

BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI LAPOK

# Kohászat

Vaskohászat

Öntészet

Fémkohászat

Anyagtudomány

Hírmondó

154. évfolyam

2021/1. szám



Jó szerencsét!

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület lapja.

Alapította Péch Antal 1868-ban.

## TARTALOM

### Vaskohászat

- 1** **Wizner Krisztián – Kővári Attila:** Az ISD Dunafer Zrt. folyamatos öntőművében az öntött és vágott szálhossz eltéréseinek minősítése
- 4** **Török Tamás István:** EUROCORR 2021 – Harcolni a korrózió ellen is kell
- 6** **Taszner Zoltán – Póczos József – Simon Emil:** Sikeres próbaüzem és folyamatos fejlesztések az Ózdi Acélművek Kft.-nél

### Öntészet

- 10** **Mádi Laura – Kazup Ágota – Bubonyi Tamás – Varga László:** A homokmagokból eltérő öntési hőmérsékletnél felszabaduló gázok nyomásváltozásának és az öntvényben megdermedt gázhólyagok kialakulásának vizsgálata
- 15** **Sziklavári István – Luca Folco – Kránicz Flórián:** Cementmentes monolitikus tűzálló anyagok a Busch-Hungária Kft. öntöde üstjeiben

### Fémkohászat

- 19** **Illés István Balázs – Nagy Sándor – Szabó Lajos Ádám – Kékesi Tamás:** Ritkaföldfém és színesfém kinyerés lehetőségére fehér LED-fényforrás hulladékából
- 25** **Kárpáti Viktor – Szűcs Máté:** Lemezkek köthengelerésének elméleti alapjai és alkalmazásai
- 32** **Barkóczy Péter:** Mangánnal ötvözött alumíniumtuskók mikroszerkezetének változása előmelegítés során

### Anyagtudomány

- 38** **Réger Mihály – Horváth Richárd – Széll Attila – Réti Tamás – Gonda Viktor – Felde Imre:** Új módszer felületi rétegek keménységeloszlásának becslésére
- 45** **Hlavács Adrienn – Schweitzer Bence – Mertinger Valéria – Benke Márton:** Melegen hengerelt alakítható alumínium-ötvözetek fülesedése és a fő ötvözők hatása

### Híromdó

- 49** 100 éve született Horváth Zoltán
- 50** Emlékeztető az OMBKE 2021. február 3-i választmányi üléséről
- 52** Új székházba költözik Egyesületünk?
- 53** Szent Borbála-napi országos központi ünnepség
- 54** A Miskolci Egyetem hírei
- 55** Az MTA Műszaki Tudományok Osztálya bizottságainak ülései
- 56** Köszöntések
- 58** Nekrológok

### –IV. Tartalom és tárgymutató – 2019

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

## FROM THE CONTENT

**Wizner Krisztián – Kővári Attila: Classification of cast and cut strand length differences in the continuous casting machine of ISD Dunafer Zrt. ... .. 1**

Continuous steel casting occupies a critical position in the complex analysis of the production data of ISD Dunafer Zrt., as it involves the continuous casting of several „discrete” heats after discrete heat production and ladle metallurgical treatment. The processing of casting data is further complicated by the reconciliation of data recorded on a production focused time basis and product focused, cut (cold) length-based data. In this paper, we present how to reconcile the two methods of strand length calculation.

**Török Tamás István: EUROCORR 2021 – Fighting against Corrosion ... .. 4**

Considering also that the EUROCORR 2021 International Conference and Exhibition is coming again to Budapest this autumn (19-23 September, 2021) this short study was compiled to draw more attention to the topicality and importance of providing better corrosion protection to carbon steel structures, which are highly prone to chemical surface degradation, i.e. corrosion. Nevertheless, for certain periods of time the outdoor steel structures can be effectively prevented from corrosion by appropriate organic surface coatings which can provide some physical barrier against the aggressive environment, while for steel components and the steel reinforced concrete constructions, which occasionally are coming or being in contact with aqueous electrolyte solutions, the corrosion attack can also be effectively mitigated by admixing corrosion inhibitors to such technological waters or to the concrete. This paper presents some case studies to timely illustrate this important issue.

**Taszner Zoltán – Póczos József – Simon Emil: Successful wire line commissioning and continuous developments at ÓAM steelworks ... .. 6**

ÓAM Ltd., (Ózdi Acélművek Kft.) steelworks in northern Hungary continues its development program, started in 2017. In spite of rough business conditions, 2020 was a successful year for the rebar producer, co-owned by Max Aicher's Bavarian company group and by the Hungarian State. A core element of the ongoing 60 Mio € development program, set for 10 years by the owners, has been realized by the end of 2020. The new, two strand, wire rod production line had its successful hot commissioning session in December. To realize the targeted output increase by 150.000 t/a, several large investments in infrastructure, production rate, quality, safety and environment is required around the new production line. The article is a status report

of the investment package after 4 years and 27Mio € spent on a wide range of improvements, to meet and fulfil upcoming market conditions, customer needs, technical standards, along ÓAM's growth strategy.

