>Változás (%)</b>		4,6	6,5	- 7,0	8,0



■ 5. ábra. A hazai nyersacéltermelés alakulása 2018 januárja óta (kt/hónap)

26%). Az EUROFER 2021-re jelentős növekedést feltételez, de termelésük ezzel együtt kisebb lesz a válság előttinél.

– A látszólagos acélfelhasználás 2020-ban az EU-ban 16,6%-kal lehet kisebb az előző évinél.

– Az EU az elmúlt években jelentős nettó acélimportőrre vált, ami értelemszerűen csökkentette az EU-ban működő acélipari vállalatok eladási lehetőségeit.

– Az ágazat képviselői felhívták az EU illetékes szervezeteinek figyelmét a következményekre, és kérték a versenyképességük megtartásához szüksége állami beavatkozások lehetőségét.

– A hazai acélfelhasználás 2020-ban várhatólag 7%-kal lesz kisebb az előző évinél, ami tovább csökkenti az eladási lehetőségeket.

– A hazai acélipar egyike a legkisebbeknek az EU-ban, ami az átlagnál is sérülékenyebbé teszi. Emiatt más EU tagországokhoz hasonlóan szükség lenne a legális állami támogatások kihasználására.

#### Felhasznált források

Az alábbi szervezetek különböző dokumentumai:

World Steel Association (WSA) [www.worldsteel.org](http://www.worldsteel.org)

A World Bank ide vonatkozó dokumentumai [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)

Az EUROFER dokumentumai, állásfoglalásai [www.eurofer.org](http://www.eurofer.org)

Az OECD Steel Committee jelentései [www.oecd.org/industry/ind/steel\\_committee](http://www.oecd.org/industry/ind/steel_committee)

A Dunafer Magazín szaklap <http://dunaferr.hu/dunaferr-magazin>

THIELE ÁDÁM – HÁRI LÁSZLÓ – MAGYARI DOMONKOS

## Az acél kovácstűzbeli elégésének metallurgiai háttere – damaszkolt anyagokon kialakuló felületi hibák magyarázata

*A kovácshegesztés előtt a kovácstűzben túlhevített damaszkolt anyagoknál a későbbi felületkikészítés során gyakran jelentkezik a mintázat egy adott területen való eltűnésével járó fényes, foltszerű felületi hiba. Az elvégzett kísérletek és anyagvizsgálatok alapján úgy véljük, hogy a munkadarab elégése, hiccélése során szivacsos felrakódások alakulnak ki a munkadarabból kilövellő szilárd acélszemcsék összehegedésével, ezt a szivacsos felrakódást a munkadarab kovácsolásakor rendszerint vissza-kovácshegesztjük a felületbe. Damaszkolt termékek esetén viszont ez a maratás után láthatóvá váló, az értéket nagyban csökkentő mintázati hibához vezet. A cikkben bemutatjuk az acél kovácstűzbeli elégésének, hiccélésének általunk feltételezett metallurgiai hátterét, és azokat a fizikai-kémiai folyamatokat, amelyek a damaszkolt anyagok esetén később mintázati hibát okozó, szivacsos felrakódások kialakulásához vezetnek.*

### Bevezetés

A lágyvas (kis karbontartalmú bucavas, amely nem edzhető) és acél (nagy karbontartalmú bucavas, amely edzhető) rétegek összekovácsolásával készült réteges kompozitok („piled composites”) a damaszkolt pengék elődjeként már az időszámításunk előtti néhány században megjelentek Európában [1]. Ennek az eljárásnak csak a mechanikai tulajdonságok javítása volt a célja, nem pedig szép felületi mintázat kialakítása. A díszítő funkció csak később, a 2. századtól jelent meg, amikor pengék készítéséhez a lágyvas és acél mellett egy speciális, ma már nem

létező vasötvözetet, foszforvasat (nagy, kb. 0,4-1,5%-os – tömegszázalékos – foszfortartalmú bucavas) is elkezdtek felhasználni [2]. A damaszkolt kardpengéknek csak a középső része, késeknél pedig csak a penge foka volt damaszkolt, később pedig megjelentek a damaszkolt fémberakással („inlaid”) díszített pengék is. A damaszkolt sáv általában 7-14 rétegű és csavart mintázatú volt [4], és a penge élet többnyire acélból kovácsolták hozzá [3]. A foszforvassal történő díszítés egyszerűbb megjelenési formája volt, amikor csak egy vagy két foszforvas réteget („stripped”) vagy egy fogazott mintázatú („serrated”) foszforvas réteget kovácsoltak be a pengébe [5]. A damaszkol-

*Dr. Thiele Ádám 2010-ben okleveles gépészmérnökként végzett, majd 2015-ben PhD-fokozatot szerzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karán. Jelenleg egyetemi adjunktusként az Anyagtudomány és Technológia Tanszék munkatársa, kutatási területe az archeometallurgia. 2004 óta egyéni vállalkozóként kovácsol.*

*Dr. Hári László 1974-ben az NME KFFK főiskolán metallurgus üzem mérnöki, majd 1979-ban az NME Kohómérnöki Karán okl. kohómérnök képesítést szerzett. 1986-ban dr. univ., 1998-ban PhD-minősítést nyert. A dunaújvárosi főiskolán hosszú ideig a*

*Fizikai kémia, a Nyersvasgyártás és az Acélgégyártás c. tárgyak előadója volt. Jelenleg nyugdíjas, emellett külső óraadó a Miskolci Egyetem Metallurgiai Intézetében. Kutatási területe a kohászati folyamatok szimulációja.*

*Magyar Domonkos jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen a Gépészmérnöki Kar Gépészmérnöki Szak Anyagtechnológia specializáció hallgatója. A Gépészmérnöki Karon működő Alakítástechnikai Szakosztály elnöke. Az anyagvizsgálat, hőkezelés és szabadalakító kovácsolás iránt érdeklődik.*

lás a kardoknál egészen a 12. századig, késeknél pedig a 14. századig elterjedt díszítési technika maradt [2].

*Thiele Ádám* (a Bucavasgyúró) immár több mint két évtizede készít damaszkolt késeket, fokosokat a szakmában nagyon elterjedt C15 + 90MnCrV8 vagy C45 + 90MnCrV8 anyagpárosításokkal dolgozva. A damaszkolt anyagainál kezdettől fogva megfigyelt egy gyakran jelentkező, jellegzetes felületi hibát, a felület kikészítése (csiszolása és maratása) után a mintázat egy adott területen való eltűnését (1. és 2a ábra, a hátsó-belső borítón).

A hiba kiterjedése általában néhányszor tíz négyzetmilliméteres, de rosszabb esetben a négyzetcentiméteres nagyságrendbe is eshet. A hibás területen a mintázat helyett a szokásos 1-2 perces, kb. 60-80 °C-os kénsavas maratás után egy világos folt látható, amelynek alakja változó. A hibával nem érintett területen a maratás után a felület a mintázatnak megfelelően „recés” lesz, mert a 90MnCrV8 pár századmilliméterrel mélyebbre maródik, mint a C15 vagy a C45, így a damaszkolt anyag szép, réteges makroszerkezete láthatóvá, sőt tapinthatóvá válik. A hibás területen az anyag alig maródik, hasonlóan a C15-höz vagy C45-höz, és maratás után a kikészített felületből kiemelkedő „szigetként” marad meg.

Történelmileg hitelesen, bucavasakból előállított damaszkolt próbatesteken elvégzett mechanikai anyagvizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a közhiedelemmel ellentétben, a középkori Európában elterjedt damaszkolás elsődleges célja a díszítés, nem pedig a pengék mechanikai tulajdonságainak javítása volt, azokra előnyös hatást nem gyakorolt [6]. Ennek oka, hogy a damaszkolt pengékben díszítő céllal felhasznált tipikus foszforvas nagyon rideg, a szívósságát és alakíthatóságát jellemző mérőszámoknak mindegyike [ütőmunka (KV), fajlagos törési munka ( $W_c$ ), szakadási nyúlás (A) és kontrakció (Z)] közel nulla. Ebben a kontextusban a középkori damaszkolás díszítő szerepe még inkább felértékelődik. A leírt felületi hibák bizonyára a korabeli damaszkolási technikánál, másféle vasötözetek felhasználásakor is jelentkeztek (ma már ezek nem láthatók a több száz, vagy akár ezer éves, korrodálódott damaszkolt pengéken), és jelentősen csökkentheték a pengék értékét, így nagyon fontos lehetett ezek elkerülése.

A felületi hibák kialakulása a kovácshegesztés előtti túlhevítésre vezethető vissza. Mivel a damaszkolt anyagok kovácsolása során kis hőmérsékleten a rétegek szétválása könnyen megtörténhet (delamináció), az alakítást a kovácshegesztési hőmérséklet felső határáról (kb. 1350 °C) kell elkezdni. Ilyenkor azonban a munkadarab sarkai, élei, vékonyabb részei a kovácstűzben könnyen túlhevülhetnek, eléghetnek, „elhiccelhetnek” (a nagy hőmérsékleten szikrázva elégő acélra mondják azt a kovácsok, hogy „hiccel”, a kifejezés egy szakzsargon), és az ilyen területeken a felületkikészítés után rendszerint megfigyelhető a bemutatott mintázati hiba. De a hiba kialakulásának alaposabb magyarázatához és az elkerülése érdekében jobban meg kell érteni az acél kovácstűzbeli elégesének, hiccelésének a metallurgiai hátterét.

## Módszerek, eredmények

A damaszkolt anyagokon kialakuló felületi hibák vizsgálata érdekében C15 és 90MnCrV8 acélok felhasználásával 160

rétegből álló damaszkolt próbatestet kovácsoltunk (5 rétegből kiindulva, 3 réteg C15 és 2 réteg 90MnCrV8 felhasználásával, így 5 visszahajtással és kovácshegesztéssel volt elérhető a 160 réteg). A kb. 150 mm hosszú, 14 mm-es négyzet keresztmetszetű damaszkolt rúd mindkét végét túlhevítettük, elégettük a kovácstűzben. A tartós hícélés után szivacsos felrakódások alakultak ki a felületen. Ezeket a próbatest egyik végén meghagytuk, a másikon viszont vissza-kovácshegesztettük a felületbe (úgy, ahogyan ez a damaszkolt termékek kovácsolásakor is szokott történni). A próbatest ezután szabad levegőn hűlt le. A felületkikészítés során az átkovácsolt véget mind a négy oldalon, a másik végét viszont csak két oldalán csiszoltuk meg, így a próbatesten jól látható, hogy a lecsiszolt szivacsos felrakódások alatt a maratás után nem jelentkezik a mintázati hiba. Azon a végen viszont, ahol a szivacsos felrakódásokat vissza-kovácshegesztettük, a felületen nagy kiterjedésű mintázati hiba látható a maratás után (2a ábra).

Az acél kovácstűzbeli elégesének tanulmányozására C15 (S235) anyagminőségű 10 mm-es négyzetacélokat égettünk el, hagytunk tartósan hicceni. A tűzből kivett próbatesteket szabad levegőn hagytuk lehűlni. Elsősorban a próbatestek alsó felületén (a tűztérbe alulról fűjtük a levegőt, ld. később) nagyméretű szivacsos felrakódások alakultak ki (2b, c és d ábra, a hátsó-belső borítón). A 2b ábrán látható középen elégetett C15-ös próbatesten kétoldali szivacsos felrakódások alakultak ki. A 2c ábra elégetett hegyű C15-ös próbatesten nagyméretű szivacsos felrakódás látható, a 2d ábrán pedig egy ilyen szivacsos felrakódás keresztmetszeti csiszolata C15-ös próbatestből kivágott mintán.

A damaszkolt próbatest mindkét végéből kivágtunk egy-egy mintát, amelyeken metallográfiai vizsgálatokat végeztünk (3. és 4. ábra, a hátsó-belső borítón). Ezek során jól látható volt, hogy a damaszkolt anyag mintázata a szivacsos felrakódás (3a ábra) és a lencse alakú vissza-kovácshegesztett szivacsos felrakódás helyén (3b ábra) megszűnik, ezek a damaszkolt alapanyaghoz képest homogén, nagy karbontartamú (kb. eutektoidos), területekként mutatkoznak meg, alapvetően perlites szövetszerkezettel, kevés bainittel.

A 3a ábra felső részén a damaszkolt alapanyag megfigyelhető rétegzettségével szemben középen, fehér nyállal jelölve egy széles dekarbonizálódott sáv is látható (több ferrittel a szövetszerkezetben), amelynek a karbontartalma a legutolsó kovácshegesztés után eltelt kevés idő alatt nem tudott még karbondiffúzióval kiegyenlítődni a környezetével. Hasonló dekarbonizálódott réteg figyelhető meg a 4b ábrán is, szintén nyállal jelölve.

A damaszkolt mintákon megfigyelhető továbbá a C15 és 90MnCrV8 rétegek közötti karbondiffúzió miatt bekövetkező karbontartalom kiegyenlítődéssel (a próbatest a kb. 1 órás kovácsolás közben 1000-1350 °C hőmérsékletű volt). Az eredetileg C15 (0,15%-os karbontartalmú) rétegek szövetszerkezete főként perlites, kevés, vékonyhálós megjelenésű proeutektoidos ferrittel (4a és b ábra). Ez a szövet szerkezet kb. 0,5%-os karbontartalomnak felel meg. A 4a ábrán a damaszkolt alapanyag három rétege is látható a mikroszkópi kép jobb oldalán, a rétegek karbontartalmában csak kis különbség mutatkozik.

Metallográfiai vizsgálat céljából néhány C15-ös próbatestből szintén keresztmetszeti mintákat vágtunk ki (egy

reprezentatív mintát mutat be a 3c ábra). Ezek alapján elmondható, hogy a kis karbontartalmú alapanyaghoz képest a szivacsos felrakódások jelentősen felszenültek, karbontartalmuk nagyjából eutektoidos, szövetszerkeztük homogén, főleg perlités (4c ábra).

A 2b ábrán látható próbatest kialakulásához vezető kísérletről a YouTube-on megnézhető két videó. Az első videó három percen végig bemutatja a kísérletet: <https://youtu.be/sTaFsA93ZBc>. A második pedig az előbbi videó leglényegesebb szakaszának kinagyított és lelassított változata: <https://youtu.be/WGvC8uxPCow>.

## Diszkusszió – a hiccélés metallurgia magyarázata

A leírt jelenség keletkezésének okával kapcsolatban releváns irodalmi adatokat nem találtunk. A hiba kialakulásának körülményei a kovácsolás jellegéből kifolyólag meglehetősen bonyolultak és egzakt mérésekkel nehezen követhetők. Mi a metallurgiai ismereteink felhasználásával kísérletet tettünk a jelenség leírására és magyarázatára. A következőkben összefoglaljuk az általunk kidolgozott modell lényegét. A modell helyessége a rendelkezésünkre álló kísérleti és vizsgálati lehetőségekkel nem bizonyítható, de mellette szól, hogy logikus magyarázatot ad a bemutatott problémára.

A kísérleti eredmények értelmezésekor, az acél kovács-tűzbeli elégésére, hiccélésére és a munkadarab felületén megfigyelhető szivacsos területek kialakulására adandó metallurgiai magyarázatot három fő kérdés köré építjük fel:

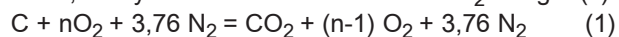
- 1) Az acél hiccélésekor megolvad-e az acélfázis, vagy csak a vas-oxid-fázis folyékony?
- 2) Mi a magyarázata az acél hiccélésekor a munkadarab látványos szikrázásának?
- 3) A szivacsos részeknek miért lesz nagyobb a karbontartalma (kb. eutektoidos) a munkadarab kiinduló karbontartalmához képest?

A damaszolt anyagok esetén továbbá kérdés, hogy miért lesz homogén a kialakuló szivacsos felrakódás vissza-kovácshegesztésével létrejött felületi hiba szövetszerkezete, és a felületkikészítés során miért nem maradik az ilyen terület?

A munkadarab felhevítendő részét a hevítési idő csökkentése érdekében általában a kovács-tűz legmelegebb

zónájába helyezzük. A kokszt a munkadarabot körbeveszi a kovács-tűzben, alatta (a munkadarab és a befúvónyílás között) is néhány cm-nyi izzó koksztérteg van (5a ábra). A kovács-tűz legmelegebb zónájában oxidál az atmoszféra (5b ábra). Ez azonban csak egy kis kiterjedésű zóna, amelynek mérete a befűjt levegő térfogatáramával változik. A levegőbefúvástól távolodva az oxidáló atmoszféra semlegesre, majd redukálóra vált. Egy hosszú munkadarab esetén tehát lesznek a munkadarabnak olyan részei, amelyek oxidáló, semleges és redukáló atmoszférán hevülnek. Ugyanez a helyzet, ha a kovács-tűzbe oldalról fújuk be a levegőt (vö. oldalszeles kovács-tűz).

A kovács-tűz kémiai alkotóit a C égéstermékei (CO, CO<sub>2</sub>) és az égési levegő maradékanyagai (O<sub>2</sub> és N<sub>2</sub>) teszik ki. Korlátozott mértékben megtalálható az alkotók között a tüzelőanyag nedvességtartalma is vízgőz formában, illetve a kovács-szén vagy a faszén esetén maradék lepárlási anyagok is (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>), melyek egy része részt vesz az égési reakciókban. A füstgázok speciális alkotója az SO<sub>2</sub>, amely a tüzelőanyagban levő kénvegyületek égéséből keletkezik. A levegőbefúvásnál található a legnagyobb oxigénkoncentráció, amelynek hatására a szilárd szén CO<sub>2</sub>-vé ég el (1):



A reakció exoterm jellegéből következően a levegő áramlási irányába esően a munkahőmérséklet megnő, maga az égési levegő fel nem használt része előmelegszik. A két tényezőtől fakadóan az égés sebessége is megnő. A folyamat előrehaladásával a gázok O<sub>2</sub>-tartalma egyre fogy, és a zérus oxigéntartalom környékén az égés sztöchiometrikussá válik. Hozzávetőleg ebben az állapotban éri el a rendszer a CO<sub>2</sub>-tartalom (és egyben az égéshőmérséklet) maximumát, ahol a gázok elvileg már zérus O<sub>2</sub>-tartalmat és még zérus CO-tartalmat mutatnak (vö. 5b ábra).

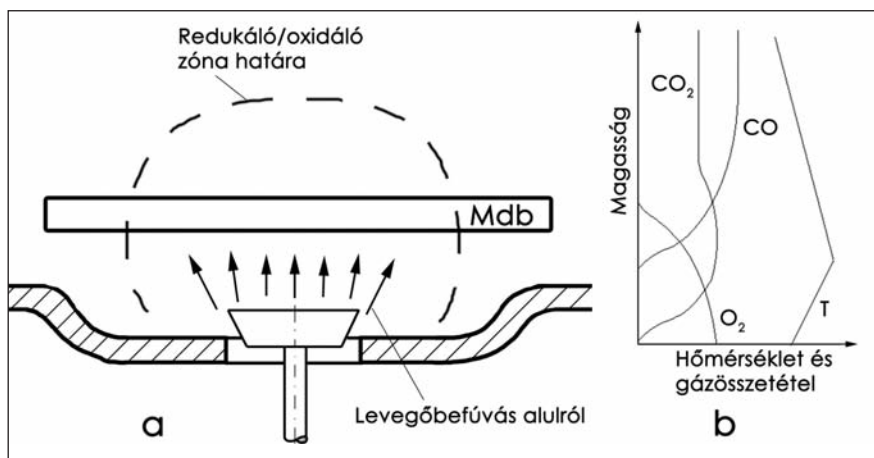
Az égés további fázisában a CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> gázelegy a nyomás és a felhajtóerő hatására továbbra is felfelé áramlik, és a CO<sub>2</sub>-tartalom reakcióba lép az izzó szénrel a közismert Boudouard-reakció (2) szerint:



A reakció endoterm, melynek hatására a munkatér hőmérséklete csökken, egyúttal a CO-tartalma növekedni kezd. Ezzel kialakul a kovács-tűzhely felső részében egy CO<sub>2</sub>-CO-tartalmú gázelegy, melynek összetétele a hő-

mérséklettől és a szilárd tüzelőanyag reakcióképességétől függ. A továbbiakban a nagy hőmérsékleten kialakuló, túlnyomórészt CO-t tartalmazó gázelegy 1000 °C alá hűl és a Boudouard-reakció megfordulásával a CO-tartalom csökken (vö. a Boudouard-görbe a 6c ábrán).

A kovács-tűz legmelegebb (a N<sub>2</sub> mellett túlnyomórészt CO<sub>2</sub>-ot tartalmazó), oxidáló atmoszférájú zónájában történhet meg a munkadarab elégése (6. ábra). A reveképződés kezdeti hőmérséklete 600 °C-ra becsülhető (az atmoszféra oxigéntartalmától függően). A reve főként wüstitből (FeO) és kevés magnetitből (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) áll, amelynek mennyisége a



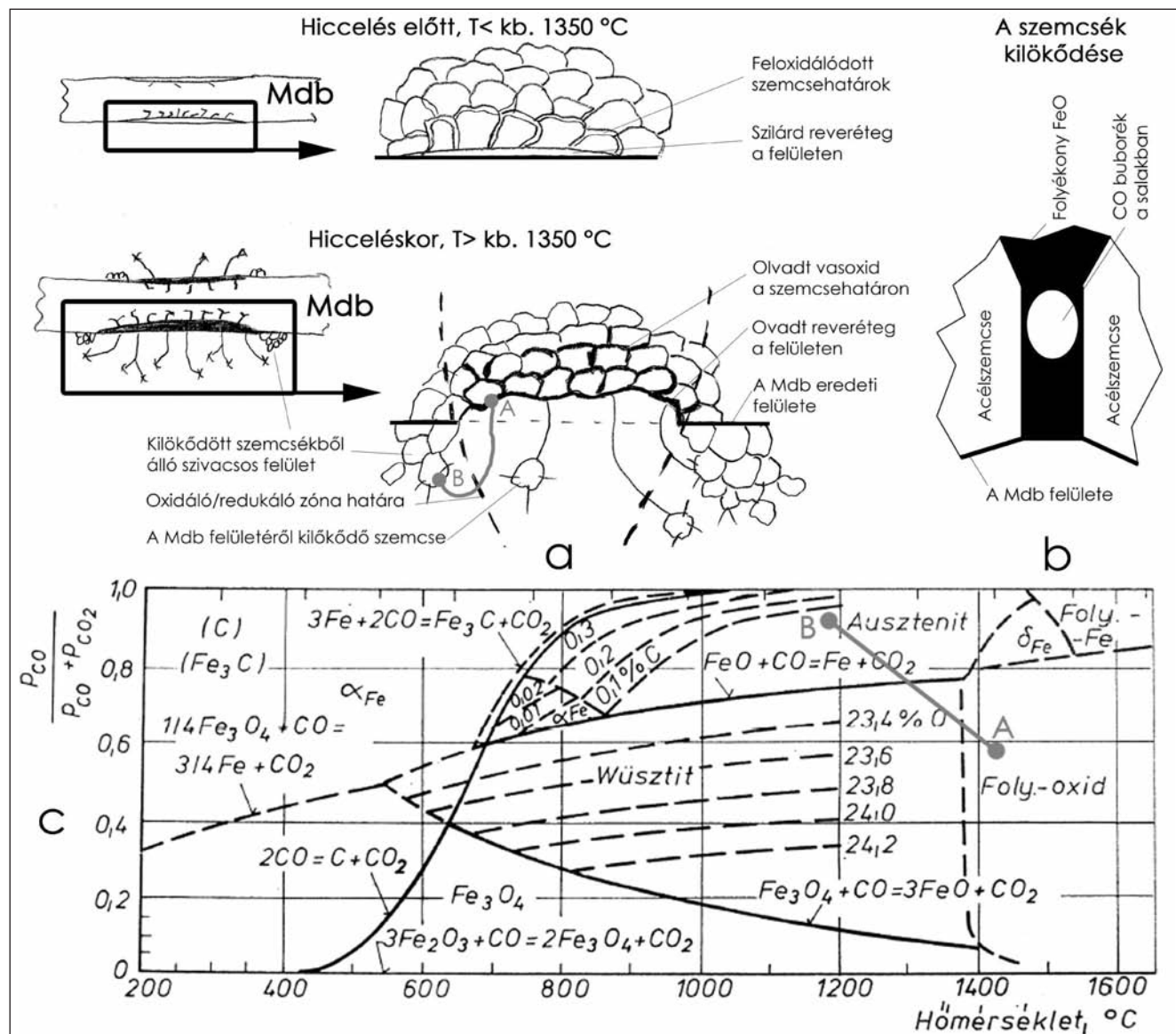
■ 5. ábra. Kísérleti elrendezés. a) A munkadarab elhelyezkedése a kovács-tűzben közepesen elégetett próbatest esetén (vö. 4a ábra), b) a hőmérséklet és a gázösszetétel változása a tűztérben

hőmérséklet emelkedésével tovább csökken. Kb. 1350 °C-os hőmérséklet alatt (6a ábra felső része) a felületet még szilárd halmazállapotú reveréteg borítja (a wüsztit olvadáspontja 1377 °C). A munkadarab kis mélységben a szemcsehatárok mentén már ekkor feloxidálódik [7, 8].

Kb. 1350 °C-os hőmérséklet felett a felületet borító és a szemcsehatárokon lévő vas-oxid megolvad (6a ábra alsó része), és úgy véljük, hogy az ekkor megjelenő folyékony vas-oxid-fázis ugrásszerűen megnöveli az acélfázis oxidációjának a sebességét. Ekkor következik be a munkadarab elégése, szikrázása, amit a kovácsok hiccélésnek neveznek. A bemutatott kísérletek és anyagvizsgálatok alapján úgy véljük, a hiccélés magyarázata, hogy egyrészt az olvadt vas-oxid szemcsehatárokon való megjelenésével a szemcsék közötti kohéziós kapcsolat gyengül vagy megszűnik, és egy folyékony vas-oxidból és szilárd acélszemcsékből álló kétfázisú tixomolding keletkezik. Másrészt pedig a gyorsan eloxidálódó szilárd acélfázis karbontartalma a folyékony vas-oxiddal reagálva heves CO gázképződés mellett ég ki az acélből, és a gáztenziója szilárd acélszemcséket és dugóként viselkedő folyékony revét lök ki a munkadarab felületéről. Maga a kis vagy közepes kar-

bontartalmú acélfázis a hiccélés során nem olvad meg (1350 °C-on legalább 1,2%-os karbontartalom szükséges az olvadt fémfázis megjelenéséhez, és a jelenségében nagy szerepet játszik, hogy a fémfázis olvadáspontja nagyobb, mint az oxidjáé).

A hiccélés során a szilárd fémfázis karbontartalmának elégésekor keletkező CO-ra jellemző egy adott egyensúlyi állandóhoz, azaz hőmérséklethez köthető parciális nyomás,  $p_{CO}$ . A CO nyomását és a CO-képződés sebességét az ausztentiben diffundáló C sebessége határozza meg. Az izobár dekarbonizáció következményeként keletkező CO egyéb hatásai nem szembetűnőek, mivel a megalakítás iparban elterjedt 1000-1200 °C-os hőmérsékletén a CO a pórusokat kitöltő szilárd, de porózus révén keresztül kidiffundál, így gázdinamikai jelenségek nem érzékelhetők. Ezek a viszonyok a reve megolvadásával azonban megváltoznak. Feltételezzük, hogy a korábban feloxidált, olvadt revével teli szemcsehatár pórusként viselkedik, és a pórusokban elhelyezkedő olvadt vas-oxid jól záró dugóként zárja el a kidiffundáló CO útját (6b ábra), melynek belsőjében a hőmérséklet növekedésével egyre nő a CO parciális nyomása. A CO távozását a kiegyenlített nyomásvi-



6. ábra. A munkadarab kovácstűzbeli elégésének és hiccélésének metallurgiai magyarázata

szonyok akadályozzák. A CO távozásának feltétele az, hogy a képződő CO nyomása ( $p_{CO}$ ) legyőzze a külső ( $p_0$ , atmoszférikus) és a kapilláris nyomás ( $p_{kap}$ ) összegét (3):

$$p_{CO} > p_0 + p_{kap} \quad (3)$$

A (3) egyenletben foglalt feltétel teljesülésekor a CO robbanásszerűen távozik a kapillárisból, olvadt salakot és szilárd acélszemcséket kilövellve, ez jelentkezik a hiccéléskor szikraeső képében. A szikrák mennyisége, nagysága és tömegárama úgy véljük, a C-tartalommal és a hőmérséklettel nő.

A kirepülő szemcsék egy része az oxidáló atmoszférában teljesen wüsztitté ég el, más része kijutva onnan, redukáló atmoszférán felszenül. A 6a ábra alsó részén látható egy kitüntetett szemcse, amely a nagy hőmérsékletű, oxidáló atmoszférájú (vö. Fe-C-O rendszer, 6c ábra) „A” pontból indul, majd az oxidáló zónából kijutva a kisebb hőmérsékletű, már redukáló atmoszférájú „B” pontba érkezve hozzáheged a már ott lévő, szivacsos felrakódást alkotó többi szemcséhez. A munkadarab oxidáló atmoszférán eléggő anyagából kilökődő acélszemcsék tehát a munkadarab semleges, enyhén redukáló atmoszférán lévő részén összegyűlnek, összehegednek (diffúziós hegedés), így alakulnak ki a munkadarab felületén a hiccélés után megfigyelhető szivacsos felrakódások (a munkadarab oxidáló atmoszférán eléggő anyagából keletkező folyékony vas-oxid feltételezhetően szintén kijuthat a tűztér redukáló zónájába és visszaredukálódhat színvassá). Ennek a nagy fajlagos felületű szivacsos fémfázisnak a karbon tartalma egyensúlyt tart a gázatmoszféra adott területre jellemző karbonpotenciáljával, így az alapanyag eredetileg alacsony karbon tartalma esetén is képes erősen felszenülni (ld. a C15-ös próbatest felszenült szivacsos felrakódásait a 3c ábrán). A felszenülés feltételezhetően már a szemcse röptében, amikor az a redukáló zónába ér, részben megtörténik, a szemcse nagy fajlagos felülete és a nagy hőmérséklet miatti gyors karbondiffúzió következtében.

Úgy gondoljuk, hogy a damaszkolt anyagok esetén azért lesz homogén és nehezen maródó a kialakuló szivacsos felrakódás vissza-kovácshegesztésével létrejött felületi hiba, mert nem tartalmaz a karbonon kívül más ötvözőt, a karbon eloszlása pedig egyenletes benne (ld. a 3. és 4. ábrán bemutatott csiszolatok). Bár a szivacsos felrakódás fémfázisa részben az ötvözött 90MnCrV8-ből származik, a Mn, a Cr és a V nagyobb oxigénhez való affinitásuk miatt a 90MnCrV8 szemcsékből még a szén megelőzve kiégnek (az ötvözők hiányát később még SEM-EDS, ill. GDOES mérésekkel próbáljuk meg igazolni). Az ötvözőket nem tartalmazó egyszerű szénacélnak tekinthető lencse alakú vissza-kovácshegesztett mintázati hibák tehát az ötvözőket nem tartalmazó C15-höz vagy C45-höz hasonlóan világos területként jelentkeznek a felületkikészítés után.

A munkadarabnak a tűztér oxidáló zónájában égő anyagában és a szivacsos felrakódásban a szemcsehatárokat körülvevő olvadt vasoxidban úszó acélszemcsék kétfázisú, tixomolding-jellegű anyagot alkotnak, amely egyszerűen a súlyánál fogva lefolyhat a munkadarab alsó részére (egy ilyen tixomolding csepp lecsöppenése megfigyelhető a korábban hivatkozott második videón is) és a munkadarabtól elválva egy salakos-szivacsos vasrög gyűlhet össze a tűztér alján vagy szélén, ahol az atmoszférától

függően elég vagy felszenül. Az ilyen égő vasrögök még sokáig szórják a kovácstűzben a szikrát egy elhiccelt munkadarab eltávolítása után is. Az el nem égő vasrögök viszont egy nagyobb, szivacsos, vasbucaszerű röggé állhatnak össze (a japán vasművességben ezt „kerának” nevezik).

## Összefoglalás

Az acél kovácstűzbeli elégésének, hiccélésének metallurgiai magyarázatára elméleti modellt dolgozunk ki. Ennek alapján legfontosabb következtetéseink az alábbiak:

1) A kis és közepes karbon tartalmú acélfázis a hiccéléskor nem olvad meg.

2) A hiccélés közben megfigyelhető látványos szikrázás feltételezett magyarázata, hogy a szemcsehatárokon megjelent reve a nagy hőmérsékleten (kb. 1350 °C felett) megolvad, és a szemcsehatárok között egy folyékony salakdugót képez, amely elzárja az acélfázis karbon tartalmának és az olvadt revét alkotó folyékony wüsztitnek a reakciójából keletkező CO útját. Amikor a képződő CO nyomása legyőzi a külső és a kapilláris nyomás összegét, a CO robbanásszerűen távozik a kapillárisból, olvadt salakot és szilárd acélszemcséket kilövellve. Ez jelentkezik szikra képében.

3) Mivel az acél munkadarab égése csak a tűztér kis kiterjedésű, oxidáló zónájában megy végbe, a hiccélés során az innen kirepülő szemcsék egy része kijutva onnan, a munkadarab redukáló atmoszférán hevülő felületéhez heged, ahol a kialakuló nagy fajlagos felületű szivacsos fémfázis karbon tartalma egyensúlyba kerül a gázatmoszféra adott területre jellemző karbonpotenciáljával, és bekövetkezik a felszenülése.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretnénk megköszönni a Gépészmérnök Képzésért Alapítványnak a kutatáshoz nyújtott eszköztámogatását.

## Irodalom

- [1] Jones, L. A. 2002. Blade Construction and Pattern-Welding, [in:] I. Peirce, Swords of the Viking Age, Woodbridge: The Boydell Press, pp. 145–151.
- [2] Tylecote, R. F.; Gilmour, B. J. J. 1986. The Metallography of Early Ferrous Edge Tools and Edged Weapons, BAR British Series 155, Ox-ford: B.A.R., pp. 146–262, 251–252.
- [3] Böhne, C.; Dannheimer, H. 1961. Studien an Wurmunklingen des frühen Mittelalters, Bayerische Vorgeschichtsblätter 26, pp. 107–122.
- [4] Jones, L. A. 1997. The Serpent in the Sword: Pattern-Welding in Early Medieval Swords, „Park Lane Arms Fair Catalogue” 4, pp. 7–11, online változat <<http://www.vikingsword.com/serpent.pdf>>
- [5] Hošek, J. 2011. Serrated welds in medieval knives from territory of the Czech Republic and elsewhere, előadás, Stará huť u Adamova, Iron Smelting and Processing Days.
- [6] Thiele, Á. – Hošek, J. – Kucypera, P. – Dévényi, L. 2015: The Role of Pattern-Welding in Historical Swords – Mechanical Testing of Materials Used in Their Manufacture. Archaeometry 57/4, 720–739.
- [7] Wolf M. M.: Scale Formation and Descaling in Continuous Casting and Hot Rolling. Part II. Ironmaking and Steelmaking. February 2000. p. 66.
- [8] Biroscá S., West G. D. and Higginson R. L.: Microstructural investigation of the oxide scale on low carbon steel METAL 2005 24. – 26.5.2005

MAJOROS CSABA – SZABÓ RICHÁRD – MOLNÁR DÁNIEL

## Kettős működtetésű utántömörítés hatása a vastag falú nyomásos öntvény belső térfogati inhomogenitására

A közlemény a kettős, direkt és indirekt utántömörítési technológia megvalósítását, a szerszám kialakítását és az öntési technológia működési paramétereinek a hatását mutatja be. A kutatómunka keretében változtatták az utántömörítést létrehozó squeeze tüske indításának időpontját a formatelés, azaz a 2. fázis idejéhez viszonyítva. Az öntvény helyi megszilárdulási viszonyaihoz képest a korai, még nem hatásos, és a késői, már nem utántömöríthető állapot közötti működtetés tartományában a belső térfogati üregek és a szövetszerkezeti inhomogenitások változása alapján határozták meg az optimális technológiai paramétereket.

### Az utántömörítési technológia alkalmazásának összefüggései

Az utántömörítési (squeeze) technológia alkalmazásának célja a nyomásos öntvény anyaghalmozódási helyén a megszilárduláshoz tartozó zsugorodás miatt kialakuló belső üregek, porozitás csökkentése, ezáltal az öntvény helyi tömörségének javítása.

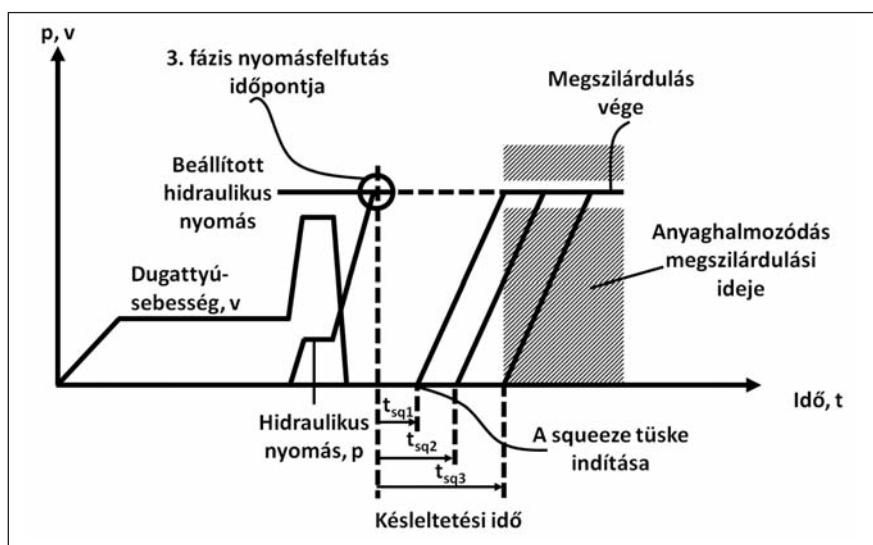
Az utántömörítési technológia tervezésénél meghatározó az adott öntvény megszilárdulása közben kialakuló zsugorodást és ennek figyelembevételével az utántömörítési térfogatot, melyet külső térfogat benyomásával (indirekt), vagy belső térfogat kiszorításával (direkt) állítanak elő.

A kettős (direkt és indirekt) működtetésű utántömörítés megoldása saját fejlesztés, mely a jelentős térfogatú zsugorodás csökkentése miatt szükséges.

A kutatómunka keretében változtattuk az utántömörítési térfogatot létrehozó squeeze tüske indításának időpontját a formatöltés (2. fázis) idejéhez viszonyítva. Az öntvény helyi megszilárdulási viszonyaihoz képest a korai (még nem hatásos) és a késői (már nem lehet utántömöríteni) állapot közötti optimális működtetés tartományban a belső térfogati és a szövetszerkezeti inhomogenitások vál-

tozása alapján határozhatók meg az optimális technológiai paraméterek.

A nyomásos öntvényekben kialakuló térfogati inhomogenitást okozhatják a levegőbezáródások és a megszilárduláshoz tartozó térfogatcsökkenés. A levegőbezáródások miatt kialakuló üregek csökkentését a fémre ható nagy nyomás alkalmazása segíti elő. A megszilárdulás közben kialakuló térfogatú zsugorodás (5-7%) hatására kialakuló belső térfogati inhomogenitás csökkentése a beömlőrendszerből történő utántáplálással csak részlegesen teljesíthető.



1. ábra. A squeeze tüske működési jellemzői a nyomásos öntési technológia folyamatában [1]

**Majoros Csaba** a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Karán 2013-ban szerzett BSc-oklevelet, majd 2015-ben a Műszaki Anyagtudományi Karon öntész szakirányos kohómérnöki diplomát. Jelenleg a Műszaki Anyagtudományi Kar Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola doktorandusza. Kutatási témája a nyomásos öntvények gyártástechnológiájának optimalizálása. A Csaba Metál Zrt. vezérigazgatója.

**Szabó Richárd** a Miskolci Egyetem Kohómérnöki Karán 1996-ban szerzett öntész szakirányos kohómérnöki diplomát, 2012-ben nyomásos öntészeti technológia optimalizálása témában PhD tudományos fokozatot. 2020. február 1-től a Csaba Metál Zrt. cégvezetője.

**Molnár Dániel** életrajza a BKL Kohászat 2016/2. szám 9. oldalán található.

tő, mert a bekötőcsatorna megszilárdulási ideje rövidebb, mint az öntvényé. Az azonos falvastagságú öntvényekben a zsugorodás miatt középvonal menti porozitás alakul ki, az egyenetlen falvastagságú öntvényeknél az anyaghalmozódási helyeken koncentrált üregek és dendritközi porozitás jön létre. Ez a helyi utántömörítés technológia alkalmazásával csökkenthető a gyakorlati körülmények között [1].

A nyomásos öntés működési paramétereire igazodó utántömörítés megvalósítását az 1. ábra szemlélteti.

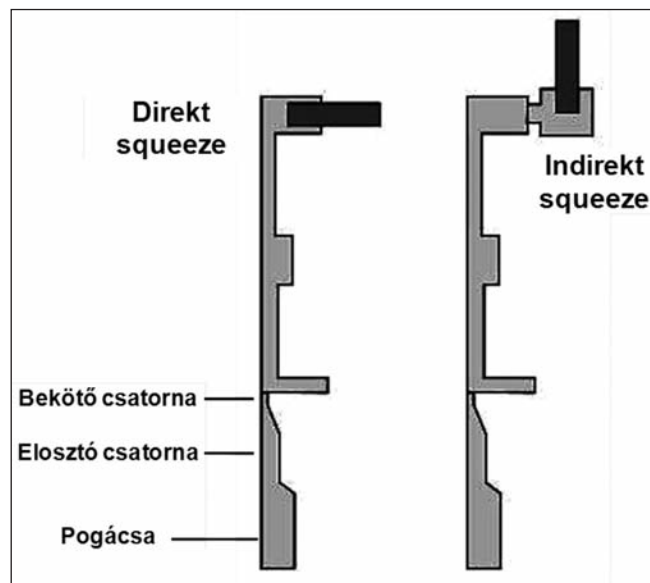
Az utántömörítő térfogatnak az öntvény geometriájához viszonyított helyzete alapján kétféle megoldást alakítottak ki. A közvetlen megoldás (direkt squeeze) az öntvény geometriáján belül végzett térfogat-kiszorítás, a közvetett (indirekt squeeze) megoldás az öntvénygeometrián kívüli fémtérfogatot sajtol be az öntvénygeometria szerinti térfogatba. Az utántömörítés megoldásának az elvi elrendezése a 2. ábrán látható.

A sikeres utántömörítés előfeltétele, hogy az indítási idejénél a bekötőcsatorna már megszilárdult, ezáltal a nagy sajtolási nyomás hatása az anyaghalmozódási helyen belül érvényesül, és nem tud visszanyomni fémet a beömlőrendszerbe. A sajtolási nyomás sokkal nagyobb, mint az öntő dugattyú által létrehozott fémre ható nyomás. Az utántömörítési technológia fontos paramétere a késleltetési idő, ami a 3. fázis indítása és az utántömörítő tüske bejáratása között eltelt idő (1. ábra).

Ha a késleltetési idő túl rövid, akkor a préselési nyomás eloszlik az egész formaüregben, és az anyaghalmozódási helyen a hatékony összepréselés nem történik meg. Ha a besajtolást megelőző késleltetési idő túl hosszú, akkor a porozitásokat már megszilárdult réteg veszi körül, amelyet csak aránytalanul nagy sajtolási nyomással lehet összepréselni. Az utántömörítés késői indítása esetén a nagy helyi nyomás a megszilárdult rétegben maradékalakváltozást, tőle távolabb melegrepedés kialakulását idézi elő.

Összegezve a sikeres utántömörítési technológiának a következő feltételei vannak:

– A tömörítési térfogatot, a tömörítő tüske átmérőjét és úthosszát úgy kell méretezni, hogy elegendő olvadékok nyomjon az öntvényrész megszilárdulása közben kialakuló zsugorodási üregek kitöltésére [3].



■ 2. ábra. A squeeze utántömörítés megoldásai [2]

– A késleltetési időt úgy kell megválasztani, hogy az utántömörítési folyamat a bekötő csatorna megszilárdulását követően a legkorábban elinduljon.

– A sajtolótüske nyomását úgy kell méretezni, hogy alkalmas legyen a maradék olvadéknak a részlegesen megszilárdult öntvényrészek üregeibe préseléséhez, de nem lehet olyan nagy, hogy a megszilárdult környezetben repedéseket idézzon elő [4].