**Mádi Laura – Kazup Ágota – Bubonyi Tamás – Varga László: Investigation of the pressure change of the gases released from the sand cores in case of different casting temperatures, as well as the characterization of blow-holes in the solidified castings ... .. 10**

The gases, which are formed during the burning of sand core binder, are able to cause casting defect of blow-holes. In this paper we represent the investigation of the gas pressure evolving from same size of sand cores during the casting at different casting temperatures (680, 730, and 780 °C). The appearances of blow-holes in the solidified castings and the deviation of casting from the nominal size were examined using CT, optical and scanning electron microscopy (SEM).

**Sziklavári István – Luca Folco – Kránicz Flórián: NC refractory castable, in the foundry ladles of Busch-Hungária Kft. ... ..15**

This article deals with the bonding system and physical/chemical properties of NC refractory castables, as well as the advantages and disadvantages of practical application in case of foundry ladles.

**Illés István Balázs – Nagy Sándor – Szabó Lajos Ádám – Kékesi Tamás: A possible extraction method for recovering rear and non-ferrous metals from LED bulbs waste ... .. 19**

The white LED bulbs – soon dominating the lighting industry – could become a significant secondary raw material for the recovery of valuable rare metals, if a proper extractive technology is developed. We have examined the separation of the “phosphor seeds” (phosphor coated LED chips) from the metallic base shells in dilute sodium-carbonate and calcium-hydroxide solutions. The separated phosphors can be leached with hydrochloric acid for the solubilization of the rare metals. Furthermore, the utilization of the metal bearing base shells remaining after the preceding steps can also be achieved by nitric acid leaching and a series of subsequent selective precipitation steps.

**Kárpáti Viktor – Szűcs Máté: Theoretical fundamentals and applications of sheet metal roll bonding ... .. 25**

Sheet metal composites are used more and more in the industry because their unique physical and mechanical properties.

(Continued on page 55.)

• **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. Tardy Pál, dr. Török Tamás •

• **A lapban megjelenő valamennyi cikket független szakértők lektorálják •**

• **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. •**

WIZNER KRISZTIÁN – KÖVÁRI ATTILA

## Az ISD Dunafer Zrt. folyamatos öntőművében az öntött és vágott szálhossz eltéréseinek minősítése

*Az ISD Dunafer Zrt. gyártási adatainak komplex elemzésében kritikus pozíciót foglal el a folyamatos acélöntés, mivel a diszkrét jellegű adaggyártást és üstmetallurgiai kezelést követően több „diszkrét” adag folyamatos leöntését foglalja magába. Az öntési adatok feldolgozását tovább nehezíti a gyártásszemléletű, időalapon rögzített, és a termékszemléletű, vágott (hideg) hosszalapú adatok összeegyeztetése. Ebben a cikkben bemutatjuk a két szálhossz-számítási módszer összeegyeztetésének módját.*

### 1. Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb hangsúlyt kap az ipari folyamatok adatainak elemzése [1]. Az adatelemzés során nem szükséges az adott terméket ténylegesen legyártani, hiszen támaszkodhatunk korábbi gyártások rögzített adataira [2]. Külön előny a legtöbb esetben, hogy rengeteg adat áll rendelkezésre. A komplex vizsgálat problematikáját viszont nagyon sok esetben az adja, hogy az adatok struktúrája az évtizedek alatt formálódó elgondolásokat, folyamatos bővítéseket tükrözi, és nem a komplex adatelemzés egyszerűvé tételének a szempontjait. Az ISD Dunafer Zrt.-nél megkezdett PhD-munka során létrehoztunk egy adatfeldolgozási és megjelenítési rendszert a folyamatos acélöntőmű (FAM) adatainak elemzésére, mellyel komplexen váltak vizsgálhatóvá a brammákat (későbbi folyamatokban akár a tekercset) ért hatások és azok következményei (pl. leminősülés [3]). Az adatfeldolgozási rutinokat a 2008. január 1-től 2020. június 30-ig terjedő időszak adatai alapján vezették be, azonban jelen szálhosszeltérés vizsgálat csak a 2018. január 1-től 2020. június 30-ig terjedő időszak eredményeit ismerteti.

### 2. Az öntési események adatai

A Dunafer öntőgépein az öntési események adatait két különböző elgondolás alapján alakították ki. Az egyiket a „gyártás” oldalról az öntési folyamat időbeni lefolyása alapján rögzítették, míg a másikat a „termék” oldalról a kész, hideg bramma hosszmeretei alapján. Az adatok közös értelmezéséhez és az öntési görbéken megfigyel-

hető, a terméket (brammát) ért hatások vizsgálatához a két módszer összeegyeztetése elengedhetetlen.

A vágott hossz meghatározása a ténylegesen leöntött brammák hossza alapján történik, az öntött hossz pedig az öntőgép által mért öntött hossz alapján. Mind az öntött szálhossz mérése, mind pedig a brammák vágásának pozíciója (brammák hossza) a húzóhengereknél elhelyezkedő impulzus jeladó alapján történik. A két számítási mód erősen korrelál egymással, mint ahogy az várható, és a későbbi számítások is megerősítették.

Az öntés vége jel beadásának pillanatáig a folyamatirányító számítógép rögzíti a szálhossz növekedését. A lábvég és fejevég hosszának a rögzítése, valamint az öntés végének beadása emberi beavatkozást igényel, ami komoly eltérést okozhat esetenként a két rögzített hosszérték között.

### 3. Termék szempontú szálhossz-meghatározás

A szálhossz-meghatározás a leöntött, ismert hosszúságú brammák és veszteség-hosszok (kivágások, lábvég, fejevég) alapján történik.

A brammák hossza – a szigorú könyvelés miatt – jó kiindulási alapot biztosít az öntött szál hosszának meghatározásához. A teljes vágott hossz megállapításához több tényezőt is figyelembe kell venni:

- a bramma hideg hossza,
- a hőtágulás (zsugorodás mértéke),
- a lábvég mérete (öntött szál eleje),
- a fejevég mérete (öntött szál vége).

A brammák méretével szemben támasztott követelmé-

*Wizner Krisztián a Miskolci Egyetemen 2002-ben okleveles kohómérnök diplomát szerzett. Jelenleg PhD-hallgató a Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskolában. 2002-től dolgozik az ISD Dunafer társaságcsoportnál műszaki fejlesztési és technológiai területen. Kutatási/érdeklődési területe az Ipar 4.0 és kohászati alkalmazásai.*

*Dr. habil. Kővári Attila a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki Karán 2001-ben villamosmérnök, majd a Dunaújvárosi Egyetemen 2017-ben gépészmérnök mesterszintű oklevelet szerzett. Tudományos fokozatát 2014-ben a Pannon Egyetem Vegyészmérnöki és Anyagtudományok Doktori Iskolában szerezte anyagtudományok és technológiák tudományágban. Több mint 10 évig dolgozott az ISD Dunafer Zrt.-nél, jelenleg a Dunaújvárosi Egyetem Műszaki Intézeténél és az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Karán egyetemi docens.*

nyek hideg állapotra vonatkoznak, azonban még meleg állapotban kerülnek levágásra. A hőtágulás (zsugorodás) kompenzálása miatt a brammákat méretüktől függően 4700 mm hosszról 60 mm-rel, ez alatt 30 mm-rel hosszabbra vágják.

Az öntés indításakor a kristályosítóba helyezett indítószál zárja el alulról az acél útját. A kristályosító feltöltése során a legfontosabb, hogy az acél és az indítószál között stabil, szilárd kapcsolat alakuljon ki, ami feltétele a húzás elindításának. Ennek következtében az indítószál teteje és a beállított acélszint közötti különbséget (~ 400 mm) minőségi problémák elkerülése miatt a vágószinten kivágják, és veszteségként (lábvég) könyvelik el. Ha valamilyen okból (pl. öntésindítási probléma) a lábvég mérete eltér 400 mm-től, akkor azt figyelembe kell venni a szál hosszának számításánál.

A szekvens utolsó brammájának öntése után a közbelső üstben lévő acélt leürítik. A leürítés során a közbelső üstben az öntés során felszaporodott szennyezők egy része elsősorban az örvényhatás miatt [4, 5, 6, 7] az öntött szálba jut. Ebből az acélmennyiségből (~ 400 mm) feldolgozásra szánt bramma már nem keletkezik, veszteségként számolják el.

#### 4. Folyamat szempontú szálhossz-meghatározás

Az öntőgép által rögzített szálhosszadatok alapján csak látszólag egyszerű az öntött hossz meghatározása. Az ipari környezet miatt előforduló hibás adatrögzítés (adat-kommunikációs problémák, hiányzó, illetve hibás adatok, emberi beavatkozás), valamint a nem adatelemzés szempontjából kialakított adatrögzítési és adattárolási megoldások komoly kihívást jelentenek.

##### 4.1. Adagvégi szálhossznullázás kezelése

A diszkrét jellegű adagszámítás miatt minden adag leöntése végén a kezelő egy szálvége jelet ad be. A szálvége jel hatására az adag végén az öntési adatok között a szálhossz nullázódik. Tévesen beadott szálvége jel esetén a következő bramma végén is megadható ez a szálvége jel, ami ismét a szálhosszérték nullázásához vezet. A 6 másodpercenként letárolt átlagolt szálhosszértékek jellegéből fakadóan a nullázásnál a szálhossz folyamatos növekedését jellemzően két negatív hosszváltozás követi (egy köztes és egy nullához közeli érték). A szálhossz tényleges növekedése ezen hibás negatív hosszváltozások korrigálásával határozható meg. A korrekció egyik módszere az öntési sebesség, és az adatletárolási időciklus periódusidejének (6 mp)

szorzatával meghatározott szálhossznövekedés meghatározása. Ez a módszer (mint minden becsléses korrekció) kis mértékű, de többször (adagonként jellemzően kétszer) előforduló bizonytalanságot visz a számításokba.