### A kettős működésű utántömörítési technológia alkalmazása

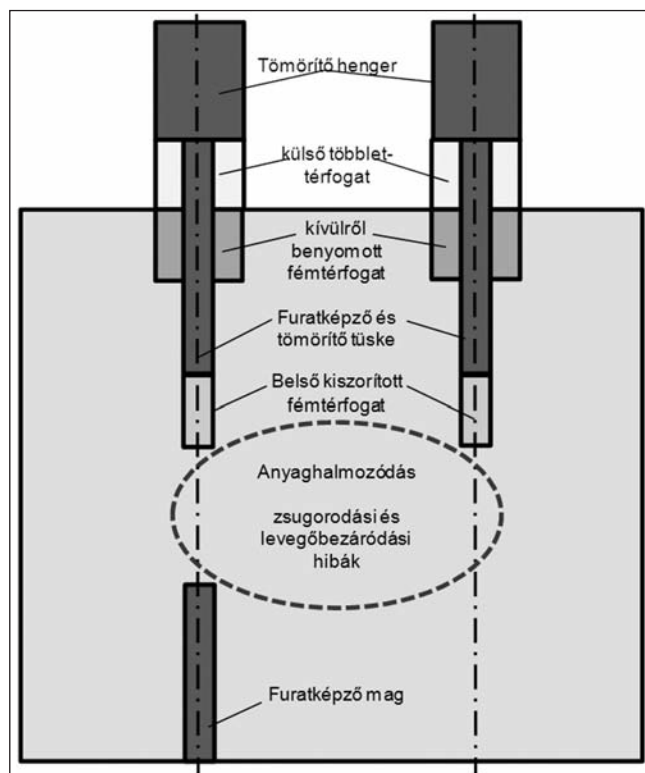
A saját üzemi kísérletek célja egy nagy falvastagságú hajtóműházöntvényben kialakuló inhomogenitási hibák csökkentésére irányuló kutatómunka kettős működésű utántömörítés megvalósításával.

Az utántömörítési technológia tervezésénél meghatároztuk az adott öntvény megszilárdulása közben kialakuló zsugorodást és ennek figyelembevételével az utántömörítési térfogatot, melyet külső térfogat benyomásával (indirekt) és belső térfogat kiszorításával (direkt) állítottunk elő.

A kutatómunka keretében változtattuk az utántömörítési térfogatot létrehozó squeeze tüske indításának időpontját a formatöltés (2. fázis) idejéhez viszonyítva. Az öntvény helyi megszilárdulási viszonyaihoz képest a korai (még nem hatásos) és a késői (már nem lehet utántömöríteni) állapot közötti optimális működtetési tartományban a belső térfogati és a szövetszerkezeti inhomogenitások változása alapján határozhatók meg az optimális technológiai paraméterek.

Az utántömörítés kísérleti megoldásának vázlata a 3. ábrán látható.

A kívülről benyomott fémtérfogatban és a befogadó önt-



■ 3. ábra. A kettős működtetésű utántömörítés vázlata

vényrészben a folyékony-szilárd halmazállapot aránya a squeeze működtetés késleltetési idejétől függően eltérő. A külső, hengeres többlettér fogat szilárd hányada mindig nagyobb, mint a befogadó öntvényrészé, ezért annak felületén, a henger palástján kialakult oxidhártya is benyomódik.

Az anyaghalmozódás belső részén a tömörítő tüske tengelyirányú betolása által kiszorítja a térfogatának megfelelő fémet a környezetébe, azaz a késleltetési időtől függően eltérő szilárd-folyékony arányú öntvényrészbe.

A tömörítő tuskét a meghatározott várakozási idő után visszahúzzák a túlmelegedéséből eredő meghibásodás csökkentése miatt. Adott várakozási idő és rövid késleltetési idő esetén az anyaghalmozódási helyen a nyomás alatt lévő folyékony fém benyomódik a tüske kihúzása közben létrejövő hengeres üregbe.

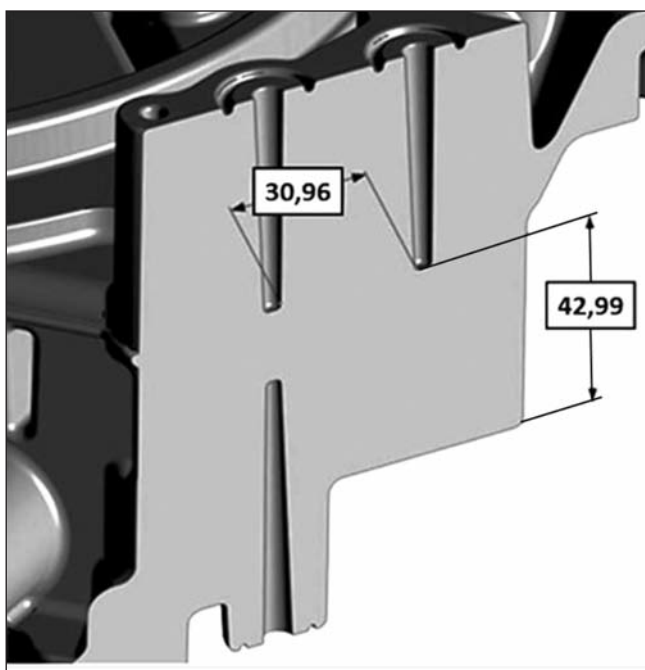
Az utántömörítési technológia működtetési paraméterek meghatározása olyan optimalizálásra irányuló kísérleti munkát igényel, melyhez hozzá tartozik az utántömörített öntvény belső térfogati inhomogenitásának és a szövet szerkezeti inhomogenitásának a vizsgálata és kiértékelése.

### Kísérleti körülmények

A kettős működésű utántömörítési technológia fejlesztését és a kísérleteket egy üzemi, nagy falvastagságú öntvény gyártásánál alkalmaztuk:

- az öntvény tömege: 7,5 kg
- a beömlőrendszer és a túlfolyók össztömege: 5,0 kg
- a csokor össztömege: 12,5 kg
- az öntvény legkisebb falvastagsága: 5,0 mm
- a legkisebb falvastagsághoz tartozó dermedési idő: 0,63 s
- az anyaghalmozódási hely falvastagsága: 18,0 mm
- az anyaghalmozódási helyhez tartozó dermedési idő: 8,1 s
- a bekötő csatornák vastagsága: 5,5 mm
- a bekötő csatornák szimulált megszilárdulási ideje: 1,2 s

Az anyaghalmozódási hely 3D geometriájának metszete és adatai a 4. ábrán láthatók.



■ 4. ábra. A kísérleti öntvényen az anyaghalmozódási hely metszete

A szerszámot OMS 2350 típusú vízszintes nyomásos öntőgépre szerelve működtettük.

Az öntőgép működtetési paraméterei:

Tényleges multiplikált nyomás: 360 bar

Tényleges fémmre ható nyomás: 852 bar

Térfogatáram: 55748 cm<sup>3</sup>/s

Öntődugattyú sebessége a 2. fázisban: 4,2 m/s

A fém áramlási sebessége a bekötőben: 38 m/s

Az első fázisban a dugattyú mozgatása állandó gyorsulással (Parashot) történik.

A squeeze utántömörítés geometriai adatai és működési paraméterei:

Az indirekt besajtolást végző tüske átmérője: 14,0 mm

A direkt fémkiszorítást végző tüske átmérője: 5,0 mm

A squeeze utántömörítés úthossza: 14,0 mm

A squeeze indirekt utántömörítési térfogat: 2 x 1,88 cm<sup>3</sup>

A squeeze direkt utántömörítési térfogat: 2 x 0,28 cm<sup>3</sup>

A teljes utántömörítési térfogat: 4,31 cm<sup>3</sup>

A squeeze utántömörítés számolt elméleti nyomása:

5878 bar

A squeeze tüske benyomott állapotban tartásának időtartama: 8,0 s

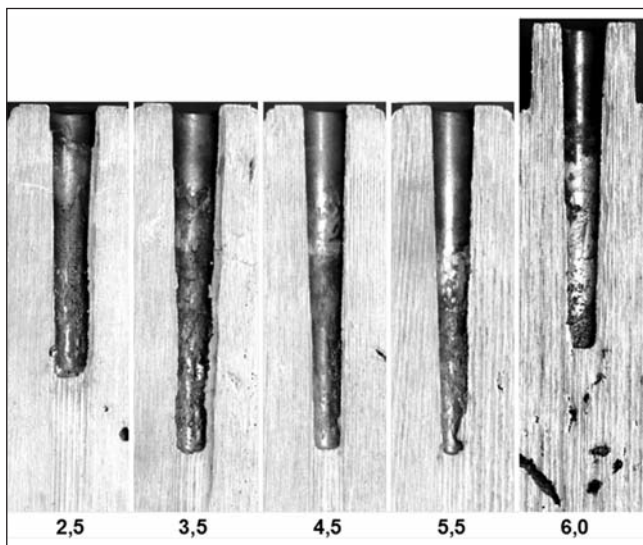
### Kísérleti eredmények

A kettős működésű utántömörítési technológia alkalmazási kísérleteket a tömörítő tüske indításának változtatásával, különböző késleltetési idő értékek beállításával végeztük el. A késleltetési időt 0,0 és 6,0 s tartományban 0,5 s-mal növeltük, és a 13 eltérő beállítással öntöttük a kísérleti öntvényeket.

A kiértékelést a squeeze technológiával utántömörített öntvényrész kivágása után, a tuskék által létrehozott furatok középsíkjában elfűrészeltük, és a metszeten a térfogati inhomogenitást vizsgáltuk.

A különböző késleltetési idő értékek beállításával öntött kísérleti öntvények utántömörítő tuskével kialakított furatának a metszete az 5. ábrán látható.

A tömörítő squeeze tüske által létrehozott sima felületű, hibamentes furat a palást teljes hosszában a 3,5 és 5,0 s közötti késleltetési idő esetén alakult ki.



■ 5. ábra. Az utántömörítési furatról készített felvételek különböző késleltetési időnél

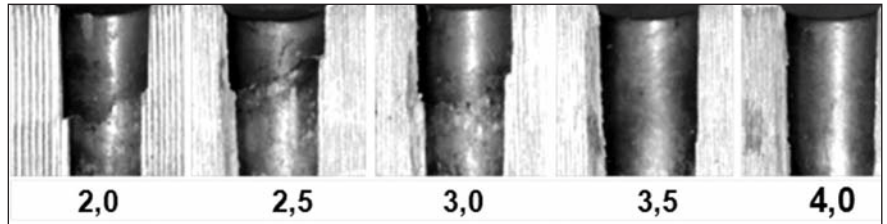
A 3,0 s és ennél kisebb késleltetési idő esetén a tűske kihúzásakor az anyaghalmozódás közepén lévő, még folyékony állapotú és nagy nyomás alatt lévő olvadék benyomódott a tűske által létrehozott üregbe.

A 6,0 s késleltetési idő esetén a tömörítő tűskét már nem lehet benyomni az öntvényrészbe, mert az öntvény külső részének a helyi szilárdsága nagyobb, mint a bepréssel létrehozható nyomófeszültség. Ilyen körülmények között a tűske kihúzása közben a rádermedt fémgyűrű leszakad az öntvényről, és a szerszám nyitása után is a tűskén marad, melynek eltávolítása miatt az öntési folyamat megszakad.

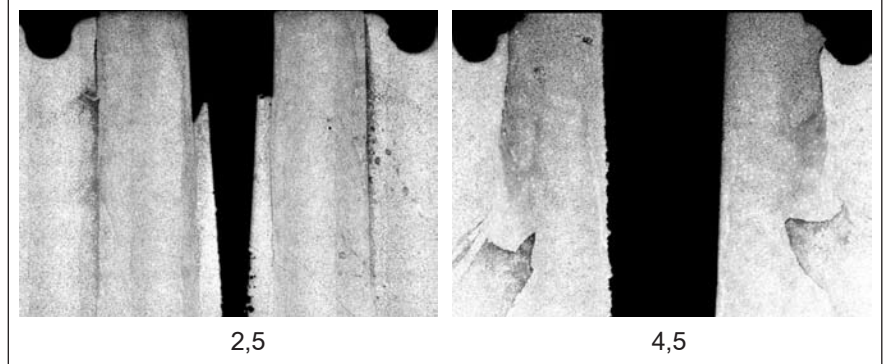
A tömörítő tűske által létrehozott furat legjobb, szabályos geometriája a 4,5 s késleltetési időnél alakult ki.

Az utántömörítési technológia leginkább sérülékeny és ezért kritikus eleme a tömörítő tűske. A kísérleti öntvény utántömörített részének a geometriája olyan, hogy az abban lévő megmunkált furatok kis átmérője és ennek mintegy tízszeres hossza nem teszi lehetővé a belső hűtéssel kialakított squeeze tűske alkalmazását. A hűtés nélküli hosszú és vékony tűske a benyomása után az olvadékkal érintkezve nagyon gyorsan fölmelegszik, és a felületén lévő fémréteg megszilárdul. A tűske visszahúzásakor a felületén megtapadt réteg a környezetéből kiszakad és a tűskével együtt mozog kifelé. A megtapadt réteg a furat felső részében a tűske kihúzási pozíciójához tartozó helyen megáll, és cső alakú geometriája önálló határfelülettel megtalálható. A furat belső részén a különböző késleltetési időnél kialakuló tapadványról készített felvételek a 6. ábrán láthatók.

A squeeze tűskére tapadó fémréteg 3,0 s és az alatti késleltetési idő esetén jön létre. Ennél nagyobb késleltetési idő esetén a furat belső felületén tapadvány okozta inhomogenitást nem találunk.



6. ábra. A furat belső felületén kialakuló tapadvány képe



7. ábra. A furat felső részén a 2,5 és 4,5 s késleltetési időhöz tartozó metszet mikroszkópos felvétele

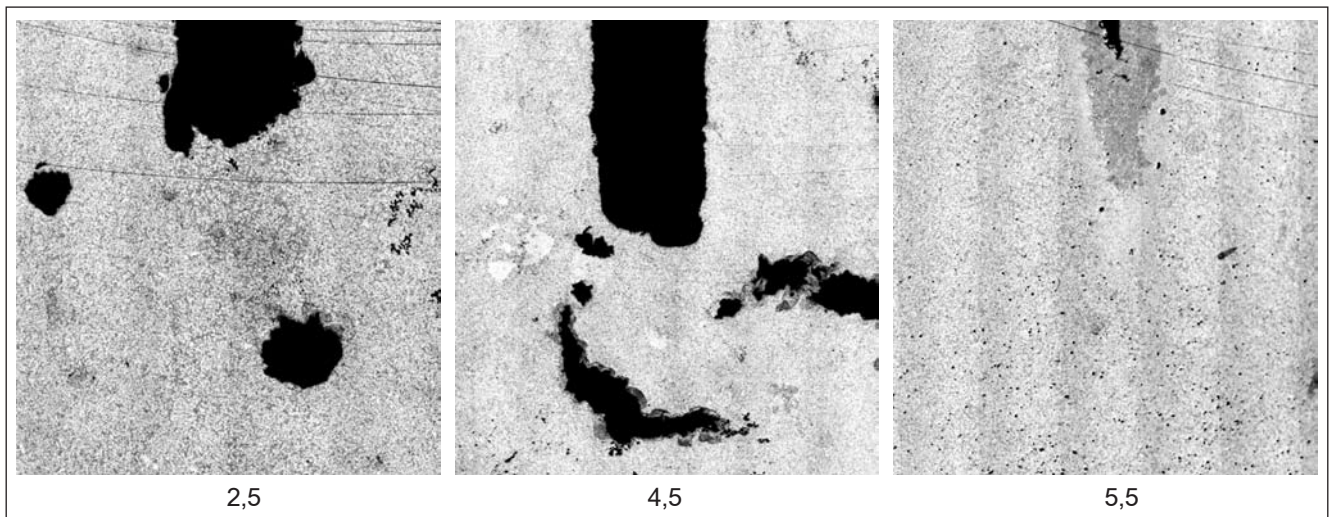
A furat felső részén a 2,5 és 4,5 s késleltetési időhöz tartozó metszetről készített mikroszkópos felvételek a 7. ábrán láthatók.

A furat alsó részén a 2,5 s; a 4,5 s és az 5,5 s késleltetési időhöz tartozó metszetekről készített sztereomikroszkópos felvételek a 8. ábrán láthatók.

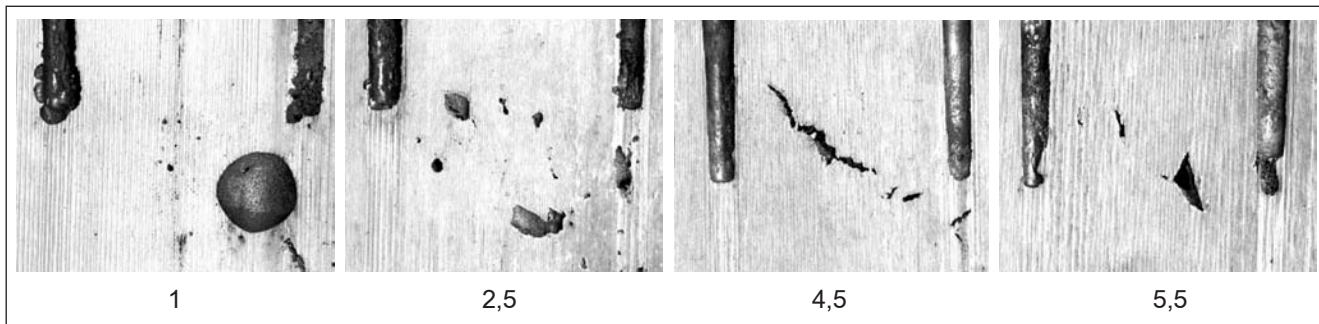
A kettős működésű utántömörítési technológia alkalmazásának célja az anyaghalmozódási helyen a belső térfogati inhomogenitási hibák (üreges és porozitás) csökkentése, az öntvényvel szemben támasztott megmunkálás utáni nyomástömörségre vonatkozó követelmény teljesítése.

Az anyaghalmozódási hely furatai közötti belső részének térfogati inhomogenitása a 9. ábrán látható.

1,0 s késleltetési idő esetén nagyméretű és sima belső felületű üreget látunk a metszeten, melynek az összepréselt levegő bezáródásból való létrejöttét a tűske kihúzásakor kialakuló nyomáscsökkenés segítette



8. ábra. A furat alsó részén a 2,5 s; a 4,5 s és az 5,5 s késleltetési időhöz tartozó metszet mikroszkópos felvétele



■ 9. ábra. Az utántömörített öntvényrészről készített felvételek különböző késleltetési időnél

elő. Az anyaghalmozódási helyen a belső térfogati inhomogenitás a késleltetési idő 3,5 s-ig növelésével csökken.

A késleltetési idő 4,5 s és ennél nagyobb értékénél repedés jellegű belső térfogati inhomogenitás alakul ki az anyaghalmozódási helyen az utántömörítés megszilárdult szerkezetet felszakító hatása miatt.

Az anyaghalmozódási helyen a belső térfogati inhomogenitás vizsgálata és kiértékelése alapján a 3,5–4,5 s késleltetési idő szerint előállított kísérleti öntvények a legjobbak.

### Összefoglalás

Az eltérő falvastagságú nyomásos öntvények anyaghalmozódási helyein kialakuló belső térfogati inhomogenitások, üregek és porozitás csökkentésére az utántömörítési technológia alkalmazása lehet a megoldás.

Egy üzemi nagy falvastagságú nyomásos öntvény belső térfogati inhomogenitási hibáinak csökkentésére saját fejlesztésű, kettős működésű (direkt és indirekt egyszerre) utántömörítési technológiát fejlesztettünk ki, melynek a hatását a kutatómunka keretében eltérő késleltetési idő beállítások alkalmazásával vizsgáltuk.

A kutatómunka keretében változtattuk az utántömörítési térfogatot létrehozó squeeze tüske indításának időpontját a formatöltés (2. fázis) idejéhez viszonyítva.

Az utántömörítési technológia beállítási, működtetési paramétereinek optimalizálása az öntvény anyaghalmozódási helyén kialakult belső térfogati inhomogenitás vizsgálata és kiértékelése alapján történhet.

**Az eredmények alapján, a vizsgált nagy falvastagságú geometria esetén, az alábbi megállapítások tehetők:**

A tömörítő squeeze tüske által létrehozott sima felületű, hibamentes furat teljes hosszban a 3,5 és 5,0 s közötti késleltetési idő esetén alakult ki.

Az 1,0 s és ennél kisebb késleltetési idő esetén a furat környezetében az összepréselt levegőbezáródások a tüske kihúzása által lecsökkent nyomás miatt kitágulnak és buborékokat alkotnak.

A 6,0 s késleltetési idő esetén a tömörítő tuskét már nem lehet benyomni az öntvénybe, mert a külső részének a szilárdsága nagyobb, mint a bepréseléssel létrehozható nyomófeszültség.

A squeeze tüskére tapadó fémréteg a 3,0 s és az alatti késleltetési idő esetén jön létre. Ennél nagyobb késleltetési idő esetén, a furat belső felületén tapadvány okozta inhomogenitást nem találunk.

Az anyaghalmozódási helyen a belső térfogati inhomogenitás a késleltetési idő 3,5 s-ig növelésével csökken.

A késleltetési idő 4,5 s és ennél nagyobb értékénél az anyaghalmozódási helyen repedés jellegű belső térfogati inhomogenitás alakul ki az utántömörítés megszilárdult szerkezetet felszakító hatása miatt.

Az anyaghalmozódási helyen a belső térfogati inhomogenitás vizsgálata és kiértékelése alapján a 3,5–4,5 s késleltetési idő szerint előállított kísérleti öntvények a legjobbak.

A kutatómunka keretében elvégzett vizsgálatok, a térfogati inhomogenitások kiértékelése alapján meghatározhatók az optimális technológiai paraméterek.

### Irodalom

- [1] *Ferencz Peti, Gabriela Strnad: The Effect of Squeeze Pin Dimension and Operational Parameters on Material Homogeneity of Aluminium High Pressure Die Cast Parts, Acta Marisiensis. Seria Technologica, Vol. 16 no.2, 2019*
- [2] *P. Hofer et al.: Untersuchung des Einflusses lokalen Kühlens und Nachverdichtens auf die Gefügeeigenschaften von Druckgussbauteilen, Giesserei Rundschau 60, 7–8. 211–216.p, 2013*
- [3] *Z. Brodarac, P. Mrvar, J. Medved, P. Fajfar: Local Squeezing Casting Influence on the Compactness of AlSi10Mg Alloy Castings, Metalurgija 46 (2007) 1, 29–35.*
- [4] *I. Ohnaka, JD. Zhu, A. Sugiyama, F. Kinoshita: A Method to set process parameters of local squeeze in HPDC, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 33 (2012) 012001, 8p.*

# A vízüveges maghomokkeverékek melegdeformációs és üríthetőségi tulajdonságainak vizsgálata

*A kísérleteink során megvizsgáltuk a vízüveges homokkeverékből készített próbatestek melegdeformációs és üríthetőségi tulajdonságainak változását eltérő kötőanyag- és adalékanyag-tartalom mellett. A vizsgálatokat a Miskolci Egyetem Öntészeti Intézet homoklaborjában végeztük el. Vizsgáltuk továbbá az adalékanyag hatását a vízüveges homokkeverékből készített próbatestek a melegdeformációs és a hőterhelést követően mért a szilárdsági tulajdonságaira is.*

## Bevezetés

Az elmúlt években bevezetett új környezetvédelmi előírások miatt az ipar számára elsődleges szemponttá vált, hogy lehetőségeikhez mérten ezen előírásoknak megfeleljenek. Az öntödék számára a szerves kötőanyagrendszerek alkalmazása által az emissziókibocsátás okoz problémákat. Az elmúlt években többféle kutatás koncentrált arra, hogy a szerves kötőanyagokat környezetkímélő rendszerré fejlesszék tovább, azonban még áttörő megoldást nem találtak. Az emissziókibocsátás megszüntetésére, illetve nagymértékű csökkentésére a megoldást a vízüveges (szervetlen) kötőanyagrendszerek jelenthetik. A szervetlen kötésű kötőanyagrendszerek területén folyamatos kutatások és fejlesztések zajlanak, hogy alkalmazásuk problémamentes legyen.

## 1. A vízüveges maggyártási eljárások rövid áttekintése

A klasszikusnak tekinthető szervetlen kötésű maggyártási technológiák a vízüveg-CO<sub>2</sub> és a vízüveg-észter-eljárások, amelyeknél a kötés különböző kémiai reakción keresztül megy végbe. Az utóbbi 20 évben az új gyártási folyamatok, ill. a szilikátkémia területén történt fejlesztések hatására új típusú vízüveges kötőanyagrendszereket fejlesztettek ki. Ezek az új típusú szervetlen kötőanyagok többségükben kombinálva alkalmazzák a kémiai reakción alapuló kötést és a szárítást. Ezek a rendszerek általában két fő alkotóból épülnek fel: egy vízüveg alapú folyékony kötőanyagból és egy modifikált por alapú adalékanyagból [1]. A szervetlen kötőanyagrendszerek többnyire az alumíniumöntvények esetében alkalmazhatók az alacsony öntési hőmérséklet miatt, azonban a gyártók egyre több fejlesztést végeznek annak érdekében, hogy a vízüveges kötőanyagok a vasöntvények gyártásához is problémamentesen alkalmazhatók legyenek [2].

## 2. A vízüveges homokkeverékből készített próbatestek tulajdonságainak vizsgálata

A formázó- és maghomokkeverékek, ill. az ezekből készí-

tett magok és formák minőségét az alaphomok granulometriai tulajdonságai (a szemcsealak, a fajlagos felület és a szemcseméret) határozzák meg [3] [4]. Emellett fontos a kötőanyag tulajdonságainak a vizsgálata is, amelyek meghatározására különböző vizsgálati és kiértékelési módszerek állnak rendelkezésünkre. A következő vizsgálati módszereket alkalmazzák a leggyakrabban a magok és a formák tulajdonságainak a meghatározására:

- szilárdságvizsgálat (szakító-, hajlítószilárdság),
- melegdeformációs vizsgálat,
- gázáteresztő képesség,
- gáznyomás, gázfejlődés mértékének vizsgálata.

A kísérleteink során a melegdeformációs és a szilárdsági tulajdonságok vizsgálatával foglalkoztunk.

### 2.1. A melegdeformációs vizsgálatok

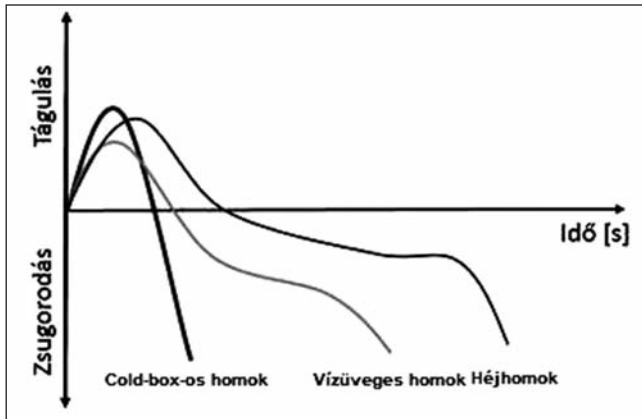
A melegdeformációs vizsgálat (Hot Distortion Test) a műgyantakötésű homokmagok hő hatására bekövetkező deformációjának és hőtágulásának vizsgálatára szolgál [5]. Ezzel a módszerrel modellezni tudjuk, miként viselkedik a forma és a mag az olvadékkal történő érintkezés során. A melegdeformációs vizsgálatot maglövő gépen elkészített próbatesteken kell elvégezni, melynek méretei: 114,3 × 25,4 × 6,35 mm. A Hot Distortion Tester készüléken a mérés során a próbatest egyik vége rögzített, míg a másik egy mérőszonda által állandó, 0,3 N terhelőerőnek van kitéve. A vizsgálat során a próbatestet alulról egy kalibrált gázégő melegíti. A láng erejét a levegő-gáz arányával lehet beállítani. A hő hatására a próbatest deformálódik. Az elmozdulást a próbatest szabad végére illesztett mérőszonda méri. A mérőkészülék a deformációt az idő függvényében ábrázolja.

A deformációs görbékkel lehetőség nyílik az öntödék számára, hogy az ott lejátszódó folyamatokat pontosítani, az öntés minőségét pedig javítani tudják. Kezdetben a héjhomokok vizsgálatára használták, később a cold-box és a hot-box eljárással készített homokmagokhoz is elkezdtek alkalmazni [1] [5]. Az 1. ábrán a cold-boxos, a vízüveges és

*Dargai Viktória BSc-tanulmányait 2009-ben kezdte meg a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán. 2013-ban MSc-képzését öntészeti szakirányon folytatta, melynek keretében hat hónapot töltött vendéghallgatóként a Freibergi Egyetem Öntészeti Intézetében. Jelenleg az Öntészeti Intézet tudományos segédmunkatársa. Kutatási területe: a szervetlen vízüveges kötőanyagok öntészeti alkalmazása a forma- és magkészítésben. Tóth Gergő BSc-tanulmányait 2020-ban fejezte be a Miskolci*

*Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán. Diákévei során lehetősége nyílt elhelyezkedni a SEGA Hungary Kft.-nél, ahol jelenleg is minőségbiztosítási mérnöként dolgozik.*

*Dr. Varga László öntészeti szakirányos kohómérnöki oklevelét 1999-ben szerezte a Miskolci Egyetem Kohómérnöki Karán, majd doktori disszertációját 2003-ban védte meg. 2014-ben tért vissza a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karára, ahol 2015 óta az Öntészeti Intézet igazgatója.*



■ 1. ábra. A cold-box-, a vízüveges- és a héjhomokkal készült magok jellegzetes melegdeformációs görbéi [1]

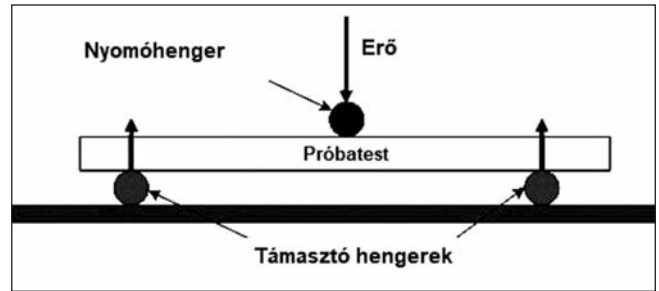
a héjhomokból készült homokmagok melegdeformációs görbéi láthatók.

Az 1. ábrán jól látható, hogy mindhárom homokkeveréknél a hőterhelés hatására először hőtágulás megy végbe a próbatestben. Ezt követően az alkalmazott maggyártási eljárástól és a kötési mechanizmustól függően eltérő folyamatok zajlanak le. A cold-box homokmagokat nagymértékű hőtágulás jellemzi, majd a további hőterhelést követően ridegen eltörnek. Ezzel szemben a héjhomok esetén hőre lágyuló deformáció jellemző [5]. A cold-box és héjhomok magokra jellemző melegdeformációs görbék közötti állapot jellemzi a vízüveges magok melegdeformációját [1]. A görbe jellege a héjhomokhoz hasonló, viszont kismértékű hőtágulás és nagyobb képlékeny deformáció jellemzi. A vízüveges homokkeverékből készült próbatest plasztikus [6].

## 2.2. A hőterhelés hatása a vízüveges homokmagok szilárdsági tulajdonságaira

A különböző formázókeverékekből készített homokmagok vizsgálata során központi szerepet tölt be a szilárdsági tulajdonságok meghatározása [7] [8] [9]. A szilárdsági vizsgálatok esetében a kötőanyagrendszerhez alkalmazkodva (a bentonitos, a szerves és a szervesetlen kötőanyagok stb.) választják ki a megfelelő vizsgálati módszert. Ezek közül a szerves és a szervesetlen formázókeverékek esetében a legelterjedtebb vizsgálati módszer a hárompontos hajlítoszilárdságvizsgálat. A formázókeverékek laboratóriumi vizsgálata során szabványos méretű hajlító próbatestek előállítása történik, amelynek a méretei  $22,4 \times 22,4 \times 172$  mm [9] [10] [11].

A hárompontos hajlítóvizsgálat lényege, hogy a próbatestet két alátámasztási ékre (hengerre) ráhelyezve és a középpontján nyomóékkal terhelve eltörjük. A vizsgálandó próbatestet felülről egy, alulról pedig két ponton éri erőhatás. A terhelés nulláról indulva folyamatosan növekszik, míg a próbatest el nem törik. Eközben a próbatest közepén mérésre kerül az erő,

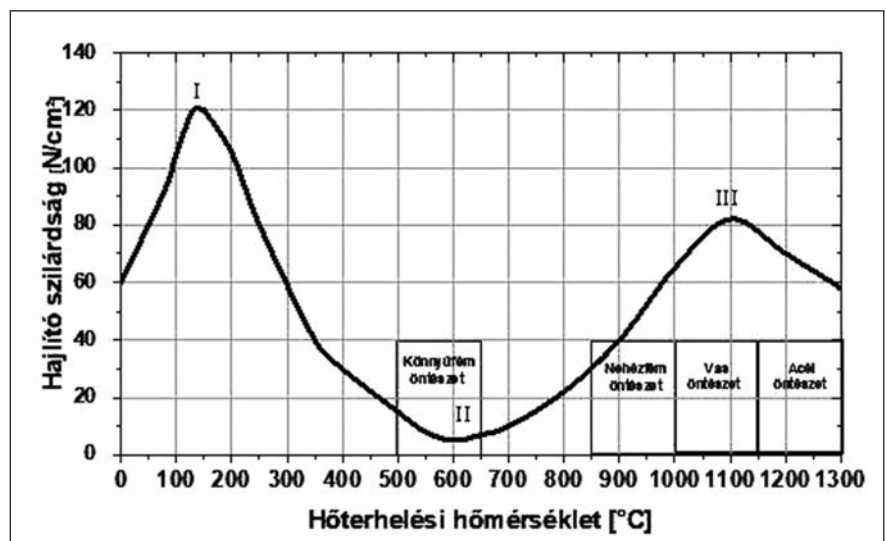


■ 2. ábra. A hajlítóvizsgálat során a próbatestre kifejtett erő sematikus ábrája [13]

amely alapján számolható a hajlítoszilárdság. A hajlítoszilárdság az a maximális feszültség, amelynél a próbatest eltörik [9] [11] [12]. Az új típusú hajlítoszilárdság-mérő berendezések digitális kijelzésűek, amelyek a már számolt hajlítoszilárdság értéket  $N/cm^2$  mértékegységben adják meg. A 2. ábrán a hajlító próbatest vizsgálatának sematikus ábrája látható.

A maghomok-keverékek alkalmazása során az egyik legfontosabb követelmény amellett, hogy a magok méretpontosak legyenek és jó felületi minőséggel rendelkezzenek az, hogy az öntést követően lehetőleg elveszítsék a szilárdságukat, és könnyen eltávolíthatók legyenek az öntvény belső üregeiből. A homokmagok öntést követő maradó szilárdságának (üríthetőségének) vizsgálata a hőterhelést követően a hajlítoszilárdság meghatározásával történik.

A klasszikus vízüveges eljárásoknál az egyik legjelentősebb munka a hőterhelés közben bekövetkező szilárdságváltozások jellemzésére *Jelinek* nevéhez fűződik, aki azt vizsgálta, miként változik a vízüveges homokkeverékből készített próbatestek szilárdságértéke  $20\text{ °C}$  és  $1300\text{ °C}$  közötti hőmérsékleten. A hőmérsékletskálát kellően széles intervallumban adta meg, és a vizsgálatok során arra fókuszált, miként fog viselkedni a vízüveges homokkeverék eltérő hőmérsékletű fémolvadékkal való érintkezést követően. Vizsgálta a könnyűfém ( $500\text{--}600\text{ °C}$ ), a nehézfém ( $850\text{--}1000\text{ °C}$ ), a vas- ( $1000\text{--}1150\text{ °C}$ ), ill. az acélöntészetben ( $1150\text{--}1300\text{ °C}$ ) tapasztalható homokmag hőmérséklet-tartományokat [14] [15]. A 3. ábrán a Jelinek



■ 3. ábra. A vízüveg-CO<sub>2</sub>-eljárással előállított hajlító próbatestek hőterhelését követően mért szilárdságértékek változása [14]

által mért hajlítószilárdság változása látható a vízüveg-CO<sub>2</sub>-eljárás alkalmazásával, különböző hőmérséklet-tartományokon.

A 3. ábra alapján megállapítható, hogy 150 °C körüli hőmérsékleten tapasztalható a vízüveges homokkeverékből készített próbatetek első maximum szilárdság (I) értéke. Ezen a tartományon a vízüveges oldatban jelen vannak még olyan alkotók, amelyekben a kémiai reakció csak részlegesen játszódott le. 600 °C-on újabb dehidratációs folyamat megy végbe, amikor a még jelen lévő SiO<sub>2</sub> gél elfogy. Ennek következtében a hajlítószilárdság-értékek eléri a minimum értéket (II). Ezt követően olvadékfázis fog kialakulni, amelynek hatására újabb kötések jönnek létre a formázókeverékben, amely a második szilárdság maximumot fogja okozni (III) [1] [15].

### 3. A kísérleti paraméterek áttekintése

A kísérletek célja az volt, hogy megvizsgáljuk a vízüveges homokkeverékből készített próbatetek melegdeformációs és az üríthetőségi tulajdonságainak változását eltérő kötőanyag és adalékanyag-tartalom mellett. A vizsgálatokat a Miskolci Egyetem Öntészeti Intézetének homoklaboratóriumában végeztük el. Az elvégzett vizsgálatok részfolyamatait a 4. ábrán látható folyamatábra mutatja be.

A vizsgálatainkhoz SH33-as típusú alaphomokot alkalmaztunk, amely egy háromalkotós kvarchomok. A homokkeverékhez egy módosított vízüveges kötőanyagot és egy poralapú adalékanyagot használtunk. Az 1. táblázatban a vizsgálatainkhoz alkalmazott receptúrák listája és jelölése látható. Az adalékanyag-tartalmú keverékek esetében megtartottuk az adalékanyag és a kötőanyag egymáshoz viszonyított arányát.

A vizsgálataink során elkészítettük a melegdeformációs

1. táblázat. A vizsgálatokhoz alkalmazott receptúrák és azok jelölése

A sorozat			B sorozat		
Jelölés	Kötőanyag, %	Adalékanyag, %	Jelölés	Kötőanyag, %	Adalékanyag, %
A1	2,0	0	B1	2,0	1,2
A2	2,2		B2	2,2	1,33
A3	2,4		B3	2,4	1,45

2. táblázat. A próbatest-előállítási paraméterek

Paraméter	Érték
Magszekrény hőmérséklet, °C	180
Elgázosítási hőmérséklet, °C	100
Elgázosítási idő, s	30

3. táblázat. A kísérleteinkhez alkalmazott hőterhelési hőmérséklet-tartományok listája

Hőterhelési hőmérséklet, °C	Időtartam, h
25	1
150	
180	
210	
250	
280	
300	
450	
600	

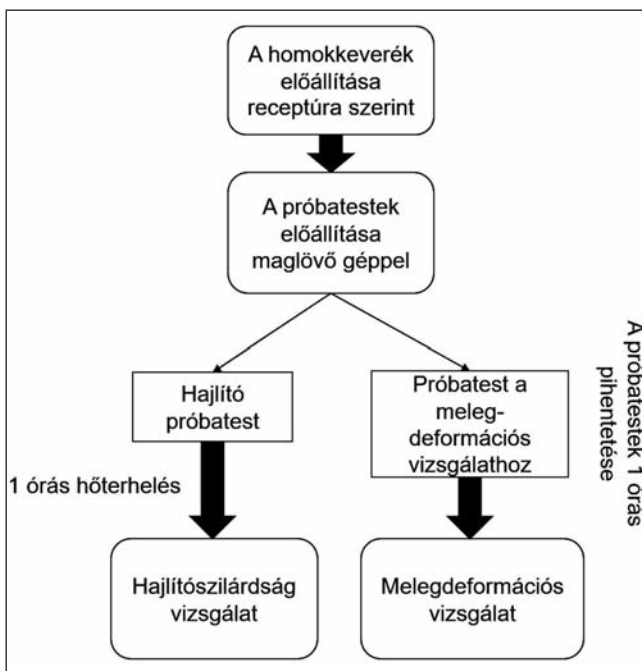
vizsgálatokhoz szükséges próbateteket és a hőterheléses vizsgálatokhoz szükséges hajlító próbateteket a meleg levegős átfűvűsű warm-box eljárással. A próbateteket az Öntészeti Intézet homoklaborjában található maglövőgéppel állítottuk elő a 2. táblázatban megadott paraméterekkel.

A mérésekhez három-három próbatestet állítottunk elő, majd ezt követően egy óra pihentetést követően elvégeztük a próbatetek melegdeformációs vizsgálatát. A hőterheléses vizsgálatoknál a hajlító próbateteket kemencében egy órán át hőterheltük a 3. táblázatban bemutatott hőterhelési hőmérsékleteken.

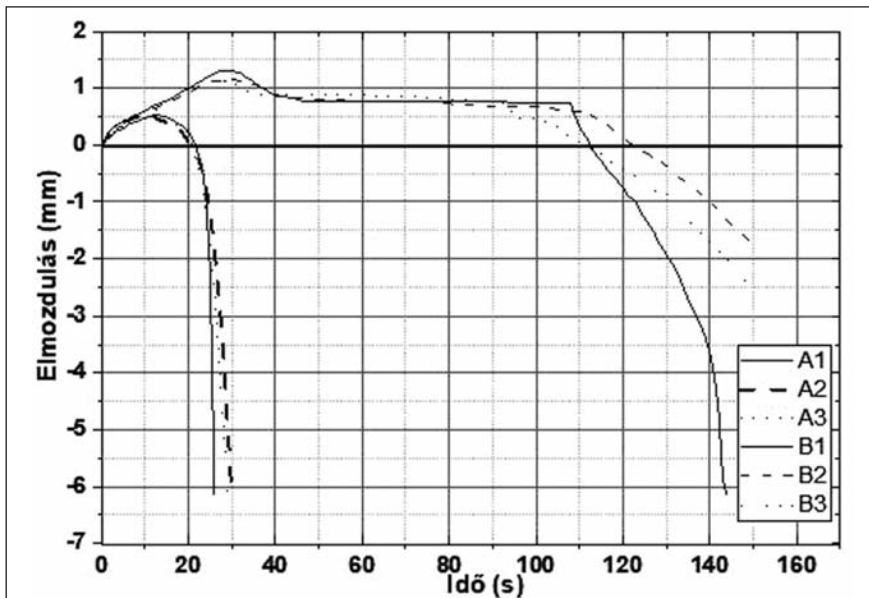
A hőterheléses vizsgálatok esetében is egy órát pihentettük a próbateteket, ill. a hőterhelést követően egy órát hagytuk hűlni a szilárdságvizsgálatok előtt. A bemutatott mérési eredmények az átlagértékeket jelölik.

### 4. A vízüveges maghomokkeverékből készített próbatetek melegdeformációs tulajdonságainak vizsgálata

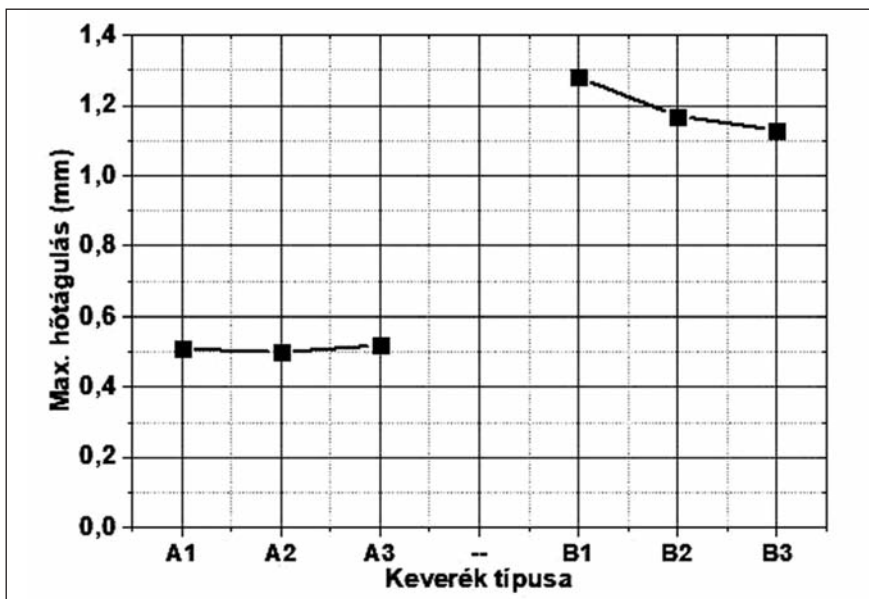
A kísérletek során először megvizsgáltuk a vízüveges homokkeverékből készített próbatetek melegdeformációs tulajdonságait. Az A jelölésű homokkeverékek nem tartalmaztak adalékanyagot, míg a B jelölésű keverékek esetében adalékanyagot is adagoltunk a keverékhez. A vizsgálataink során összehasonlítottuk az adalékanyag-mentes és az adalékanyaggal készült homokkeverékek melegdeformációs tulajdonságait, továbbá a kötőanyag- és az adalékanyag-tartalom növelésének a hatását is. Az 5. ábrán az adalékanyag-mentes és az adalékanyaggal készült próbatetek melegdeformációs vizsgálata során felvett idő-elmozdulás görbék láthatók.



4. ábra. Az elvégzett vizsgálat részfolyamatai



■ 5. ábra. A kötőanyag- és az adalékanyag-tartalom hatása a vízüveges homokkeverékből készített próbatetek melegdeformációjára



■ 6. ábra. A vízüveges homokkeverékből készített melegdeformációs próbatest maximális hőtágulása

Az 5. ábra alapján megállapítható, hogy a kötőanyag-tartalom hatása az adalékanyag-mentes keverékek hőtágulására kismértékű, ugyanis a maximális elmozdulás nem haladja meg a 0,5 mm-t. Az adalékanyag hatására a homokkeverék hőtágulása és a hővel szemben tanúsított ellenálló képessége nagyobb, mint az adalékanyag-mentes keverékeknél.