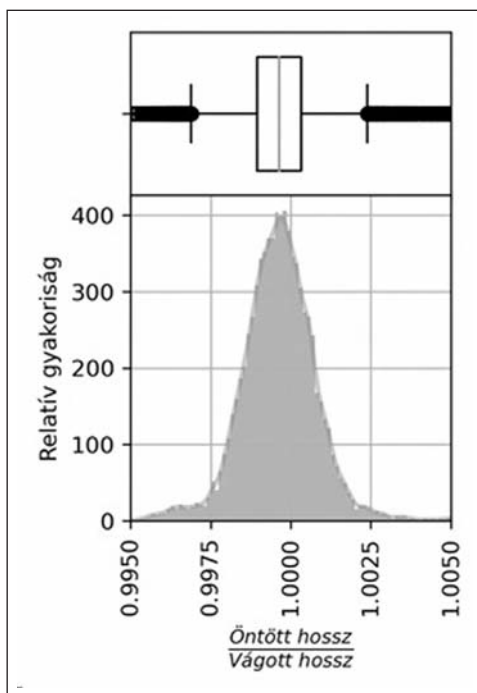
A bizonytalanság csökkentésének érdekében 2019 elejétől az átlagolt szálhosszértékek helyett az adott adatrögzítési ciklusban mért szálhossz maximumát tárolják, mely megoldással a szálhossznullázásoknál megközelítőleg felére sikerült csökkenteni a korrigálandó szálhosszváltozás értékeit.

##### 4.2. Szálvég meghatározása

A vizsgált időszakban az öntés befejezésének időpillanata sok esetben hiányzott az adatbázisban – melyet azóta korrigáltak az acélmű szakemberei –, azonban jelen vizsgálat elvégzéséhez szükséges volt egy módszer megalkotása, mely biztonsággal képes meghatározni az öntés befejezésének pillanatát az adott öntőgépen, figyelembe véve, hogy az öntött szálakon jellemzően nem egyszerre fejezik be az öntést gazdaságossági megfontolásokat szem előtt tartva.

A szál öntésének végéhez érve a kezelő beadja az öntés vége jelet, melynek hatására az öntött szálhossz értéke nem növekszik tovább. Sajnos ugyanez a jelenség akkor is, ha az öntési sebességet 0 m/perc-re vagy ahhoz közeli értékre csökkentik valamilyen okból (pl. beavatkozás). Az adatbizonytalanságok kiküszöbölésére minden öntött szál esetén egy rutin segítségével meg kellett keresni annak az időszaknak a kezdetét, ahol a szálhossz már nem változott. Túl rövid változatlan időszak esetén könnyebben fordulhat elő hamis szálvégeredmény, míg túl hosszú esetén megnő a veszélye annak, hogy a szál öntésének vége után az időszakon belül megszűnik az öntési adatok rögzítése, és így a rutin hibás eredményre jut, mert nem talál a feltételnek megfelelő szálvégszakaszt. Az öntési

adatok elemzése során megfigyelhető volt, hogy a felfüggesztett öntések jellemzően 3 percen belül újra indultak. Azokban az esetekben, ahol az öntés vége felé merül fel olyan probléma, mely a szál megállítását igényelte, ott jellemzően azon a szálon, a technológiának megfelelően befejezték az öntést, és a maradék acél leöntését az öntőgép másik szálán oldották meg szintén a technológiai előírásoknak megfelelően. Ezen okból az utolsó bramma öntésének végén kizárólag olyan állás fordulhat elő, ami a szál öntésének végét jelzi. A fentiek alapján a szálvég időpontját az az esemény adja, amikor a szál hossza legalább 3 percig nem változik, és az adatbizonytalanságot figyelembe véve a vágott hosszról legfeljebb 3000 mm-rel tér el. Az öntőgép fizikai adottságaiból adódó legrövidebb brammaméret 3200 mm, ezért szerepel a feltételben ennél kisebb érték.



■ 1. ábra. Öntött-vágott hossz arányának eloszlása

## 5. A hosszeltérés vizsgálata

A hosszeltérés minősítése információt szolgáltat többek közt az öntési adatsorokra illesztett események (bram-mahatárok, beavatkozások stb.) pontosságáról, mely elengedhetetlen a brammák megfelelő minősítése szempontjából, valamint a teljes rendszer megfelelő működéséről. Az eltérés jellemzi a technológiai paraméterek összhangját is.

A két elgondolás alapján számított szálhosszértékek között az elvártaknak megfelelően erős korreláció figyelhető meg ( $R^2 = 0,999979$ ), azonban arányuk eloszlásának (1. ábra) vizsgálatánál megfigyelhető, hogy a jellemző arányszám az 1 alatti tartományban helyezkedik el, tehát a vágott hossz jellemzően nagyobb, mint az öntött hossz. A megfigyelést megerősítette a robusztus párosított t-próba (Wilcoxon-előjeles rangteszt, 1. táblázat), mely alapján a két adatsor párosított értékeinek eloszlása között szignifikáns eltérés van.