A mérési eredmények alapján elmondható, hogy a hőigénybevétel hatására a vízüveges homokkeverék deformációja két jellegzetes szakaszra osztható: a hőtágulás és a képlékeny deformáció szakaszára. A hőterhelés kezdetén a darabban hőmérséklet-különbség alakul ki, amely pozitív deformációhoz, hőtáguláshoz vezet. A vízüveges homokkeveréket kismértékű hőtágulás jellemzi. A deformációs görbék jellegzetes szakaszait részletesebben is kielemeztük, melynek során három jellegzetes paramétert ábrá-

zoltunk: a maximális hőtágulást, a hozzátartozó időt, valamint a képlékeny deformáció időtartamát. Ezt a három paramétert az alábbiak szerint jellemezzük:

- Maximális hőtágulás (mm): A próbatest hőterhelés hatására bekövetkező pozitív deformációjának maximális értékét jelenti.
- Maximális idő (s): A hőterhelés kezdetétől (0 pont) a maximális hőtágulás értékéig meghatározott idő.
- Képlékeny deformáció időtartama (s): A termoplasztikus megereszkedés szakasza az utókeményedés szakasz kezdetéig tart. A maximális hőtágulástól a 0 pontig tartó elmozdulás időtartama.

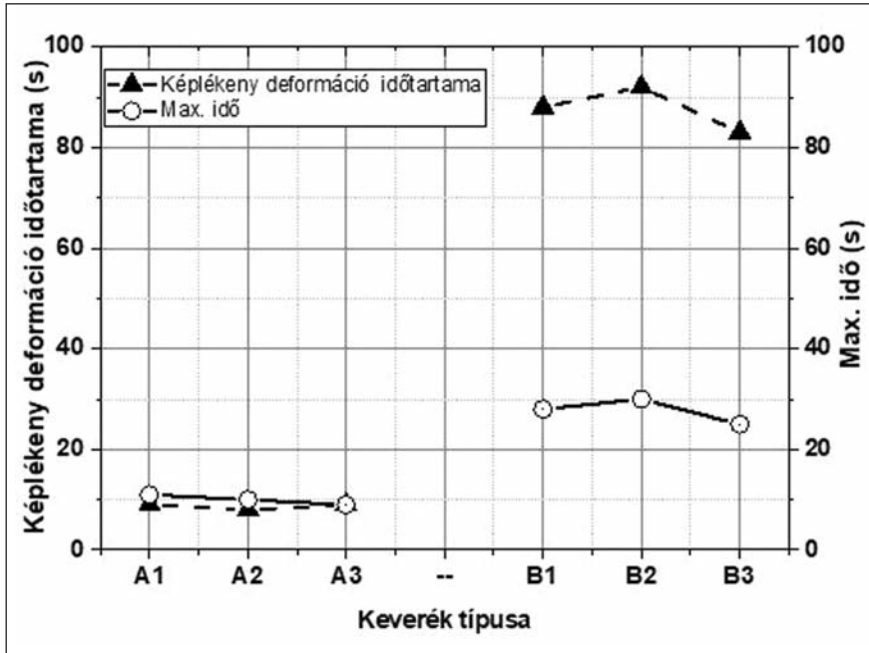
A kísérleteink során először a vízüveges homokkeverékből adalékanyag-mentes és az adalékanyaggal készített próbatetek maximális hőtágulását vizsgáltuk meg, amelynek az átlagértékei a 6. ábrán láthatók a keverék típusa szerint ábrázolva.

A 6. ábra alapján megállapítható, hogy az adalékanyag-mentes próbatetek esetében a kötőanyag-tartalom növelésének nincs jelentős hatása a maximális hőtágulási értékekre. Az adalékanyaggal készült próbatetek esetében a kötőanyag és az adalékanyag mennyiségének a növelésével csökken a maximális hőtágulási érték. Az adalékanyag-tartalmú próbatetek esetében minél nagyobb a kötőanyag- és az adalékanyag-tartalom, úgy csökken a próbatetek termikus ellenálló képessége is.

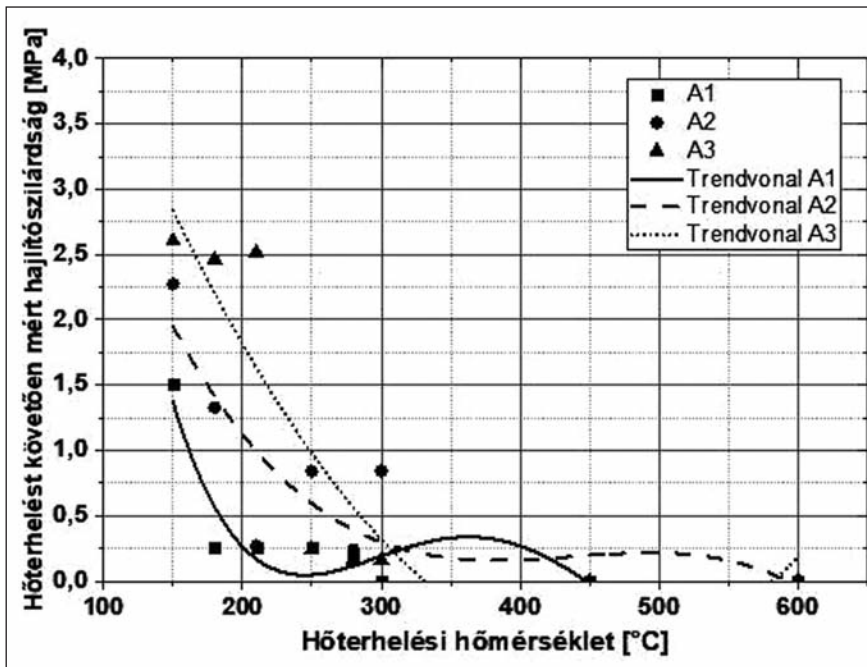
Ezt követően megvizsgáltuk a maximális hőtáguláshoz tartozó időszükségletet, ill. a képlékeny deformáció időtartamát is. A 7. ábrán a vízüveges homokkeverékből adalékanyaggal és

adalékanyag nélkül készített próbatetek maximális hőtágulásához szükséges (max.) idő értékének és a képlékeny deformáció időtartamának változása látható.

A 7. ábra alapján megállapítható, hogy az adalékanyag-mentes keverékből készített próbatetek képlékeny deformációjának időtartama és a maximális hőtáguláshoz szükséges (max.) idő csökken a kötőanyag-tartalom növelésével. A nagyobb kötőanyag-tartalom miatt a homokkeverékek termikus ellenálló képessége csökken, ezáltal hamarabb megy végbe a képlékeny deformáció. Az adalékanyaggal készült próbatetek esetében a képlékeny deformáció időtartama jelentősen hosszabb, mint az adalékanyag-mentes keverékek esetében. A B2 keverék esetében a maximális idő és a képlékeny deformáció időtartama nő a B1 keverékhez képest, majd a B3 keveréknél csökkenést tapasztaltunk mindkét paraméter esetében.



7. ábra. A vízüveges homokkeverékből készített próbatetek képlékeny deformációjának időtartama és a maximális hőtágulás eléréséhez szükséges (max.) idő



8. ábra. Az adalékanyag-mentes homokkeverékekből készített hajlító próbatetek szilárdsági tulajdonságainak hőterhelés hatására bekövetkező változása

A 6. és 7. ábra eredményeit összefoglalva megállapítható, hogy az adalékanyag-mentes keverékek esetében a kötőanyag-tartalom növelésével a próbatetek hővel szembeni ellenálló képessége csökken, a maximális hőtágulás nem változik, de az ehhez szükséges (max.) idő és a képlékeny deformáció időtartama csökken. Az adalékanyag-mentes és az adalékanyaggal készült próbatetek mérési eredményeit összehasonlítva megállapítható, hogy az adalékanyag alkalmazásával növelhető a próbatetek termikus ellenálló képessége. Az adalékanyag-tartalmú keverékek esetében is a kötőanyag és az adalékanyag-tartalom növelésével csökken a próbatetek termikus ellenálló képessége.

## 5. A vízüveges maghomokkeverékek üríthetőségi tulajdonságainak vizsgálata

Megvizsgáltuk a vízüveges homokkeverékből készített hajlító próbatetek hajlítószilárdság értékének a változását az eltérő hőmérsékleten végzett hőterhelést követően. A 8. ábrán az adalékanyag-mentes homokkeverékből készített hajlító próbatetek szilárdsági tulajdonságainak hőterhelés hatására bekövetkező változása látható.

A 8. ábra alapján megállapítható, hogy a kötőanyag-tartalom növelésével nő a próbatetek szilárdságértéke. Mindhárom keveréknél a 150 °C-os hőterheléstől kezdődően 250 °C-ig csökken a próbatetek hőterhelést követően mért szilárdsága. A hőterhelés további növelésével 0,25 és 0 MPa értéktartomány között változik a szilárdságérték.

Megvizsgáltuk az adalékanyaggal készült hajlító próbatetek szilárdsági tulajdonságainak hőterhelés hatására bekövetkező változását is, amely a 9. ábrán látható.

A 9. ábra alapján megállapítható, hogy az adalékanyaggal készült próbatetek esetében is a hőterhelés hatására a szilárdságértékek csökkennek. A B1 és a B2 keverékek esetében a szilárdságértékek között nincs jelentős különbség. A B3 keverék esetében tapasztaltuk a legnagyobb maradó szilárdságértékeket. 300 °C-tól kezdődően a szilárdságértékek mindhárom keverék esetében 0,25 és 0 MPa értéktartományban változnak, kivéve egy nagyobb kiugró értéket a B2 keveréknél 450 °C-on.

Az adalékanyag-mentes és adalékanyaggal készült próbatetek mérési eredményeit összehasonlítva megállapítható, hogy az adalék-

anyag alkalmazásával nagyobb a maradó szilárdságérték a hőterhelést követően, mint az adalékanyag-mentes keverékek esetében. Továbbá az adalékanyag-mentes keverékeknél a kötőanyag-tartalom növelése a hőterhelést követően mért szilárdságértéket növeli, amelyet az adalékanyaggal készült keverékeknél csak a B3 (legnagyobb kötőanyag- és adalékanyag-tartalom) esetében tapasztaltunk.

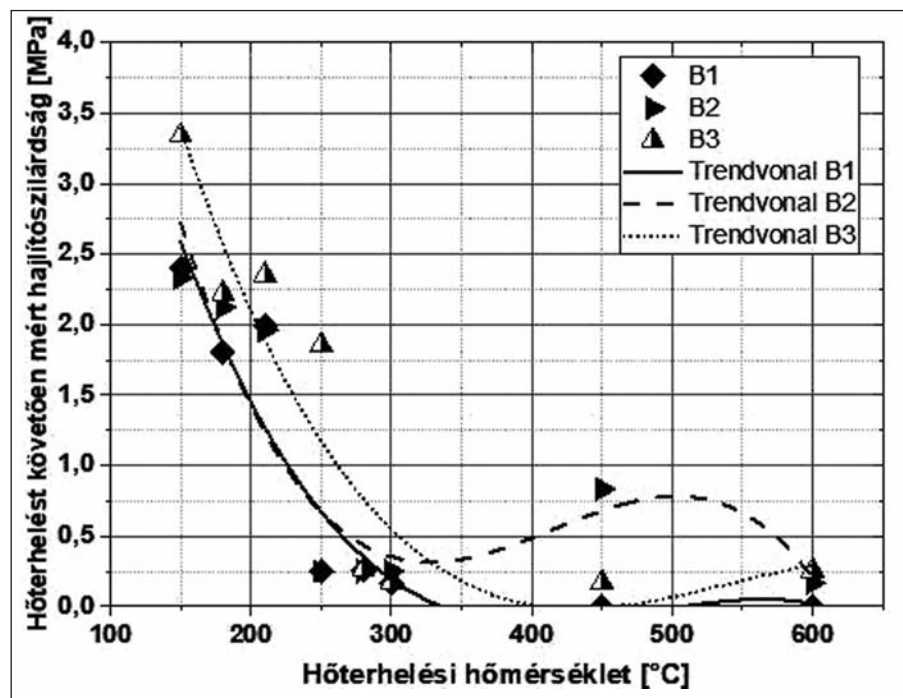
Gyakorlati szempontból az adalékanyaggal készült magok az öntés után történő eltávolítása problémás lehet. Az eredmények alapján elmondható, hogy a vízüveges homokkeverékekből készített próbatetek az ada-

## Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott kísérletek az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 projekt keretén belül a 2. Korszerű Anyagok és Technológiák Kiválósági Központ támogatásával készültek.

## Irodalom

- [1] *H. Polzin*: Inorganic binders for mould and core production in the foundry 2014 Schiele & Schön kiadó
- [2] *C. Wallenhorst*: Grundlagen zum Verständnis der anorganischen Kernfertigung, Giesserei-Praxis 06/ 2010, 181–184.
- [3] *Tóth L.*: Forma és magkészítési ismeretek oktatási segédlet, 2011
- [4] *Bakó K.*: Öntödei formázóanyagok, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1976



■ 9. ábra. Az adalékanyaggal készült hajlító próbatetek szilárdsági tulajdonságainak hőterhelés hatására bekövetkező változása

lékanyag-mentes keverék esetében 250 °C-tól, az adalékanyaggal készült próbatetek esetében pedig 300 °C-tól kezdődően a szilárdságértékek 0,25 és 0 MPa érték tartományba esnek.

## Összefoglalás

A kísérleteink során megvizsgáltuk az adalékanyag-mentes és az adalékanyaggal készült próbatetek melegdeformációs tulajdonságait és a hőterhelés hatását a szilárdsági tulajdonságokra. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy mindkét vizsgálatnál az adalékanyag-tartalmú keverékek esetében tapasztaltunk nagyobb értékeket. A melegdeformációs vizsgálatok során a kötőanyag-tartalom növelésével ugyan csökken a hőállóképesség, azonban az adalékanyag adagolásával ez javítható. A hőterheléses vizsgálatok rávilágítottak arra, hogy az adalékanyaggal készült próbatetek esetében az öntést követően problémás lehet a homokmagok eltávolítása. A folyamat biztos eltávolításhoz legalább 300 °C-os homokmag-hőmérséklet elérése szükséges.

Összességében elmondható, hogy az adalékanyag adagolásával a vízüveges kötőanyag-tartalmú keverékek esetén a homokmagok termikus tulajdonságai javulnak, azonban az üríthetőségi tulajdonságai romlanak.

- [5] *S. McIntyre, S. M. Strobl*: Adapting hot distortion curves to process control, Foundry Management & Technology March 1998 pp. 22–26.
- [6] *J. Müller, H. Deters, M. Oberleiter, H. Zupan, H. Lincke, R. Resch, J. Körschgen, A. Kasperowski*: Geht nicht, gibt's nicht – Weiterentwicklungen im Bereich anorganischer Bindersysteme. Giesserei-Praxis 1-2/2014 O: 20–25.
- [7] VDG-Merkblatt P73; Bindemittelprüfung (1996)
- [8] VDG-Merkblatt P74; Bindemittelprüfung (2000)
- [9] *B. Stauder, H. Kerber, P. Schumacher*: Foundry sand core property assessment by 3-point bending test evaluation, Journal of Materials Processing Technology, 2016 június
- [10] *W. Witt, U. Köhler, J. List*: Hochgeschwindigkeits Bildanalyse zur Charakterisierung von Partikelgröße und Form
- [11] VDG-Merkblatt P72: Bindemittelprüfung
- [12] [https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012\\_polimerek\\_merestechnikaja/ch05s04.html](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_polimerek_merestechnikaja/ch05s04.html)
- [13] [http://www.substech.com/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?w=&h=&cache=cache&media=3-point\\_flexure.png](http://www.substech.com/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?w=&h=&cache=cache&media=3-point_flexure.png)
- [14] *Foseco*: Anorganische Formstoffbindemittel-Silikate
- [15] *E. Flemming, W. Tilch*: Formstoffe und Formverfahren, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, Stuttgart, 1993

ILLÉS ISTVÁN BALÁZS – NAGY SÁNDOR – KÉKESI TAMÁS

## LCD-hulladékokból történő indium fémkinyerés hidrometallurgiai úton

*Egy környezetbarát és hatékony indium előállítási eljárás lehetőségét laboratóriumi kísérletekkel vizsgáltuk. A hulladékká vált folyadékkristályos kijelzők (LCD) szétszerelése, majd a polarizálófólia hőkezelést követő mechanikus eltávolítása után a panel anyagából a folyadékkristály ultrahangos mosással eltávolítható. A kapott üveg alapú törmelék indium-ón-oxid (ITO) rétegéből az indium sósavas kioldása hatékony és részben szelektív lehet a kinetikai viszonyok kihasználásával. Az oldatból a fő szennyezők (Fe, Sn) alapvetően hidrolitikus precipitációval eltávolíthatók. A tisztító lépések hatásfoka növelhető a vas Fe(II) állapotba történő redukciójával. Az In fémes állapotban történő kinyerését alumíniumlemez felületén történő cementálással valósítottuk meg. A termék jó olvasztási hatásfoka több módon is biztosítható.*

### 1. Bevezetés

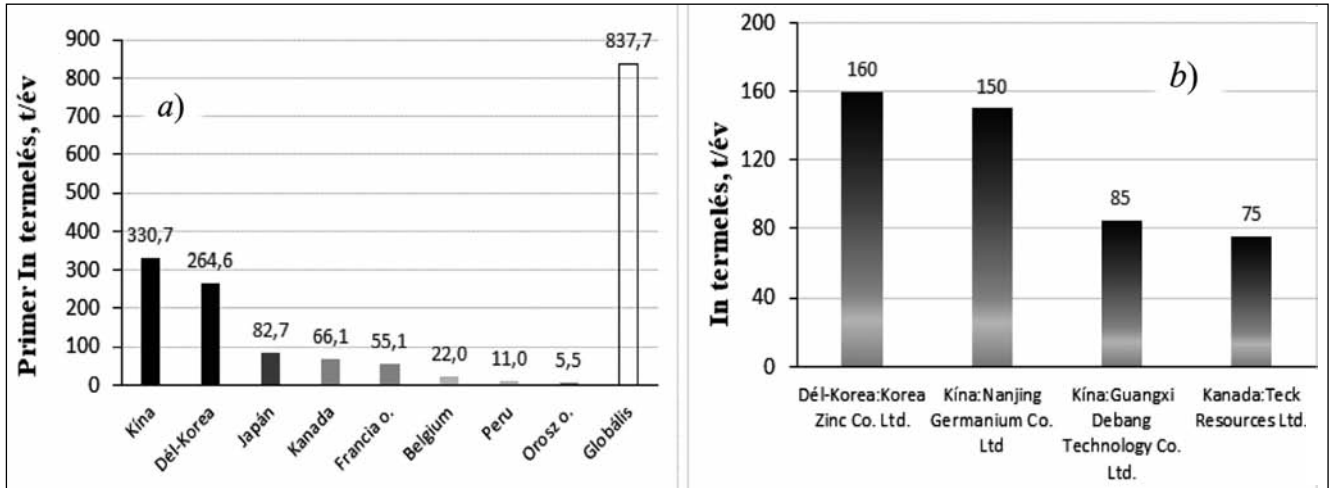
A globális ~ 800 t nagyságrendű primer indiumtermelés kb. 90% része a modern folyadékkristályos (LCD) kijelzők optikailag aktív ITO (indium-tin-oxide) gyártását szolgálja az átlátszó elektródreteg, illetve az előállításához használt target anyagok formájában [1]. Mivel az indiumot alapvetően a primer cinkkohászat melléktermékeiből nyerik ki, a rendelkezésre álló In-fém mennyisége ezeknek az iparágaknak a termelésétől függ. A földkéreg jelenleg ismert In-készlete csupán ~ 16000 t, valamint a jelenlegi felhasználás üteme 1600-1800 t/év [2, 3]. Így a szekunder In-előállítás kulcsfontosságú, amelynek alapját jelenleg az ITO-előállítás során keletkező ipari melléktermékek (pl. ITO target maradvány) jelentik [4]. Az ITO legelterjedtebben alkalmazott változata 91/9 In-Sn arányú, ónnal csupán kis-mértékben adalékolt oxid [3]. Az így kapott ITO a látható fényt képes teljes mértékben átengedni, míg az infravörös sugárzást visszaveri. Noha az ITO-réteg csak maximum ~ 0,15 µm vastag, az egyes monitor és tv-képernyők 200-250 mg/kg In-ot is tartalmazhatnak [5]. Az LCD-kijelzők a 2000-es évek elejétől fokozatosan váltak dominánssá. Átlagos élettartamuk 5 ~ 10 év, így ezek a szekunder nyersanyagok már napjainkban is nagy mennyiségben rendelkezésre állhatnak. Továbbá, az indiumnak komoly egészségkárosító hatásokat is tulajdonítanak, így a hulladékok egyszerű deponálása egyre kevésbé elfogadható [6, 7]. A kereskedelmi forgalomban lévő 99,99% (4-kilences) tisztaságú indium piaci ára 167 USD/kg (~ 52 000 Ft/kg). Az 5-kilences tisztaságú fém ára már egy nagyságrenddel nagyobb, valamint 6-kilences (különleges elektromos minőség) esetén az ár 4 millió Ft/kg is lehet.

*Illés István Balázs és Kékési Tamás, Miskolci Egyetem, Metallurgiai Intézet.*

*Nagy Sándor Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.*

Az indium primer előállítása is a hidrometallurgiához kötődik, ugyanis a primer forrást jelentő szfalerit cinkércet is már csaknem teljes mértékben hidrometallurgiai módszerekkel dolgozzák fel az oxidáló pörkölést követően. A kénsavas nyers oldat vastalanítása során az In is kiesik az oldatból. A szfalerit In-tartalma 0,0001-0,01% között változik [8], noha a vasas csapadékban ehhez képest már dúsabb, az In kinyerése egy meglehetősen hosszú és sok különböző reagenst igénylő hidrometallurgiai műveletsorból álló folyamat, ami többszöri egymást követő feloldást és kicsapást tartalmazó lépésekből épül fel, majd a kellően nagy koncentrációjú oldatot oldószeres extrakcióval dúsítják és tisztítják. Ezt követően cementálást vagy elektrolízist alkalmaznak a fém kinyerésére. Jelenleg a primer In-termelés zöme néhány ország néhány nagy vállalata között oszlik meg, ezt szemlélteti az 1. ábra.

Látható, hogy a primer In-termelésben Kína és Dél-Korea a főszereplő. A hulladék alapú In országonkénti megoszlása nem ismert, azonban valószínű, hogy a primer In-előállításra felszerelkezett cégek gyűjtik be az ITO-előállítás során keletkező hulladékok jelentős részét, amelyek főleg az ITO-réteg képzése során visszamaradó target anyagokból és az ITO-gyártás során idővel kimerülő páclevékből áll. Az LCD-hulladékok ipari feldolgozása azonban még nincs megoldva. Ez pedig az éves (közel 1 Mt LCD-panel) forgalmi adatok és az ITO-réteg átlagos vastagsága alapján számolt 200-250 mg/kg In-koncentráció szerint a 2010-es évek közepén 400 t/év indiumforrás elvesztését jelenti [10], ami a felhasználás legalább negyed része. Ugyanakkor a szekunder In-előállítás nemcsak kisebb energiaigényű, de az LCD-hulladékok feldolgozása egyben képes lehet az egyes indiumot igénylő cégek kínai piactól való függését is csökkenteni. A vizsgálatainkkal a közönséges eszközökkel kivitelezhető egyszerű hidrometallurgiai eljárás alapjait igyekeztünk tisztázni, amely alkalmas lehet az indium LCD-hulladékokból történő hatékony előállítására.

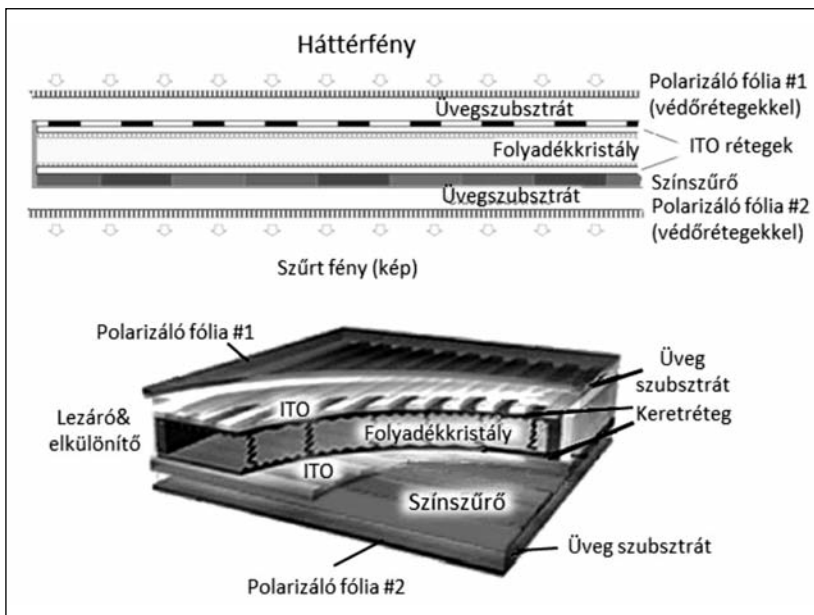


■ 1. ábra. A globális primer indiumtermelés országonkénti megoszlása (a), valamint a mérvadó cégek éves termelési kapacitása (b) [9]

A célzott nyersanyagból történő fémkinyerés módszerének a kialakításához fontos ismerni az LCD-panelek szerkezetét, illetve az ITO-réteg elhelyezkedését. Az általánosan jellemző többrétegű kialakítást a 2. ábra szemlélteti.

## 2. A kísérleti eljárás feltételei és kivitelezése

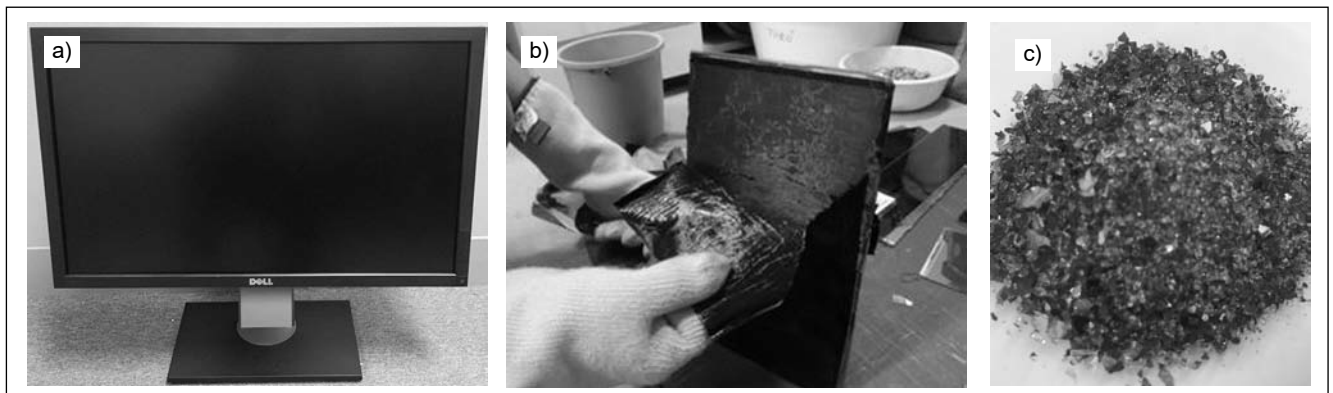
A hidrometallurgiai kísérletekhez használt LCD-üvegtörmelék nyersanyag DELL- és HP-monitorok, valamint Siemens televízió kijelzőiből származtak. Az ITO-réteg feltárását és dúsítását célzó fizikai előkészítés a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetében kialakított módszerrel történt. Az aprított LCD-üveghulladék 1 mol/dm<sup>3</sup> sósavval, illetve ugyanilyen koncentrációjú kénsavval végzett kioldását, valamint az oldatba került nagyszámú fém adott pH-(3, 3,5; 4; 4,5 és 5) értékek beállítása mellett elemzett megmaradó fémkoncentrációját a fenti egyetemi kutatóhelyen már vizsgálta. Ezek az eredmények [11–13] a kutatás tervezéséhez adtak jó alapot. A hidrometallurgiai kioldási, oldattisztítási és az oldatból kinyerési, valamint a termék olvasztási folyamatait vizsgáló kísérleti munka a Miskolci Egyetem Metallurgiai Intézetében zajlott.



■ 2. ábra. Az LCD-panelek jellemző szerkezete

### 2.1. Az LCD-nyersanyag előkészítése

A kézi bontás után az LCD-panelről a



■ 3. ábra. A feldolgozandó monitor (a), polarizálófólia-eltávolítás (b) és az aprított LCD-üveg (c)

polarizálófóliák eltávolítása fontos a nyersanyag hatékony hidrometallurgiai feldolgozása szempontjából. Ezt segíti elő a ~ 225 °C-on végzett rövid (kb. 5 perces) hőkezelés [11, 12]. A polivinil-alkohol termikus bomlása és a cellulóz kellő meglágyulása után a fólia – a 3. ábrán látható módon – lehúzhatóvá válik az üvegfelületről, ami a végső aprítás kivitelezését elősegíti. Az aprításnál így nem okoz veszteséget az ITO-réteggel érintkezésbe kerülő ragasztóanyag sem.

A mosási lépésnél az ultrahang, illetve „Organizone” tenzideknek a desztillált vízhez adagolása növelte a ~ 0,5 mg/cm<sup>2</sup> mennyiségű folyadékkristályok üvegfelületről történő leválasztásának hatékonyságát. A 8%-os tenzid-tartalommal rendelkező vizes oldatban 30 perc ultrahangos kezeléssel a folyadékkristály teljes mértékben eltávolítható. Ezt igazolta a szárítás után felvett tömegmérés. Az előkészítés utolsó lépésében a durva anyagot 5 mm szemcseméret alá őröltük (GKML 10-6 típusú) kalapácsos malomban a korábban optimalizált módon [11–13].

A nyersanyag összetett fémtartalmának meghatározása érdekében az LCD törmelékot tömény sósavban, illetve királyvízben 2 órán át forraltuk, majd az oldatok mikrohullámú plazmaemissziós spektrométerrel (MPAES) végzett multielemes elemzésre kerültek. A kétféle savval kapott koncentrációértékek közül a nagyobbat elfogadva, az LCD-törmelék gyakorlatilag kinyerhető fémtartalmát az 1. táblázat jellemzi.

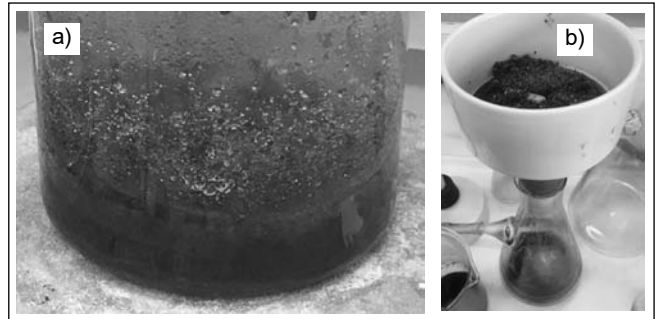
1. táblázat. Az LCD-üveg tömény forró savas oldással kinyerhető fémkoncentrációi (MPAES multielemes analitika)

Koncentráció, %						
Al	Au	B	Ce	Cr	Cu	Fe
0,12	0,0006	0,0454	0,0008	0,0005	0,0070	0,14
In	Mn	Mo	Ni	Sn	Ti	Zn
0,015	0,0123	0,0079	0,0201	0,0046	0,0008	0,0091

A törmelékek vaskoncentrációja nagyobb a szakirodalomban [5, 14] található 100 ~ 200 mg/kg adatoknál. Ez bizonyára az őrlés és kalapácsos törés során bekerült szennyezésből adódik. Mivel a vas oldatba kerülése az alapanyag összetételéből adódóan is elkerülhetetlen, így a nyers oldat hatékony vastalanítása mindenképpen szükséges a tiszta indium kinyerése érdekében. Mivel az In jelentős része az elektronikai iparban kerül felhasználásra, a kinyert indium tisztasága kulcsfontosságú, ezért az oldatban lévő egyéb jellemző szennyezők eltávolításáról is gondoskodni kell.

## 2.2. A kioldás módszere

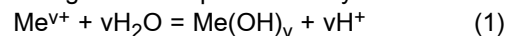
A 2.1. szakaszban leírt módon előkészített mintából – kerámiamozsárban finomra őrlés után – egyenlő 2 g tömegeket különböző hőmérsékleteken kezeltük eltérő koncentrációjú 10 cm<sup>3</sup> térfogatú sósavval. A kioldást üveg reaktoredényekben végeztük az edény száját vízzel telített óraüveggel lefedve a 4a ábrán látható módon. Így csekély volt az oldat kipárolgása. A szilárd maradvány könnyen elkülöníthető volt a 4b ábrán látható vákuumszűréssel.



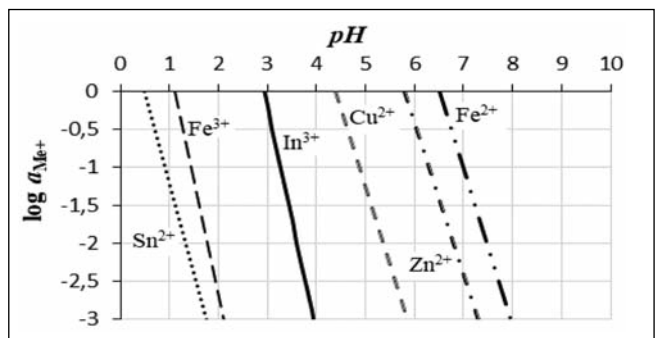
4. ábra. Az LCD-törmelék oldása sósavban (a) és a vákuumszűrés (b)

## 2.3. Az indium-klorid-oldat tisztítása

Az oldat fő szennyezőinek, a vasnak és az ónnak az eltávolítására – első közelítésben – alkalmas lehet a hidrolitikus precipitáció. Ugyanakkor egyéb színesfém szennyezők is eltávolíthatók a szabályozott pH mellett kialakítható hidrolízis reakciókkal. A vas, a réz és cink Me<sup>2+</sup> kétegyértékű ionok formájában oldódnak le az LCD-üvegről, majd a vasat az oldott oxigéntartalom háromvegyértékű Fe<sup>3+</sup> állapotba oxidálja. Az egyes fémionok a rájuk jellemző meghatározott pH-tartományban a



reakció szerint hidrolizálnak és hidroxid csapadékként kiválnak az oldatból. Az 5. ábrán láthatók a hidroxidok oldhatósági szorzatai alapján számított kritikus pH-tartományok.

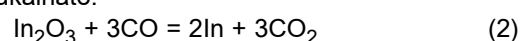


5. ábra. Az oldott fémionok egyensúlyi aktivitása a pH függvényében

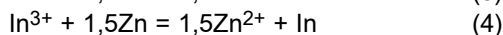
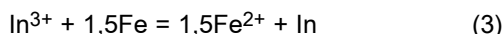
Az indium a vastól eltérő tartományban hidrolizál közönséges, levegővel érintkezésben lévő stabil oldatokból is. Az indiumot és a szennyező fémeket viszonylag nagy (~ 5 g/dm<sup>3</sup>) koncentrációban tartalmazó modelloldatokhoz keverés mellett fokozatosan adagoltunk 1 M NaOH reagenst, miközben a pH-értékét digitális műszerrel folyamatosan regisztráltuk és az oldatból rendszeresen 1 cm<sup>3</sup> térfogatú mintákat vettünk ki, amiket hígítás és üleptetés után atomabszorpciós spektrometriával elemeztünk.

## 2.4. Az indium kinyerése a tiszta oldatból

Noha az In(OH)<sub>3</sub> már 150 °C-on indium-oxidá (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) bontható, a kapott termék karbotermikus módszerrel csak a Boudouard-reakció által biztosítható nagy CO felesleg mellett redukálható:



Ez legalább 1000 °C hőmérsékletet igényelne, ahol az illanási veszteségek is fellépnek továbbá az eljárásnak nemcsak súlyos környezetvédelmi vonatkozásai lennének, de lényegesen szennyezettebb terméket eredményezne, mint a hidrometallurgiai út. A tiszta indiumoldatból a fém kinyerésére egy előnyös és egyszerű módszer lehet a cementálás. Ez hatékonyan és olcsón kivitelezhető, ezért ezt a módszert alkalmaztuk [15–16]. Ezt az indium kevésbé negatív standard elektródpotenciálja ( $E^\circ$ ) segíti elő. Az elsősorban alkalmazható fémek és az oldott indium ionok közötti elektronsere-reakciók az alábbiak:



A vizsgált cementálási reakciókban szereplő fémek standard elektródpotenciáljait, technikai minőségű anyagok piaci árait, és a művelet elméleti fémigényét a 2. táblázat adja meg.

**2. táblázat.** A cementálás szempontjából fontos fémek elektródpotenciáljai [17–19]

Elektród–redox pár	$E^\circ$ , V	Fém ára, Ft/kg	Cementálófém-igény, kg/kg In
In/ $\text{In}^{3+}$	– 0,34	50584	-
Fe/ $\text{Fe}^{2+}$	– 0,44	151	0,732
Zn/ $\text{Zn}^{2+}$	– 0,76	743	0,854
Al/ $\text{Al}^{3+}$	– 1,67	545	0,235

A legolcsóbb redukálószer az ötvözetlen vas, azonban a kis elektródpotenciál-különbségből eredően az egyensúly még viszonylag nagy oldott In-koncentráció mellett beállna, valamint tiszta állapotú vasra lenne szükség. Az alumínium drágább, de a cementáláshoz kisebb mennyiség kell, továbbá a nagy elektródpotenciál-különbség a cementálási reakció gyakorlatilag teljes és gyors lejátszódását segíti elő. A kapott  $\text{AlCl}_3$ -oldatból a só bepárlással kikristályosítható és melléktermékként hasznosítható. Ugyanakkor savas oldatok esetében figyelembe kell venni a reakcióképesebb redukáló fém spontán oldódását is. Megvizsgáltuk a cink alkalmazhatóságát is, ugyanis eb-

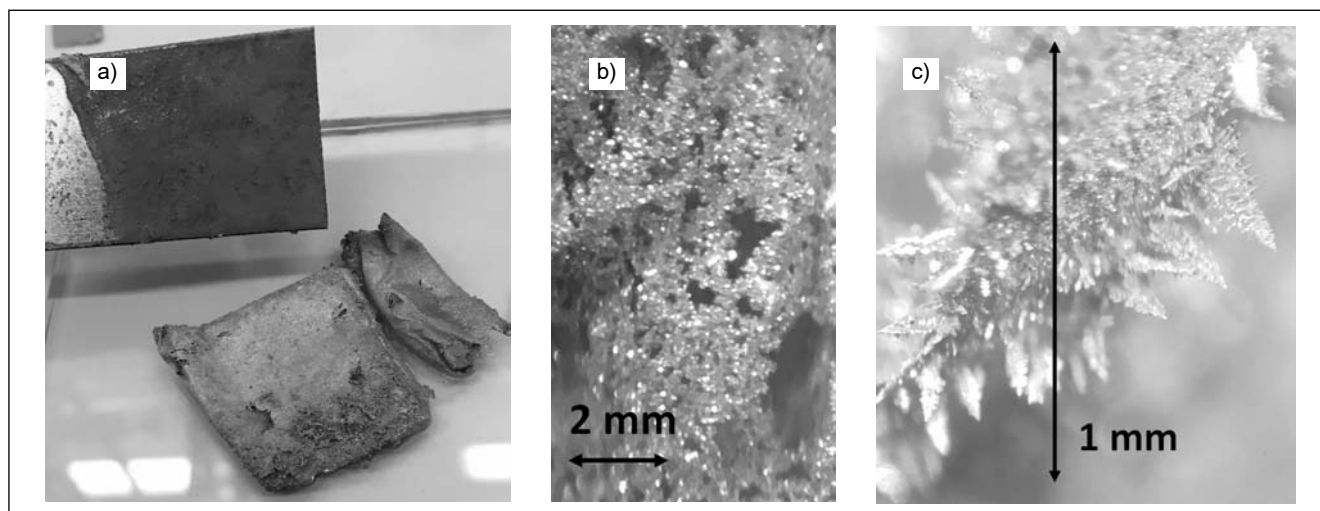
ben az esetben a maradék cink-kloridos oldatból a cink elektrolízissel visszanyerhető.

A kísérletek során az alumínium redukálószeret lemezes kivitelben alkalmaztuk, ami a gyors reakció mellett előnyös forma, hiszen a levált laza és puha indiumréteg egyben lefejtethető. A cementálás fő kísérleteit 25–70 °C hőmérsékleti tartományban vizsgáltuk. A cink esetében a keletkezett In-réteg tömör, így elzárja a reagáló felületet az oldattól így a cementálás nagy maradék In-koncentráció mellett megáll. Továbbá, a mechanikus eltávolítása sem elég hatékony. Az alumíniumlemezen azonban laza szerkezettel válik le a fém. Ez összefüggésben van a cementálási folyamatot a savas oldatokban kísérő spontán alumíniumoldódással, ami hidrogénbuborékokat termelve meggátolhatja a tömör indiumréteg kialakulását. A kísérletek során 50 cm<sup>3</sup> térfogatú és erősen kevert oldatokba merítettük az alumíniumlemezt. Rendszeresen vettünk 0,2 cm<sup>3</sup> térfogatú mintákat, amelyek fémkoncentrációit – hígítás után – atomabszorpciós spektrometriával elemeztük. A termékeket a 6. ábra szemlélteti. Látható az Al-lemeztől könnyedén leválasztott In-szivacs makro- és mikroképe.

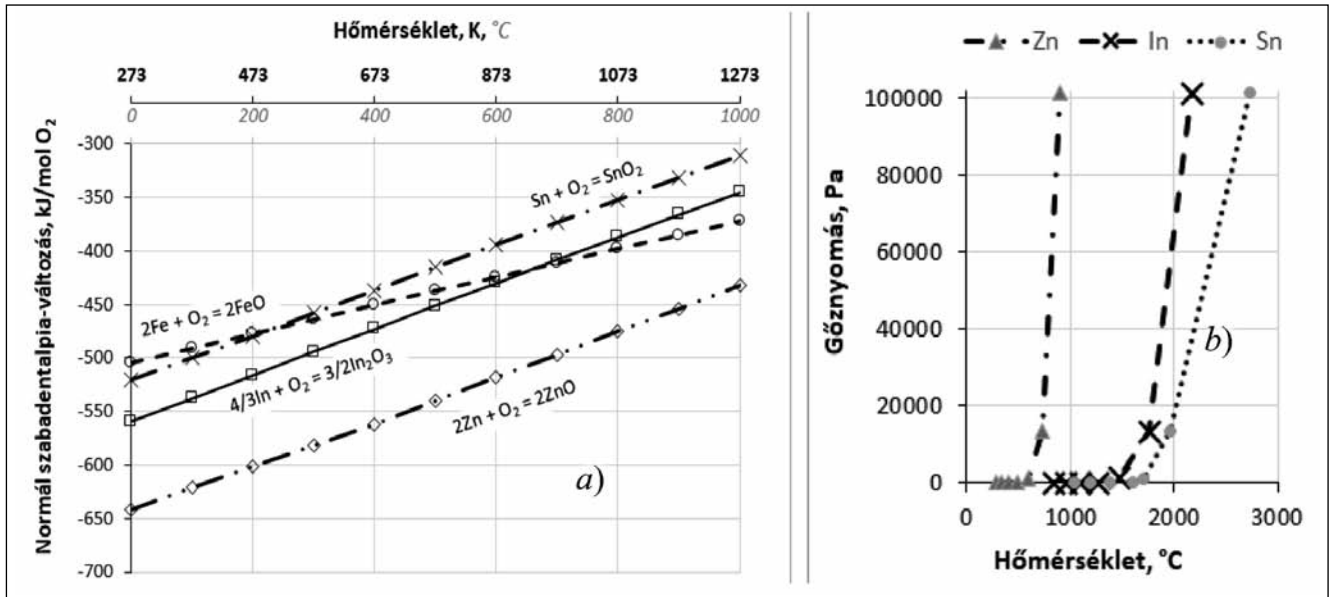
A leválasztott indium dendrites kristályokat alkot, azonban az elektrolízissel szemben itt az elektronfelvétel csak az Al-felületén lehetséges, így a dendritek növekedése hamar leáll. A leválasztott indiumnak az alumíniumlemeztől való eltávolíthatóságát és morfológiáját az oldat savtartalmától függő mértékben képződő hidrogén mennyisége és sebessége alapvetően befolyásolja. Így a cementálás optimalizálása szempontjából fontos a megfelelő idő, hőmérséklet és pH beállítása.

## 2.5. A kinyert fém olvasztása és tömbösítése

A kinyert fém fizikai állapota még nem felel meg a gyakorlati felhasználás, illetve az értékesíthetőség, sőt a hosszabb tárolhatóság követelményeinek sem. A laza szerkezetű anyagot olvasztással kell tömör állapotba hozni. Noha az indium olvadáspontja csupán 157 °C, a finom cementált szemcsékből képződő cseppek hatékony koaleszcenciája nagyobb hőmérsékletet, valamint keve-



**6. ábra.** Az alumíniumlemeztől mechanikusan leszedett In-termék (a), az In-termék sztereomikroszkópos felvételei: kisebb (b), és nagyobb (c) nagyításban



■ 7. ábra. Az In és néhány hasonló reakcióképességű fém oxidképződését kísérő normál szabadentalpia-változás (a) és a gőznyomás a hőmérséklet függvényében (b)

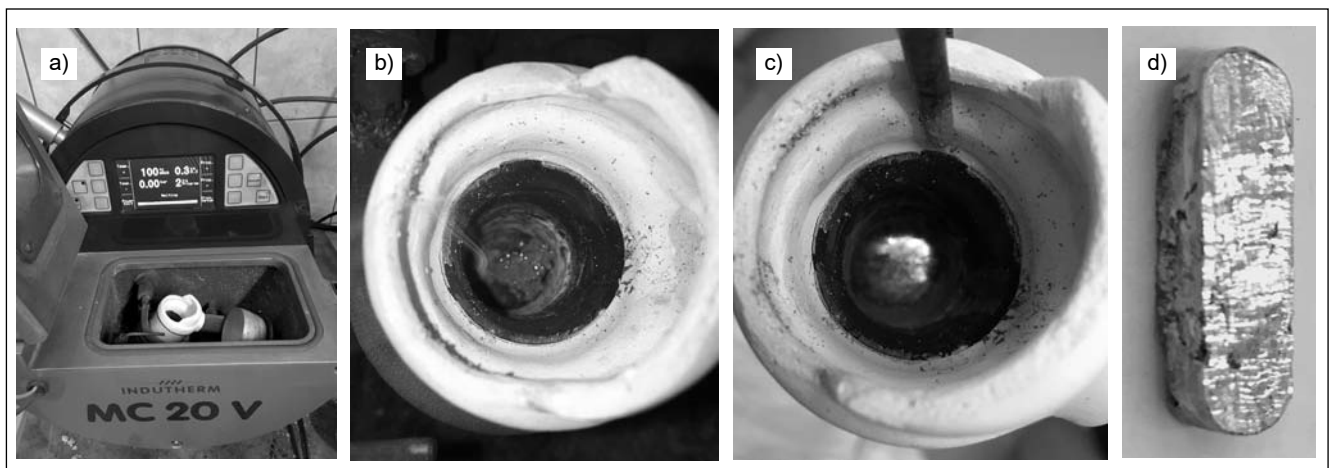
rest igényel. A tömbösítő öntéshez is nagyobb hőmérsékletű fémolvadékra van szükség. A hevítéskor veszélyt jelentő oxidáció termodinamikai feltételeit, valamint az illanás egyensúlyi gőznyomását a HSC-Chemistry szoftver segítségével meghatározott 7. ábra szemlélteti normál állapotokra vonatkozó összehasonlításokkal.

Látható, hogy az olvadáspont közelében az In viszonylag stabil oxidot képez. Hasonló módon kiszámítottuk a légköri nitrogénnel történő reakciók szabadentalpia-változását, ami általában jelentősen pozitív értékeket adott, ennek a veszélye nem áll fenn. Továbbá, alacsony olvadáspontja ellenére, az In nem illékony fém. A néhány száz Celsius-fok tartományban a párolgási veszteségek elhanyagolhatók. A szivacsos fémet a kísérleti olvasztás előtt kiszárítottuk, majd üveglapok között összepréslítettük. A kristályosított tömb formájában kapható fém kihozatali jellemzőit alapvetően levegőatmoszférában történő 200 °C hőmérsékletre hevítő (1-2 perces időt igénylő) indukciós olvasztásokkal vizsgáltuk. A műveletet a 8. ábra képsorozata szemlélteti. Az olvadék a grafitbélésű tégelyben

gömbölyű alakot vett fel, így könnyen eltávolítható, majd a tömege mérhető is volt. Továbbá, a gyakorlat számára javasolt referenciaként, a nagy fajlagos felületű szivacsos állapotú fém hatékony olvasztására védőgázzal öblített kemencetérben vákuum alatt is végeztünk olvasztásokat a kísérlethez használt Indutherm MC 20V típusú vákuumindukciós kemencében. Így az oxidáció, valamint az ezzel szintén együtt járó rosszabb koaleszcencia veszélye inkább elkerülhető volt. Az indukciós fűtéssel járó keveredés kedvez az apró cseppek koaleszcenciájának, amely hatására nagyobb mértékű fémkihozatal érhető el, mint egy közvetett fűtésű kemencében.

### 3. A kísérleti eredmények értékelése

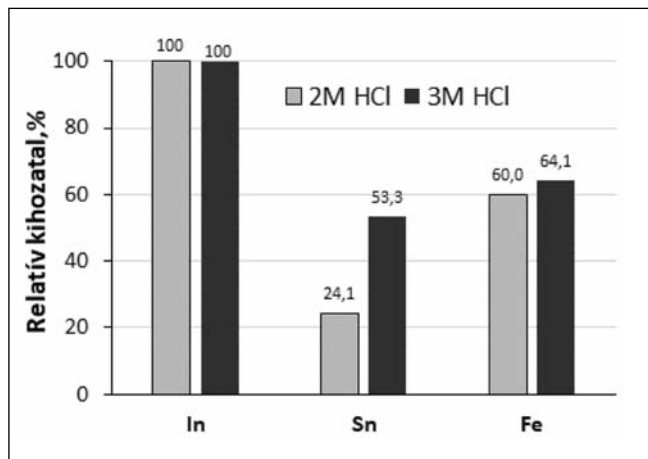
Az LCD-nyersanyag szerkezetének a tanulmányozása, valamint a fent bemutatott elméleti alapokon megtervezett és kivitelezett kísérleti eljárás lépéseit a kapott laboratóriumi eredmények alapján igyekeztünk optimalizálni.



■ 8. ábra. Az In-szivacs beolvasztása: a vákuumindukciós kemence (a), az In-szivacs olvadása (b), az In-olvadék (c) és a csapolt indiumtömb (d)

### 3.1. Az indiumkioldás hatékonysági és szelektivitási jellemzői

A kioldási folyamatokat 30 és 60 °C-on vizsgáltuk 350 1/perc keverési intenzitás mellett különböző időtartamú kezelésekkel. Az 1. táblázatban szereplő feltárt koncentrációk alapján határoztuk meg a relatív kihozatali eredményeket. Ezt a 2–3 M HCl koncentrációs tartományban találtuk optimálisnak az egy órás időtartamú kioldási művelet során rendszeresen gyűjtött, valamint hígított és szűrt oldatminták atomabszorpciós (AAS) elemzésével. A 9. ábra az indiumkihozatal és az In/Sn szelektivitás szerint legmegfelelőbbnek ítélt beállításokkal kapott eredményeket mutatja.



■ 9. ábra. Az LCD-hulladékok intenzív kioldása különböző beállítások mellett (60 °C, 15 perc, 350 1/min keverés mellett)

Az ón kis koncentrációban van jelen, hiszen az oxidja savakkal szemben ellenálló, de az ITO-réteg ismert In/Sn ~ 9 tömegarányú összetétele [20] alapján várt értéknél jelentősen nagyobb a 9. ábrából leolvasható (~ 4) arány, ami jelezheti az LCD-anyagban maradt forrasztási nyomokat. Ezt megerősíti a feltáró kioldás alapján az 1. táblázatban szereplő eredmény is. Az ITO-réteg fő alkotója,

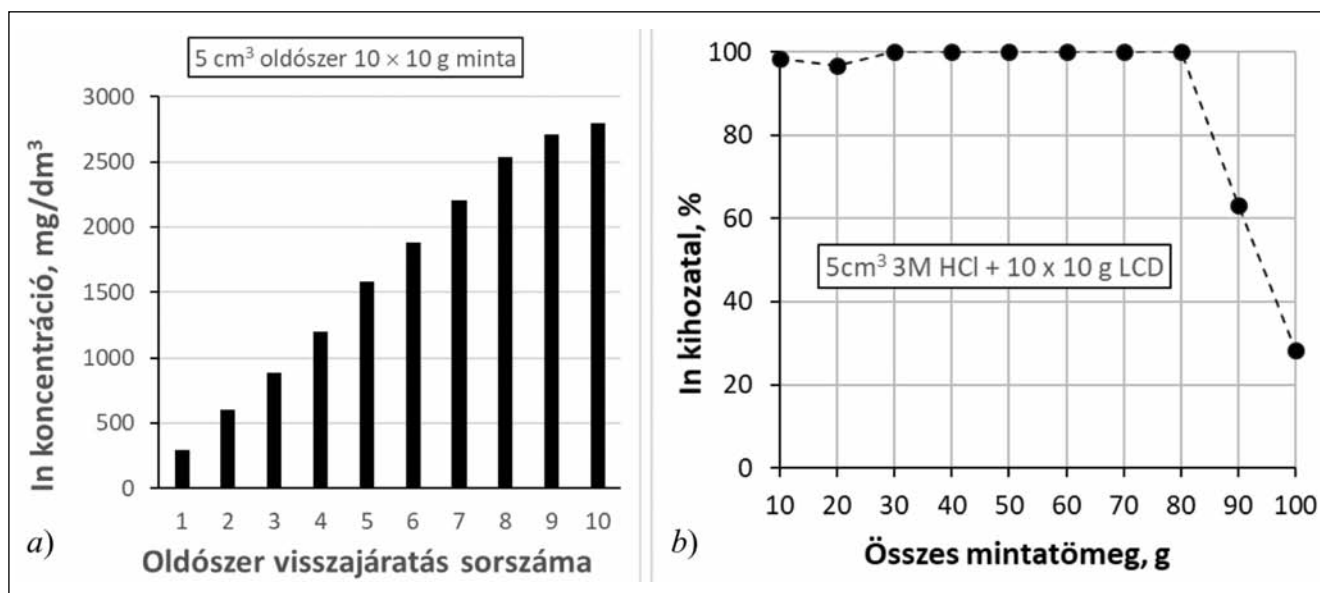
az amfoter természetű indium-oxid ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) viszonylag jól oldható. Az elvégzett kinetikai kísérletek alapján kedvezőnek talált körülményeket 2 mol/dm<sup>3</sup> HCl koncentráció, 60 °C hőmérséklet és intenzív (~ 350 1/perc) keverés jellemzik. Figyelembe véve az ón oldódási jellemzőit is, ~ 15 perces műveleti idő a legkedvezőbb, ami alatt az indium közel teljes mennyisége oldódik, de az ónnak ~ 70%-a, a vasnak pedig ~ 40%-a még oldatlanul visszamarad. A viszonylag kicsi, 1:1 folyadék/szilárd arány alkalmazásával is csak kis (150-170 ppm) indiumkoncentráció volt elérhető. A hatékony kinyerés érdekében lehetséges a koncentráció növelése az oldat bepárlásával, azonban ez a művelet költséges és időigényes, valamint a technikai megvalósítás a víztartalom erős csökkenése során nehézkessé válik. Egyszerűbb és hatékonyabb módszer lehet a kapott oldat azonnali visszajáratása újabb adag törmelék kioldásához. Ilyen dúsítási technikát vizsgáltunk 10 g LCD-törmelékhez 5 ml 3 M HCl oldattal 40 percen keresztül 55 °C-on keverés mellett érintkeztetve. Az oldatot dekantálás után újabb 10 g LCD-mintához járattuk vissza. A 10-szer elvégzett ismétlésekkel kapott eredményeket a 10. ábra mutatja.

Az indium-klorid oldhatósága 1950 g 1 liter vízben, míg ez az érték vas-klorid esetében csak 912 g, az alumínium-kloridra pedig 466 g. Így az ITO-kioldás során az oldhatóság sem jelent gyakorlati akadályt.

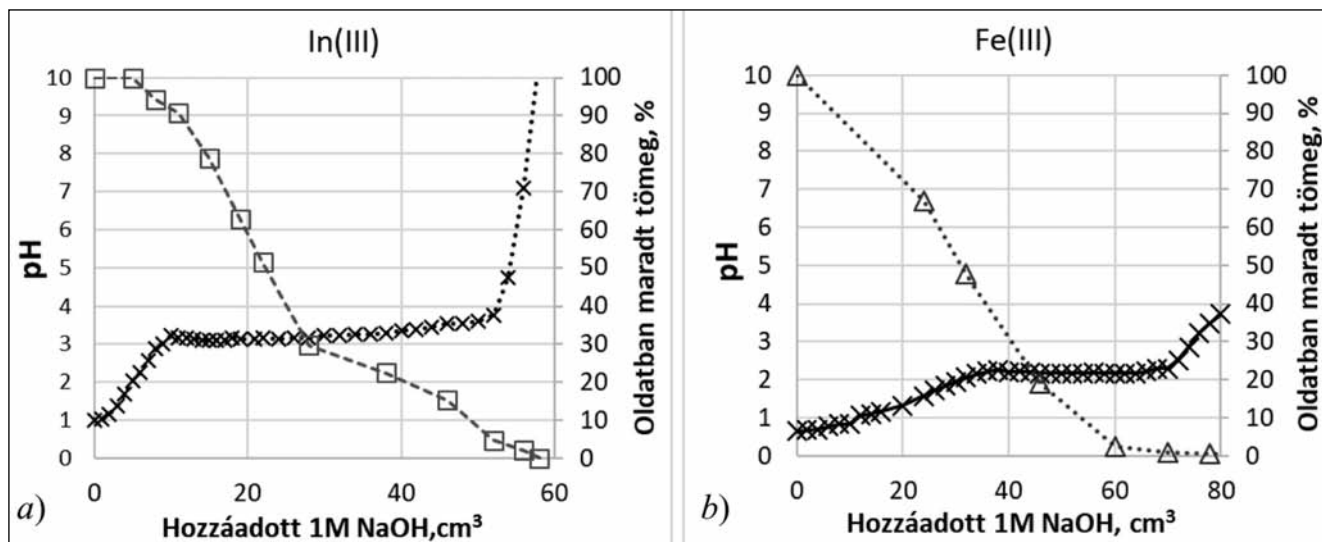
### 3.2. Az indium oldat tisztítási hatékonysága

A tiszta indium, illetve vas-klorid-oldatokkal kapott eredményeket a 11. ábra mutatja. Látható, hogy a gyakorlatban a vas az 1,5-2 között pH-tartományban csapódik ki, az indium pedig a 3-4-es tartományban hidrolizál.

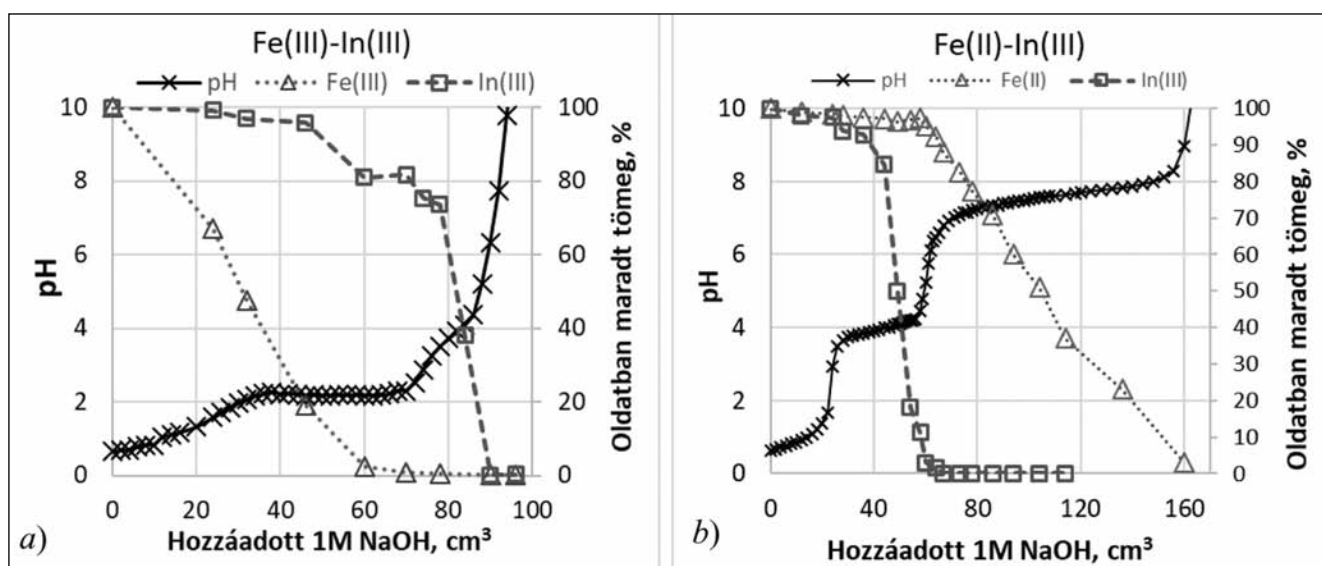
A levegőn stabil több komponensű oldatokkal kapott eredményeket a 12a ábra mutatja. Ebben az esetben a frissen képződött  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -csírák körül a lokális pH-viszonyok eltérhetnek az átlagos értéktől, továbbá vas-hidroxid képes a felületén adszorbeálni a környezetéből rákristályosodó egyéb fém-hidroxidokat. Ezek a kinetikai viszo-



■ 10. ábra. Az LCD-ből nyert In-oldatok dúsulása új minta adagolásával (a), valamint az egyes adagok In-kihozatala (b)

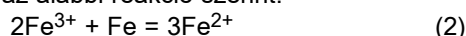


■ 11. ábra. Az In(III) (a) és a Fe(III) (b) hidrolitikus precipitációjának kinetikai görbéi

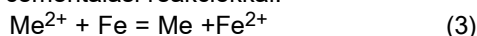


■ 12. ábra. A vas és indium hidrolitikus precipitációval történő elválasztásának kinetikai görbéi levegőn stabil esetben (a), illetve vasforgáccsal végzett redukció után (b)

nyok járulnak hozzá, hogy a vas precipitáltatása során az indium ~ 20%-a is kicsapódik az oldatból. Kedvezőbb megoldást nyújthat a kapott oldatban a Fe(III) redukciója Fe(II) állapotba az alábbi reakció szerint:



Ez egyszerűen végrehajtható vasforgács adagolásával, kevergetés mellett [21]. Ez a kondicionáló művelet – az elektródpotenciálok megfelelő különbsége alapján – egyben az oldat ön- és réztartalmának az eltávolítását is szolgálja az alábbi cementálási reakciókkal:



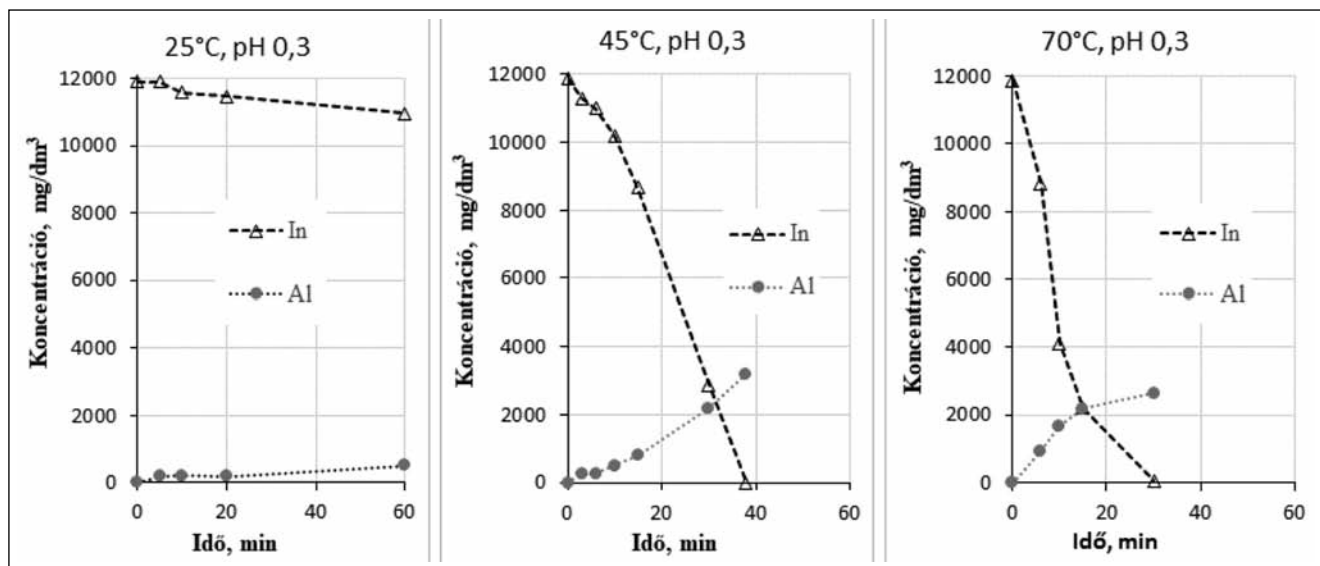
Az előzőhöz hasonló 200 cm<sup>3</sup> vas(III) - In(III) oldatba 30 gramm vasforgácsot adagoltunk. Az Fe(III)-klorid sárga színének az eltűnése jelezte a (2) folyamat gyakorlatilag teljes mértékét. Ez után kezdtük a NaOH adagolást. Az eredményt a 12b ábra mutatja.

A szelektíven kicsapott In(OH)<sub>3</sub> például híg sósavas oldattal könnyedén ismét oldatba vihető. Ez a másodlagos oldat már mentes lehet a kioldásnál bekerülő szennyező fémektől, valamint az InCl<sub>3</sub> jó oldhatósága miatt az

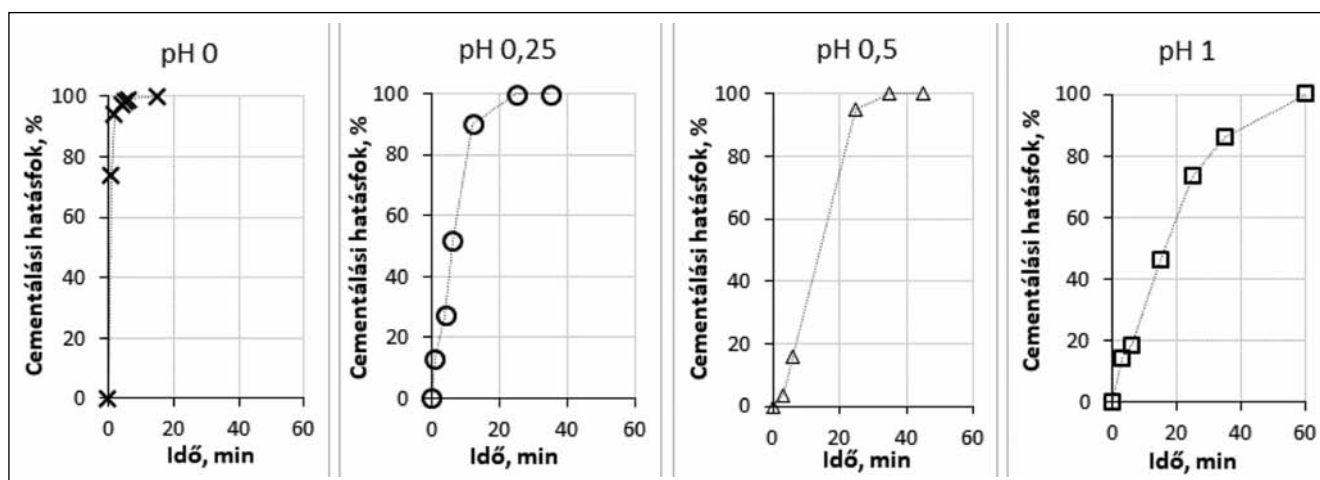
indiumkoncentráció erősen megnövelhető. A kloridos közeg a tiszta fém kinyerése tekintetében is kedvező. Továbbá, a kloridos oldat esetében kihasználható a kloridos komplex ionok képzésében és anioncserés megkötődési képességében a sósavkoncentráció beállításával elérhető jó szelektivitás [22]. Így anioncserés elválasztási módszerekkel akár ultratiszta InCl<sub>3</sub> oldat is előállítható, amiből elektronikai célokra történő felhasználásra is alkalmas ultranagy tisztaságú indium is kinyerhető [23–24].

A szobahőmérsékleten azonban még erős keverés mellett is alig halad a folyamat, így a melegítésre mindenképpen szükség volt. A különböző hőmérsékleteken, valamint stabil pH 0,3 érték mellett végzett cementálás közben vett minták koncentrációit a 13. ábra mutatja.

A hőmérséklet-emelés hatására a cementálási sebesség erősen növekszik, de a redukáló felület spontán oldódása is fokozódhat, így az egységnyi idő alatt fejlődő hidrogén mennyisége is nagyobb. Alapvetően a hidrogén segít a cementált In-réteget fellazítani, porózusabbá tenni, ami lehetővé teszi az oldatnak a cementáló felületre



■ 13. ábra. Az In különböző hőmérsékleten történő cementálásának kinetikai jellemzői

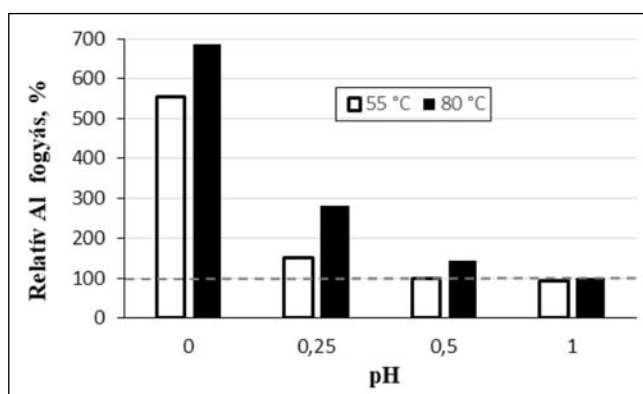


■ 14. ábra. A pH hatása az alumíniumlemezrel történő indiumcementálás hatékonyságára (55 °C, 350 1/perc keverési intenzitás, 5 g/dm<sup>3</sup> kezdeti In-koncentráció)

történő transzportját. Így az alacsonyabb pH (vagyis a nagyobb savtartalom) az indiumrétegen keresztüli iontranszport fokozásával elősegíti a cementálás folyamatát. Ezt a fontos kinetikai hatást szemlélteti a 14. ábra.

Ugyanakkor a 13–14. ábrák azt is mutatják, hogy az In visszaoldódási reakciója – ami a felületi dendritek a hidrogénionokkal közvetlen elektroncseréjéből és az azt követő turbulens iontranszportból eredhet – nem jellemző. Azonban a cementálószer-fogyasztás is fontos szempont, a savasabb közegekben pedig az Al nagyobb mértékben képes oldódni. Ezt a jellemzőt is vizsgáltuk a pH függvényében. A vonatkozó eredmények a 15. ábrán láthatók.

Látható, hogy pH 0,5 felett a cementálószer felhasználása gyakorlatilag a sztöchiometrikus, mennyiségnek felel meg. A pH-t tovább csökkentve azonban jelentősen növekszik. A hőmérséklet emelése az oldódási reakció sebességét növelve tovább növeli az alumíniumfogyasztást. A cementálásra vitt indiumoldat savtartalmát optimalizálni kell a leválasztott indiumréteg porozitása és a felesleges Al-fogyás elkerülése szempontjai szerint. A

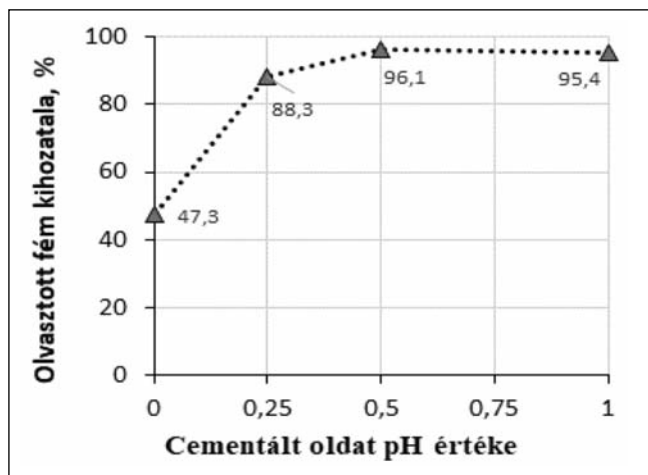


■ 15. ábra. A sztöchiometrikus igény százalékában kifejezett cementálószer-felhasználás az indiumoldat pH-értéke függvényében

felesleges mértékű alumíniumoldódás mellett a túlzott hidrogénfejlődés is káros, hiszen a porozitást olyan mértékben növelheti, hogy a termék közönséges körülmények közötti beolvasztása során a leégés is nagymértékben emelkedhet.

### 3.3. Az olvasztott fém kihozatali jellemzői

A 16. ábra mutatja a különböző pH-értékekkel jellemzett savtartalmú tiszta indiumoldatokból leválasztott In-szivacsok 200 °C hőmérsékleten levegő atmoszférában történő beolvasztásánál a tégegyben befagyasztott fém tömegéből meghatározott fémkiszakalokat.



■ 16. ábra. A cementált In-szivacsok levegő atmoszférában 200 °C hőmérsékleten 1-2 perc alatt elérő indukciós olvasztása után kimutatott fémkiszakalok

Megállapítható, hogy megfelelő körülmények között leválasztott In-szivacs jó hatásfokkal olvasztható, már atmoszférikus viszonyok között is. Azonban az oldatból történő leválasztás során alkalmazott pH hatása is élesen látszik. Az erősen savas (pH < 0,5) oldatban a nagy mennyiségben fejlődő hidrogén az In-szivacs porozitását nagymértékben növeli, sőt a savas közegben az elvkonyodott finom szemcsék átmérője tovább is csökkenhet a visszaoldódás következtében. A finomabb szemcsékből álló laza indium fémszivacsot levegővel érintkezésben nem lehet jó hatásfokkal olvasztani. Amennyiben ilyen olvasztási technika áll rendelkezésre, érdemes a cementálást kevésbé savas pH 0,5–1 tartományban végezni. Továbbá, a rendkívül puha In-szivacs erős mechanikai préselése is tovább növelheti az olvasztás után kapott fém kihozatali jellemzőjét. Ezzel szemben, nitrogénes öblítés után vákuumozott térben indukciós hevítést alkalmazva gyakorlatilag az összes cementált fém a leöntött tömbbe kerülhet, akár nagyobb hőmérséklet mellett is. Az eddigi kísérletekben rendelkezésre álló kevés anyag azonban nem tette lehetővé az indukciós kemence tégegyének a falán ragadó fém miatti veszteség jelentős hatásának az elkerülését.

### 4. Összefoglalás

A jelentős mennyiségű In-ot tartalmazó LCD-hulladékok megfelelő fizikai nyersanyag-előkészítés után értékes szekunder In-forrásként szolgálhatnak. A polarizáló fóliától hőkezeléssel és mechanikai lefejtéssel megszabadított LCD-üvegekből a folyadékkristály 8%-os tenzidtartalmú vízben, vagy egyszerű vizes ultrahangos mosással eltávolítható. Az így kapott üveg aprítás után hidrometallurgiai hasznosításra alkalmas. Az indium kioldódása már 1M sósavban 30 perc alatt 55 °C-on hatékonyan kivite-

lezhető. Az oldat savkoncentrációjának a beállítása és visszajárata után újabb adag LCD-törmelék oldásával az In-koncentráció jelentősen megnövelhető. Az oldatok lehetséges fő szennyezője a vas és az ón, míg további szennyezőként jelen van a réz és cink. A kioldási idő, savtartalom és hőmérséklet optimalizálásával az ón oldódását jelentősen, a vasét pedig számottevően csökkenteni lehet. Az oldódott vas és ón levegővel érintkezésben stabil oldatból kis (~ 2) pH-értéken végzett hidrolízissel eltávolítható, míg az indium kb. 80%-a az oldatban tartható. További szabályozott pH-emelés mellett végzett részleges semlegesítéssel pedig az indium szelektíven kicsapható hidroxid alakban a gyengén savas oldatban még stabil szennyezőket visszahagyva. A hidrolitikus precipitáció szelektivitása azonban tovább javítható az Fe(III) ionok Fe(II) állapotba történő redukciójával ami az oldatot vasforgáccsal keverve viszonylag gyorsan kivitelezhető. Továbbá, a vasforgáccsal érintkezve, az oldat réztartalma is eltávozik cementált formában. A kapott indium-hidroxid enyhén savas közegben újra oldható, majd keverés mellett az oldatba alumíniumlemezt merítve az indium laza szivacs formájában kicementálható. A cementálási sebesség, és ezzel összefüggésben a leválasztott réteg porozitása is növekszik a pH csökkenésével. Ugyanakkor a porózusabb indiumtermék levegőn történő olvasztása során a kihozatal is csökken, így érdemes a cementálást ~ 0,5 pH mellett végezni. Az ilyen feltételek mellett kapott szivacs indukciós kemencében levegő atmoszférában is ~ 95%-os fémkiszakal mellett beolvasztható. Az olvasztási kihozatalt a cementálás körülményeitől függetlenül is nagy értéken lehet tartani, amennyiben inert öblítőgázzal kombinált vákuum alkalmazására van technikai lehetőség.

### Köszönetnyilvánítás

A TUDFO/51757/2019/ITM) 2. modulban végzett tématerületi kutatás a Miskolci Egyetemen, egyfelől az Innovációs és Technológiai Minisztérium támogatásával zajló Tématerületi Kiválósági Program keretében támogatott projekt részeként, másfelől az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által kibocsátott támogatói okirat alapján támogatott projekt részeként valósult meg. A szerzők köszönetüket fejezik ki dr. Tóth Mártonnak, a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézete egyetemi adjunktusának a multieleemes MPAES elemzések elvégzéséért.

### Irodalom

- [1] F. Li, L. Bai, W. He, G. Li and J. Huang, „Resource recovery from waste LCD panel by hydrothermal transformation of polarizer into organic acids,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 299, pp. 103–111, 2015.
- [2] T. Minami, „Substitution of transparent conducting oxide thin films for indium tin oxide,” *Thin Solid Films*, vol. 516, p. 1314–1321, 2008.
- [3] D. Choi, S., J. Hong és Y. Son, „Characteristics of Indium Tin Oxide (ITO) Nanoparticles,” *Materials*, pp. 7662–7669, 2014.

- [4] L. Ciacci, T. Werner, I. Vassura, F. Passarini, „Back-lighting the European Indium,” *Journal of Industrial Ecology*, vol. 23, no. 2., pp. 426–437, 2018.
- [5] J. Yang, T. Retegan and C. Ekberg, „Indium recovery from discarded LCD panel glass by solvent extraction,” *Hydrometallurgy*, vol. 137, pp. 68–77, 2013.
- [6] W. L. Chou and Y. H. Huang, „Electrochemical removal of indium ions from aqueous solution using iron electrodes,” *J. Hazardous Mater.*, vol. 172, pp. 46–53, 2009.
- [7] S. R. Lim and J. M. Schoenung, „Human health and ecological toxicity potentials due to heavy metal content in waste electronic devices with flat panel displays,” *J. Hazardous Mater.*, vol. 177, pp. 251–259, 2010.
- [8] A. N. Zelikman, O. E. Krein, G. V. Samsonov, *Metallurgy of Rare Metals*, Moszkva, 1966.
- [9] „statista,” 2019. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1060401/global-refinery-production-of-indium-by-country/>.
- [10] M. Ueberschaar, M. Schlummer, D. Jalalpoor, N. Kaup and V. S. Rotter, „Potential and recycling strategies for LCD panels from WEEE,” *Recycling*, vol. 2, no. 7, pp. 1–19, 2017.
- [11] B. Csöke, L. Bokányi, J. Fajtli, S. Nagy et al., *Elektronikai hulladékok előkészítése a stratégiai elemek viszszerelése érdekében*, Miskolc: Milagrossa, 159 p., 2014.
- [12] L. Bokányi et al., „Recovery of indium as a critical element from waste LCD panels,” in *Proc. 14th Intern. Mineral Processing Symp.*, Izmir, Turkey, Turkish Min. Development Foundation, pp 645–651., 2014.
- [13] L. Bokányi, T. Varga and V. Máday-Üveges, „Experimental investigation of indium recovery from waste LCD panels by chemical solubilization,” in *Intern. Conf. on Waste Recycling*, WR18, Miskolc, Hungary, p.8., 2014.
- [14] K. Zhang, B. Li, Y. Wu, W. Wang, R. Li, Y. Zhang and T. Zuo, „Recycling of indium from waste LCD: A promising non-crushing leaching with the aid of ultrasonic wave,” *Waste Management*, vol. 64, pp. 236–243, 2017.
- [15] S. J. Hsieh, C. C. Chen and W. C. Say, „Process for recovery of indium from ITO scraps and metallurgic microstructures,” *Materials Sci. and Eng, B*, vol. 158, pp. 82–87, 2009.
- [16] Y. Li, Z. Liu, Q. Li, Z. Liu and Z. Li, „Recovery of indium from used indium-tin (ITO) targets,” *Hydrometallurgy*, vol. 105, pp. 207–212, 2011.
- [17] D. Dobos, *Elektrokémiai táblázatok*, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1979.
- [18] „Londoni Fémtőzsde,” [Online]. Available: <https://www.lme.com/>.
- [19] „Preismonitor,” Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, 20 január 2020. [Online].
- [20] D. Choi, S. J. Hong and Y. Son, „Characteristics of indium tin oxide (ITO) nanoparticles recovered by lift-off method from TFT-LCD panel scrap,” *Materials*, vol. 7, pp. 7662–7669, 2014.
- [21] Z. Horváth és A. Szepessy, *Fémkohászat I, Nehézipari Műszaki Egyetem*: Miskolc, 1970.
- [22] T. Kékesi and M. Isshiki, „Anion exchange for the ultrahigh purification of transition metals,” *Erzmetall*, vol. 56, no. 2, pp. 59–67, 2003.
- [23] T. Kékesi, „Anioncserés elválasztások ultranagy tisztaságú réz előállítására (I),” *BKL Kohászat*, 139. évf., 3. szám, pp. 31–39, 2006.
- [24] T. Kékesi, „Anioncserés elválasztások ultranagy tisztaságú réz előállítására (II),” *BKL Kohászat*, 139. évf., 5. szám, pp. 27–35, 2006.

RENKÓ JÓZSEF BÁLINT – SZABÓ PÉTER JÁNOS

## EN-AW 6082 alumíniumötvözet többtengelyű kovácsolásának fizikai és virtuális szimulációja

*EN-AW 6082 alumíniumötvözet többtengelyű kovácsolását végeztük el Gleeble 3800 termofizikai szimulátor MaxStrain egységén. Az egyes kovácsolási lépések során közel azonos mértékű egyenértékű képlékeny alakítást értünk el. A logaritmusos alakváltozás lépésenként 0,4 volt, a kumulált egyenértékű alakváltozás mértéke körülbelül 4-re adódott. Minden lépés után képeket készítettünk a mintáról, hogy a geometriai változásokat nyomon tudjuk követni. A vizsgált alakváltozási sebesség 0,1 1/s volt. Az alakítás következtében fellépő hőmérséklet-változást az alakítási zóna mellett elhelyezett termoelemmel mértük.*

*A fizikai szimuláció végeसेlemes modellezését QForm3D 9.0.9 szoftverrel készítettük el. A fizikai szimuláció során a szerszám elmozdulását és a hőmérséklet változását rögzítettük. Ezeket az elmozdulásértékeket, mint peremfeltételt használtuk fel a végeसेlemes modellezés során. A fizikai szimuláció hőmérséklet-Idő és erő-elmozdulás diagramjait összevetettük a végeसेlemes modellezéssel kapott diagramokkal.*

**Renkó József** 2016-ban végzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépész Karán, mint gépészmérnök, majd 2019-ben szerezte meg mesterdiplomáját okleveles gépészmérnökként. Jelenleg a Műegyetem Pattantyús Ábrahám Géza Műszaki Tudományok Doktori Iskolájának doktorandusza. Kutatási területe a nem monoton hideg- és melegalakítási folyamatok fizikai és mechanikai modellezése. Emellett kutatásokat végez fémek anyagok színes maratással történő vizsgálatával kapcsolatban is.

**Szabó Péter János** 1992-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen, majd 1995-ben PhD-fokozatot nagyfelbontású röntgen vonalprofil-analízis témakörből. MTA doktori értekezését, melynek témája az ultrafinom szemcsés anyagok előállítása és vizsgálata volt, 2013-ban védte meg, ugyanebben az évben habilitált. Jelenleg a BME Gépészmérnöki Kar Anyagtudomány és Technológia Tanszék tanszékvezető egyetemi tanára.

## 1. Bevezetés

Az elmúlt 25 év során az intenzív képlékeny alakítás (IKA) technológiája jelentős fejlődésen ment át [1–4]. A témával foglalkozó kutatók számos új eljárást fejlesztettek ki, melyek segítségével tömbi ultrafinom szemcsés mikro-szerkezet érhető el. Néhány tipikus módszer a nagynyomású csavarás [5–8], a könyöksajtolás [9–14], a ciklikus zárt szerszámú kovácsolás [15] és a többtengelyű kovácsolás [16–18]. Laboratóriumi vizsgálatokra az említettek közül a többtengelyű kovácsolás (TK) a legalkalmasabb. A TK az esetek többségében nem igényel speciális szerszámokat, könnyen telepíthető, a munkadarab mérete pedig elérheti a 100 mm-t [22–25].

A többtengelyű kovácsolás fizikai megvalósításához a Gleeble 3800 termofizikai szimulátor MaxStrain egységét használtuk. E berendezés segítségével a kovácsolás paramétereit, így a kovácsolási erőt, a szerszám mozgása és a hőmérséklet nagy pontossággal szabályozható.

A fizikai megvalósítást egy virtuális szimuláció kísérte. Ehhez a QForm3D 9.0.9. szoftvert alkalmaztuk egy végeelemes modell (VEM) elkészítéséhez. Ha ezeket a szimulációkat gondosan megtervezzük és a pontosságukra ügyelve végezzük el, akkor segítségünkre lehetnek az alakítás során lezajló folyamatok mélyebb megértésében. Ráadásul egy jól előkészített és megfelelően hitelesített VEM nagy pontossággal tudja szimulálni a változtatásokat, ezzel megtakarítva a fizikai kísérletek gyakran jelentős költségeit. A fizikai vizsgálatok előtt elvégzett végeelemes modellezés azonosítani tudja az esetleges anyaghibák és a tönkremenetel helyeit már a kísérlettervezés során [26–30]. Nem monoton alakváltozási folyamatok reprodukálása és ezek megbízhatóságának meghatározása céljából összevetettük a virtuális és a fizikai szimuláció során felvehető, illetve mérhető egyes karakterisztikus görbék alakját.

## 2. Kísérleti anyag és vizsgálati módszerek

### 2.1. Kísérleti anyag

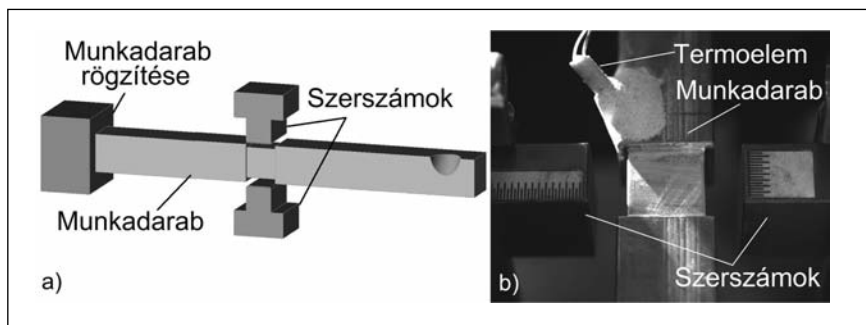
A vizsgált anyag egy EN-AW 6082 típusú alumíniumötvözet volt, melynek összetétele a szabványos határértékek közé esett (1. táblázat). A próbatestet aktív, vizsgált tartományának mérete 12 × 12 × 12 mm volt, de a szerszámgeometria miatt szükség volt egy befogószár kialakítására is (1. ábra). A munkadarab végleges hossza így 175 mm, oldalhosszúsága 15 mm-re adódott.

1. táblázat. Az EN-AW 6082 ötvözet névleges kémiai összetétele

Elem Koncentráció (tömeg%)	Al	Mn	Si	Fe	Mg	Zn	Cu	Ni	Cr	Ti	Sn	Pb
	97,229	0,502	0,978	0,252	0,780	0,055	0,089	0,005	0,044	0,045	0,001	0,020

## 2.2. Fizikai szimuláció

A többtengelyű kovácsolás fizikai megvalósításához a Gleeble szimulátor MaxStrain egységét használtuk. A TK 10 lépésből állt. A logaritmikus alakváltozás lépésenként 0,4 volt, így a kumulált egyenértékű alakváltozás mértéke körülbelül 4-re adódott. A próbatestet két végén befogófejeket alakítottunk ki, amelyek a berendezés forgatóegységéhez csatlakoztak (1a ábra). Ennek az elrendezésnek



1. ábra. A próbatestet rögzítése és a szerszám mozgása a virtuális szimuláció során (a), és a termoelem elhelyezkedése a próbatesten (b)

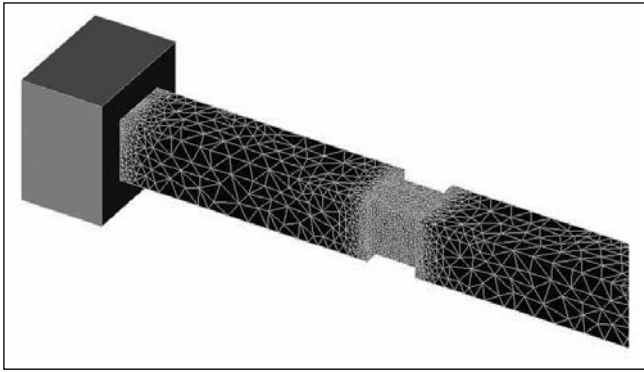
köszönhetően a próbatestet az éppen aktuális alakítási lépésnek megfelelő pozícióba volt forgatható. Minden egyes kovácsolási lépés után a próbatestet 90°-kal elforgattuk, így valósítva meg a többtengelyű kovácsolást.