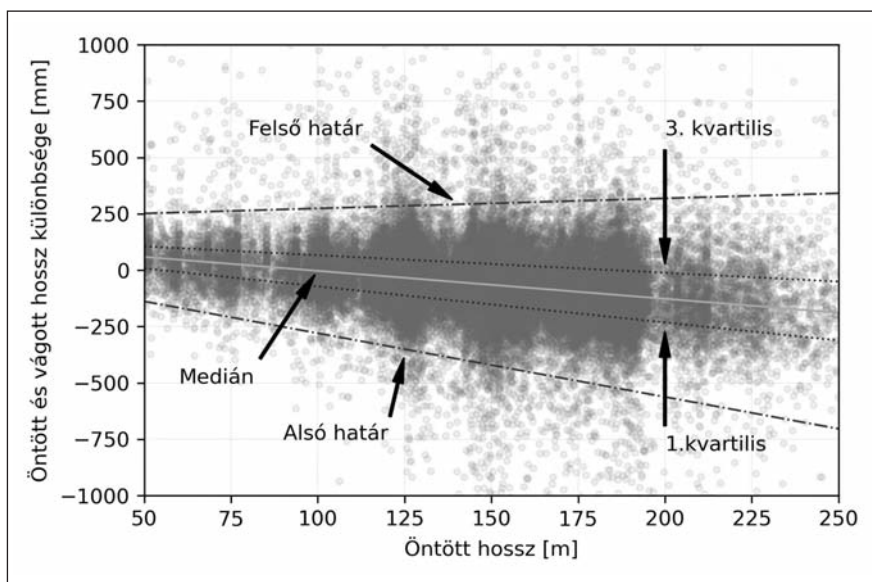
Az öntőgép által mért szálhosszok és vágott hosszok különbségének ábrázolásánál (2. ábra) tendencia figyelhető meg az öntött hossz függvényében (Medián vonala).

A tendencia korrekciójával elvégzett párosított t-próba (Wilcoxon-előjeles rangteszt) megerősítette, hogy az öntőgép által mért és a levágott száldarabok hosszának adatsora 0,05 szignifikanciaszint mellett azonos eloszlásúnak tekinthető.

**1. táblázat.** Öntött és vágott hosszok azonosságának ellenőrzése (0,05 szignifikanciaszint mellett)

Hossz adatok	Azonosság valószínűsége (p)	Eredmény
Eredeti	$1,738 \times 10^{-263}$	Különböző
Korrigált	0,4516	Hasonló

A technológiához tartozó eltérés tendenciája miatt a boxplot analízis kiemelt értékeit mozgóablak segítségével (az adatok ~1%-a, 500 adat) határoztuk meg, majd lineáris regresszió segítségével meghatároztuk a kiemelt boxplot értékeket képviselő egyeneseket (2. ábra).



**2. ábra.** Hosszeltérés trendje mozgóablak alapján

A tendencia arra enged következtetni, hogy az öntési folyamat során folyamatosan fennálló tényező okozza az eltérést.

A vizsgált adatok évekre bontott vizsgálata alapján javulás figyelhető meg a tendencia meredekségében (közelít 0-hoz, 2. táblázat).

**2. táblázat.** Az öntött hossz és az öntött-vágott hossz közötti trend egyenlet paraméterei (1. képlet)

Év	m	b
2018	-1,36727	125,1733
2019	-1,05402	109,4198
2020	-0,88759	124,0695

## 6. Hosszeltérés minősítése

A boxplot analízis sémája alapján meghatározott, az adatsorokra illesztett trendegyenések képlete adja a hosszeltérések egyfajta lehetséges minősítési kritérium határait (2. ábra, 3. táblázat). Ez alapján az 1. és 3. kvartilis közé eső terület esetén „jó”, a kvartilisek és a határok közötti terület „elfogadható”, míg a határokon kívüli terület esetén „bizonytalan” a két szálhossz megfeleltetése.

**3. táblázat.** Hosszeltérések minősítési határainak paraméterei (1. képlet)

	m	b
Felső határ	0,443769	228,894579
3. kvartilis	-0,780165	143,989375
Medián	-1,235780	120,336569
1. kvartilis	-1,596121	87,385906
Alsó határ	-2,820054	2,480702

$$\Delta \text{Hossz} = m \times L_{\text{öntött}} + b \quad (1)$$

$\Delta \text{Hossz}$ : öntött és vágott hossz közötti különbség (mm)

$L_{\text{öntött}}$ : öntött hossz (mm)

$m$ : regressziós egyenes meredeksége

$b$ : regressziós egyenes konstans tagja

## 7. Összefoglalás

A Dunaferri Zrt. adattökejének kiaknázásához elengedhetetlen az adatok előfeldolgozása és összerendelhetőségének biztosítása. A PhD-munka keretében a folyamatos öntés adatainak vizsgálata során létrejött egy adatfeldolgozó/megjelenítő rendszer, melynek segítségével komplexen váltak vizsgálhatóvá a brammákat (későbbi folyamatokban akár a tekercest) ért hatások és azok következményei. Az adatvizsgálat részeként összeegyeztettük a különböző szempontok (gyártás és termék) szerint rögzített öntési eseményeket. Az összeegyeztetés jóságának minősítésére készült egy rendszer, mellyel az öntött és a vágott hossz összerendelésének jósága

megadható. Az adatok vizsgálata során megfigyelhető, hogy a két elgondolás (gyártás, termék) alapján számított szálhosszok között trendszerű eltérés van, azonban ezt korigálva azonosnak tekinthető a két szálhossz-számítási módszer.