A szimuláció során a Gleeble-rendszer folyamatosan rögzítette a próbatestet hőmérsékletét, az alkalmazott erőt és a szerszám mozgását. Az adatgyűjtés frekvenciája 100 Hz volt. A hőmérséklet megfelelő detektálása érdekében egy termoelemet rögzítettünk közvetlenül az alakítási zóna mellé. Az alakítás kezdetén mért hőmérsékletet tekintettük a későbbiek során a virtuális szimuláció kiindulási hőmérsékletének.

### 2.3. Végeelemes modellezés

A virtuális szimulációt a QForm3D 9.0.9. szoftver segítségével végeztük el. A szerszámok, a próbatestet és a befogás CAD-modelljeit már korábban elkészítettük. A testek hálóját a szoftver automatikusan hozta létre a korábban beállított finomság és peremfeltételek alapján. Az alkalmazott elemtípus tetraéder volt. A szimuláció során az újrarállítás automatikus és folyamatos volt, melynek során megőriztük a korábban beállított peremfeltételeket, és tovább növeltük a háló finomságát a deformált részen. A végeelemes háló oldalhosszúságait a befogásoknál, az alakított térfogaton, illetve annak közvetlen közelében 0,8 mm-ben maximáltuk. A sebesség és a pontosság viszonyának optimalizálása céljából félmodellt használtunk. A fizikai szimuláció során detektált és rögzített szerszámmozgást, kiindulási hőmérsékletet, mint peremfeltélt alkalmaztuk. A kezdeti elemszám a 87,5 mm hosszú

félmodellben 24335 volt, ami a szimuláció végére 68187-re növekedett (2. ábra).



■ 2. ábra. Kiindulási háló

A valós idő-elmozdulás diagram nagy mennyiségű holtidőt tartalmaz a szerszámok forgatások közötti mozgása miatt, ezért a számítási idő-elmozdulás görbékét úgy módosítottuk, hogy legalább egy szerszám mindig mozgásban legyen, mialatt a szerszámmozgások hossza és időtartama nem változik. Ezzel a módszerrel a szimulációs idő 1100 másodpercről 51 másodpercre csökkent.

Amint azt már korábban említettük, célunk az volt, hogy ellenőrizzük az anyagmodell megbízhatóságát, emiatt az anyagtörvényt a QForm3D adatbázisából választottuk. A modell kombinálja a rugalmas és képlékeny viselkedés elemeit, az alakváltozást pedig az alkalmazott feszültség, az alakváltozási sebesség és a próbatest hőmérsékletének figyelembevételével számítja ki.

### 3. Eredmények és értékelésük

#### 3.1. Erő-elmozdulás görbék

A mindkét módszerrel (fizikai, illetve végeeselemes) felvett szimulációs adatokat kiértékeljük, majd 10 kovácsolási lépésre bontottuk. Az erő-elmozdulás görbék a 3. ábrán láthatók. Az előzőleg meghatározott alakváltozás eléréséhez szükséges erőértékek meglepő jellegzetességet mutatnak mindkét módszer esetén. Az első kovácsolási

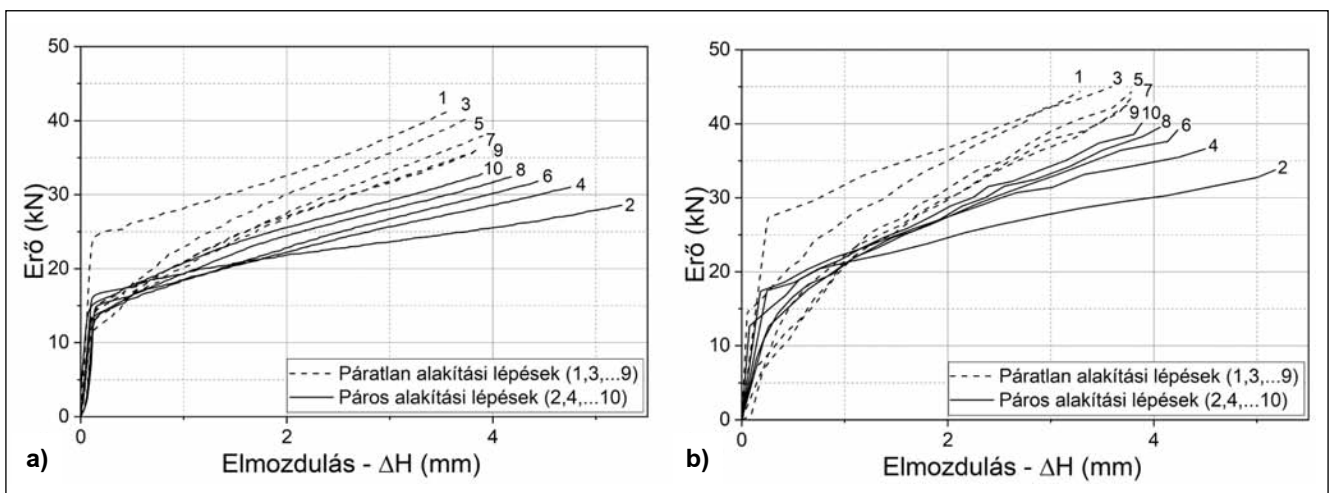
lépéshez kell a legnagyobb erőt alkalmazni, a másodikhoz a legkisebbet, ezt követően a páratlan lépések erőigénye fokozatosan csökken, míg a párosoké nő. Ahogy a kovácsolási ciklusszám előrehalad, a páros és páratlan ciklusok erőigénye egyre közelebb kerül egymáshoz.

Ezt a jelenséget korábban Bereczki és társai tanulmányozták [32, 33]. Az első kovácsolási lépés után olyan diszlokációs szerkezet alakul ki, amely akadályozná az adott irányból érkező további alakváltozást, amint ez a monoton alakításoknál jól ismert. Azonban az alakítás irányának 90°-os elfordulása olyan diszlokáció-reakciókat eredményez, melyek hatására a képlékeny alakváltozás kisebb alakítási szilárdság mellett megy végbe. Ennek eredményeként a második kovácsolási lépéshez szükséges erő jelentősen kisebb az elsőnél. Az első két kovácsolási lépés után szignifikáns szemcsefinomodás veszi kezdetét [34–37], amely a fent leírt különbséget csökkenti. Ennélfogva a diszlokációs szerkezet kevésbé hatékonyan akadályozza a páratlan számú ciklusok során fellépő alakváltozást és hatékonyabban a párosoké. Nagyszámú ciklus után a páros és páratlan ciklusokhoz tartozó görbék azonos értékhez konvergálnak. Bár a görbék jellege hasonló, a fizikai és a végeeselemes szimuláció jelentős eltérést mutat (4. ábra). A végeeselemes modell körülbelül 5 kN-nal nagyobb erőszükségletet számol, mint ami a fizikai szimuláció során realizálódik.

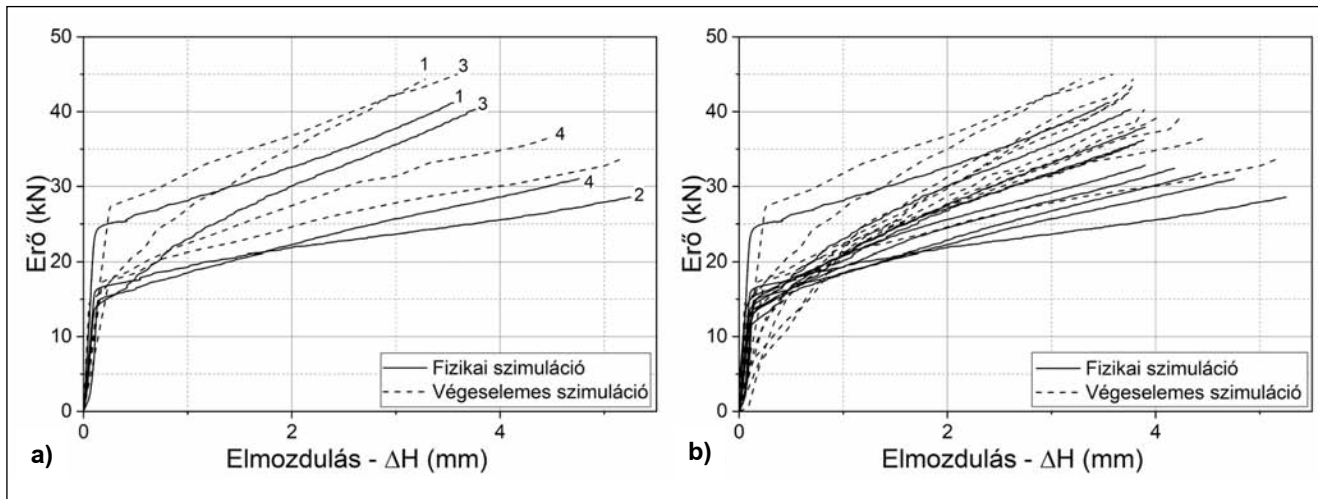
#### 3.2. A hőmérséklet hatása

Mindkét esetben folyamatosan rögzítettük a próbatest hőmérsékletének a változását. A fizikai szimulációnál ezt egy termoelemmel végeztük, míg a végeeselemes szimulációnál egy nyomkövető pontot definiáltunk azon a helyen, ahol fizikailag a termoelem elhelyezkedett (5. ábra). A végeeselemes szimuláció kezdeti hőmérsékletét 26,3 °C-nak vettük fel, mert ez volt a fizikai szimuláció során a próbatest kiindulási hőmérséklete.

A legtöbb alumíniumötvözet jó hővezető, ami a fém gyors lehűlését eredményezi az alakítást követően. A végeeselemes modellezés során a próbatest hőmérséklete gyorsabban emelkedett, mint a fizikai szimulációnál. A különbség magyarázata a két szimuláció időszükséglete



■ 3. ábra. Erő-elmozdulás diagramok a fizikai (a) és a virtuális (b) szimuláció során



■ 4. ábra. Az egyes erő-alakváltozás görbék összehasonlítása az első 4 ciklus során (a), és a teljes folyamat alatt (b)

közötti különbségben rejlik: míg a fizikai szimuláció megvalósításához 1100 másodpercre volt szükség, a véges-elemes modellt ennél sokkal kevesebb idő alatt ment végbe. Emiatt utóbbi esetben a próbatestnek kevesebb idő állt rendelkezésére a visszahülésre, ami a hőmérséklet kis mértékű emelkedéséhez vezetett. A próbatest hőmérséklete egyik esetben sem érte el a melegalakítás hőmérsékletét, mindkét folyamat hidegalakításnak tekinthető.

#### 4. Összefoglalás

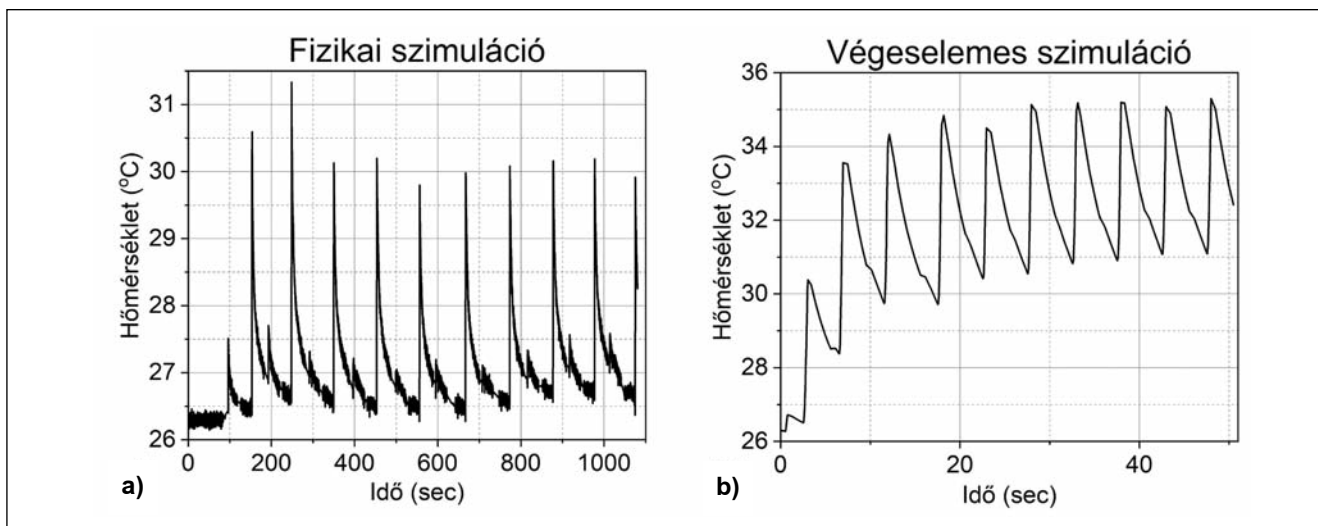
Az EN-AW 6082 alumíniumötvözet többtengelyű kovácsolására fizikai és véges-elemes modellt készítettünk. A fizikai szimuláció során rögzítettük az idő, a szerszámmozgás, a hőmérséklet és az alkalmazott erő változását. Ezen adatok peremfeltételként történő felhasználásával, virtuális szimulációt hajtottunk végre.

A virtuális szimuláció jó közelítéssel reprodukálta a valós körülményeket. Az erő-elmozdulás görbék jellege mindkét esetben hasonló volt. Az első kovácsolási lépéshez kellett a legnagyobb erőt alkalmazni, a másodikhoz a legkisebbet. Ezt követően a páratlan lépések erőigénye

fokozatosan csökkent, míg a párosoké nőtt. Ha feltételezzük, hogy létezik egy, a végtelen ciklusszámhoz tartozó erő-alakváltozás görbe, akkor a harmadik ciklustól kezdve a páratlan számú ciklusok ezt felülről, a párosak alulról közelítik.

Bár a görbék jellegüket tekintve megegyeztek, konkrét értékeik az adott kovácsolási lépéstől és a pillanatnyi elmozdulástól függően eltérést mutattak. A véges-elemes görbénél átlagosan 5 kN-nal nagyobb értékek voltak tapasztalhatók. A különbség a véges-elemes szimulációhoz használt anyagmodellből fakad, amely nem volt képes jelen formájában megfelelő választ adni az anyag nem monoton viselkedésére. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a modell ne lenne használható fizikai szimulációk reprodukálására. Egytengelyű terhelés esetén a modell nagy pontossággal visszaadja a valós változásokat.

Összefoglalva, a módszer alkalmas arra, hogy a többtengelyű kovácsolás folyamatát tanulmányozzuk és megértsük. Ehhez azonban a meglévő anyagmodelleket pontosítani kell, hogy többtengelyű, ciklikus terhelésnél is megbízható eredményt adjanak.



■ 5. ábra. A próbatest hőmérsékletének változása a fizikai szimuláció (a) és a virtuális szimuláció (b) során

## Köszönetnyilvánítás

A jelen cikkben megjelenített eredményekhez az EFOP-3.6.1-16-2016-00003 „K+F+I folyamatok hosszú távú megerősítése a Dunaújvárosi Egyetemen” c. projekt által finanszírozott kutatások járultak hozzá.

## Irodalom

- [1] V. M. Segal, V. I. Reznikov, A. E. Drobyshevskij, V. I. Kopylov, Russian Metallurgy, 1, (1981) 115.
- [2] V. M. Segal, Mater. Sci. Eng. A197 (1995) 157–164.
- [3] A. Azushima, R. Kopp, A. Korhonen et al. CIRP Annals – Manufacturing Technology 57 (2008) 716–735.
- [4] R. Z. Valiev, O. A. Kaibyshev, R. I. Kuznetsov, R. Sh. Musalimov, N. K. Tsenev, Dokl Akad Nauk SSSR 301 (1988) 864.
- [5] A. P. Zhilyaev, T. G. Langdon, Prog. in Mater. Sci., 53. (2008) 893–979.
- [6] Y. Todaka, M. Umemoto, A. Yamazaki et al., Mater. Transactions, 49(1). 1 (2008) 47–53.
- [7] A. Korbel, M. Richert, J. Richert, In: Proc. 2nd Riso Int. Symp. on Metall. and Mater. Sci., Roskilde, (1981) 445–450.
- [8] Y. Harai, Y. Ito, Z. Horita, Scripta Mater. 58. (2008) 469–482.
- [9] A. A. Popov, I. Y. Pyshmintsev, S. I. Demakov, A. G. Illarionov, T. C. Lowe, R. Z. Valiev, Scr. Mater. 37 (1997) 1089–1094.
- [10] R. Z. Valiev, R. K. Islamgaliev, I. V. Alexandrov, Progress in Mater. Sci. 45 (2000) 103–189.
- [11] R. Z. Valiev, T. G. Langdon, Prog. in Mater. Sci. 51 (2006) 881–981.
- [12] G. J. Raab, R. Z. Valiev, T. C. Lowe, Y. T. Zhu, Mater. Sci. and Eng. A, 382(1–2) (2006) 30–34.
- [13] A. V. Nagasekhar, U. Chakkingal, P. Venugopal, J. of Mater. Proc. Techn., 173. (2006) 53–60.
- [14] Ma. Aibin, N. Yoshinori, S. Kazutaka, S. Ichinori, S. Naobumi, Scripta Mater., 52(6). (2005) 433–437.
- [15] D. Magalhães, A. Pratti, A. Kliauga, J. Rubert, M. Ferrante, V. Sordí, J. of Mater. Res. and Techn. 8(1) (2018) 333–343.
- [16] A. Rezaee-Bazzaz, S. Ahmadian, Mater. and Design, 34. (2012) 230–234.
- [17] R. M. Kuziak, W. Zalecki, M. Pietrzyk, S. Weglarczyk, Bulk and Graded Nanometals, 101–102. (2005) 43–48.
- [18] S. G. Chowdhury, A. Mondal, J. Gubicza, G. Krallics, A. Fodor, Mater. Sci. and Eng. A, 490.(1-2) (2008) 335–342.
- [17] Y. Saito, N. Tsui, H. Utsunomia, T. Sakai, R.G. Hong, Scripta Mater., 39(9). (1998) 1221–1227.
- [18] H. Utsunomiya, K. Hatsuda, T. Sakai, Y. Saito, Mater. Sci. and Eng. A, 372. (2004) 199–206.
- [19] J. Y. Huang, T. Z. Yuntian, D. J. Alexander, T. C. Lowe, R. J. Asaro, Mater. Sci. & Eng. A, 371(1-2). (2004) 35–39.
- [20] A. Krishnaiah, U. Chakkingal, P. Venugopal, Scripta Mater., 52. (2005) 1229–1233.
- [21] G. Krállics, A. Fodor, A. Avena, Ultraf. Grained Mater.: 5th Symp. on Ultraf. Grained Mater., Warrendale (2006). 395–400.
- [22] P. J. Szabó, Bereczki, B. Verő, Period. Polytechn. Mech. Eng. 55(1) (2011) 63–66.
- [23] T. S. B. Naser, G. Krállics, Mater. Sci. Forum 729 (2012) 464–469.
- [24] M. Tikhonova, V. Dudko, A. Belyakov, R. Kaibyshev, Mater. Sci. Forum 667–669 (2010) 565–570.
- [25] S. Ringeval, J. H. Driver, Mater. Sci. Forum 519–521 (2006) 979–984.
- [26] J. Li, F. Wu, International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA), Changsha (2017) 355–357.
- [27] C. M. O. L. Roque, S. T. Button, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences 22(2) (2000) 189–202.
- [28] J. B. Renkó, D. Kemény, J. Nyirő, D. Kovács, Mater. Today: Proc. 12 (2019) 462–469.
- [29] S. Wangchaichune, S. Suranunthai, Appl. Mech. and Mater. 875 (2018) 30–35.
- [30] B.-A. Behrens, Cirp Annals-manufacturing Technology 57 (2008) 305–308.
- [31] G. A. Smirnov-Aljajev, Masinostroenije, SSSR, Leningrad (1978) 463
- [32] P. Bereczki, V. Szombathelyi, G. Krállics, International Journal of Mechanical Sciences 84 (2014) 182–188.
- [33] P. Bereczki, G. Krallics, J. B. Renkó, Proc. Manuf. 37 (2019) 253–260.
- [34] Y. Estrin, A. Vinogradov, Acta Mater. 61(3) (2013) 782–817.
- [35] A. Rosochowski, L. Olejnik, Microstr. Evol. in Metal Forming Proc. (2012) 114–141.
- [36] J. Kratochvíl, et. al., Mater. Sci. Forum 667–669. (2010) 617–622.[37]
- [37] T. C. Lowe, R. Z. Valiev, JOM 56 (2004) 64–68.

## FROM THE CONTENT

(Continued from page B2)

**Nagy Erzsébet – Kristály Ferenc – Barkóczy Péter – Mertinger Valéria: Application of Rietveld refinement on orientated metal structures ... 42**

The phases formed during crystallization or transformed during cooling often create a complex structure which shows anisotropic character. In the cast structure, an oriented grain structure is formed as a result of heat removal, while in the case of uniaxial or multiaxial deformations (rolling or drawing) a main orientation corresponding to the direction of deformation is created in the material. In the case of an oriented block sample, during phase analysis by XRD the oriented structure influences the intensity received from the measured phases, even reflections may be omitted from the diffractogram

due to the orientation. If the value of the diffracted intensity received from a phase changes, the value of the phase quantity also changes, it differs from the real value. A realistic structure can be described more exactly by using the Rietveld refinement method. In case of the phase analysis performed by the Rietveld refinement method, it is possible to take into consideration and to correct both the preferred orientation and the strain accumulated in the lattice. Each phase is fitted individually and the unique preferred orientation characterizing the phase and the lattice strain are corrected during this process. In our experiments in the complex microstructures formed in CuZn alloy we followed the relationship between the preferred orientation and the amount of phase by Rietveld refinement method.

KAPTAY GYÖRGY

## Kémiai elemek a kohászat szolgálatában és azon túl

*A szerző rendszerezi az eddig a természetben felfedezett 94 és a fizikusok által kreált 24 (összesen 118) elemet, különválasztva a kohászat szempontjából hasznos (nem radioaktív) 81 elemet a 37 radioaktív elemtől. Mivel a 81 elem közül 16 elem erősen toxikus, azok csak kontrollált ipari körülmények között használhatóak, kitérésük az egyéni fogyasztóknak szánt termékekből folyamatos. Tehát az egyéni fogyasztóknak szánt termékeket a maradék 65 elemből kell megalkotni. Bemutatja, hogy a 81 elemből csak 75 elemnek ismertek megfelelő pontossággal a tulajdonságai, 6 elemnek azonban (különösen a lítiumnak) olyan változatos a földkéreg különböző helyein az izotóp-összetétele, hogy tulajdonságaik nem ismertek megfelelő pontossággal.*

### 1. Bevezetés

A kohászat a kémiai elemekből építkezik [1]. Innen kiindulva ez a cikk a számunkra hasznos, illetve haszontalan kémiai elemek számbavételével foglalkozik, illetve azzal, hogy az egyes hasznos elemek felhasználhatósága vajon korlátozott-e, illetve tulajdonságaik ismertek-e legalább a mérnöki igények szintjén, ami kb. 4 értékes jegyet jelent.

### 2. Az elemek csoportosítása és tulajdonságaik [2-11]

Egy elem atomjai azért tartoznak egy adott elemhez, mert adott számú proton van az atommagjukban. Ugyanazon elem különböző izotópjai pedig abban különböznek egymástól, hogy atomjaik atommagjában az azonos protonszám mellett különböző számú neutron tartalmaznak. Az atomok összes tulajdonságát belső szerkezetük határozza meg. Ezért egy elem minden izotópjának minden tulajdonsága kisebb-nagyobb mértékben eltér egymástól, de egy azonos izotóp-eloszlású elemnek reprodukálható átlagos tulajdonságai vannak. Mivel az izotópok elválasztása nehézkes és drága, a kohászat az elemeket abban az izotópkeverék formájukban használja, ahogy ezek az elemek a földkéreg felső részében találhatóak, és onnan kibányászásuk azokat, majd a körforgásos gazdaságnak köszönhetően remélhetőleg ugyanabban a nem radioaktív izotóp-összetételben kapjuk vissza ugyanazokat az elemeket a 2., 3. stb. újrahasznosítási ciklusokban.

A földkéregben és a földi atmoszférában eddig 94 elemet fedeztünk fel, de ezek közül csak 81 elem gyakorlatilag sta-

bil, azaz nem radioaktív (részletesebben lásd lent). A maradék 13 természetes elem radioaktív, ezek közül csak az urán (U) és a tórium (Th) van szignifikáns mennyiségben a földkéregben. Ezen túl a fizikusok a mai napig 24 további mesterséges elemet hoztak létre, melyek mindegyike erősen radioaktív. Így ma (pontosabban 2007 óta, de még 2020 végén is érvényesen) összesen 118 elem ismert (1. ábra). Várható, hogy a fizikusok a jövőben további elemeket fognak kreálni, de valószínű, hogy azok mindegyike erősen radioaktív elem lesz (részletesen lásd lent). A radioaktív elemek közül a legkevésbé radioaktív az urán, de az életre már ez az elem is túlságosan veszélyes ahhoz, hogy sugárzó funkcióját leszámítva bármilyen másra is használjuk. Ezért a kohászat csak a 81 gyakorlatilag stabil elemet használja.

A 81 stabil elemből 16 erősen toxikus, ezért ezeket érthető módon jogi eszközökkel fokozatosan szorítják ki azon termékekből, melyek egyéni felhasználókkal kapcsolatba kerülnek. Ennek oka az emberi butaság és felelőtlenség: sajnos nem bízhatunk abban, hogy embertársaink vigyáznak magukra és egymásra. Tehát minden olyan termékben, ami egyéni felhasználókkal kerül kapcsolatba, lényegében csak 65 elem használható, vagy legalábbis e jogi helyzet felé haladunk. A jó hír az, hogy kontrollált ipari körülmények között mind a 81 stabil elem használható.

Az elemek izotóp-összetételének függvényében a 81 stabil elem három csoportba osztható (2–4. ábra). A 2. ábrán bemutatott 20 elem a legkönnyebben kezelhető számunkra, ezek ugyanis csak egy-egy izotópot tartalmaznak, így minden tulajdonságuk nagy pontossággal ismert. Ugyan a 3. ábrán bemutatott 48 elem mindegyike több stabil izotó-

*Kaptay György okleveles kohómérnök (1984, Leningrádi Műszaki Egyetem), a műszaki tudományok kandidátusa (1988, ugyanott), a Miskolci Egyetem professzora (1999 óta), az MTA doktora (2005 óta), részfoglalkozásban a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Kft. vezető kutatója (2006 óta), a BAY-NANO Kutatóintézet alapító igazgatója (2006–2007), a nanotechnológiai oktatás megalapítója a Miskolci Egyetemen (2007), az MTA levelező tagja (2016 óta), a Magyar Anyagtudományi Egyesület elnöke (2015 óta), a Miskolci Egyetem*

*Tudományos Tanácsának elnöke (2017 óta) és az MTA Miskolci Akadémiai Bizottság elnöke (2020 óta). A Scimago szerinti Q1 (legjobb 25%) folyóiratcikkeinek száma 75 (ezek közül az MTMT szerint 41 cikk D1 minősítésű, azaz a tudományterület legjobb 10%-ában van), független hivatkozásainak száma 3.100 feletti, az azokból szármolt h-indexe 28. BKL Kohászat cikkeinek száma 37. Kutatási területei: metallurgia, kémiai termodinamika, határfelületi jelenségek, elektrokémiai szintézis, nanotudományok, anyagmodellek.*



pot tartalmaz, ezek tulajdonságai ennek ellenére megfelelő pontossággal ismertek, mivel a földkéreg különböző pontjain talált minták izotópeloszlása a méréshatáron belül azonos.

A 4. ábrán bemutatott 13 elem erősen problémás. Ezen elemekben is több izotóp van, de a földkéreg különböző pontjairól származó minták izotópeloszlása változékony. Ennek pontos oka nem ismert, ezért van az, hogy ezen elemek minden tulajdonsága csak 2-6 értékes jeggyel ismert.

Ezek közül különösen problémás a Li, de részben az Ar, B, S, Cl és H is, melyek atomtömegei (és ezért tulajdonságai) nem ismertek még 4 értékes jegy pontossággal sem. A legproblémásabb Li atomtömegéről csak azt tudjuk, hogy az a földkéreg különböző helyeiről vett mintákban bármi lehet 6,938 ... 6,997 g/mol között, ami kb. 0,4%-os bizonytalanságot jelent az átlagos 6,97 g/mol értékhez képest. Ennek legnyilvánvalóbb következménye, hogy ha a Li-ötvetek (vegyületek) tömeg%-ban mért összetételét átszámítjuk atom%-ra (vagy vissza), akkor ezen átszámítás során 0,4 relatív %-os a bizonytalanság, ha nem ismerjük a konkrét Li-minta izotóp-összetételét. Itt érdemes megjegyezni, hogy az anyagokat egységnyi tömegre vásároljuk, de hasznos funkciójukat általában nem a tömegük, hanem az atomok darabszáma (anyagmennyisége) hordozza: például egy Li-elem gyártásához vásárolt 1 kg tömegű Li elektromos energiátároló kapacitása 0,4%-os változatosságot mutat a nagy átlaghoz képest csak a moláris tömeg változatossága miatt, és akkor a többi tulajdonságon keresztül kifejtett hatást még nem említettük.

Ezért a Li-ot és a többi problémás elemet (Ar, B, S, Cl, H) tartalmazó anyagokat kohászati szempontból külön figyelemmel kell kezelni. A legegyszerűbb (de nem olcsó) megoldás az lenne, ha minden, Li-Ar-B-S-Cl-H elemet tartalmazó mintában tömegspektrométerrel meghatároznánk a konkrét izotópeloszlást. De ha így teszünk, akkor idővel lesz majd a Li-6,938 és a Li-6,997 variánsok között 60-fajta különböző lítiumunk, különböző tulajdonságokkal. Véleményem szerint az előttünk álló egyik kihívás, hogy hogyan kezeljük a Li-6,938 kontra Li-6,997 problémát? (egyelőre mint ha a szőnyeg alá söpörnénk).

### 3. Részletesebben a 37 radioaktív és a 81 stabil elem közötti különbségről [2-11]

A 81 mérnökileg stabilnak tekintett elemből 80 elemnek van legalább 1-1 stabil izotópja, de ennek a 80 elemnek nem-

csak 80, hanem összesen 253 stabil izotópja van, ami átlagban 3,16 stabil izotóp per stabil elem. A csúcstartó az ón, aminek 10 stabil izotópja van. Stabil izotópnak azt az izotópot nevezzük, melynek felezési ideje mérhetetlenül nagy (jellemzően  $10^{24}$  év feletti). Felezési időnek nevezzük azt az időt, amennyi alatt egy adott izotóp tömegének a fele radioaktív bomlást szenved, és más elem(ek) lesz(nek) belőle. A felezési idő jele  $t_{1/2}$ , mértékegysége jellemzően az év. Instabil izotópnak nevezzük azt az izotópot, melynek felezési ideje már mérhetően kicsi (jellemzően  $10^{24}$  év alatti).

A 253 stabil természetes izotópon kívül ismerünk 105 instabil természetes izotópot is. Nem meglepő, hogy ezek többsége (73 instabil izotóp) a 13 instabil (radioaktív) természetes elem része. Ennél meglepőbb, hogy a további 32 instabil izotóp a 81 stabil elemhez tartozik (van például egy instabil izotópja az ónnak is, a fent említett 10 stabil izotópja mellett). A legnagyobb rendszámú stabil elemnek, a bizmutnak egyáltalán nincs stabil izotópja, csak instabil izotópjai vannak. Most joggal merül fel a kérdés: ha ez így van, akkor miért nevezzük pl. a Bi-ot, vagy a többi, instabil izotópot is tartalmazó elemet „mérnökileg stabil” (= nem veszélyesen radioaktív) elemnek? Ennek a kérdésnek a megválaszolásáról szól ez a fejezet.

Mielőtt erre a kérdésre rátérünk, meg kell hogy jegyezzük, hogy a fizikusok nemcsak instabil elemek instabil izotópjait állítják elő, hanem a stabil elemek rengeteg instabil izotópját is, ezek száma ezer feletti. Ennek dacára a fizikusoknak még nem sikerült olyan stabil izotópot előállítaniuk, ami a természetben ne lenne megtalálható. Annak az esélye, hogy a jövőben akár egy ilyen is sikerül előállítaniuk, erősen csekély. Ez azért van így, mert a természetnek évmillióárdok álltak rendelkezésére „minden” kipróbálására, míg az atomfizikusok ezt a tevékenységet csak kevesebb mint 100 éve művelik, ráadásul a rendelkezésükre álló laborok is sokkal kisebbek, mint amilyen méretű „laborban” a természet kísérletei folytak/folynak.

Most térjünk rá egy instabil izotóp radioaktív bomlásának jellemzésére. Vizsgáljunk egy izotóp típusból  $N$  db atomot, és az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy ez az izotóp csak egyfajta radioaktív bomlást szenved, majd nem bomlik tovább. Ahhoz, hogy ezen izotóp egy atomja radioaktív bomlást szenvedjen, semmifajta külső hatásra nincs szükség, mindez spontán módon történik. A bomlás valószínűsége az izotópfajta tulajdonsága. Azt nem tudjuk, hogy

H																			
Li													B	C	N	O			
	Mg													Si		S	Cl	Ar	
																	Br		
		*																	
		**											Tl						
	*																		
	**																		

■ 4. ábra. A periódusos táblázat azon 13 stabil eleme, melyek mindegyikének több mint egy stabil izotópja van, de az izotópeloszlásuk a földkéregben változékony, ezért ezen elemek moláris tömege (és minden egyéb tulajdonsága) csak 2 ... 6 értékes jeggyel ismert

egy adott atom mikor fog elbomlni, de nagyszámú ( $N$ ) atomról statisztikailag tudjuk, hogy egységnyi idő alatt hány atom bomlik el benne. Ezért a radioaktív bomlás sebességét leíró differenciálegyenlet:

$$\frac{dN}{dt} = -k \cdot N \quad (1)$$

ahol  $t$  (év) az eltelt idő,  $k$  (1/év) a bomlási állandó, ami az adott izotóp tulajdonsága, míg a negatív előjel utal arra, hogy az idő előrehaladtával egyre kevesebb a még el nem bomlott atomok száma ( $N$ ). Az (1) differenciálegyenlet integrálalakja:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -k \cdot \int_0^t dt \quad (2)$$

ahol a nyilvánvaló két peremfeltétel: 1.) a  $t = 0$  időhöz a kérdéses izotóp kiindulási  $N_0$  darab atomja tartozik, 2.) egy tetszőleges  $t$  idő eltelte után a még el nem bomlott izotóp atomok száma  $N$ -re csökken. A (2) egyenlet mindkét oldalának integrálása után annak megoldása:

$$N = N_0 \cdot \exp(-k \cdot t) \quad (3)$$

Emlékezzünk vissza a felezési idő fenti definíciójára.

Ezek szerint, amikor  $t = t_{1/2}$ , akkor  $N = N_0/2$ .

Behelyettesítve e két értéket a (3) egyenletbe, az adódó új egyenletből kifejezhető a bomlási állandó:

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{t_{1/2}} \quad (4)$$

A (4) egyenletet a (3) egyenletbe helyettesítve kapjuk a még el nem bomlott atomok számát leíró végső egyenletet:

$$N = N_0 \cdot \exp\left(-0,693 \cdot \frac{t}{t_{1/2}}\right) \quad (5)$$

Elosztva az (5) egyenlet mindkét oldalát az Avogadro-számmal:

$$n = n_0 \cdot \exp\left(-0,693 \cdot \frac{t}{t_{1/2}}\right) \quad (5a)$$

ahol  $n$  (mol) az el nem bomlott izotóp anyagmennyisége, míg  $n_0$  (mol) a kiindulási izotóp anyagmennyisége. Ha megszorozzuk az (5a) egyenlet mindkét oldalát az izotóp atomtömegével (g/mol), a következő kifejezéshez jutunk:

$$m = m_0 \cdot \exp\left(-0,693 \cdot \frac{t}{t_{1/2}}\right) \quad (5b)$$

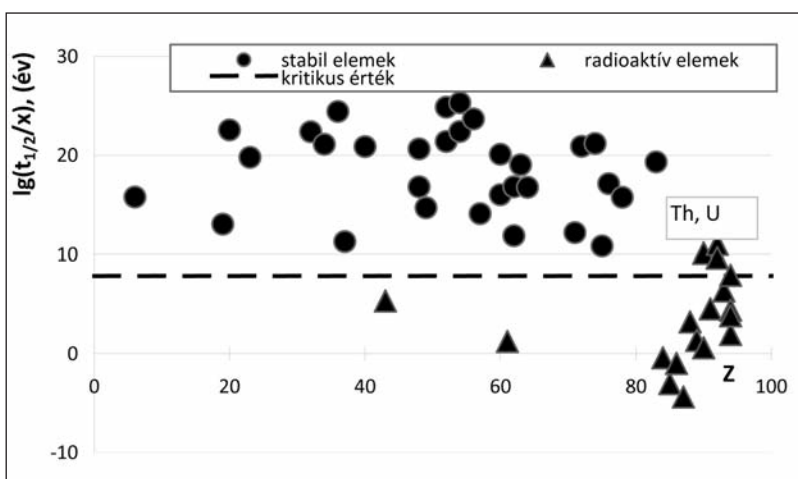
ahol  $m$  (g) az el nem bomlott izotóp tömege, míg  $m_0$  (g) a kiindulási izotóp tömege. Mint látjuk, az (5 – 5a – 5b) egyenletek azonos típusú egyenletek, ami azt jelenti, hogy egy adott izotóp azonos sebességgel veszíti el atomjait, móljait és tömegét, mivel ezen utóbbi mennyiségek arányosak egymással.

Most vizsgáljuk a radioaktív bomlást minőségbiztosítási szempontból. Egy adott anyag akkor tekinthető a radioaktív bomlás szempontjából minőségbiztosítottnak, ha elegendően hosszú idő alatt csak olyan kevés bomlik el belőle, hogy ezzel az anyag összetételében és ezért tulajdonságaiban nem következik be szignifikáns változás. Óvatos becsléssel ehhez az kell, hogy a koncentrációváltozás 1 ppm-nél kevesebb legyen 100 év alatt. Behelyettesítve az (5b) egyenletbe a  $t = 100$  év és az  $m = 0,999999 \cdot m_0$  értékeket, ez a feltétel akkor teljesül, ha  $t_{1/2} \geq 6,93 \cdot 10^7$  év. Ez a helyzet akkor, ha egy elem csak ezt az egy izotópot tartalmazta  $x = 1$  móltörttel a kiindulási állapotban. Ha azonban az adott izotóp kiindulási móltörtje a természetes mintában  $x$ , akkor a feltétel akkor teljesül, ha igaz:

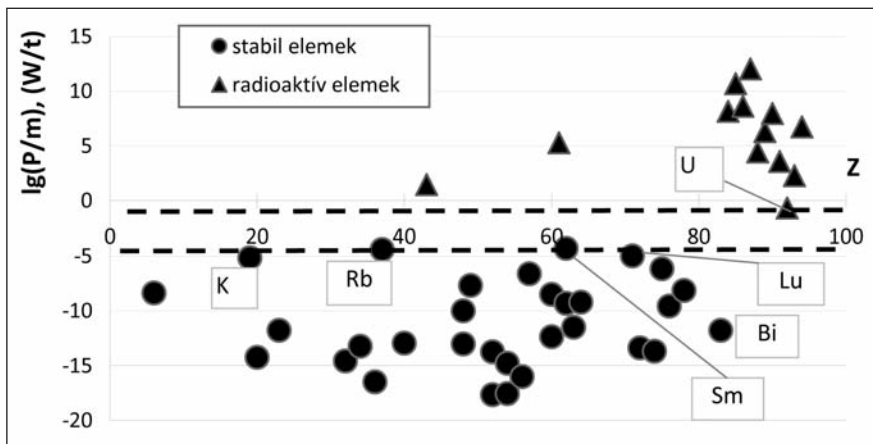
$$\frac{t_{1/2}}{x} \geq 6,93 \cdot 10^7 \text{ év} \quad (6)$$

A (6) egyenlettel leírt kritériumot a természetes elemek instabil izotópjaira az 5. ábrán ellenőrizzük le. Mint az 5. ábrán látszik, minden stabilnak gondolt elem minden instabil izotópjára kielégíti ezt a feltételt, azaz a belőlük készült anyagok összetétele 100 év alatt sem változik még 1 ppm értékkel sem a radioaktív bomlás következtében. Ebből a szempontból tehát mind a 81, fent stabilnak nevezett elem valóban stabil. Kicsit váratlan módon az 5. ábráról azt is látjuk, hogy a Th és az U is elég stabil ebből a szempontból.