### Köszönetnyilvánítás

EFOP-3.6.1-16-2016-00003 K+F+I folyamatok hosszú távú megerősítése a Dunaújvárosi Egyetemen projekt által finanszírozott kutatás.

### Irodalom

- [1] *Wizner K., Kővári A.*: Novel concepts for establishing expert support systems to investigate the defect occurring in metallurgical phases in the technology of ISD DUNAFERR Zrt., Conference Series: Materials Science and Engineering 903 (2020) 012001, p 6.
- [2] *Wizner K., Kővári A.*: Root cause analysis of metallurgical defects in continuous cast steel slabs at ISD DUNAFERR Zrt., IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 903 (2020) 012043, p 8.
- [3] *Wizner K., Kővári A.*: Effect of the production conditions of continuously cast steels on the degree of hot rolled product downgrading, Acta Materialia Transylvanica Vol. 3, No 1 (2020) pp 55–59.
- [4] *Solorio-Diaz G., Ramos-Banderas J. A., Bareto J. de J., Morales R. D.*: Fluid dynamics of vortex formation in tundish operations: Physical modelling, Steel Research International Vol. 78, No. 3 (2007) pp 248–253.
- [5] *Garcia-Hernandez S., Solorio-Diaz G., Ramos-Banderas J. A., Bareto J. de J., Morales R. D.*: Fluid dynamics of vortex formation in tundish operations: Mathematical modelling, Steel Research International Vol. 80, No. 4 (2009) pp 256–263.
- [6] *Odenthal H.-J., Bölling R., Pfeifer H.*: Numerical and physical simulation of tundish fluid flow phenomena, Steel Research Vol 74, No. 1 (2003) pp 44–55.
- [7] *Väyrynen P., Vapalahti S., Louhenkilpi S., Chatburn L., Clark M., Wagner T.*: Tundish flow model tuning and validation: Steady state and transient casting situations, Konferencia kiadvány: SteelSim Graz/Seggau Austria (2007), pp 147–152.

TÖRÖK TAMÁS ISTVÁN

# EUROCORR 2021 – Harcolni a korrózió ellen is kell

*A nagyon változatos felhasználású szénacéloknál szinte mindig figyelemmel kell lenni ezen fontos szerkezeti anyagok megfelelő korrózióvédelmére. A korróziós folyamatokkal és a korrózióvédelmi célú felületkezelő eljárásokkal foglalkozó EUROCORR 2021 Nemzetközi Konferencia és Kiállítás újbóli magyarországi megrendezése (Budapest, 2021. szeptember 19–23.) okán is készült a jelen szemlélő tanulmány, melyben néhány tipikus anyagkárosodási folyamat illusztrálása mellett a szerző olyan hatásos felületvédelmi megoldásokra kívánta felhívni a figyelmet, mint például az inhibitoros védelem és a szerves védőbevonatok alkalmazásának szükségességére, továbbá a korróziós anyagelhasználódás rendszeres ellenőrzésének a fontosságára.*

## 1. Bevezetés

A globális nemzetközi térben elsősorban a NACE (National Association of Corrosion Engineers / USA), míg Európában az EFC (European Federation of Corrosion) mérnökegyesületek fogják össze a korróziós területek legjelesebb szakértőit, és az EFC tizenhét év után ismét Magyarországon, a fővárosunkban rendezi meg az éves EUROCORR nagyrendezvényét. A hazai fogadó, a HUNKOR (Magyar Korróziós Szövetség) igyekszik mozgósítani a hazai érintetteket, és újlag is felhívni a figyelmet néhány tipikus korróziós káresetre és a korszerű védekezési megoldásokra.

*Török Tamás István Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Metallurgiai Intézet, Kémiai Metallurgiai és Felülettechnikai Intézeti Tanszék.*

A cikk színes képei a hátsó-belső borítón láthatók.

## 2. Kültéri acélszerkezetek korrózióvédelme

Hazánkban a klimatikus viszonyok a városi környezetben (1. ábra) és az esetenként még agresszívebb ipari környezetben (2. ábra) általában szükségessé teszik az acél- és egyéb vasalapú ötvözetekből készült szerkezetek korrózióvédelmét.