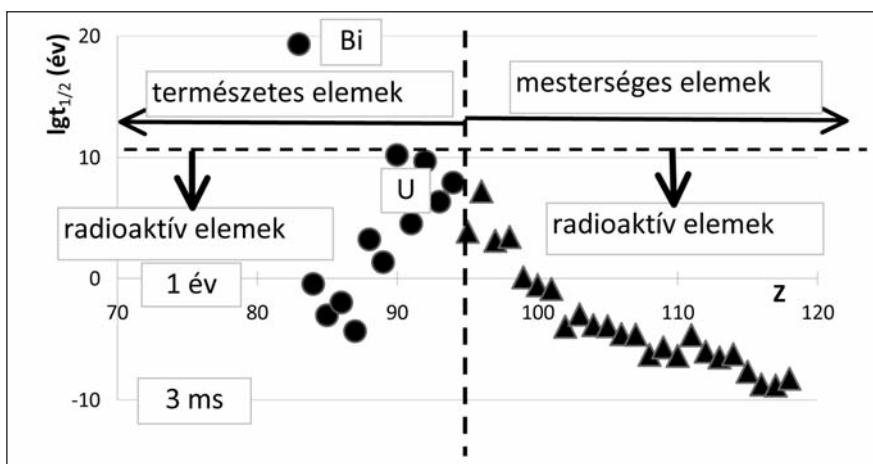
Egy kohómérnök azonban nemcsak az általa gyártott anyagok minőségéért, hanem munkatársai és vásárlói egészségéért is felelős. Ezért most vizsgáljuk meg, hogy miért és mennyire veszélyes az emberi életre a radioaktív sugárzás. A veszélyt főleg az okozza, hogy a radioaktív bomlás során a bomló anyagból He atommagok szabadulnak ki, melyek roncsolják az élő szervezetet. Például miközben egy U-235-ös izotópatom fokozatosan átalakul egy Pb-207-es izotópatommá, ezt 7 héliumatom megjelenése kíséri (mivel  $(235 - 207)/4 = 7$ ) és az ezt kísérő energiaváltozás – 17,8 GJ/g (lásd 8. ábrát is; a radioaktív bomlás azért spontán folyamat, mert negatív energiaváltozás kíséri). Érdekes módon ez az érték nem sokkal marad el attól a – 72 GJ/g energiaváltozástól, ami az U-235-ös maghasadását kíséri. A nagy különbség a maghasadásos láncreakció és a radioaktív bomlás között ezek sebességében van: egy atombombában a – 72 GJ/g energia másodpercek alatt felszabadul, míg 2 g U-235-ös izotóp radioaktív bomlása



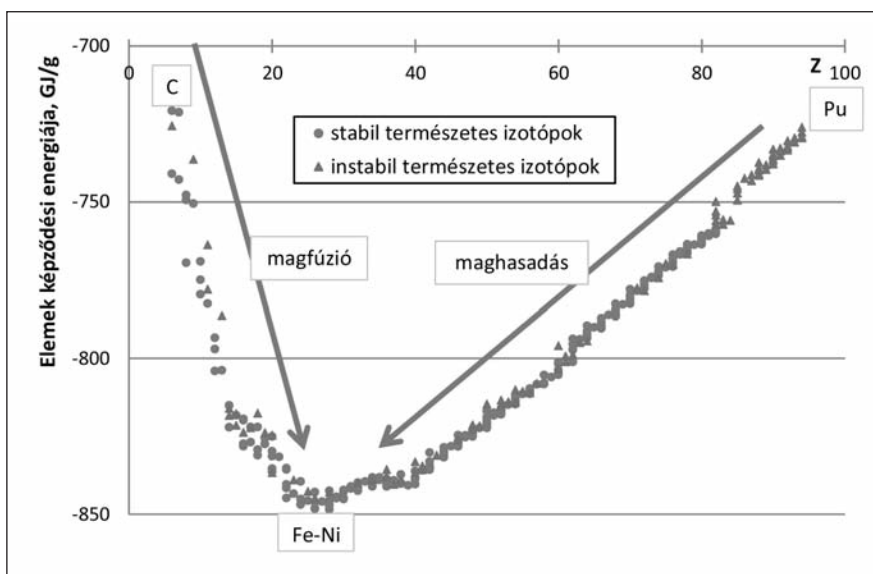
■ 5. ábra. Instabil izotópok felezési idejének és az adott elem belüli móltörtjének hányadosa (annak 10-es alapú logaritmusa) a rendszám ( $Z$ ) függvényében természetes elemekre (körök: stabil elemek, háromszögek: radioaktív elemek, vízszintes szaggatott vonal: a (6) egyenlettel számolt kritikus érték)



■ 6. ábra. Instabil izotópok (9) egyenlettel számolt fajlagos radioaktív teljesítménye (annak 10-es alapú logaritmusa) a rendszám (Z) függvényében természetes elemekre (körök: stabil elemek, háromszögek: radioaktív elemek, a két vízszintes szaggatott vonal az elemtípusokat elválasztó demarkációs vonalak, köztük 4 nagyságrend)



■ 7. ábra. A 24 mesterséges elem legstabilabb izotópjának (háromszögek) és néhány természetes elem (körök) legstabilabb izotópjának felezési ideje (annak tízes alapú logaritmusa) a rendszám (Z) függvényében



■ 8. ábra. Elemek képződési energiája az elemi részecskékből a rendszám függvényében. A karbon előtti elemekre az értékek pozitívabbak – 700 GJ/g-nál. Mivel a görbe minimuma a Fe és Ni elemeknél van, ezért ez a két legstabilabb elem az univerzumban. A görbén nyilal bemutatott „magfúzió” és „maghasadás” csak az elvi, termodinamikai lehetőséget jelzi. Kinetikai okokból ezek a folyamatok csak speciális izotópokra és csak speciális körülmények között játszódnak le

során a – 17,8 GJ/g energia közel 1 milliárd év alatt szabadul fel, mivel ennyi az U-235 felezési ideje. Ezért ami a radioaktív bomlás veszélyét jelzi, az a radioaktív bomlás teljesítménye, aminek jele P, mértékegysége W = J/s. Ennek logikus számítási képlete:

$$P = \Delta E \cdot \frac{dm}{dt} \quad (7)$$

Helyettesítsük be a (7) egyenletbe az (1) egyenletet, miután megszoroztuk annak mindkét oldalát a moláris tömeg és az Avogadro-szám hányadosával, figyelembe véve a (4) egyenletet is, majd az eredményt osszuk el m-mel (az izotóp tömegével):

$$\frac{P}{m} = -\Delta E \cdot \frac{0,693}{t_{1/2}} \quad (8)$$

A (8) egyenlet bal oldalán a P/m hányados az izotóp fajlagos (egységnyi tömegre vonatkozó) radioaktív teljesítménye, mértékegysége W/kg. A (8) egyenlet arra az esetre vonatkozik, amikor egy radioaktív elem egyetlen izotópból áll. Ha azonban az elem több instabil izotópot tartalmaz, melyek móltörtje x, akkor az elem fajlagos radioaktív teljesítménye:

$$\frac{P}{m} = -0,693 \cdot \sum \frac{x \cdot \Delta E}{t_{1/2}} \quad (9)$$

ahol a szummázást az elem instabil izotópjai szerint végezzük. Mint a (9) egyenletből látjuk, egy izotóp akkor igazán veszélyes, ha nagy móltörthöz kis felezési idő tartozik. Ez azonban ritka kombináció, hiszen még ha ez is volt a helyzet évmilliárdokkal ezelőtt, a kis felezési idő miatt ennek az izotópnak a nagy része mára már elbomlott, mint ahogy ez történt pl. a K-40-es izotóppal is, amiből mára már szerencsére kevés maradt.

Az uránra a (9) egyenlettel kiszámolt érték mindössze 0,21 W/t, ami nagyon alacsony fajlagos radioaktív teljesítmény. Ha a természetes urán radioaktív bomlásával akarnánk meghajtani egy 60 W-os izzót, ahhoz minimum 286 t uránra lenne szükség feltételezve, hogy a radioaktív bomlást kísérő energiaváltozás 100%-át tudjuk elektromos energiává alakítani. Ez az eredmény magyarázza meg azt, hogy miért nem építünk radioaktív bomláson alapuló erőműveket (mert értelmetlenül kevés elektromos energiát nyernénk belőle). Azonban ez a kicsinek tűnő fajlagos teljesítmény megszorozva a Föld tömegével és abban az urán előfordulásával elegendő ahhoz, hogy az urán (és a tórium) radio-

aktív bomlásából származó hő a Föld belsejét melegen tartsa és minket geotermikus energiával lásson el.

Az élővilág és ezen belül az emberi test azonban nagyon érzékeny a radioaktív sugárzásra, így még ez a csekélynek tűnő fajlagos radioaktív teljesítmény (0,21 W/t) is elég ahhoz, hogy az uránt „radioaktív” minősítsük. Sajnálatos tény ugyanis, hogy az uránbányászok között szignifikánsan magasabb a rákmegbetegedések száma az átlag lakossághoz képest, ami elegendő ahhoz, hogy kohómérnökként ne építsünk uránt semmilyen műszaki anyagba.

A (9) egyenlettel számolt fajlagos radioaktív teljesítményt különböző természetes izotópokra a 6. ábra mutatja be. Láthatjuk, hogy a legkevésbé veszélyes elem a radioaktív elemek közül az urán. A stabilnak gondolt elemek közül a legveszélyesebbek a K, Rb, Sm és Lu, de mindezen elemek fajlagos radioaktív teljesítménye 4 nagyságrenddel kisebb az uránéhoz képest. Mivel az emberi szervezet kb. 150 g káliumot tartalmaz, állíthatjuk, hogy az nem veszélyes ránk nézve. Innen, illetve a 6. ábra felhasználásával azt is állíthatjuk, hogy a stabilnak tartott 81 elem radioaktivitás szempontjából veszélytelen ránk nézve annak ellenére, hogy bennük 32 instabil természetes izotóp is található. A 6. ábrán külön meg van jelölve a Bi, ami csak két instabil izotópot tartalmaz, de az ábra szerint ennek ellenére veszélytelen elem.

Visszatérve az 5. ábrára, ahol azt találtuk, hogy a minőségbiztosítási teszten az urán és a tórium is átment, a 6. ábra ismeretében meg kell állapítanunk, hogy e két elem nem lehet része olyan műszaki anyagnak, ami emberek közelébe kerül. Ezzel a gyakorlati kohászatból ezt a két elemet kizártuk, és maradunk a 81 stabil elemnél.

Az 5-6. ábrákon nem vizsgáltuk a fizikusok által kreált 24 mesterséges elemet. Azért nem, mert ezekre a mesterséges elemekre a (6) és (9) egyenletekben szereplő izotóp móltört ( $x$ ) értelmezhetetlen, hiszen az a földkéregben talált ásványokban lévő elemekre vonatkozik. Ezért a 24 mesterséges elem legstabilabb izotópjainak felezési idejét a 7. ábra mutatja be. Láthatjuk, hogy még a legstabilabb mesterséges elem felezési ideje is jóval az urán felezési ideje alatt van, ami azt jelenti, hogy mind a 24 mesterséges elem radioaktívabb az uránnál. Ráadásul a felezési idő a rendszám növelésével a millió évekről a másodperc alá csökken. A 7. ábrán látható trendet elnézve nem sok reményünk lehet arra, hogy majd a 119., 120. stb. rendszámú mesterséges elem nem lesz radioaktív. De még ha találnának is a fizikusok stabil elemet a 118-as rendszám felett, akkor sem valószínű, hogy annak kohómérnöki haszna lehet, hiszen az várhatóan „aranyárban” lesz. Ezért kohómérnökként ne reménykedjünk túlságosan abban, hogy majd a fizikusoktól új stabil eleme(ke)t kapunk ajándékba. Ehelyett törődjünk bele abba, hogy minden mérnöki feladatot a természetes és gyakorlatilag stabil 81 elemből kell megoldanunk.

Ezt az elemek stabilitásáról szóló cikket zárjuk a 8. ábrával, ami remélhetőleg melegséggel tölti el acélkohász kollégáim szívét. Innen ugyanis az látszik, hogy a természet két legstabilabb eleme a vas és a nikkell (ezért sem valószínű, hogy az acélgyártást belátható időn belül felváltja a még fel sem fedezett egyik mesterséges elem gyártása). A 8. ábrából az is következik, hogy a vasnál kisebb rendszámú elemek atommagfúzióra hajlamosak (mivel ezekre az elemekre ez a folyamat jár energiacsökkenéssel), míg a nikkelnél

nagyobb rendszámú elemek atommaghasadásra hajlamosak (hiszen ezekre az elemekre ez a folyamat jár energiacsökkenéssel). E két lehetőség közül az emberiség eddig csak az atommaghasadást használta ki először tömegpusztító, majd később energiatermelési céllal is. Ma is intenzív kutatás tárgya, hogy atommagfúzióval építhető-e gazdaságosan működő atomerőmű – tippelni csak pesszimistán tudnék, ezért inkább nem tippelek, inkább vakon reménykedem a fizikusok sikerében, ami ha megvalósulna egy olcsó és gyakorlatilag végtelen energiaforrás megalkotásával, az a kohászatra is pozitív hatással lenne.

## Összefoglalás

A kohómérnökök csak 81 elemet használhatnak tevékenységük során, annak ellenére, hogy a modern periódusos táblázatok 118 elemet tartalmaznak. Arra sajnos a 119., 120. stb. elemek megalkotása után se számítsunk komolyan, hogy az általunk ma használható elemszám nőni fog. Ráadásul ebből a 81 elemből 16 erősen toxikus, így azok olyan termékekbe nem építhetők bele, melyek kapcsolatba kerülnek az egyéni fogyasztókkal. Így a kohászat kettős szorításban tevékenykedik. Egyrészt ki kell elégíteniük a végtelenbe emelkedő fogyasztási spirált hajszó emberiség igényeit, másrészt az egészségügyi kutatások egyre több elemről derítenek ki egyre több egészségügyi kockázatot, amit a kormányok jogi eszközökkel érvényesítenek is, azaz egyre többet kell kihoznunk egyre kevesebb engedélyezett elemből. Mindezt ráadásul fenntartható módon kell megoldanunk. Elmondhatjuk tehát, hogy kohómérnökként az élet csupa kihívás, és várhatóan ez a „nemzetközi helyzet” a jövőben is csak „fokozódni” fog.

## Irodalom

- [1] *Bárczy Pál*: Anyagtechnológiától anyagtudományig és vissza. BKL Kohászat 153 (2020) 30–34.
- [2] *J. Emsley*: The elements. Clarendon Press (1989) London.
- [3] *G. Audi, A. H. Wapstra*: The 1993 Atomic mass evaluation. Nucl Phys A 565 (1993) 1–65.
- [4] *P. J. Mohr, B. N. Taylor, D. B. Newell*: CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2006. Rev Modern Phys 80 (2008) 633–730.
- [5] *P. J. Mohr, D. B. Newell, B. N. Taylor*: CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014. J Phys Chem Ref Data 45 (2016) 043102.
- [6] *T. B. Coplen, N. E. Holden*: Atomic weights – no longer constants of nature. Chem Int. March-April (2011) 10–15.
- [7] *Kaptay György*: Anyagegyensúlyok. Miskolci Egyetem, 2011, 359. oldal
- [8] *G. Kaptay*: On the atomic masses (weights?) of the elements, J. Min. Metall. B. 48 (2012) 153–159.
- [9] *G. Audi, A. H. Wapstra*: The AME2003 atomic mass evaluation. Nucl Phys A 729 (2003) 337–676.
- [10] *M. Wang, G. Audi, A. H. Wapstra, F. G. Kondev, M. MacCormick, X. Xu, B. Pfeiffer*: The AME2012 atomic mass evaluation. Chin Phys C 36 (2012) 1603–2014.
- [11] *J. Meija, T. B. Coplen, M. Berglund, W. A. Brand, P. De Bièvre, M. Groning, N. E. Holden, J. Irrgeher, R. D. Loss, T. Walczyk, T. Prohaska*: Atomic weights of the elements 2013 (IUPAC Technical Report). Pure Appl. Chem. 88 (2016) 265–291.

# Orientált fémes szerkezetek vizsgálata Rietveld-illesztés alkalmazásával

*A kristályosodás közben kialakuló vagy a lehűlés közben átalakuló fázisok gyakran komplex szerkezetet hoznak létre, amely egyértelműen anizotrópikus jelleget mutat. Az öntött szerkezetben a hőelvonás hatására alakul ki irányított szemcseszerkezet; míg egy vagy többtengelyű alakváltozás esetén (hengerlés vagy húzás) a deformáció irányának megfelelő kitértetett orientáció jön létre az anyagban. Orientált tömbi minta esetében a röntgendiffrakciós fázisanalízis során az irányított szerkezet az adott fázisokról érkezett jel intenzitását befolyásolja, akár reflexiók ki is maradhatnak a diffraktogramról az irányítottság miatt. Ha adott fázisról kapott reflexiók diffraktált intenzitásértéke változik, a fázismennyiség értéke is módosul, ezáltal a valós értéktől eltérő mennyiség mérhető. A valós szerkezet pontosabb leírását teszi lehetővé a Rietveld illesztési módszer. A módszerrel végzett fáziselemzés esetében figyelembe lehet venni és korrigálni lehet mind a kitértetett orientációt, mind a rácsban felhalmozott feszültséget. Az eljárás során minden egyes fázist egyedileg illesztünk, és a fázist jellemző egyedi kitértetett orientációt és rácsfeszültséget korrigáljuk. Vizsgálataink során CuZn ötvözetben kialakuló komplex szövetszerkezeteken keresztül követtük a kialakult szerkezet orientációjának és a meghatározott fázis mennyiségének a kapcsolatát Rietveld illesztési módszer alkalmazásával.*

## Bevezetés

Jól ismert tény, hogy a fémötvözetekben az előállítás és az alakadás műveletei során végbemenő folyamatok nyomot hagynak a mikroszerkezetben. A kristályosodás közben kialakuló, a lehűlés közben átalakuló fázisok gyakran komplex szerkezetet hoznak létre, amelyek egyértelműen anizotrópikus jelleget mutatnak. Az öntött szerkezetben a hőelvonás hatására alakul ki irányított szemcseszerkezet; míg egy- vagy többtengelyű alakváltozás esetén a deformáció irányának megfelelő kitértetett orientáció jön létre az anyagban. A fémekben különböző hőkezelési eljárások eredményeként is megjelenhet az anizotrópia, pl. martenzites átalakulás okozta irányított, tűs jellegű fázisképződés [1–4].

A mikroszerkezet leírásakor a szerkezetben megjelenő orientáció a nyújtott szemcsealakban, egyirányba mutató elnyújtott szemcseszerkezetben egyértelműen megfigyelhető. Orientált szerkezetekben jelen levő fázisok mennyiségének pontos megállapítására alkalmas módszerek többsége azonban nem veszi figyelembe a szerkezet orientáltságát és a rácsszerkezetet terhelő feszültségeket [2]. A röntgendiffrakciós módszeren alapuló fázisanalízis elterjedt módszer a mintában jelenlévő fázisok meghatározására [5, 6]. Az egy vagy néhány komponensből álló, leggyakrabban

por állagú mintáknál – amelyek izotrópnak tekinthetők – nem okoz problémát a fázisok meghatározása. Azonban orientált tömbi minta esetében az irányított szerkezet az adott fázisokról érkezett jel intenzitását befolyásolja, akár a kristályos fázis egyes síksorozatairól érkező reflexiók el is tűnhetnek a diffraktogramról az irányítottság miatt. Ha adott fázisról kapott reflexiók diffraktált intenzitásértéke változik (a kimaradó reflexió miatt nem a fázisra vonatkozó összes reflexióval számolhatunk), a fázismennyiség értéke is módosul, ezáltal a valós értéktől eltérő arány mérhető. Az anizotrópia jelenléte egyértelmű nyomot hagy a diffraktogramon, ezen nyomoknak a felismerése, korrekciója szükséges [7–10].

A fémes anyagokon leggyakrabban alkalmazott teljes profilanalízis módszerével végzett fázisanalízis esetében az anyagról érkező összes reflexiót figyelembe vesszük. Ideális esetben az anyagban található minden fázis esetében az összes lehetséges reflexió integrált intenzitásával számolunk, azonban orientációval terhelt szerkezet esetében csak a diffraktogramon megjelenő reflexiókat tudjuk figyelembe venni. Az eljárásban anizotrópia jelenlétének figyelembevételére és korrekciójára a March–Dollase vagy a szférikus harmonikusok módszere ad lehetőséget [11].

A valós szerkezet pontosabb leírását teszi lehetővé a Rietveld illesztési módszer [10, 11], amely a mért minta

**Dr. Nagy Erzsébet** 2000-ben anyagmérnök diplomát, 2007-ben PhD-oklevelet szerzett a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán. Jelenleg az MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoportban dolgozik tudományos főmunkatársként. Főbb kutatási területei: alakváltozás indukálta martenzites átalakulások TRIP/TWIP acélokban, röntgendiffrakciós fázisazonosítás.

**Dr. Kristály Ferenc** 2005-ben végzett a Babes–Bolyai Tudományegyetem Biológia-Geológia Karán okleveles geológusként ásványtan szakképzéssel. 2013-ban a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán szerzett PhD-fokozatot. 2009-től a Miskolci Egyetem Ásványtani és Földtani Tanszék tudományos főmunkatársa. Szakterülete a kerámiához, nyersanyagkutatáshoz és egyéb ipari ágazatokhoz szükséges anyagvizsgálat, valamint termoanalitikai és mikroszkópiai vizsgálatokkal számos tématerület kutatásait segíti.

**Dr. Barkóczy Péter** 2000-ben szerzett anyagmérnöki diplomát, majd 2004-ben doktorált a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán. Jelenleg a Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet docense és a FUX Zrt. fejlesztési igazgatója.

**Dr. Mertinger Valéria** 1990-ben a Miskolci Egyetem Kohómérnöki Karán fémalakító szakon, fémtani ágazaton, 1994-ben pedig a Kosuth Lajos Tudományegyetemen mérnök-fizikus szakon szerzett oklevelet. PhD-fokozatát 1998-ban szerezte a Miskolci Egyetemen. 2018-ban DSc-fokozatot szerzett anyagtudományok és technológiák tudományágban. A Műszaki Anyagtudományi Kar egyetemi tanára, a Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet igazgatója, a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola tisztagja. Főbb kutatási területei: kristályosodás, martenzites átalakulások alakemlékező ötvözetekben és TWIP/TRIP acélokban, maradó feszültség meghatározása röntgendiffrakciós módszerrel, textúravizsgálatok.

különbségeinek minimalizálására támaszkodik a számított mintához képest. A módszer konvolúcióalapú, az azonosított fázisok egyedi diffrakciós görbéjének kiszámításához berendezésprofil határozzuk meg, míg a háttérét és az alapvonalat polinom függvény alapján modellezzük. A csúcsciszéledést a kristálymérettel és a feszültséggel modellezzük. A Rietveld illesztési módszerrel végzett fázis-elemzés esetében figyelembe lehet venni és korigálni lehet mind a kitüntetett orientációt, mind a rácsban felhalmozott feszültséget, miközben a kristályméreteket kiszámítjuk [12]. Az eljárás során minden egyes fázist egyedileg illesztünk, és a fázist jellemző egyedi kitüntetett orientációt és rácsfeszültséget korigáljuk.

A Rietveld illesztési eljárásban – a fázisok azonosítását követően – először a fázisok számított görbéit illesztjük a mért diffraktogramra orientációkorrekció, elméleti rácsparaméterek és csúcsciszéledés-modellezés nélkül. Mivel a cellaparaméterek az ötvözőelemek jelenlétét tükrözik a fázisokban, az első illesztési paraméter a rácsparaméter. A következő lépés a kitüntetett orientációt mutató reflexiók korrekciója. A March–Dollase-függvénnyel minden fázis két (hkl) sorozatának – amelyeket a felhasználó határoz meg – a korrekcióját végezhetjük el. Egy vagy két (hkl) sorozat korigálása a különbséggörbén lévő csúcsok alapján dönthető el, amely akár több próbálkozást is igényelhet. Ezt követően a különbséggörbét tovább csökkentjük a csúcsciszéledéshez hozzájáruló rácsfeszültség-eloszlás modellezésével. Ha egy reflexiónak „váll” van – kiszéledik a különbség görbén és a mért görbén –, az második frakció jelenlétét jelzi. Ez a jelenség könnyen láthatóvá tehető a számított minta kristallit méret modellezésével, mivel a modell log-normális eloszlást alkalmaz, így minden bimodális méreteloszlás a méret kiszéledésben csúcsokat hagy a különbséggörbén. Ezért a modellbe további fázis bevezetése válik szükségessé azonos kristályszerkezettel, de kisebb mérettel és kisebb rácsparaméterekkel. A kitüntetett orientációkorrekciót a modellbe bevezetett második fázisok esetében is el kell végezni. Ez az alacsonyabb kristallit méretű frakció minden esetben egyértelműen eltérő orientációt mutat a komplex szerkezetben. Az eljárást végül a Debye–Waller termikus paraméter illesztésével fejezzük be.

Vizsgálataink során CuZnMnSi ötvözetben kialakuló komplex szövetszerkezeteken [13] keresztül követtük a kialakult szerkezet orientációjának és a meghatározott fázismennyiségének a kapcsolatát Rietveld illesztési módszer alkalmazásával. A CuZn alapú ötvözetből különböző előállítási módszerekkel különböző fázisarányú szerkezeteket hoztunk létre feltételezve, hogy az így létrejött szerkezetek eltérő orientációval rendelkeznek. A mintadarabokon mikroszerkezet-vizsgálatot, röntgendiffrakciós vizsgálatokat végeztünk Rietveld-illesztés alkalmazásával.

## Vizsgálatok

A vizsgálatokat Cu–Zn ötvözetű kompresszortárcsa anyagon végeztük el (1. táblázat).

1. táblázat. A vizsgált anyag összetétele (t%)

Cu	Zn	Pb	Mn	Si
58,6	36,7	1,0	2,2	1,5

A különböző állapotú és orientáltságú komplex szövetszerkezetű CuZn mintákat hőkezeléssel és képlékenyalakítással hoztuk létre. Melegen kovácsolt próbatest állt rendelkezésünkre, ez tekinthető kiinduló állapotnak. A hőkezelt mintákat 880 °C-on 0,5 h-ig homogenizáltuk, majd kemencében hűtöttük („lassú hűtés”), vízben edzettük („edzett”), majd a vízben edzett mintát 550 °C-on 4 h időtartamig megeresztettük („edzett-megeresztett”).

A mintadarabok szövetszerkezetét Zeiss Imager m1M fénymikroszkóppal és Zeiss EVO MA 10-es pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk, és energiadiszperzív mikroszondás elemzésnek vetettük alá. A metallográfiai vizsgálatok eredményei alapján a mikroszerkezetben kialakult fázisokat röntgendiffrakciós módszerrel azonosítottuk. A röntgendiffrakciós vizsgálatok Bruker D8 Discover XRD berendezéssel Göbel tükörrel előállított párhuzamos nyaláb geometriával Cu K $\alpha$  sugárzással (40 kV and 40 mA generátor beállítással) 20–120° tartományban 0,01° lépésközzel és 36 s gyűjtési idővel, LynxEye X-ET energiadiszperzív detektorral történtek. A fázis azonosításhoz Bruker EVA 5.0 szoftvert és PDF2 adatbázist, a Rietveld-illesztéshez Bruker TOPAS 6.0 szoftvert használtunk. A vizsgálatokhoz csiszolt, polírozott állapotú mintákat használtunk, amelyet 5%-os sósavas ferri-klorid oldattal marattunk.

A mérések a Miskolci Egyetem Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetének 3D Laboratóriumában készültek.

## Eredmények

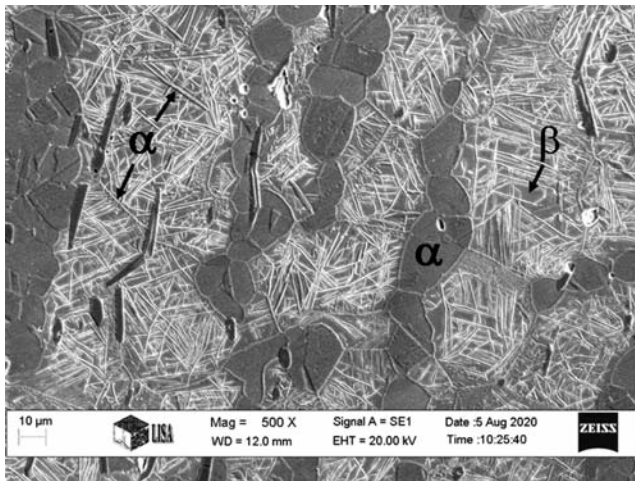
### Kovácsolt minta mikroszerkezete

A kovácsolt mintában a melegalakítás martenzites jellegű szövetszerkezetet eredményezett. A szövetszerkezetben a tús  $\alpha$ -CuZn fázis a  $\beta$ -CuZn mátrixban alakul ki, míg a poliginális megjelenésű  $\alpha$ -CuZn fázis jól körülhatárolt szemcséket képez (1. ábra). Az ötvözetben a könnyű megmunkálás érdekében beötvözött ólomcseppek egyenletesen oszlanak el. A szövetszerkezetben felismerhető hosszúkás fázis a Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> vegyületfázis.

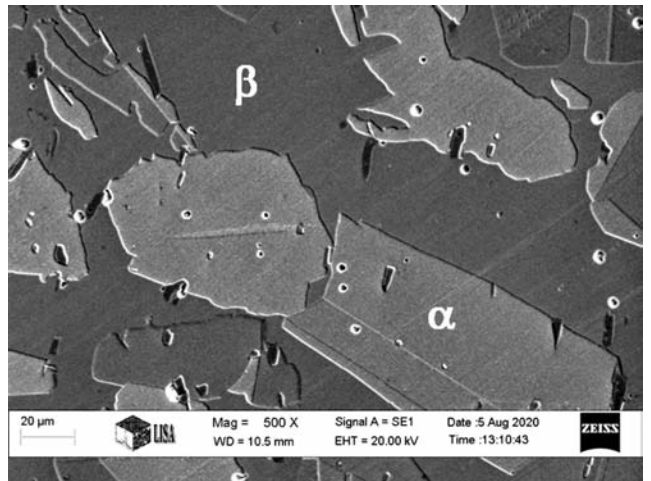
Az energiadiszperzív mikroszondás mérések, valamint a röntgendiffrakciós fázisanalízis alapján az ötvözetben  $\alpha$ -CuZn szilárd oldat (FKK rács, Fm-3m (225) tércsoport, a: 3.697Å) és  $\beta$ -CuZn fázis (TKK rács, Pm-3m (221) tércsoport, a: 2.949Å) azonosítható, valamint Mn<sub>5</sub>Si<sub>2</sub> intermetallikus fázis (mavlyanovit, hexagonális rács, P63/mcm (193) tércsoport, a: 6.910Å, c: 4.817Å) és Pb (FKK rács, Fm-3m (225) tércsoport, a: 3.704Å).

### Lassan hűtött minta mikroszerkezete

A hőkezelt, egyensúlyi hűlés közben kialakult szövetszerkezetben változatos morfológiájú néhol kissé elnyújtott, máshol poligonális formájú  $\alpha$ -CuZn szemcsék alakulnak ki a  $\beta$ -CuZn mátrixban (1. ábra). A poligonális jelleget a masszív átalakulás okozta gyenge orientációs kapcsolat adja. A mátrixban a Pb és a Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> fázisok változatlanul megfigyelhetők.

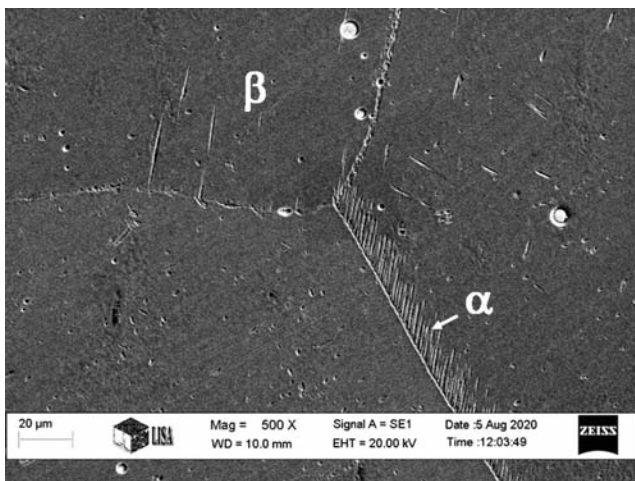


kovácsolt minta

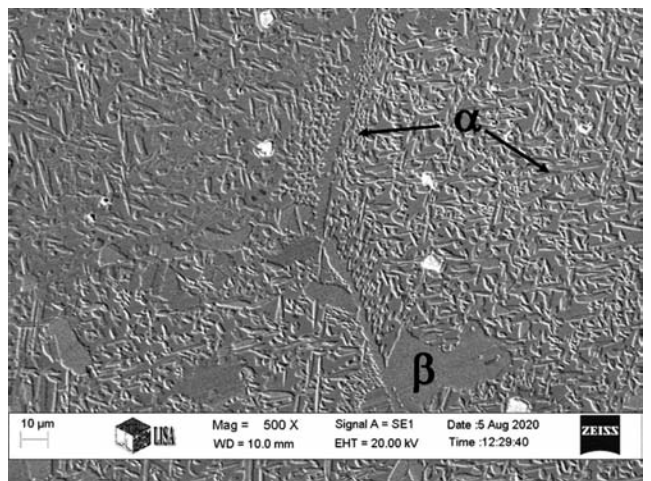


lassan hűtött minta

1. ábra. A vizsgált minták mikroszerkezete



edzett minta



edzett-megeresztett minta

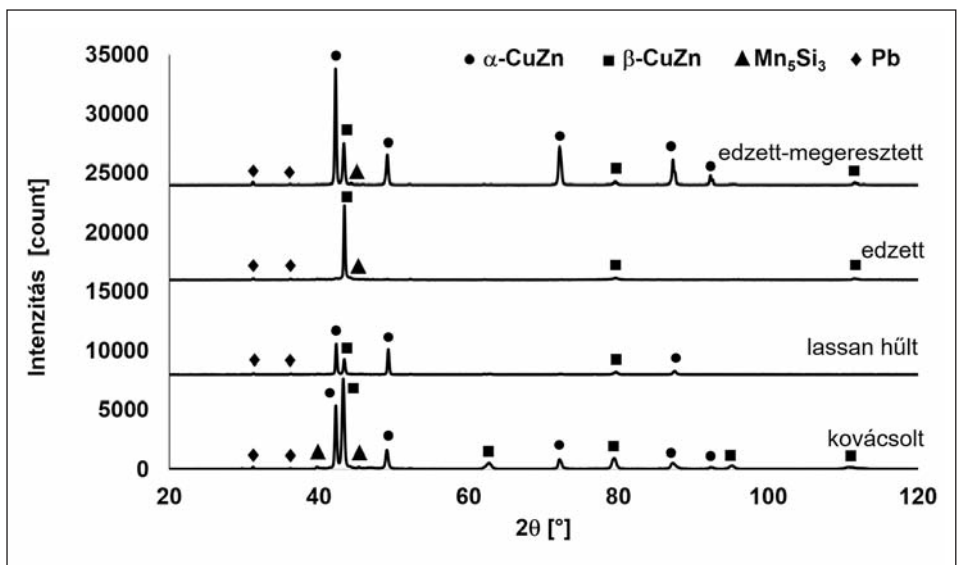
2. ábra. A vizsgált minták mikroszerkezete

### Edzett minta mikroszerkezete

A gyors hűlés közben kialakult szövetszerkezetben a szemcsehatáron allotiomorf  $\alpha$ -CuZn szilárd oldat jelenik meg a túltelített  $\beta$ -CuZn szemcsék körül (2. ábra). A mátrixban a Pb és a  $Mn_5Si_2$  fázisok változatlanul megfigyelhetők.

### Edzett-megeresztett minta mikroszerkezete

A gyors hűlés közben kialakult, majd megeresztett szövetszerkezetben a túltelített  $\beta$ -CuZn fázisból apró, hosszú-



3. ábra. A vizsgált minták diffraktogramjai

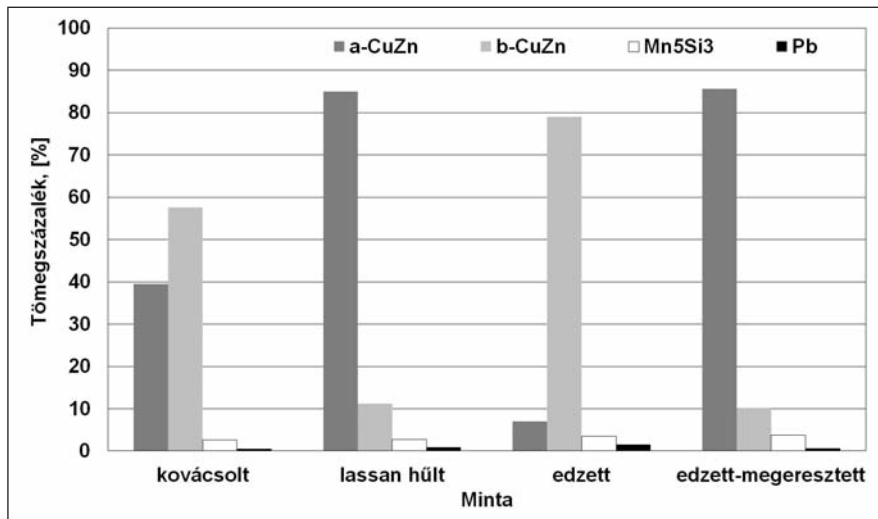
kás formájú  $\alpha$ -CuZn szilárd oldat szemcsék váltak ki, az allotiomorf  $\alpha$ -CuZn szilárd oldat a szemcsehatáron továbbra is jelen van (2. ábra). A mátrixban a Pb és a  $Mn_5Si_3$  fázisok változatlanul megfigyelhetők.

### A röntgendiffrakciós vizsgálatok eredményei

A minták röntgendiffrakciós vizsgálata során kapott felvételeket a 3. ábra mutatja. A diffraktogramok eltérő jellegűek a különböző komplex szerkezetek jelenléte miatt, az adott fázisokhoz tartozó reflexiók megjelenése, alakja és intenzitása eltér az egyes minták esetében. A vizsgálati

ötvetben a hőkezelési és képlékenyalakítási eljárásoknak az  $\alpha$ -CuZn és a  $\beta$ -CuZn fázisok képződésére, valamint átalakulására van hatása. A vizsgálati ötvözetben megtalálható  $Mn_5Si_3$ , valamint az ólomfázis a különböző technológiai lépésekben minimális változásokat mutatnak, a jellemzően kristályosodáskor kialakult fázisok mennyisége nem változik jelentősen.

A kovácsolt mintában a termomechanikus kezelés következtében kialakult szerkezetben az  $\alpha$ -CuZn reflexiók mellett az összes  $\beta$ -CuZn reflexió azonosítható. Az összes  $\beta$ -CuZn reflexió kiszélesedett, ami az alakítás következtében megnövekedett rácsfeszültségre utal, amely ismertén a diszlokációsűrűség növekedéséből adódik. A melegen kovácsolás hatására az  $\beta$ -CuZn fázis  $\alpha$ -CuZn tús jellegű fázissá alakul. Az  $\alpha$ -CuZn esetében a minta 30%-át kitevő nagyobb



4. ábra. A vizsgálati mintákban meghatározott fázismennyiség-értékek

kristallit méretű frakció az alakítás következtében beáll a felületen középpontos rács csúszási (111) síkjának megfelelően, míg a csekély mennyiségű, kisebb kristallit méretű  $\alpha$ -CuZn fázis tús jelleggel figyelhető meg a  $\beta$ -CuZn szemcsékben. A  $\beta$ -CuZn fázis nagyobb kristallitjai, amelyek a minta közel 60%-át képezik, a térben középpontos kockarács csúszási (110) síkjára jellemző orientációval rendelkeznek (2. táblázat). Mindkét fázis esetében a rácsban akkumulálódott feszültség modellezésére mind a Gauss-, mind a Lorentz-függvény alapú konvolúciót alkalmazni kell, ami minden olyan esetben szükséges, ha a feszültség nemcsak alakváltozásból, hanem fázisátalakulásból (például feszültség alatti továbbnövekedés) is származik. A vizsgálati minták közül a kovácsolt minta tekinthető a legkisebb mértékben orientáltnak, amely ugyanakkor a legnagyobb rácsfe-

2. táblázat. Az azonosított fázisok kristallitméretei és orientációs viszonyai az illesztett paraméterek alapján

Minta	$\alpha 1$ -CuZn				$\alpha 2$ -CuZn				$\alpha 3$ -CuZn			
	t%	nm	PO1	PO2	t%	nm	PO1	PO2	t%	nm	PO1	PO2
kovácsolt	37,1	1000	111	011	2,3	187	001	311	-	-	-	-
lassan hűlt	19,4	1000	111	001	65,6	75	311	001	-	-	-	-
edzett	6,5	10	111	-	-	-	-	-	-	-	-	-
edzett-megeresztett	7,0	227	111	011	77,2	177	011	001	1,37	1000	111	311
	$\beta 1'$ -CuZn				$\beta 2'$ -CuZn				$\beta 3'$ -CuZn			
	t%	nm	PO1	PO2	t%	nm	PO1	PO2	t%	nm	PO1	PO2
kovácsolt	57,6	1000	011	211	-	-	-	-	-	-	-	-
lassan hűlt	9,9	97	011	002	1,3	35	211	001	-	-	-	-
edzett	41,1	1000	011	211	37,2	15	011	031	0,72	27	031	-
edzett-megeresztett	10,1	134	011	211	-	-	-	-	-	-	-	-

szültséget mutatja. Az elvégzett hőkezelések hatására ez az orientált állapot többféleképpen változott meg. A hevítésnek köszönhetően az alakváltozás nyomai eltűnnek a mikroszerkezetből, a diszlokációk eliminálódnak, ami egyértelműen látszik a diffraktogramon a reflexiók alakjából.

A *lassan hűlt mintában* az egyensúlyi körülmények között végbement lehűlés következtében nagy méretű  $\alpha$ -CuZn fázisok váltak ki a  $\beta$ -CuZn mátrixban. A képződő  $\alpha$ -CuZn mentes az extra rácshibáktól, a fázisról érkező diffraktált jel éles csúcsként jelenik meg, a kovácsolt mintánál tapasztalt széles reflexiók nem mérhetők. A  $95^\circ$ ,  $111^\circ$  reflexiók nem detektálhatók, ami az orientáció jelenlétére utal. Az  $\alpha$ -CuZn fázis 65%-ot kitevő kis kristallitméretű frakciója esetében a (311) síksorozat orientációja erősödik meg, míg a fázis kisebb mennyiségben jelen lévő nagyobb kristallitméretű csoportja a korábban is megfigyelt (111) orientációt mutatja. Az  $\alpha$ -CuZn fázis esetében a különböző méretű frakciók a mikroszkópi képeken is felismerhetők. A  $\beta$ -CuZn fázis esetében szintén keskeny reflexiók figyelhetők meg. A  $\beta$ -CuZn fázis kis mennyiségben képződő nagyobb kristallitméretű frakciója a korábbiakkal megegyező (011) orientációt, míg a csekély mennyiségű, kis kristallitméretű része (211) orientációt mutat. A minta extrém módon textúrált, erős kitüntetett orientációk jellemzik mindkét fázist, amelyet a kovácsolt mintához képest a csúcsok hiánya jelez.

Az *edzett minta* esetében a gyors hűtés következtében befagyasztott, ötvözőben túltelt  $\beta$ -CuZn fázisról készült diffraktogramon kis számú erős reflexió látszik, amelyek mellett néhány a háttérből alig kiemelkedő kis intenzitású csúcs is felismerhető. A befagyasztott állapot közel 80%-át kitevő  $\beta$ -CuZn fázis (011) síksorozatának orientációja erősödik meg a visszaalakulás miatt, hasonlóan a kovácsolt mintában tapasztaltakhoz. A  $\beta$ -CuZn fázisnál két különböző kristallitméretű frakció figyelhető meg. A mintában irányítottan, a szemcsehatáron megjelenő  $\alpha$ -CuZn fázis (111) síksorozatának erős az orientációja.

Az *edzett-megeresztett mintában* a megeresztés következtében apró nyújtott  $\alpha$ -CuZn szemcsék nagyszámúban jelennek meg véletlenszerű eloszlásban a  $\beta$ -CuZn szemcsén belül, amelyre az (011) síksorozatok erős orientációja jellemző. A mintában a  $\beta$ -CuZn fázis (011) orientációt mutat.

A minták fázisarány-eredményeit a 4. ábra mutatja. A 2. táblázat az egyes mintákra meghatározott kristallitméreteket és orientációs viszonyokat foglalja össze.

## Összefoglalás

A vizsgálati minták esetében a diffraktogramok jellege, a reflexiók megléte vagy hiánya egyértelműen utal a textúra jelenlétére, míg a reflexiók kiszélesedése, aszimmetri-

ája, valamint megváltozó intenzitása a rácsfeszültségekre ad információt.

A kovácsolt mintában az alakítás hatására a  $\beta$ -CuZn a (110) síkja mentén jellegzetes tűs morfológiával  $\alpha$ -CuZn fázissá átalakul, amely (111) orientációt vesz fel. A lassan hűlt mintánál az  $\alpha$ -CuZn fázis (311) orientációval képződik az allotróp átalakulás során. Az edzett mintát nagyrészt a (011) orientációjú  $\beta$ -CuZn fázis teszi ki, a szemcsehatáron megjelenő  $\alpha$ -CuZn fázis (111) orientációját az átalakulás okozza. Az edzett-megeresztett minta esetében az  $\alpha$ -CuZn fázis egyenletesen képződik masszív átalakulással, a fázisra (011) orientáció jellemző.

## Köszönetnyilvánítás

A vizsgálatok az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készültek.

## Irodalom

- [1] H. Fredrikson, U. Akerlin: Solidification and Crystallization Processing in Metals and Alloys, John Wiley & Sons Publication, Chichester, 2012. pp. 267.
- [2] Verő József, Káldor Mihály: Fémtan. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1996.
- [3] J. D. Verhoeven: Fundamentals of Physical Metallurgy John Wiley & Sons Publication, New York, 1975.
- [4] C. R. Brooks: Heat Treatment, Structure and Properties of Nonferrous Alloys, ASM UAS, 1989, pp. 20.
- [5] B. D. Cullity: Elements of X-ray Diffraction, Addison-Wesley, Massachusetts, 1956.
- [6] A. Krawitz: Introduction to Diffraction in Materials Science, John Wiley & Sons Publication, New York, 2001. pp. 255.
- [7] N. C. Popa: Microstructural properties: texture and macrostress effects, In R.E. Dinnebier, S.J.L. Billinge ed.: Powder Diffraction: Theory and Practice, Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2008.
- [8] Satyam Suwas, Ranjit Kumar Ray: Crystallographic Texture of Materials, Springer, Manchester, UK, 2014.
- [9] Velterop et al.: J-Appl.Cryst. 33 2000. pp. 296–306.
- [10] J. Bergmann et. al.: J. Appl. Cryst. 34 2001. pp. 16–19.
- [11] V. K. Percharsky, P. Y. Zavalij: Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials, Kluwer, Dordrecht, 2003.
- [12] R. A. Young ed.: The Rietveld Method, Oxford University Press, Oxford, 1993.
- [13] J. R. Davis ed. ASM Speciality Handbook, Copper and Copper Alloys, ASM International, Ohio 2001. pp. 35–45.

*Minden kedves Tagtársunknak, Olvasónknak boldog, békés karácsonyi ünnepeket, sikeres új esztendőt, és elsősorban jó egészséget kíván*

*a BKL Kohászat szerkesztősége*

## Tájékoztató az OMBKE választmányi üléseiről

Egyesületünk Választmánya az utóbbi időszakban három ülést tartott, a járványhelyzet miatt mindhárom a veszélyhelyzet megszűnésével összefüggő átmeneti szabályokról és a járványügyi készületségről szóló 2020. évi LVIII. törvény 106. § (1) a) pontjának felhatalmazása alapján, a Választmányi és Ellenőrző Bizottsági tagok, valamint az állandó meghívottak elektronikus hírközlő eszközei igénybevételeivel történő részvétellel.

Az eddig szokatlan, online kapcsolattartással a Zoom Meeting programot alkalmazva, *Lex Tamás*, a Kormányzati Információs Fejlesztési Ügynökség távkommunikációval foglalkozó fejlesztő munkatársának aktív segítségével, mindhárom választmányi ülést technikai problémák nélkül sikerült lefolytatni.

### Az OMBKE Választmányának 2020. szeptember 29-i ülése

Az ülésen 13 szavazati joggal rendelkező választmányi tag volt jelen, és állandó meghívottként *dr. Debreczeni Ákos*, az Ellenőrző Bizottság elnöke, valamint *dr. Tolnay Lajos* tiszteletli elnök és *dr. Tardy Pál* exelnök is részt vettek az ülésen.

**1. napirendi pont:** Elnöki megnyitó. Tájékoztató az előző választmányi ülést követő intézkedésekről, eseményekről.

*Előadó: Dr. Hatala Pál, elnök*

Elnök úr röviden beszámolt az elmúlt időszak eseményeiről, nem volt hosszú a lista, a pandémia miatt sok rendezvény elmaradt.

A Választmány egyhangúlag elfogadta az 1. napirendi pont beszámolóját.

**2. napirendi pont:** Tájékoztató az OMBKE 110. Küldöttgyűléséről (2020. augusztus 29.) Feladatok a 111. Küldöttgyűlésre.

*Előadó: Kőrösi Tamás főtitkár*

A beszámolóban elhangzott, hogy a 110. Küldöttgyűlést a járványhelyzet árnyékában, kellő óvintézkedésekkel kellett lebonyolítani, így sokan, érthető óvatosságból nem vettek részt az eseményen, ezért a Küldöttgyűlés nem volt határozatképes. Ennek folyamánként a fél óra elteltével ismételt összehívott küldöttgyűlés napirendje az eredetileg meghirdetett napirendtől annyiban tért el, hogy az alapszabály-módosítás kérdését nem lehetett tárgyalni.

A Küldöttgyűlés négy határozatot hozott, a szavazás során egyhangúlag elfogadták:

1. Az OMBKE 2019. évről szóló közhasznúsági jelentését,
2. Az OMBKE 2019. évről szóló számviteli beszámolóját,
3. Az Ellenőrző Bizottság jelentését az OMBKE 2019. évi tevékenységéről,

4. Az OMBKE 2020. évi gazdálkodásáról szóló tervet azzal, hogy az év hátralévő részében fokozott figyelemmel kell kísérni annak teljesülését az Ellenőrző Bizottság ajánlásainak figyelembevételével.

A Bányászati Szakosztály részéről javaslat hangzott el az Alapszabály-módosításhoz, hogy a kilenc fős Elnökségben a Szakosztályok létszámarányosan kerüljenek képviseltetésre. Erről majd a 111. Küldöttgyűlés tud majd dönten.

A kényszerű korlátozások között a 110. Küldöttgyűlés a kitüntetések adományozásának csak annyiban tett eleget, hogy a tiszteleti tagságra és egyesületi elismerésre, kitüntetésre előterjesztett tagtársak neve kihirdetésre került, abban a reményben, hogy a következő – jövő évi, 111. Küldöttgyűlés – már korlátozások nélküli létszámában, teljes ünnepélyességgel tud eleget tenni nemes kötelezettségének. Ebben a tekintetben a Választmány feladata lesz, hogy a tiszteleti tagságra jelöltek közül kiválassza és szavazással megerősítse a jövőre a Küldöttgyűlés elé terjesztendő tagtársakat.

A Választmány egyhangúlag, ellenszavazat és tartózkodás nélkül elfogadta a 2. napirendi pont főtitkári beszámolóját.

**3. napirendi pont:** Tájékoztató az OMBKE pénzügyi helyzetéről (2020. január 1 – augusztus 31.) és a Múzeum kert-lakás értékesítési folyamatáról és hasznosítási lehetőségeiről.

*Előadó: Dr. Szabados Gábor, ügyvezető igazgató*

Szabados Gábor beszámolójában elmondta, hogy az Egyesület gazdálkodása tervszerű. Időarányosan többé-kevésbé teljesített, mind a bevételi, mind a kiadási oldalon. A sarokszámokat tekintve, 24,6 millió volt ebben az évben az összes költségünk és 28,7 millió bevételt ért el idáig az Egyesület. Tehát hozzávetőlegesen, a tavalyi évről átmentett tartalékkal együtt mintegy 4 millió forint fedezetünk áll még rendelkezésre ebben az évben, természetesen még további bevételeket várva. A bevételeknél meg kell állapítani, hogy a 2020-ra szóló tervünk idáig úgy tűnik, hogy reális volt.

Vannak bevételek, amik nagyon fájoan kiesnek. Olyanok, mint a rendezvényeink, melyek a járvány miatt nem kerülhettek megtartásra. Más bevételeink azért esnek ki, mert sok, idáig minket segítő szponzor szintén bajban van a koronavírus-helyzetben, s nem engedheti meg magának sem gazdaságilag, sem erkölcsileg, hogy teljes értékű, a korábbiakban megszokott támogatást nyújtson. De azért majdnem mindenki hozzájárul a továbbiakban is az Egyesület működéséhez.

Az egyéni tagdíjaknál úgy látszik most, hogy az elmúlt évben realizált bevételt talán idén is tudjuk tartani. Elmondhatjuk, hogy elég nagy a fegyelmezetttség vala-

mennyi Szakosztálynál. Az Egyetemi Osztály és az Öntészeti Szakosztály esetében vannak csupán elmaradások.

Kiadásoknál nem volt nem tervezett kiadásunk. Csak a működésünket fedezzük a legszigorúbb feltételek mellett. Köszönjük az MBFSZ-nek, hogy ingyenesen adta nagyon méltó körülmények között a Stefánia úti dísztermét a Küldöttgyűléshez, ezért az erre betervezett jelentősebb összeget nem kellett kiadni. Fontos megemlíteni a MVAE rendkívül gáláns segítségét, mert az eddig hosszú éveken át mereven tartott közel 500 ezer forintos havi bérleti díjunkt 63 500 Ft-ra csökkentette, így 90%-os kedvezményt biztosítva. Köszönjük a MVAE-nek is!

A NAV átutalta a 2019. év utáni felajánlott szja 1% összeget, ez alapján 1 150 000 Ft támogatást értünk el. Ez azért fontos, mert a közhasznúsági feltételrendszernek az egyik lába, hogy az összes pénzforgalom 2%-át el kell, hogy érje az 1%-os felajánlás, és ezt így tudtuk teljesíteni. Egyébként az egyesület likvid, fizetőképes, nincs kintlévőségünk, nincs teljesítetlen tartozásunk.

*A 3. napirendi pont pénzügyi beszámolóját a Választmány tartózkodás és ellenszavazat nélkül elfogadta.*

A Múzeum körüli, egyesületi tulajdonban lévő lakás értékesítése kapcsán az ügyvezető igazgató elmondta, hogy tavalyi döntés értelmében és a decemberi hites értékbecslést követően március 13-án írtunk alá a Duna House-zal a kizárólagos értékesítési szerződést. A meghirdetett összeg 173 négyzetméterre 1 millió Ft-os négyzetméter ár volt, ami az V. kerületi ingatlanárakat tekintve reálisnak volt mondható. Így 173 millió forintba van jelenleg is meghirdetve a lakás, nagyon sok helyen. Közben jött a vírus és megdermedt az ingatlanpiac. Ez alapján Szabados Gábor szavazást kért a Választmánytól, felhatalmazást egy tárgyalási alkuhatárra, mert ez a 173 milliós ár a jelenlegi helyzetben nehezen tartható. Két értékbecslés érkezett be, egy szolnoki és egy soproni. Az egyik 161, a másik 151 millió forintban állapította meg a lakás piaci forgalmi értékét. Ehhez képest kértünk mi 173 milliót indító árnak. A kért felhatalmazás a Választmánytól az, hogy a tárgyalási pozícióban az alsó határ 151 millió forint legyen.

*A Választmány az alsó tárgyalási értékre vonatkozó javaslatot két ellenszavazat és egy tartózkodás mellett elfogadta.*

**4. napirendi pont:** *Időszerűsített tájékoztató az OMBKE 2020. évi (össz-egyesületi) rendezvényei sorsáról, különös tekintettel a IV. negyedévi rendezvényekre.*

*Előadó: Kőrösi Tamás főtitkár*

A tájékoztatóban elhangzott, hogy sajnos, a járványhelyzet miatt rendezvényeink nagy többsége elmaradt, csak néhányat tartottak meg. A második félévet figyelembe véve:

- Július 28-án a „250 éves a diósgyőri acélgyártás” tábla-avatás megtörtént.
- Augusztus 29-én a 110. Küldöttgyűlést sikerült megtartanunk Budapesten.
- Szeptember 4-én a Központi Bányásznapi elmaradt Oroszlányban.
- Szerencsére több helyszínen sikerült bányásznapot tartani, többek között Gánton is megtartották a bányásznapot és a geológiai látogatóközpontot is átadták.

- A selmecebányai rendezvények és a szalamander felvonulás elmaradt.
  - Elmaradt a Fazola napok rendezvény is szeptember 18–19-én, Miskolcon.
  - Október 1-jén a Kőolaj-, Földgáz- és Vízbányászati Szakosztály szervezésében megtartották az OKGT 60 éves megalakulására az emléktábla-avatást.
  - Kunoss Endre sírjának koszorúzása nem biztos, hogy meg lesz tartva.
  - November a Miskolci Fémkohász Szakmai Nap elmarad.
  - November 21–23. Egerszalókon elmarad az Országos Bányászati konferencia.
  - Novemberben a dorogi hagyományörző szakest és szalamander elmarad.
  - A dunaújvárosi Szent Borbála-szakest bizonytalan.
  - A gánti szalamander felvonulás bizonytalan.
  - Az algyői Szent Borbála kőolaj- és gázipari szakest bizonytalan.
  - A dorogi bányászmise nem biztos, hogy meg lesz tartva.
  - A dorogi, oroszlányi és tatabányai szakestélyek létszámkorlátozással, de várhatóan meg lesznek tartva.
  - A december 4-i országos Borbála-napi ünnepség és Sziklatemplomi mise várhatóan elmarad.
  - A december 13-i Luca-napi szakest bizonytalan.
  - December 12-én Miskolcon a Szent Borbála-misé és szakestélyt szeretnék megtartani.
- A 4. napirendi pontban a főtitkári tájékoztatót a választmány ellenszavazat és tartózkodás nélkül elfogadta.*

**5. napirendi pont:** *Előterjesztés az OMBKE egyes pénzügyi és számviteli szabályzatainak jóváhagyására.*

*5.1 az OMBKE Számviteli politikája*

*5.2 az OMBKE Pénzkezelési szabályzata*

*5.3 az OMBKE Értékelési szabályzata*

*5.4 az OMBKE Leltározási szabályzata*

*5.5 az OMBKE Selejtezési szabályzata*

*Előadó: Dr. Szabados Gábor, ügyvezető igazgató*

A kapcsolódó dokumentumokat digitális formában előre megküldték a választmányi tagoknak.

Az ügyvezető igazgató tájékoztatta a Választmányt, hogy a Ferenczi könyvelőiroda és könyvvizsgálóknak készítették el a szabályzatokat, melyeket ezentúl be kell tartani. Mire ezekre fel tudunk készülni az három hónap.

Az öt pénzügyi-számviteli szabályzatról a Választmány egyesével szavazott.

*A Választmány mind az öt belső szabályzatot ellenszavazat és tartózkodás nélkül jóváhagyta.*

**6. napirendi pont:** *A „Hogyan tovább OMBKE?” vitasorozat soron következő, 3. fordulójának meghirdetése.*

*Előadó: Dr. Hatala Pál, elnök*

Az elnök úr elmondta, hogy sajnos, a járványhelyzet adta gyülekezési nehézségek miatt a vitasorozat 3. fordulóját egyelőre megtartani nem lehet. Felkészülés is szükséges, irányítani kell oly módon a munkánkat, hogy lássuk azt, hogy mi az, ami foglalkoztatja a tagjainkat, helyi szervezeteink vezetőit, szakosztályaink vezetőit. Számos olyan kérdés van, időtávlatokban mérve, amely meg kell, hogy határozza a cselekvési magatartásunkat, függetlenül attól, hogy hogyan fog alakulni az új alapszabályunk.

Mert nem az új alapszabály fogja meghatározni Egyesületünk jövőjét, hanem a tagok, a körülmények és azok a megoldandó feladatok, amiket rutinból megtettünk, de még nem is láttuk, hogy egy év alatt, tíz év alatt hogyan fog változni az élet és milyen cselekvési kényszereket fog ránk kényszeríteni. Nem lehet ilyen vitát online formában tartani. Sok embernek kell egyetérteni vagy vitatkozni sok mindenben, ezért a vitasorozat 3. fordulójára nem tartható meg, amíg vírushelyzet van. Reméljük, hogy jövő év első negyedévében, félévében megtartható lesz és ez a munka is folyhat tovább.

*A Választmány egyhangúlag elfogadta elnök úr tájékoztatóját.*

### **7. napirendi pont: Egyebek**

Törő György, a Bányászati Szakosztály elnöke, hozzászólásában elégedetlenségét fejezte ki a 110. Küldöttgyűlés jegyzőkönyvének elkészítésével kapcsolatban:

„A 110. Küldöttgyűlés jegyzőkönyvének elkészítése, úgy gondoltuk, hogy nem okoz nagy gondot, de sajnos, a jegyzőkönyv kiegészítésre szorult. Huszár László jegyzőkönyv hitelesítőnk további öt-hat óra hanganyag meghallgatásával egészítette ki a küldöttgyűlés jegyzőkönyvét, amely igazából így sem hozta vissza a küldöttgyűlés hangulatát.”

Törő György továbbá emlékeztetett, hogy a 110. Küldöttgyűlésre két indítványt nyújtott be:

„Az egyik, hogy az alapszabály elfogadása és a szervezeti és működési szabályzat végleges tervezete egy időre essen, és a Küldöttgyűlés ennek a kettőnek az ismeretében döntsön. A másik volt az új alapszabályban szereplő elnökség összetétele, hogy az elnökség tagjainak évenként megállapított szavazati aránya, a korábbi hagyományok szerint, tükrözze az egyesület meglévő, illetve tervezett szakosztályainak tárgy év január 1-i létszámárányát. Ezekben a kérdésekben a bányászati szakosztály tagsága egységes állásfoglalást tett. Elnök úr e kérdéseket mindenféle formai megfelelés ellenére sem tárgyalta, illetve tette fel szavazásra.”

Végül a szakosztályelnök a következő bejelentést tette:

„A bányászati szakosztály a nem hiteles küldöttgyűlési jegyzőkönyv, valamint a tagságunk javaslatai iránt tanúsított érdektelenség miatt, kinyilvánítja bizalmatlanságát az egyesület vezetésével szemben.”

Dr. Hatala Pál elnök a bejelentésre adott válaszában közölte, hogy egyrészt szeretné látni azt az írásos jegyzőkönyvet, amivel az egységes szakosztályi határozatot meghozták. Másrészt kifejtette, hogy a következő Küldöttgyűlésre természetesen bekerülhet a javaslat. Ha ott a Küldöttgyűlés megfelelő létszámban elfogadja azt, akkor aszerint fog alakulni az Egyesület Alapszabálya. Kérte továbbá a Bányászati Szakosztályt, hogy írásban terjesszék elő a Választmányhoz javaslataikat, hiszen a Választmány a két Küldöttgyűlés között az Egyesület döntéshozó szerve. A Választmány majd hoz egy határozatot, melyet a következő Küldöttgyűlés elé terjeszt. Aztán a küldöttgyűlés mint a legfőbb döntéshozó szerv vagy jóváhagyja, vagy sem.

Törő György szakosztályelnök jelezte, hogy meg fogják tenni írásos javaslatukat.

*(Megjegyzés: Az utolsó napirendi pont kapcsán dr. Szabados Gábor október 5-i keltezéssel feljegyzést készített,*

*amit a Választmány tagjainak és az érdekelteknek megküldött. Ez az anyag a [www.ombkenet.hu](http://www.ombkenet.hu)-n található meg.)*

### **Az OMBKE Választmányának 2020. október 20-i, rendkívüli ülése**

Dr. Hatala Pál elnök rendkívüli választmányi ülést hívott össze, a meghirdetett első napirend okán.

Az ülésen 19 szavazati joggal rendelkező választmányi tag, valamint dr. Tolnay Lajos tiszteleti elnök és Kovacsics Árpád exfőtitkár vettek részt.

**1. napirendi pont:** A 2020. szeptember 29-i választmányi ülés 7. Egyebek napirendjében a Bányászati Szakosztály elnöke, a Bányászati Szakosztály nevében bizalmatlanságát nyilvánította ki az Egyesület vezetésével szemben.

*A választmány értékeli a bejelentést, megvitatja a fenti bejelentés kapcsán előállt helyzetet, és intézkedik a megtenni szükséges lépésekről.*

Törő György, a Bányászati Szakosztály elnöke napirend előtt kért felszólalási lehetőséget, melyben az alábbiakat ismertette:

„Október 14-én 26 fővel és két meghívottal szakosztályi vezetőségi ülést tartottunk. Itt néhány gondolat elhangzott, ami alapján a szakosztályunk vezetősége is néhány dologban elgondolkodott. A vezetőségi ülésen megjelent tagok összességében az egységes Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, a bányász-kohász barátság és a hármas egyesületi alapelv mellett tették le a voksukat.

A szakosztály szűkebb vezetése utólag önkritikusan meg kellett, hogy állapítsa, hogy az új alapszabály-módosítási tervvel kapcsolatos kritikáit meglehetősen későn fogalmazta meg. Az alapszabály-módosítás véleményezési munkára nem fordított elég időt, mely a jelenlegi tarthatatlan állapothoz vezetett.

A bizalmatlanság kifejezése nem volt szerencsés, az elégedetlenség talán jobb megfogalmazás lett volna. Így nem rögzült volna szinte azonnal a fejekben a bizalmatlansági indítvány. Ilyet nem kívántunk, és nem terjesztettünk elő. A bányászati szakosztály egyöntetű véleménye helyett, mint az vezetőségi ülésünk szavazásából is kitént, a helyi szervezeteink vezetésének többségi véleményeként kellett volna megfogalmazni a kifogásokat.

Ezért utólag is elnézést kérek az egyesület vezetésétől és a vezetőségünk nemmel szavazó kollegáitól. Tisztelt Választmány, az elmondottak alapján kérem az elnök urat és a választmányi tagokat, hogy jövőbe tekintő és a közös célok érdekében tenni akaró módon folytassuk egyesületi munkánkat. Közös javítsunk a kommunikációs hibákon, és legyünk transzparenssek egymás, a helyi szervezeteink és a tagság irányában. Ezt diktálja egyesületünk sok évtizedes hagyománya és szakmáink barátsága.

Köszönöm a lehetőséget, elnök úr.”

*(Megjegyzés: A Bányászati Szakosztály október 14-i vezetőségi üléséről a szakosztályvezető a választmányi ülést megelőzően rövidített beszámolót küldött a Választmány tagjainak, mely a [www.ombkenet.hu](http://www.ombkenet.hu)-n megtalálható. Ebben közölte, hogy az ülés részletes jegyzőkönyvét a későbbiekben fogják megküldeni.)*

Dr. Hatala Pál elnök a beérkezett további napirendi javaslatokat ismertette.

Bocz András, a Vaskohászati Szakosztály elnöke írásban küldte be javaslatát:

## **2. napirendi pont:**

*A Választmány, a 2020. július 21-i ülésén elfogadott 2020/III-7 számú határozatát, amely a Küldöttgyűlés elé terjesztendő Alapszabály-módosításra vonatkozott, visszavonja. A Választmány felkéri az Alapszabály Bizottságot, hogy az Alapszabály-módosítás tervezetét, és az SZMSZ-tervezetét, a Szakosztályok vezetőségeivel közösen vizsgálja meg, és figyelembe véve az elhangzó javaslatokat, azt legkésőbb 2021. február 28-ig terjessze a Választmány elé.*

A Törő György szakosztályelnök által megküldött javaslat szerint:

**3. napirendi pont:** *Az új Alapszabály-módosítás tervezet visszahívásának kezdeményezése a Választmány elé.*

Kőrösi Tamás főtitkár arról az aktuális kérdéstről tájékoztatta a Választmányt, hogy sajnos, dr. Szabados Gábor ügyvezető igazgató 2020. október 21-i nappal kezdődő felmondási idővel benyújtotta felmondását a munkáltatói jogkört gyakorló dr. Hatala Pál részére. Ezért a Választmánynak még október 20-án meg kell hirdetnie a munkakör betöltésére a pályázatot, mert csakis így van esély arra, hogy még a 30 napos felmondási időtartam alatt a munkakör ellátására megfelelő személyt tudjunk biztosítani.

Ezek alapján a javaslat:

**4. napirendi pont:** *Pályázat kiírása az OMBKE ügyvezető igazgatói munkakörének betöltésére.*

*A Választmány elfogadta mind a négy napirendi pontot.*

Az **1. napirendi pont** kapcsán dr. Hatala Pál elnök a következőket mondta:

„Előző választmányi ülésünk utolsó, határozatot nem igénylő kérdésekre fenntartott „Egyebek” napirendi pontjában Törő György, a Bányászati Szakosztály elnöke – a szakosztály nevében – bizalmatlanságát nyilvánította ki az Egyesület vezetésével szemben. Bár az ülést követően többen is, azonnal arra utaltak, hogy ez a lépés Alapszabály-ellenes, ilyen lépésre, ilyen formában az Alapszabály nem ad lehetőséget, de úgy döntöttem, hogy az 1000 főt meghaladó taglétszámú szakosztály ilyen irányú, egységes nyilatkozata mellett (ha ez az), nem lehet semmi körülmények között elmenni. Törő György nem hirtelen felindulásában ragadtatta el magát, hanem felkészülten, sőt előre készülten, kiemelten sorolt sérelmek idézésével, írott szöveggéként olvasta fel bizalmatlansági nyilatkozatát. Most én azt mondom: vélt és koholt sérelmek alapján... Minden rábeszélésem ellenére Szabados Gábor végül úgy döntött, hogy az ellene ellenségesen, szándékosan és folytatólagosan gerjesztett bizalmatlanság légkörében felelős munkáját nem tudja folytatni... Ami pedig az én véleményemet illeti: természetesen a kérdést könnyű lezárni és le is fogjuk. Higgyétek el, hogy engem ebben az elnöki pozícióban csak az Egyesület megtartásának, összetartásának az ügye tart meg. Lévé, hogy engem az egyesület 100%-kal választott meg, nem tehetem meg, akármilyen nagy rész is vélt vagy

rosszul értelmezett módon fellép valami olyan ellen, ami méltánytalan, nem szabad megsértődnöm és nem szabad úgy hozzáállni, hogy ez valamilyen revansot kíván. Én ezzel a kérdéssel, a magam részéről le akarom zárni. Az, hogy ilyen nem hangzott el, az tényszerűen nem igaz, hiszen a jegyzőkönyv hanganyag alapján és szó szerint készült el. Ez elhamarkodott volt és nem végiggondolt... Én kész vagyok ezt félretenni, ha normálisan helyre tudjuk hozni azt a hiátust, amit ez a korábbi választmányi ülésen elhangzott, leírt, előkészített szándék fogalmazott meg. A 2500 tag együtt maradása, az Egyesület megmaradása az cél. Ezt kell szem előtt tartani.”

Huszár László, a Bányászati Szakosztály exelnöke fűzött még hozzá néhány érdemi, segítőkész gondolatot:

„Az elmúlt időszakban meglehetősen furcsa, és az Egyesület életében nem éppen gyakori folyamatnak vagyunk vagy voltunk részesei. Remélem, hogy inkább voltunk.

Hogy ez a folyamat mikor, honnan indult, mi váltotta ki, minden bizonnyal személytől függően lehet más és más okot felhozni, felvázolni. Sajnálatos, hogy ez eddig fajult, de azt hiszem, hogy itt az ideje annak, hogy ne visszafelé mutogassunk, mint az óvodások a homokozóban, hanem tekintsünk előre. Mint ahogy a szakosztályelnök úr mondta, a szakosztály vezetőségi ülésen résztvevők egyhangúlag nyilvánították ki azt, hogy változatlanul az egyesület hármasszavát alapnak tekintve kívánnak tevékenykedni a továbbiakban is. Gondolom, ezt tekintik alapnak a más szakosztályok is. Ebben minden bizonnyal közös az összhang.

Ami pedig a fennálló konfliktust illeti, azt hiszem, ez a megoldás felé visz, és talán már el is indult ez az elmúlt hozzászólásból. Én kérek is mindenkit, aki az idevezető folyamatnak bármilyen formában is részese, előidézője, okozója, érintettje volt, és egy hógyolyóból lavinát sikerült létrehozni, gondolja végig, mit és hol rontott el, és vajon megtett-e mindent annak érdekében, hogy ne fajuljon el idáig, és ne forduljon elő még egyszer. Egy klasszikus szakestélyi idézettel élve: vonja le a konzekvenciát. Ha ezt minden érintett megteszi, és azon lesz, hogy ne kövesse el még egyszer, akkor ezt az ügyet a feledés homályában tudhatjuk. Mindannyian, az egyesület közös érdekeit szem előtt tartva, folytathatjuk a közös munkát.”

Ezután az elnök szavazásra bocsátotta: „Kérdés az, hogy a megfogalmazott bizalmatlansági indítvánnyal egyetért-e a választmány?”

*A Választmány tagjai egy tartózkodás mellett egyhangúlag elvetették a bizalmatlansági indítványt.*

**A 2. napirendi ponthoz dr. Fegyverneki György,** az Öntészeti Szakosztály elnöke szólott hozzá. Megdöbbenésének adott hangot, hogy az Alapszabály Bizottság több, mint egy éves munkáját vissza akarják dobni. Hiszen a létszamarányos bizottság nagyon komoly munkát végzett, és minden alkalommal a szakosztályok vezetése is megkapta azt az anyagot, az ott lévő bizottsági tagokon keresztül is, amelyről lehetett véleményt alkotni, elmondhatta bárki a véleményét, jobbító szándékkal javaslatot nyújthatott be, fenntartásait megfogalmazhatta.

Ezt követően Hatala Pál elnök a 2. napirendi pont szavazását két részre bontotta.

Az első rész szerint: „Vonja vissza a Választmány az

alapszabály módosításának tervezetére vonatkozó, a 2020. július 21-i ülésén elfogadott 2020/III-7 számú határozatát”

*A Választmány 11 igen, 4 nem és 1 tartózkodás szavazattal elfogadta a javaslatot.*

A második rész szerint: „A Választmány felkéri az Alapszabály Bizottságot, hogy az Alapszabály-módosítást, és az SZMSZ-tervezetet, a Szakosztályok vezetőségeivel közösen vizsgálja meg, és figyelembe véve az elhangzó javaslatokat, azt legkésőbb 2021. február 28-ig terjessze a Választmány elé.”

*A Választmány 15 igen és 3 nem szavazattal elfogadta a javaslatot.*

**A 3. napirendi pont** Törő György előterjesztése: „Az új alapszabály-módosítás tervezete visszahívásának kezdeményezése a választmány elé.”

A napirend kapcsán Törő György, dr. Tolnay Lajos, dr. Debreczeni Ákos és dr. Szabó Tibor szoltak hozzá, egyöntetűen azt indítványozva, hogy a 3. napirendet nem kell tárgyalni, azonos az előzővel, amiben döntött a Választmány.

*A 3. napirendi pont tárgyalásától egyhangú szavazással eltekintett a Választmány.*

**A 4. napirendi pont** kapcsán Kőrösi Tamás főtktár ismertette az ügyvezető igazgatói posztra kiírandó pályázatot, miközben annak tervezetét a választmányi tagok képernyőiken megjelenítve láthatták. A főtktár javasolta Pályázati felhívást az Egyesület honlapján és a Morvai tanár úr által vezetett OMBKE levelező listán megjelentetni.

Ezután Csurgó Lajos, Ósz Árpád, Kőrösi Tamás, Németh László, Fodor Krisztina, Zelei Gábor, Bocz András és Hatala Pál is kérték Szabados Gábort, hogy maradjon, vonja vissza felmondását.

Szabados Gábor azonban így nyilatkozott: „Jólesett minden szavatok és köszönöm a biztatást. Higgyétek el, annak, hogy ma ennek a választmányi ülésnek olyan lett a hangulata, olyan lett az összetartása, a szabadságfoka, amilyen nagyon rég nem volt, hogy a Választmány és rajta keresztül az Egyesület, fölrázza magát és büszke lesz magára, annak ára van. Ennek az ára például én vagyok. Tudom, hogy elnök úrnak is nehezebb lesz, mert dolgoztunk, és fontos volt, hogy értsük egymást fél szavakból. Tudom, az Egyesületnek is nagy szüksége van praktikus technikai vezetőre, ha úgy tetszik. Nem hiszem, hogy egy alkalmas vezetőként csak Szabados Gábor tudja ezt eredményesen elvégezni. Nem, köszönöm a bizalmatokat, nem vonom vissza, nagyon ócska dolog lenne, ha bármiféle zsaroló pozícióban állnék ezzel a felmondással. Nem, úgy gondolom, hogy nélkülem jobban fog menni.”

Ezután dr. Hatala Pál elnök az Egyesület nevében megköszönte Szabados Gábor munkáját, majd szavazásra bocsátotta a kérdést: „Egyetért-e a Választmány azzal, hogy az Egyesület elnöke az ügyvezető igazgatói munkakör betöltésére a bemutatott pályázati hirdetés tartalommal a pályázatot meghirdesse?”

*A Választmány 14 igen és 1 tartózkodás szavazattal elfogadta a javaslatot.*

**Kőrösi Tamás**

## **Emlékeztető az OMBKE 2020. november 18-i választmányi üléséről**

A választmányi ülés a szeptember 29-i és október 20-i üléshez hasonlóan, online formában történt. A levezető dr. Hatala Pál elnök volt, aki megállapította, hogy a Választmány határozatképes, 24 tagból 16 jelentkezett be.

Felhívta a figyelmet az OMBKE honlapon és a levelezőlistán közzétett felhívásra arról, hogy a koronavírus járvány miatt életbe léptetett korlátozó intézkedések értelmében az OMBKE egészére is 2020. november 10. nap éjféltől, 2020. december 10. nap éjfélig teljeskörű rendezvénytilalom lépett életbe, kéri mindenkitől ennek szigorú betartását és betartatását.

Elmondta, hogy nem lehet a két választmányi ülés közötti külső kapcsolatainkról, rendezvényeinkről számot adni, mert ilyenek most nincsenek, nem lehettek.

A következő napirendben dr. Szabados Gábor ügyvezető igazgató ismertette, hogy az Egyesület pénzügyi helyzete stabil, likviditása biztosított, kintlévőség nincs. Az elmaradt programok és rendezvények miatt mind a bevételi, mind a kiadási oldal lényegesen rosszabb a tervezetnél, mint ahogyan a választmányi tagoknak előzetesen megküldött táblázatokból látható. A tagdíjbefizetések egy része szintén elmarad a tervezettől, arányaiban különösen az Egyetemi osztály diák/pályakezdő korcsoportjában.

Közölte, hogy a közelmúltban jelentős pártoló tagdíj érkezett az Omya-tól és a Csepel Metalltól, 700 E Ft összegben.

Dr. Debreczeni Ákos EB elnök kérdésére Szabados Gábor elmondta, hogy a lapok szerkesztési költsége kb. 5-600 E Ft lapszámonként; a postai költség idén 30%-kal nőtt.

A BKL Bányászat, Kőolaj és Földgáz idei negyedik száma várhatóan megjelenik még az idén. A BKL Kohászat negyedik száma, a 2020/5-6. szám, jelenleg tördelés alatt van, még ebben az évben digitális formában meg fog jelenni.

A tagdíjmaradásokkal kapcsolatban az a véleménye, az egyetemisták fizetési kötelezettségét, a „diák tagdíj” kategóriát célszerű lenne megszüntetni. Ósz Árpád KFVSz elnök az egyetemi szakmai karok diákjainak automatikus beléptetését javasolja az Egyesületbe azzal, hogy az ő részükre a tagdíjfizetés legyen opcionális.

A beszámolót a Választmány egyhangúlag elfogadta.

Ezután Szabados Gábor a Múzeum krt.-i lakás értékesítésével kapcsolatban adott tájékoztatást: sajnos a 100 M Ft feletti ingatlanok értékesítése nagyon mérsékelt, ezért ki kell várni a piac javulását. A Dunahouse-zal kötött megbízási szerződésünk március 13-án fog lejárni. Debreczeni Ákos kérésére válaszolva elmondta, hogy a lakáson három rendszeres havi költségelem van: a közös költség kb. 40 E Ft/hó, a gáz és villany esetében havi 28-28 E Ft.

Ezt a tájékoztatást is egyhangúlag elfogadta a Választmány.

A következő napirendi pont az ügyvezető igazgatói munkakör betöltésére kiírt pályázat eredményéről szolt. A Bontási Bizottság november 16-án, 13 órakor megállapította, hogy összesen egy elektronikus pályázat érkezett be határidőre. Zelei Gábor tagtárs pályázata minden formai és tartalmi követelménynek megfelelt. A pályázatot és a Bontási jegyzőkönyvet a Választmány tagjai november 16-án megkapták.

Zelei Gábor felkérésre elmondta, hogy szeretné folytatni Szabados Gábor magas színvonalú munkáját. Hangsúlyt szeretne fektetni a belső kommunikáció javítására. Mindent elkövet, hogy az Alapszabály-tervezet megnyugtató módon kerüljön véglegesítésre. Fontosnak tartja, hogy az Egyesület rendelkezzen állandó saját bevétellel, erre egy javaslatot az Egyebekben fog ismertetni. Kiemelt feladat lesz az új székház megtalálása. A bányászati- és kohászati múzeumok helyzetének rendezését is fontos feladatnak tartja. Megválasztása esetén választmányi tagságáról lemond.

A Választmány Zelei Gábort a pályázata alapján titkos szavazással egyhangúlag választotta meg az OMBKE új ügyvezető igazgatójának.

A negyedik napirendi pontban *Mednyánszky Miklós* tagtárs javaslata hangzott el, hogy alakuljon egy új választmányi bizottság, Múzeumok, bemutatóhelyek, emlékhelyek és kegyeleti helyek bizottsága néven.

*Kőrösi Tamás* ezt kiegészítve hozzászólásában elmondta, hogy egyesületi szinten mindkét szakma illusztris hagyományait bemutató helyeket, a bányászati és kohászati múzeumokat és emlékhelyeket kell érteni az említett összefogó feladat kapcsán. Ezek alapján az Egyesület vezetése javasolta, hogy alakuljon egy új választmányi bizottság, a fenti néven. A bizottság vezetőjének pedig javasolta *Mednyánszky Miklóst*, aki eddig is példamutatóan szívén viselte a múzeumok sorsát.

Az új bizottság feladata a bányászati és kohászati múzeumok, bemutatóhelyek tevékenységének koordinálása, pályázati lehetőségek keresése, realizálása lenne. Az emlékhelyek, kegyeleti helyek állapotának figyelemmel kísérése ugyanúgy a feladatok közé tartozna, mint újabb közös konferenciák szervezése. Az egyesület a jelenlegi helyzetben közvetlenül nem tudja anyagilag támogatni a szakmai múzeumokat, azonban támogatási lehetőségek keresésében, pályázatok megvalósításában tagtársaink, szakembereink fontos szerepet vállalhatnak.

*Németh László* hozzátette, fontos lenne felmérnünk, hogy a helyi szervezeteink közül melyik tud segíteni a környezetében lévő múzeumnak.

A Választmány egyhangúlag döntött az új állandó bizottság létrehozásáról *Múzeumok, bemutatóhelyek, emlékhelyek és kegyeleti helyek bizottsága* néven. A Bizottság vezetésével *Mednyánszky Miklóst* bízták meg.

Ezután *Hatala Pál* elmondta, hogy a Dunaújvárosi Fő-

iskolán a selmeci hagyományokat meghonosításának 50 éves évfordulón 2019-ben emlékszakestet tartottak. Javasolta mint megerősítő gesztust, emléklap adományozását a 13 fő hagyománytartó részére. A szavazás során a Választmány egyhangúleg hozzájárult az emléklapok kiadásához.

Az Egyebekben *Hatala Pál* megköszönte Szabados Gábornak a kimagasló, eredményes munkáját, amit az Egyesület érdekében mint ügyvezető igazgató végzett az elmúlt két évben. *Kőrösi Tamás* hozzátette, hogy a Választmány és további tagok adakozásának köszönhetően Szabados Gábor hobbijának megfelelő tárgyjutalmmal fejezték ki köszönetüket, amit november 19-én át is adtak.

Ezután Zelei Gábor javaslatot adott arra, hogy az OMBKE a Földtudományi Civil Szervezetek Közösségével (FÖCIK) együtt pályázzon egy bányászati témájú „menekülő szoba” kialakításra, ami egész évben kínálna programot az érdeklődők fiatalok számára. Ebből az egyesület is rendszeres bevételhez jutna.

*Kőrösi Tamás* felhívta a figyelmet, hogy Szent Borbála Virtuális Szakestély szerveződik, a Morvai tanár úr levelező listáján, aki akar, időben csatlakozzon!

*Tardy Pál* javasolta, hogy a jogi tagok és támogatók részére gyártó-felhasználó évente találkozót szervezzen az Egyesület. Úgy érzi, hogy a Történelmi Bizottság és az új bizottság között átfedés van, a szoros együttműködésre hívta fel a figyelmet.

*Boc András* tájékoztatott arról, hogy Szent Borbálát ábrázoló ablakot készítették a dunaújvárosi r. k. templomba.

*Dr. Lengyel Károly* tájékoztatta a Választmányt, hogy az Alapszabály Bizottság újra elkezdte az Alapszabály, az SZMSZ és a Felügyelő Bizottság Ügyrendjének áttekintését. A munkaszakaszban azt várja, hogy a szakosztályok írásos, konkrét szövegjavaslatot adjanak. Az AB január 15-ig az új változatot tervezi elküldeni a Választmánynak.

Bejelentette, hogy legidősebb tagtársunk, *dr. Patay Pál* elhunyt. A temetésén az Egyesület nevében koszorút helyeztek el a sírján.

Végül *Hatala Pál* a Választmányi ülést bezárta és mindenkinek jó egészséget kívánt.

*Dr. Szabados Gábor és Zelei Gábor jegyzőkönyve alapján összeállította BT*



**Zelei Gábor** 1967. október 20-án, Gyöngyösön született. Felsőfokú tanulmányait a Miskolci Egyetemen végezte, 1992-ben geofizikus, 1995-ben mérnök-közgazdász diplomát szerzett.

Pályáját a MOL Nyrt.-ben kezdte, 1993-tól a hazai kutatásban értelmező geofizikusként. Több mint két évtizedet töltött a MOL Csoport hazai és külföldi vállalatainál különböző területeken, főleg vezetői pozíciókban.

2016-tól a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal első számú vezetője volt elnökhelyettesként, majd az átalakulás után az első elnöke lett a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálatnak.

2018-tól vállalkozóként végez szakértői munkákat.

2014 óta tagja az OMBKE-nek. Jelenlegi lemondásáig a Választmány tagjaként aktívan részt vett az Egyesület vezetésében. Résztvevője volt az ún. Ad Hoc Bizottságnak, mely a diák-hagyományok körül kialakult helyzet kezelésére volt hivatott. Felkérést kapott az OMBKE megújulása érdekében létrehozott Szervezeti és Működési Szekció vezetésére.

2017-től a Magyarhoni Földtani Társulat tagja, és 2018-tól a választmányának tagja. 2018–2019 között alelnöke, majd elnöke a Magyar Geofizikusok Egyesületének. 2020-tól a Földtudományi Civil Szervezetek Közössége (FÖCIK) elnöke.

# A Miskolci Egyetem hírei

• Országosan is megfigyelhető, hogy amióta a felsőoktatásba való belépéshez kötelező az emelt szintű érettségi vizsga, kevesebb a jelentkező a műszaki képzésekre. A Műszaki Anyagtudományi Karra is az előző évekhez képest kevesebb, összesen 57 hallgatót sikerült felvenni BSc-képzésre:

- Anyagmérnöki nappali: 12 fő / levelező: 2 fő
- Vegyészmérnök nappali: 20 fő / levelező: 11 fő

MSc-képzésre:

- Anyagmérnöki nappali: nem indul / levelező: 7 fő
- Kohómérnöki nappali: 2 fő / levelező: 3 fő

• A COVID-19 vírus miatt a hagyományosan június végi diplomaosztó ünnepséget szeptember 4-én rendezték meg a Miskolci Egyetemen. A vírus miatt ezúttal hozzártartozók nélkül, távolságtartással és maszkban foglalták el helyeiket az egyetem díszaulájában a frissen végzett mérnökök. A járványhelyzet miatt a 39 végzett hallgatóból 22-en jöttek el átvenni az oklevelüket (anyagmérnöki alapszakon 6 fő, kohómérnöki mesterszakon 9 fő, anyagmérnöki mesterszakon 7 fő).

A diplomaosztó ünnepség keretében *prof. dr. Horváth Zita*, az egyetem rektora tiszteletbeli doktori címet adományozott *prof. dr. Buza Gábor* részére. A kari hallgatók „Kiváló oktató diploma” kitüntetését *dr. Muránszky Gábor*, a „becsületdiplomát” pedig *Barta Mátyás* végzett anyagmérnök vehette át.

• Szeptember 5-én Kitüntetés átadó ünnepi szenátusülésre került sor a Miskolci Egyetemen. Egyetemi és kari kitüntetés a Műszaki Anyagtudományi Kar alábbi munkatársai és partnereit vehették át:

Pro Universitate kitüntetés - *dr. Kékesi Tamás* egyetemi tanár,

Signum Aureum Universitatis kitüntetés – *dr. Mende Tamás* egyetemi docens, dékánhelyettes,

A Miskolci Egyetem Érdemes Oktatója – *dr. Molnár Dániel* egyetem docens,

A Miskolci Egyetem Kiváló Kutatója kitüntetés – *dr. Vanyorek László* egyetemi docens,

A Nemzetközi Kapcsolatokért kitüntetés – *dr. Török Béla* egyetemi docens,

A Miskolci Egyetem Kiváló Dolgozója kitüntetés – *Roneczné Ambrus-Tóth Judit* ügyvivő szakértő és *Koós Tamás* tanszéki mérnök,

Rektori Dicséret – *Nagy Gábor* tanszéki mérnök,

Kancellári Dicséret – *Sajti Zoltán* és *Császárné Türk Ilona*,

A Miskolci Egyetem Kiemelt Támogatója Díj – *Dósa Gábor*, az IDP Group Kft. üzletfejlesztési vezetője, valamint *Kiss László*, a „KIS” Szerelő és Kereskedő Kft. tulajdonos-ügyvezető igazgatója,

A Műszaki Földtudományi Kar és a Műszaki Anyagtudományi Kar közös kitüntetése – *prof. dr. Náhlik András* okleveles erdőmérnök, a Soproni Egyetem volt rektora, Pro Facultate Ingeniariorum Metallurgiae kitüntetés – *Fehér Jánosné dr.* címzetes főiskolai tanár és *Szépvolgyi*

*János*, az Arconic-Kőfém Kft. korábbi szakmai vezetője, valamint *dr. Szilasi Péter Tamás*, a NEMAK Győr Kft. társadalmi kapcsolatok osztályvezetője, Verő József emlékérem – *Hafner Zsoltné*.

• A vegyészmérnöki alapképzésre 2020 szeptemberében felvett minden hallgató számára a tanulmányaik megfelelő minőségben történő folytatása érdekében különböző szakmai szoftverekkel ellátott laptopot biztosít a Műszaki Anyagtudományi Kar. A hallgatók a laptopokat október 9-én ünnepélyes keretek között kapták meg a Kémia Intézetben. Az anyagmérnöki BSc-képzésre felvett nyert hallgatók számára szintén biztosít a Kar laptopot, ők novemberben vehetik át majd a számítógépeiket.

• 29. alkalommal rendezték meg október 13–15. között Balatonfüreden a Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban konferenciát. A COVID-19 rendelkezéseket betartva, 38 fő vett részt a rendezvényen, 25 előadás tartva. A konferencia tradicionálisan egy nagyon jó találkozási helye az akadémiai szektor és az ipar képviselőinek. A Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet munkatársai köszönetüket fejezik ki *dr. Tóth Tamásnak*, a szervező bizottság elnökének, hogy a COVID-19 helyzet ellenére nem veszítette bizalmát, és hitt abban, hogy lesznek olyanok akik vállalják a fizikai jelenlétet. Nagyon színvonalas előadásokat hallhattak a résztvevők, jó hangulatú szakmai beszélgetések, viták alakultak ki. Az előadásokról hang- és képfelvétel készült, hogy akik nem tudtak eljönni, azok se veszítsék el az új híreket, információkat, az új fejlesztéseket, amelyek az elmúlt két évben a hazai iparvállalatoknál megvalósulhattak. A Miskolci Egyetem Fémteni Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai intézetből 8 fő (*dr. Mertinger Valéria*, *dr. Benke Márton*, *dr. Nagy Erzsébet*, *Kárpáti Viktor*, *Hlavács Adrienn*, *Szobota Péter*, *Angel Dávid*, *Schweitzer Bence*) nyolc előadással vett részt a rendezvényen. A munkatársak bíznak benne, hogy két év múlva újra együtt lehet a szakma, a korábbi alkalmakhoz híven már nagyobb létszámmal.