A szerves bevonatokkal történő korrózióvédelem esetén esztétikai vagy akár bizonyos munka-, tűz- és környezetvédelmi elvárások is kielégíthetők. Ugyanakkor a szerves bevonatok elkerülhetetlen öregedése (oxigén, nedvesség, elektrolitok, UV-fény stb. hatására) általában rendszeres ellenőrzési, javítási és felújítási feladatokkal is együtt jár.

Ezek elhanyagolása különösen a festékbevonattal védett acélszerkezet korróziójának megindulása szempontjából veszélyes. Ilyenkor megfelelő korróziógátló alapozó alkalmazása a mai korszerű megoldás. Olajfestékekhez egykoron nagyon jól bevált korróziógátló pigmentként

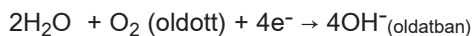
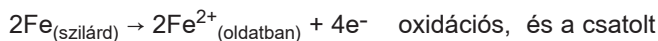
míniumot (Pb(II,IV)-oxid) használtak, az ún. mίνiumos alapozókban (az 1. ábrán feltehetően a piros színű felületek); viszont ezek a mίνiumos alapozók, mérgező ólomtartalmuk miatt ma már teljesen kiszorulóban vannak, és használatuk nem megengedett. Helyettük többféle korróziógátló pigmentet használnak a változatos kötőanyagú és összetételű alapozófestékekben. *Veleva* [1] például a szerves korróziógátló pigmenteket, illetve pigmenttartalmú alapozófestékeket mintegy tíz évvel ezelőtt a következő kategóriákba sorolta: kromáttartalmú vegyületek, fémcinkben gazdag primerek (ZRP=zinc-rich paints), cink-oxid tartalmúak, cink-foszfátosak, cink-ferritek, nagy magnéziumtartalmú primerek, vasoxidok, szilikátvegyületek, grafit, titán-dioxid, titanátok, szerves oxoanionos inhibitorok, foszformolibdátok, ioncsereképes pigmentek, ún. szuper-pigmentek, túkristályos „smart” pigmentek, kerámia-pigmentek, spinellek és lapkás fémpigmentek. Azóta az egyre szigorodó környezet- és egészségvédelmi előírások hatására a kromátos pigmentek helyettesítése is napirendre került; de természetesen a festékgyártók fejlesztései nemcsak a korróziógátló pigmentekre irányulnak, hanem egy-egy alkalmazási feladatra optimálva igyekeznek komplett bevonatrendszereket kidolgozni és a felhasználóknak kínálni.

Mindenesetre, az időjárás viszontagságainak kitett kültéri vasalapú ötvözetekből készült szerkezetek korrózióvédelmére napjainkban is nagy figyelmet kell fordítani, és ehhez ma már rendelkezésre állnak a hatékony, a környezetre és az egészségre pedig egyre kevésbé ártalmas felületkezelő anyagok és a korszerű szerves bevonatrendszerek. Mindezekről a felhasználók a tudományos közleményeken kívül, illetve mellett, leghatékonyabban a piaci szereplők tudományos igényességgel összeállított ismertetőiből [2] és a szakterület nemzetközi nagyrendezvényein [3] tudnak hitelesen tájékozódni.

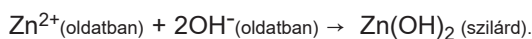
### 3. Acél inhibitoros korrózióvédelme vizes elektrolitoldatokban

Számos iparágban, a kohászattól a gyógyszergyártásig, gyakran igen nagy mennyiségű vizes oldatokkal (hűtővizek, különféle technológiai kezelő oldatok) érintkeznek, illetve működnek acél alkatrészekből, acéltartályokból és acél csővezetékekből összeállított berendezések, melyek korrózióvédelméhez itt is használnak olyan korróziógátló inhibitorokat (vízoldható speciális adalékokat), amelyek az acél felületével kölcsönhatásba lépve lassítani képesek a vas anódos beoldódásának korróziós folyamatát. A savas, lúgos, vagy közel semleges kémhatású vizes oldatokhoz általában más és más inhibitorokat (keverékeket/rendszereket) használnak [4]. Emellett ezeknek az inhibitoroknak hatásmechanizmusa is többféle lehet, vannak ún. anódos, katódos és kevert (mixed) típusú inhibitorok, függően attól, hogy az elektrokémiai korróziós folyamat melyik részfolyamatának a sebességét képesek szelektíven, illetve leghatásosabban gátolni. *Ivušić* és szerzőtársai [5] például ~1 g/dm<sup>3</sup> körüli mennyiségben cink-glükonátot (ZG) tartalmazó vizes oldatokban (édesvíz, sómentesített víz, tengervíz) vizsgálták ennek a közismert korróziós inhibitornak a hatékonyságát. Ilyen, a semlegeshez közeli pH-jú és oldott oxi-

gént is tartalmazó vizes oldatokban a vas korróziós (anódos) folyamata vázlatosan a