• A Magyar Kormány 2020 elején született döntése alapján 2020. augusztus 1. hatállyal a Miskolci Egyetem is a modellváltó egyetemek közé nyert besorolást, így új időszámítás kezdődött az egyetemen. Egy valami biztosan nem változott: aki eléri a szükséges ponthatárt, ugyanúgy, mint eddig, államilag támogatott képzésre kerülhet be. Ugyanezen a naptól fogva az Intézmény rektori feladatait *prof. dr. Horváth Zita* vette át, akit a Miskolci Egyetem Szenátusa választott meg ugyanezen évben. Általános helyettesként *prof. dr. Szűcs Péter* segíti a munkáját.

• A Miskolci Egyetem a COVID-19 járványhelyzetre való tekintettel 2020. november 9-től átállt távoktatásra, minden oktatási tevékenységet (néhány kivételtől eltekintve) online kell folytatni. A tervek szerint a 2020/21 I. fél-

évet ebben a formában fejezi be az egyetem. A Műszaki Anyagtudományi Kar már nyáron készült az esetleges második hullámra, így az órarendet úgy állították össze, hogy a félév első felében a gyakorlati órákra került sor, majd a félév második felében következnek az előadások. A személyes jelenléte sokkal jobban igénylő gyakorlatok nagyrészt már lementek, az elméleti oktatás különböző e-learninges csatornákon könnyebben kivitelezhető.

• A Miskolci Egyetemet működtető Universitas Miskolcensis Alapítvány Kuratóriumának elnöke egyetemünk egykori hallgatója, *dr. Varga Judit* igazságügy miniszter. A kuratórium tagjai: *dr. Kriza Ákos* orvos-közgazdász (Miskolc m.j.v. volt polgármestere), *dr. Marie-Theres Thiel*, az ELMŰ-ÉMÁSZ igazgatóságának elnöke, *dr. Kovács Erika*, az MNB Békéltető Testületének elnöke, valamint *Fükö László*, a Robert Bosch Power Tool Elektromos

Szerszámgyártó Kft. gyárigazgatója.

• Egyetemünk két professzora is felkerült a legjobb magyar kutatók listájára. *prof. dr. Szebeni János* (Egészségügyi Kar) a 39., *prof. dr. Kaptay György* (MAK) pedig a 124. azon a 199 fős listán, amely a világ legjobb 100.000 kutatója közé bekerült magyar kutatókat tartalmazza. Egy éve négy szerző – három amerikai és egy holland – kidolgozott egy mérőrendszert, amellyel világszerte mérni lehet a kutatók egyéni teljesítményét. Az erről szóló cikk szabadon hozzáférhető függelékeként a szerzők publikáltak egy listát is, amely – tudományos teljesítményük mérőszámaival együtt – tartalmazta száz-ezer kutató nevét, akiket a kidolgozott rendszer alapján a szerzők a világ élvonalbeli kutatóiként azonosítottak.

**Mende Tamás**

## A Magyar Öntészeti Szövetség 31. közgyűlése

A 2020. szeptember 2-án tartott közgyűlésen *Kovács Sándor* elnök köszöntőjét követően a jelenlévők *dr. Varga László*, az ME MAK Öntészeti Intézet igazgatójának előadását hallgatták meg a Miskolci Egyetem alapítványi rendszerű működési elképzeléseiről és az Anyagmérnöki Kar szakirányú öntészeti képzésének helyzetéről.

A közgyűlés egyhangú szavazással fogadta el a korábban megküldött és felolvasott közgyűlési napirendet. A megküldött anyagokat és a kiegészítéseket a közgyűlés elfogadta, úgymint a Szövetség (MÖSZ) elnökségének beszámolóját a 2019. évben végzett munkáról, a MÖSZ EB 2019. évi gazdálkodására vonatkozó jelentését és költségvetésének teljesítését, a 2017. évi egyszerűsített

egyetemi docens kaptak.

A Kiváló Fialat Öntész MÖSZ-díj kitüntetettje pályamunkájáról előadást tart a 26. Magyar Öntőnapokon 2021-ben.

Az elnökségi beszámoló érintette a hazai öntészet 2019. évi termelési eredményeit a MÖSZ adatszolgáltatása alapján. Az európai és a hazai öntészet általános helyzetét az alábbi megállapítások jellemzik.

Az Európai Öntészeti Szövetség (CAEF) szakértői bizottsága által 2019. 4. negyedévében készített értékelés alapján az EU-n belüli szakági fellendülés lelassult, illetve megállt, és várhatóan kis mértékben tovább romlik 2020-ban. A nagyobb mértékű visszaesés a vas- és acélöntés területén volt csupán érezhető, illetve a várakozásoknak megfelelően mintegy 20-30%-ra jósolták 2020 első félévében. A járműipar alkatrészigényében szintén némi csökkenést prognosztizáltak. Európában változatlanul általános a munkaerőhiány.

A magyar öntészet területén szövetségünk elnökségi tagjainak év végi piaci és termelési helyzetismertetése alapján a 2019. év első félévének vártnál jobb termelési és értékesítési eredményei általában azt jelentették, hogy a gazdálkodási év egésze nem is volt rossznak mondható. Ez így van annak ellenére, hogy a második félév eredményei – szinte valamennyi mutatót tekintve – egyértelműen romlottak. A járműipari fémöntészetben viszonyla-



MÖSZ-díjat kapott Pordán Zsigmond, Tót Csaba és Katkó Károly

mérlegbeszámolóját, az eredménykimutatást, valamint a MÖSZ 2020. évi költségvetési- és munkatervét.

Ezután *dr. Takács Nándor*, a MÖSZ-díj Kuratórium elnöke ismertette a 2020. évi MÖSZ-díjak odaítélésének eredményét. A díjakat *Kovács Sándor* elnök adta át.

2020-ban a MÖSZ Életmű-díjat *Katkó Károly* (K.+K. Vas Kft.), a MÖSZ-díjat a P-Metál Kft. (*Pordán Zsigmond*), a Kiváló Fialat Öntész MÖSZ-díjat *Tót Csaba* (FÉMALK Zrt.), a Nándori Gyula-émlékéremet *dr. Tóth Levente* ny.

gos a visszaesés (a korábbi évek növekedési rátája egyharmaddal, illetve ötven %-kal, vagy akár nagyobb mértékkel is csökkent), így a hazai összes öntvénytermelés néhány százalékos csökkenést mutatott 2019-ben az előző évhez képest. Ez a helyzet már azt jelenti, hogy a hazai háttérpar szereplői (alap- és segédanyag beszállítók, szerszámkészítők stb.) is a hozzájuk e szektorból beérkező igények csökkenése miatt kisebb leterheltséggel teljesítenek. Több olyan könnyűfém-öntöde van, mely termékszerkezetének megváltoztatásával, eddig termékkel el nem látott ipari szereplők öntvénytel kielégítését tűzte ki célul, melyhez jelentős beruházással teremtik meg az elkövetkezendő évekre a feltételeket.

A vasöntészetben a 2019. év elejének rendelésállománnyal leterheltsége – a második félévben 15-20% vagy annál nagyobb mértékben is visszaesett. Ehhez képest az új év elején már némi rendelésállomány-növekedés is látható volt, bár a növekedést követően sem érte el több társaságnál a termelési szint mintegy 75%-át a 2019. első féléve rendelésállománynak.

Változatlan a helyzet, hogy a hazai – és nem csak szakképzett – munkaerő-ellátottság egyre rosszabb, a meglévő létszám megtartása is komoly nehézségeket, korábban nem jelentkező többletköltségeket ró az öntödékre. A nagy fejlesztési programokat megvalósítani akaró hazai öntödék fejlesztési terveiket kényszerűen lassították, esetenként törölték is. Általános volt az a vélemény is, hogy a gazdálkodás különböző területein tapasztalható ár-, és költségnövekedések (energiaár, kötelező bérnövekedés, a munkaerő megtartás növekvő járulékos költségei, anyagköltség-növekedés stb.) megfelelő mértékű érvényesítése az öntödei árakban változatlanul csak részben, illetve jelentős késéssel tehető meg.

2019-ben összesen mintegy 200 166 tonna öntvényt gyártottak a hazai öntödék, ez 14,5%-os csökkenés a 2018. év termelési mennyiségéhez képest.

A 2020. év gazdálkodási és termelési kilátásait az elnökség tagjai a második negyedévet követően növekvőnek/javulónak ítélték, várakozásaik ennek megfelelő tervezéssel párosulnak. A vírusfertőzés 2020. évi első üteme nem várt nehézségeket okozott a hazai öntészeti szakterület számos szereplőjének.

Az elmúlt év magyar öntészeti termelési adatai (tonna):

Vasöntvény	74 015
Acélöntvény	2 182
Alumíniumöntvény	122 425
Nehézfémm öntvény	1 294
	(ebből cink 763 tonna)
Magnéziumöntvény	250

A közgyűlés a napirend szerint ezt követően új elnökséget választott hároméves időtartamra. A titkos szavazás eredményeként a Magyar Öntészeti Szövetség tisztségviselői az alábbiak lettek:

**Elnök:** Dr. Vigh László TP Technoplus Kft.

**Az elnökség tagjai:** Brunner Márta FÉMALK Zrt., Érseki László Csepel Metall Kft., Farkas János CERTA Kft., Dr. Fegyvermei György NEMAK Kft., Majoros Csaba Csabametal Zrt., Szalai János Pyroven Kft.

**Az Ellenőrző Bizottság tagjai:** Derzsényi Ibolya elnök, Csepel Metall Kft., Barnafi Ágnes Rosenbach Kft., Gál Tibor Caster Bronz Kft.

**MÖSZ-díj Kuratórium tagjai:** Dr. Rick Tamás elnök, FÉMALK Zrt., Hajnal János Fémszövetség, Dr. Hatala Pál MÖSZ, Séllei Anett Szegedi Öntöde Kft., Zubács Róbert TM Öntöde Kft.

(HP)

## Kitüntetést kapott az EKMITA

Az Északkelet-Magyarország Ipartörténetének Ápolásáért Alapítványt Miskolc Megyei Jogú Város Önkormányzata „Az Év Civil Szervezete” kitüntetésben részesítette. A kitüntetést 2020. augusztus 20-án a Miskolci Nemzeti Színházban ünnepi közgyűlés keretében Veres Pál, Miskolc m.j.v. polgármestere adta át Sipos Istvánnak, az Alapítvány kuratóriumi elnökének.

Az Alapítványt 2006-ban a Diósgyőri Vasgyárban korábban dolgozott nyugdíjasok és a velük együttműködő társaságok alapították. Az elmúlt 14 év alatt az Alapítvány megerősödött, kiépítette kapcsolatait, széleskörűen beépült a város kulturális, idegenforgalmi és tudományos életébe.

Legjelentősebb változást az hozta, hogy Miskolc városától megkapták a Bartók Béla 1. sz. alatti ingatlant, ahol Ipartörténeti Emlékházat rendeztek be, melynek látogatottsága folyamatosan nő. Az Emlékház a Diósgyőri Vár turistacentrumában található, és hűen mutatja be Miskolc legjelentősebb ipartörténeti örökségét.

Az Alapítvány fő célja a Diósgyőr-Vasgyári üzemek, a Diósgyőr Vasgyár és a Diósgyőri Gépgyár valamint a



Sipos István átveszi a kitüntetést az ünnepi közgyűlésen

Diósgyőr-Vasgyári Kolónia ipari örökségi anyagainak gyűjtése, feldolgozása, a nagyközönség részére történő bemutatása. Az Ipartörténeti Emlékházban hét helyiségben, 210 m<sup>2</sup>-en mutatják be a gyárakban gyűjtött üzemi doku-

mentumokat, fényképeket, rajzokat, könyveket, műszereket, gyártott termékeket, berendezések működő makettjeit, elismeréseiket, sok-sok egyéb ipari örökségi anyagot.

Az állandó kiállítás népszerű a városi és a hazai látogatók körében, és eddig 20 ország látogatói is megtekintették. Nagy sikerűek voltak az időszaki kiállítások is, pl. a Diósgyőri Gimnáziumban, a Diósgyőri Gépgyárban, a Herman Ottó Múzeumban és az MMKK Műszaki és Közlekedési Múzeum Kohászati Gyűjteményében.

Az Alapítvány legjelentősebb rendezvénye a *Fazola Henrik* gyáralapító tiszteletére évente tartott Fazola Fesztivál. A tizennégy alkalommal megrendezett fesztivál egyrészt hagyományápoló, másrészt pedig a város műszaki-kulturális értékeit népszerűsítő rendezvény. A hagyományápoló és múzeumpedagógiai programok, a látványcsapolás, interaktív formázási, öntési, kovácsolási, hengerlési bemutatók, a sikeres miskolci társaságok bemutatkozása, a kulturális és környezetvédelmi rendezvények, az erdei iskola nagyban fokozzák a látogatók érdeklődésének felkeltését. Az idősebb korosztály mellett az ifjúság az az igen jelentős réteg, akik a Miskolc város újraperasztásáról igen jelentős információt kaphatnak.

Igen jelentős az Alapítvány könyvkiadási tevékenysége, eddig nyolc ipartörténeti könyvet jelentettek meg. Kiadták

a Diósgyőri Gépgyár történetét, a Diósgyőri Vasgyár *Boros Árpád* által szerkesztett ipartörténeti könyveit és fényképes kiadványait, híres miskolci professzorok munkásságát mutatták be. Két kiadvány van kiadásra előkészítve.

Az Alapítvány széleskörű kapcsolatot épített ki a Miskolc m.j.v. önkormányzatával, a Polgármesteri Hivatallal, a városi kulturális és idegenforgalmi intézményével, a sajtó munkatársaival. Ilyen például a Salkaházi Program, a múzeumok éjszakája, kiállítások rendezvények szervezése.

Igen szoros munkakapcsolat épült ki az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület helyi szervezetével, az MMKM Kohászati Gyűjteményével, a Kohász Baráti Körrel, a Miskolci Egyetemmel, az Északerdő Zrt.-vel, a Diósgyőri Gimnáziummal, a Miskolci Fazola Henrik Építőipari és Művészeti Szakgimnázium és Szakközépiskolával, a Fügedi Márta Népművészeti Egyesülettel.

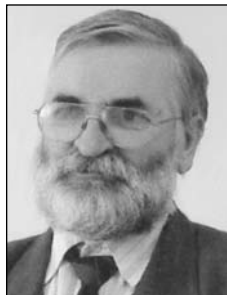
A 2020-as év igen jelentős és kiemelkedő év Miskolc város történetében. 250 évvel ezelőtt, 1770. július 28-án írta alá *Mária Terézia* az Ómassai Vasmű alapítási dokumentumát. A Fazola Henrik által létrehozott mű fejlődésével jelentősen hozzájárult Miskolc nagyvárossá válásához. Ezt az évfordulót Miskolc egyik legjelentősebb eseményeként kívánják megünnepelni.

**Harcsik Béla, Sipos István**

## ■ KÖSZÖNTÉSEK

### 70. születésnapját ünnepelte

**Boross Péter** 1950. augusztus 5-én született Pécsen. A Debreceni Református Kollégium Gimnáziumának elvégzése után 1975-ben szerzett technológus kohómérnöki oklevelet, majd 1985-ben hőkezelő szakmérnöki oklevelet a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen.



A Dunai Vasmű Lőrinci Hengerművében kezdett dolgozni technológus beosztásban. 1976 és 1993 között mindig a szakmában maradván több állami és magáncégnél dolgozott, többek között az Alumíniumárugyár Tiszafüredi gyáregységében, az Április 4. Gépipari Művek Kiskunfélegyházi Vegyipari Gépgyárában, a Csepel Autógyárban, a BIOPRESS Mérnökirodában, ahol két szolgálati szabadalmát is elfogadták. 1992-től a Vasipari Kutató és Fejlesztő Vállalat anyagvizsgálati- és hegesztési osztályán tudományos munkatárs volt.

1993-ban pályázatot nyert a Dunaferr Lőrinci Hengermű Kft. főtechnológusi állására, amelyet 2008-ig látott el. Irányítása alatt felépítették a nagynyomású revétlenítő berendezést, bevezették a normalizáló hengerlést szabályozott hőmérséklet-vezetéssel a növelt folyáshatárú durvalemezek gyártására, valamint az ISO 9000 szabványsorozat szerinti minőségirányítási rendszert, aminek kidolgozásában tevékenyen részt vett.

2008-tól a KÖZGÉP minőség-ellenőrzési osztályának

lett a vezetője, ahol több Duna-, Tisza-híd és autópálya völgyhíd ellenőrzési munkáit irányította.

2010-től 2020-ig a Flansch Tech Kft.-ben vállalt munkát. Itt üzemfenntartási, üzemfejlesztési feladatokat látott el. Irányítása alatt készült el a csepeli kovácsoló üzem hűtővízrendszerének teljes rekonstrukciója, vízlágyítótelep kiépítésével és üzembeállításával. Korszerű hőkezelő kemencesor telepítésével a hőkezelést is megoldották üzemben belül. Az energiafelhasználás nagymértékű növekedtével energetikus munkát látott el végleges nyugalomban vonulásáig.

Munkája során több előadása hangzott el konferenciákon, szimpóziumokon.

1972-óta tagja az OMBKE-nek, alapítója és azóta vezetője tagja az OMBKE Vaskohászati Szakosztály budapesti helyi szervezetének. 2002-ben a Vaskohászati Szakosztály titkárának választották, amely munkát azóta folyamatosan ellátja.

Az egyesületi és szakmai munkája alapján 2004-ben az OMBKE Debreceni Márton-éremmel, az MVAE 2006-ban „Vaskohászatiért” éremmel tüntette ki. 2008-ban Szent Borbála-emlékérem kitüntetésben részesült. Hűségesebb egyesületi tagságáért 2012-ben Sólz Vilmos-emlékéremmel jutalmazták, majd 2016-ban Miniszteri Dicséret oklevelet kapott.

**Katkó Károly** 1950-ben született Nagyesztergáron. Bányász árvaként nőtt fel, édesapja 1960-ban bányabalesetben vesztette életét. Tanulmányait a bánya ösztöndíjjával végezte. 1969-ben érettségizett a Veszprémi Vegyipari- és

Színesfémipari Technikum színesfémipari tagozatán és szerzett technikus oklevelet. A miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Kohómérnöki Karán tanult tovább, ahol 1974-ben szerzett diplomát, kohómérnöként, öntész szakon.



1974-től Pápán, Kupon, majd 1977-től Budapesten, a GM Soroksári Vasöntődjében és annak jogutódjánál dolgozott. 1998-tól a saját tulajdonú K.+K.-Vas Kft. ügyvezető igazgatója. Cége 1998-tól tagja a Magyar Öntészeti Szövetségnek.

Hosszú éveken át a Magyar Öntőnapok Kiállítás és Konferencia társszervezője; 2010-től 2018-ig az OMBKE Öntészeti Szakosztály vezetőjeként, a MÖSZ elnökségi üléseinek állandó meghívottjaként vett részt az elnökség munkájában. MÖSZ tisztújításokon több ízben jelölő bizottsági tagként, egy ízben bizottsági elnökként segítette a tisztújítás munkáját.

Az OMBKE-nek 1972 óta tagja. Újraalapítója, majd 1983 és 1989 között titkára az Öntészeti Szakosztály soroksári helyi szervezetének. Alapítója és egyúttal titkára az Öntészeti Szakosztály budapesti helyi szervezetének 1993-tól 1999-ig. 1999-től két cikluson át az Öntészeti Szakosztály titkára, majd két cikluson át elnöke. 2018 óta a szakosztály alelnöke. 1999-től 2018-ig az OMBKE Választmányának tagjaként tevékenykedett.

Az Öntészeti Szakosztály alapításának 50 éves és 60 éves ünnepségeinek társszervezője. Az immár több évtizedes hagyományra visszatekintő, Lillafüreden megrendezésre kerülő OMBKE Bányász-Kohász Konferencia és Bál társszervezője.

OMBKE kitüntetései: OMBKE oklevél, 1996; OMBKE emlékplakett, 2005; z. Zorkóczy Sámuel-emlékérem, 2007; Sóltz Vilmos-emlékérem (40 éves OMBKE tagságért), 2012; OMBKE emlékérem kitüntetésben részesült cége 2016-ban, mint az OMBKE pártoló tagja; Szent Borbála miniszteri kitüntetés 2008; OMBKE Öntészeti Szakosztályért emlékérem 2009.

Katkó Károly az 1969. évi egyetemi tanulmányainak megkezdése óta a mai napig a kohászat, azon belül is az

öntészet és azt kiszolgáló háttérpar területén dolgozik, immár 52 éve, nagy teherbírású, szinte fáradhatatlan a munkájában, megbízható, szavatartó, kitartó, anyagilag nagyvonalú, meghatározóan pozitív kisugárzású, segítőkész.

Katkó Károly szakmai sikereihez a biztos háttérrel szerzett családjá adja, felesége, akivel 42 éve házasságban, fia és két unokája.

**Pordán Zsigmond** 1950. december 24-én, Császáron született. 1969-ben színesfémipari technikus oklevelet szerzett a Veszprémi Vegyipari Technikum színesfémipari szakán.



A technikumi évek alatt és a Tatabányai Alumíniumkohóban végzett nyári munka során ismerte meg és „szeretett bele” az alumíniumipari szakmába, ami végigkísérte egész életútját.

1969-ben felvételt nyert a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem kohómérnöki karára, ahol 1974-ben öntömérnöki diplomát szerzett. 1974-től a GAMMA Művek kisbéri alumíniumöntődjének vezetője volt. Irányítása alatt egy új, jelentős öntődei bázis alakult ki Kisbéren. 1978-ra a termelési volumen elérte az 1500 tonnát. Az öntőde jelenleg is – Kisbéri Fémművek néven – működik.

1983-ban gazdasági mérnöki diplomát szerzett a Budapest Műszaki Egyetemen.

1991-ben Tatabányán megalapította a P-Metál Kft.-t, ami családi vállalkozásként jelenleg is működik és folyamatosan fejlődik. 2020-ban a P-Metál Kft. elnyerte a MÖSZ-díjat.

Három cikluson keresztül tagja volt a MÖSZ elnökségének és két cikluson keresztül az OMBKE öntészeti szakosztályának, ahol alelnöki feladatot látott el.

Jelenleg a VOSZ Komárom-Esztergom megyei szervezetének elnöke, valamint a Komárom-Esztergom megyei Kereskedelmi és Iparkamara elnökségének tagja.

2008-ban a Magyar Gazdaságért díjjal, 2013-ban a Magyar Érdemrend Lovagkeresztjével tüntették ki. 2016-ban Tatabánya Város rangos díját, az Ezüst Turul Díjat kapta meg.

## Felhívás az OMBKE valamennyi tagjához

### Tisztelt Tagtársak!

Mint ahogyan az általánosan kihirdetésre került, a „SARS COV-II-19” koronavírus okozta járvány megfékezésére és káros hatásainak csökkentése érdekében Magyarország Kormánya számos, szigorú korlátozó rendelkezést tett, melyek megtartását akár kényszerítő eszközökkel is biztosítja az emberi élet védelmében. Egyesületünket ezek közül a rendkívüli intézkedések közül leginkább a teljeskörű rendezvény-tilalom és a gyülekezés korlátozása érinti. A fentieknek megfelelően, jelenleg,

**2020. november 10. nap éjféltől, 2020. december 10. nap éjfélig az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület egészére is teljeskörű rendezvénytilalom lép életbe.**

Kérem valamennyi tisztséget viselő Egyesületi Vezetőtársamat és Tagtársamat a járványügyi rendelkezések Egyesületünkön belüli maradéktalan megtartására és megtartására.

Jó szerencsét!

**Dr. Hatala Pál elnök**

## Dr. Patay Pál

1914–2020



Röviddel 106. életévének betöltése előtt, 2020. október 4-én elhunyt Egyesületünk legidősebb tagja, a Magyar Nemzeti Múzeum legidősebb munkatársa, dr. Patay Pál nyugalmazott régész-főmuzeológus, harangkutató.

Régészként számtalan ásatás és leletfeldolgozás kötődik a nevéhez, főleg réz- és bronzkori telepeket, temetőket tárt fel. Egyik legjelentősebb munkája a Tiszalúc-Sarkad melletti réz-kori telep feltárása volt. Kiemelkedő a szarmata kori Csörsz-árok nyomvonalának azonosításában és térképezésében végzett munkája is.

Régészeti munkája során sokat járt vidékre, és ekkor kezdett hozzá, hogy számba vegye a templomtornyok kincseit. 1951-ben az első harang, ami erre a munkára indította, a nógrád-szakáli templom tornyának 1523-ban öntött harangja volt. Az ezt követő évtizedek alatt a történelmi Magyarország szinte összes meglévő és egykori harangjának, harangöntőjének adatait összegyűjtötte. Mintegy tizenhatezer harangot, „zengő öntvényt” kutatott fel és katalogizált.

Patay Pál az 1990-es évek végén lépett kapcsolatba az Öntödei Múzeummal. A következő években sikerült megvalósítani a kézírásos harangadatok rögzítését kereshető, bővíthető számítógépes adatbázisban. Ehhez a munkához rendszeresen segítséget adott, értékes magyarázatai sokat segítettek a múzeum ezirányú munkáját.

Tagja lett az OMBKE Öntészeti Szakosztályának, részt vett az Öntödei

Múzeum rendezvényein, a harangtörténeti ankétokon többször tartott előadást, a szakmai kirándulásokon sok hasznos ismeretet osztott meg velünk a meglátogatott templomok harangjairól.

Patay Pál élete során számtalan előadást tartott és mintegy 280 tudományos publikációja jelent meg Magyarországon és külföldön. A legutolsó – társszerzőkkel közösen írt – könyve 2019 végén készült el.

Számos kitüntetéssel ismerték el munkásságát. Többek között 2004-ben a Magyar Érdemrend lovagkeresztje, 2014-ben tisztikeresztje kitüntetésben részesült. Az OMBKE-től 2018-ban Kerpely Antal-émlékérmét kapott. Ez év március 4-én személyesen vehette át a legutolsó kitüntetést: az ELTE Szenátusa zafir díszoklevelet adományozott számára, diplomaszerezésének 80. évfordulójára. Az egyetem csaknem négy évszázados történetében ez az első alkalom, hogy egy korábbi hallgatónak zafir díszoklevelet adhattak át.

Álljon itt néhány sor a Pali bácsi által gyakran idézett versből, Arany János Epilógusából:

Munkás, vidám öregséget,  
Hol, mit kezdtem, abban véget...  
Ennyi volt csak;  
S hogy megint ültessenek, oltsak.  
Most, ha adná is már, késő:  
Egy nyugalom vár, a végső...

Dr. Patay Pálnak, mindenki Pali bácsijának békés nyugodalmat és mint egyesületi tagnak, utolsó Jó szerencsét kívánunk.

SA

## Dr. Szarka Gyula

1932–2020



**Dr. Szarka Gyula** háromgyerekes kereskedő család középső gyermekeként született Kecskeméten 1932. szeptember 22-én. Általános iskolai tanulmányait részben Miskolcon végezte, a középiskola után öccsével együtt a Gábor Áron Kohó- és Öntőipari Technikumban szerezte szakmai alapismereteit. Atlétatermete miatt sportolásban is kiemelkedett társai közül, tanulásban osztályelső volt, kiváló sakkozó, mindenki által kedvelt osztálytárs volt.

A technikum után a miskolci Ne-

hézipari Műszaki Egyetem Kohómérnöki Karán 1959-ben szerzett kohómérnöki oklevelet, majd nyugdíjba meneteléig ott is maradt oktatóként a Vaskohászati Tanszéken. Egyetemi hallgatóként ismertem meg 1967-ben, s a tanszékre kerülve gyakorta mentünk bogárhátú Volkswagenjével Ózdra, végeztünk együtt kutatásokat. Diósgyőri és ózdi kutatásai közül külön ki kell emelni az általa kidolgozott és üzemi szinten alkalmazott izotópos zárványvizsgálati módszereket. Eredményeit összefoglalva vett részt és tartott több

előadást hazai és külföldi konferencián, OMBKE rendezvényen.

Oktatótevékenységében az öntészet mellett a radioaktív izotópok kohászati alkalmazásai is szerepeltek. E témakörben jegyzeteket írt, hallgatókat oktatott.

A 90-es években előbb az Elemző-és Analitikai kémiai tanszéken dolgozó felesége, majd ő is nyugállományba vonult.

A természet iránti szeretete élete végéig megmaradt. Feleségével sokat kirándultak Magyarország hegyvidékein, de családjával megmászta az Alpok csúcsait is. Büszkén horgászott unokáival.

Felesége 2013-ban elhunyt, azóta egyedül élt, de abban a tudatban, hogy gyermekei, hat unokája és öt dédunokája viszonylagos jólétben élnek Ausztriában, gyakorta látogatta meg őket.

Gyula életkorához képest jó állapotban, a vírus okozta nehéz időben, 88. életévét betöltve hagyott el minket. A szó legnemesebb értelmében kiváló családfő, mindig tréfás, mosolygós osztálytárs, szakterületén országosan és külföldön elismert szaktekintély, kiváló kolléga és jó barát volt.

Méltóképpen tekinthetjük a kohász szakma örökös példaképének!

**Károly Gyula**

## Baán István 1951–2020



Rendkívüli lelkierejével és türelemmel viselt súlyos betegséget követően október 18-án, életének 69. évében elhunyt Baán István okleveles kohómérnök, az LKM/DAM egykori műszaki igazgatója.

Baán István édesapjától nemcsak nevét, de a kohászat iránti elkötelezettségét, hagyományaink iránti tiszteletét és hűségét is örökölte. A vasgyári általános iskolát követően tanulmányait a Földes Ferenc Gimnáziumban folytatta, ahol kiváló természettudományi és idegennyelv-tudást szerzett. Majd a családi tradíciót követve a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem kohómérnöki karára jelentkezett. 1974-ben, az évfolyam valétaelnökéként okleveles kohómérnöki diplomát szerzett képlékenyalakítási szakirányon.

Szakmai munkája során az LKM Nemesacél-hengerművének üregező mérnökeként szerzett üzemi tapasztalatokat. 1983-ban a Magyar Szabványügyi Hivatalhoz hívták dolgozni Budapestre, ahol a ranglétrát végigjárva végül kohászati szakigazgatóként dolgozott. Itt végzett munkája során a mind a mai napig érvényes ISO szabványrendszer átvétele és bevezetése volt a legmaradandóbb munkája. A minden fémipari szakember számára ismert Acélok I-III. gyűjteményben foglalta össze a különböző típusú acélok szabványait, amely alapján most is vizsgálják az acélipari termékek minőségét.

1994-től a DUNAFERR vállalatcsop

ort igazgatóságán, fejlesztési területen kamatoztatta magas szintű, széleskörű szakmai és idegennyelvi ismereteit, mint fejlesztési főmunkatárs. Kollégáival a kor legmagasabb színvonalú fejlesztését valósították meg, mint például a megleghengermű új csévéelője. Napra pontosan 50. születésnapján tért vissza újra a diósgyőri kohászatához a hengermű gyáregység vezetőjeként. Végül a DAM műszaki és termelési igazgatójaként minden igyekezte a vállalat fennmaradásának elősegítését szolgálta.

Rendkívüli veszteségként élte meg a vállalat felszámolását, nyugdíjba vonulásáig hátralévő éveiben a Dunaferr leányvállalata, a Dutrade miskolci kirendeltségén dolgozott. Az általa képviselt szakma elismerését és sikerét tartotta mindig szem előtt, több idegen nyelven folytatott tárgyalásait, műszaki fordításait magas színvonal jellemezte.

Szeretettel és barátsággal dolgozott együtt kollégáival, legyenek azok üzemi fizikai munkások vagy magas rangú vezetők.

Felesége halála után minden öröme fiának családjához, három unokájával való foglalkozáshoz kötődött, de szívesen vállalt továbbra is szakfordítási feladatokat, még betegségének utolsó két hetében is.

Baán István temetése október 29-én volt a miskolci Szentpéter kapui temetőben.

**Simon Béláné kérésére szó szerint közöljük a dr. Tardy Pál által a temetésen elmondott gyászbeszédet:**

## **Nekrológ**



Simon Béla 1942 januárjában született Szombathelyen. A neves, Nagy Lajos, korábban és ma is premontrei gimnáziumban érettségizett. A Nehézipari Műszaki Egyetemen 1965-ben kohómérnöki, 1985-ben hőkezelő szakmérnöki oklevelet szerzett. Friss diplomásként a számára ösztöndíjat nyújtó Csepeli Acélműnél, a Technológiai Osztályon kezdett dolgozni. Első főnöke, Prosztr Ervin országosan ismert, jó nevű kohász szakember volt. Kettőjük között rövid időn belül eredményes szakmai együttműködés és személyes, életre szóló barátság alakult ki. Ez a kapcsolat alapozta meg Simon Béla eredményes szakmai pályafutását. Legfontosabb eredményei a meleghengerlési technológiák, hengerek, méretpontos hengerlés fejlesztéséhez fűződtek, ezeket több alkalommal is Kiváló Ifjú Mérnök, Aranykoszorús Újítói díjjal ismerték el.

Szakmai eredményei alapján felfigyeltek a fiatal, tehetséges mérnökre. Sorra kapta az egyre magasabb vezetői beosztásokat: hengerműi gyárrészlegi főmérnök, gyárrészlegvezető, 1978-ban a Csepeli Acélmű termelési igazgatója lett. A Csőgyár és az Acélmű összevonásával létrehozott Csepel Művek Vasműnél termelési igazgató, majd műszaki igazgató, végül 1990-ben vezérigazgató lett. A rendszerváltás után 1996-ban a Csepeli Acélcső Kft. egyik tulajdonosa és 2005-ig ügyvezető igazgatója lett.

Vezetői munkájának legfontosabb szakmai állomásai: a huzalhengerművi beruházás, amelynek eredményeképpen a világ egyik legnagyobb sebességű, legpontosabb huzalhengerműve jött létre Csepelen, nagyszilárdságú olajbányászati csövek gyártásának bevezetése, a svédlandzsás üstmetallurgiai berendezés létesítése a korszerű, nagytisztaságú acélok gyártására. Emellett szívügyének tekintette a termelésirányítási, vezetési munka fejlesztését és korszerűsítését.

Vezetőként a szakmai sikerek mellett számos emberi problémával is meg kellett küzdenie. A rendszerváltás súlyosan érintette a hazai vaskohászatot, ami Csepelen is igen nagy áldozatokat követelt. A rendszerváltással járó gazdasági válság, a piacgazdaságra való áttérés, a hagyományos piacok leépülése, az anyagellátási gondok, az országba beáramló dömpingáras acéltermékek nagy tömege a Csepeli Acélcső Kft. felszámolásához vezetett 2005-ben. Ezeknek a folyamatoknak az emberi vonatkozásai bántották legjobban: a dolgozók további foglalkoztatásának megoldása, a létszám kényszerű leépítése lelkiileg jelentősen megviselte. Pályafutása alatt mindvégig, nehéz időkben különösen megbecsülte, segítette munkatársait, felelősséget érzett irántuk. Munkatársai is szerették. Hatvanadik születésnapjára írt verses köszöntőjükben ezt így szemléltették: „...senkivel sem oly szigorú, mint önmagával... nála a köszönömnek helye és súlya van... a jó munkát megdicséri, az udvarias köszöntést nem rang szerint méri.”

Jómagam egyetemista koromban ismertem meg Bélát, aki már hallgatóként is kitűnt szorgalmával, jó közösségi érzékével. Akkor kerültem ismét rendszeres kapcsolatba vele, amikor a Magyar Vas- és Acélipari Egyesülésbe kerültem. Az igazgatói tanácsuléseken meggondolt, szakszerű megnyilatkozásaival szerzett tekintélyt magának.

Sikeres pályájában nagy szerepe volt példás családi életének. Felesége, Márta asszony szintén kohómérnök. Évfolyamtársak voltak. Egy fiúk és lányok született, akik három unokával ajándékozták meg. Szerető, felelősségteljes, melegszívű férj és apa volt. Szabadidejét nagyrészt unokáival töltötte játékkal, kirándulásokkal, közös nyaralásokkal. Hobbija az utazgatás, rózsakertjének ápolása és kedvenc kutyáinak nevelgetése volt. Életét beárnyékolta ötven éves korában kialakult gyógyíthatatlan betegsége, melyet nagy türelemmel és alázattal viselt. Felesége mindvégig mellette volt, ami nagy támasz volt számára és hatásosan enyhítette testi és lelki megpróbáltatásait. Barátai, munkatársai rendszeresen látogatták, amiből sok erőt merített.

Simon Béla 2020 júliusában hunyt el otthonában. Felesége haláláig mellette volt. Nem nyom nélkül távozott körünkből. Tiszteletre méltó szakmai teljesítménye, embersége, szakmaszeretete, küzdelmes, becsületes élete nyomot hagyott mindnyájunkban. Halálával családjá mellett a magyar vaskohászat, az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület is szegényebb lett.

Kedves Béla! Emlékedet szeretettel megőrizzük. Isten veled, nyugodjál békében, jó szerencsét!

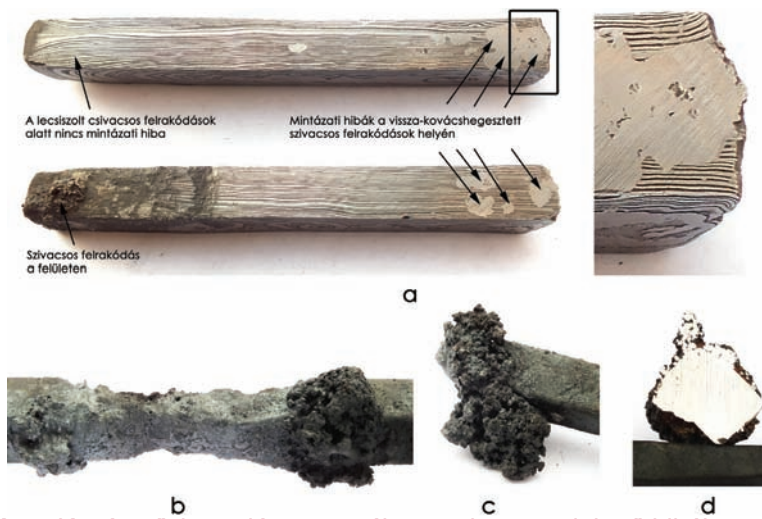
**Tardy Pál**

## Képek

Thiele Ádám – Hári László – Magyar Domonkos: Az acél kovácstűzbeli elégésének metallurgiai háttere – damaszkolt anyagokon kialakuló felületi hibák magyarázata c. cikkéhez (6–10. oldal)



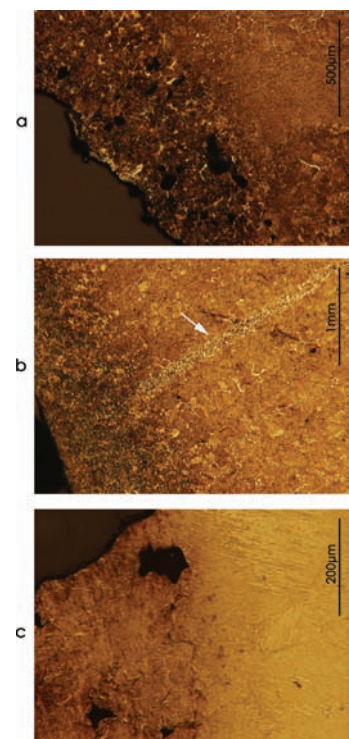
1. ábra. Kisebbs mintázati hibák megjelenése damaszkolt fokoknál



2. ábra. Kovácstűzben elégetett próbatesteken megjelenő hibák



3. ábra. Kovácstűzben elégetett két damaszkolt és egy C15-ös próbatestből kivágott keresztmetszeti minták mikroszkópi képei



4. ábra. Szivacos felrakódások két damaszkolt és egy C15-ös próbatesten

# Szemelvények kohászatunk múltjából

## A munkácsi vasgyár

A Rákócziak uradalmában, a Munkácstól keletre fekvő Alsóviznicén már 1672-ben állt három bucakemence és két frissítőhámor. A Rákóczi-szabadságharc alatt bombákat és fegyvercsöveket kovácsoltak.

A szabadságharc bukása után a munkácsi Rákóczi-birtokot III. Károly az 1715-ben gróf *Schönborn Frigyes* személyében honosított Schönborn családnak adományozta a Habsburg-ház iránt való hűségéért. *Schönborn-Buchheim Ervin* helyreállította az alsóviznicei hámorokat, és 1770-ben Selesztó északi határában felépített egy nagyolvasztót, amelynek napi termelése 20 bécsi mázsa volt.

A következő években itt és Szentmiklóson (ukránul Csinagyijeve) frissítőhámorokat létesítettek. Az évi termelés 3000 mázsa körül volt, amely kovácsolt termékekből és öntvényekből tevődött össze.

1807-ben a Szepességből hívott bányászok számára Selesztó északi részén egy települést hoztak létre, amely Frigyesfalva néven önállósodott. (Mivel az új község területéhez került a kohó, ezt a későbbiekben frigyesfalvi nagyolvasztóként emlegették.) 1832-ben a selesztói templommal szemben, a viznice túlsó partján egy 32 láb magas nagyolvasztót, valamint kupolókemencét helyeztek üzembe, öntödével és mintakészítő műhellyel. A munkácsi gyár évi nyersvastermelése 9 ezer mázsára nőtt, ennek harmadrészből öntvény készült. A fejlesztést 1826-tól 1843-ig a Selmecbányán tanult *Rombauer Tivadar* irányította. Az 1848–49-i szabadságharc idején a munkácsi vasgyárban puskacsövet és 120 mázsa ágyúgolyót gyártottak, és itt munkálták meg a Kabolapolyánán öntött vas- és bronzágyúkat.

1853-ban a Munkácstól délkeletre fekvő Hátmegen (ukránul Zahattyja) épült fel a harmadik nagyolvasztó. A gyár nyersvastermelése elérte az évi 13 ezer mázsát, volt hat frisstüzes hámor, nyújtó-, szer- és szöghámor, szerszám- és késkovácsoló mű, lakatos- és gépműhely.

A munkácsi vasgyár a 19. sz. második harmadában a művészi vasöntvények készítésével is kitűnt. A műöntészet fejlesztésében döntő volt Rombauer Németországban tett látogatása, valószínűleg ő hozta *Valentin Willascheck* modellőrt 1834-ben Munkácsra. Az 1842-ben és 1843-ban tartott magyar iparmű-kiállításon bemutatott munkácsi műöntvények „akármelyik külföldi művekkal bátran versenyezhetőnek találtatván”, aranyérmeket nyertek.

Willascheck mintegy 15 éves működése után, 1848-ban *Schossel András* lett modellőr a munkácsi vasgyárban. Felsőremetén született, a mintaasztalosságot apja mellett Selesztón sajátította el. Az uradalom támogatásával előbb Pesten egy szobrásznál tanult, majd a bécsi képzőművészeti akadémián mintázó-szobrász-oklevelet szerzett. Szignált művei: Kossuth mellszobra (1848), szelence fekvő paraszttal, ismeretlen férfi portréja (1854), egykarú gyertyatartó (1859). A Zrínyi halála Juranics karjában című nagyméretű szobra a II. világháborúban a munkácsi vár kertjében elpusztult. Alkotásai több kiállításon díjat nyertek.

A frigyesfalvi nagyolvasztó az 1860-as évek végén már nem termelt, a selesztói kohó 1884-ben üzemen kívül állt, a hátmegi nagyolvasztó termelése sem érte el az ezer tonnát, az öntvénygyártás is csökkent. A frigyesfalvi öntödét és gépműhelyt a 19. sz. végén *Prihradny Ödön* vette bérbe, vasöntvényeket és mezőgazdasági gépeket készített.

K. L.

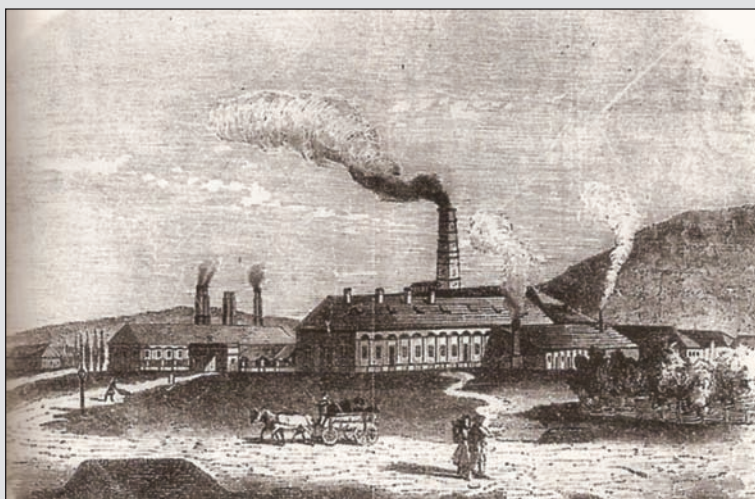
Források:

*Heckenast G.*: A magyarországi vaskohászat története a feudalizmus korában. Bp., 1991.

*Kralovánszky L.*: A munkácsi vasgyár történeti és statisztikai tekintetben.

In: *Kubinyi-Vahot*: Magyar- és Erdélyország képekben. III. k. Pest, 1854.

*Pusztai L.*: Magyar öntöttvasművesség. Bp., 1978.



A selesztói vasgyár 1860 körül. Schossel András rajza