oxigénredukciós részfolyamatok eredményeként vezethet az acéltárgy felületén a szilárd, de nagyon laza szerkezetű és fizikai védőhatást nem biztosító vas-oxid-hidroxidok (rozsdá) képződéséhez. Ugyanakkor a cink-glükonát (Zn<sup>2+</sup>-G) inhibitor is tartalmazó vizes oldatban a szabad/disszociált/ Zn<sup>2+</sup> ionokkal a Zn<sup>2+</sup>-G glükonátkomplexek a vasionok (Fe<sup>2+</sup>) beoldódási (korróziós helyek) pontjaihoz diffundálva nagyobb stabilitású és vízben kevésbé jól oldódó Fe<sup>2+</sup>-G reakcióterméket adnak, s ezzel lokálisan (az anódos helyeken) gátolják a vasionok képződésének a lehetőségét, illetve sebességét. Az elektrokémiai korróziós folyamat katódos helyein képződő OH<sup>-</sup> ionok pedig a Zn<sup>2+</sup>-G komplexből felszabaduló Zn<sup>2+</sup> ionokkal képezhetnek ilyen körülmények között ugyancsak oldhatatlan Zn(OH)<sub>2</sub> csapadékot:



Így végül az acél felületén egyfajta vas-glükonátos – cink-hidroxidos védőfilm alakul ki, amely mintegy passzívalja az acél felületét, vagyis innentől kezdve hatásosan gátolja a korróziós folyamat továbbhaladását.

A vízhez adagolt inhibitorok hatékony alkalmazásához természetesen szükség van a folyamatok rendszeres vagy folyamatos monitorozására és a vizes technológiai oldatok inhibitor tartalmának megfelelő szinten tartására.

### 4. Vasbeton szerkezetek acélbetétjének inhibitoros korrózióvédelme

Az inhibitoros korrózióvédelem vasbeton szerkezeteknél is eredményesen alkalmazható, elkerülendő például az olyan degradációs folyamatokat, amelyre a 3. ábrán látható egy városképi és esztétikai szempontból sem elfogadható szemléltető példa.

Az acélbetéttel erősített beton építmények nagyszilárdságú szénacél betétjét ugyan körülöleli maga a cementkötésű beton, de ennek sajátos mikropórusos szerkezete bizonyos mértékig lehetővé teszi a gáz és folyadék halmazállapotú agresszív anyagok (oxigén, szén-dioxid, nedvesség, vízben oldott sók stb.) bediffundálását, illetve beszüremkedését akár az acélbetét felületéig, ahol a vas korróziós folyamatainak megindulásával a 3. ábrán látható anyagroncsolódás a következmény. Ezek az összetett degradációs folyamatok többnyire csak évek, évtizedek alatt érnek el ilyen mértéket, de a lassításukra mindenképpen törekedni kell. Ennek egyik módja ezeknél a szerkezeteknél is az inhibitoros védelem [6].

### 5. Szigetelés alatti korrózió

Alapanyaggyártó kohászati üzemekben és a nagy vegyipari üzemekben a technológiai folyadékokat és gázokat továbbító acél csővezetékek többnyire hőszigetelő burkolattal vannak ellátva. A külső hőmérséklet ingadozása és a

változó páratartalom következtében viszont esetenként és bizonyos „pangó” helyeken a szigetelő réteg alatt kondenzálódó víz az acélcső felületén kiválthatja az elektrokémiai korróziót. Maga ez a jelenség (4. ábra) (angolul: Corrosion Under Insulation = CUI) ugyan a korróziós szakemberek előtt jól ismert, viszont az észlelése meglehetősen nehéz. A közelmúltban Miskolcon éppen ebben a témakörben zajlott egy videokonferencia [7], amelyre Magyarország két legnagyobb vegyipari üzeméből is érkeztek előadások. A MOL Petrolkémia Zrt. részéről *Joó Gyula* felügyeletvezető Szigetelés alatti korrózióról és vizsgálatáról a MOL Petrolkémianál című, míg a Wanhua BorsodChem Zrt. részéről *Samu Tamás – Szabó Lajos*: Szigetelés alatti korrózió gyakorlati tapasztalatai a BorsodChemben című előadásai kerültek megvitatásra.

## 6. Összefoglalás

E rövid szemlélő tanulmány elsődleges célja nemcsak a figyelem felkeltése a Budapesten, ez évben megrendezésre kerülő EUROCORR 2021 korróziós nagyrendezvényre, hanem arra a szükségszerűsége is, hogy a vasalapú ötvözetek felhasználásával készített számtalan hagyományos apró termék, a különféle gépszerkezetek és a nagyméretű acél műtárgyaink mind-mind igénylik a tudatos és rendszeres korrózióvédelmi kezeléseket. Ezek közül az inhibitoros eljárások alkalmazására mutattunk be néhány példát, kiegészítve egy olyan nagyüzemi korrózióvédelmi feladattal (CUI), ahol inkább a rendszerszintű hatékony felügyelettel és rendszeres ellenőrzéssel (moni-

toring) lehet meggátolni az akár katasztrófát is okozni képes szivárgásokat és csőlyukadásokat.

## Irodalom

- [1] *Veleva L.*: Protective Coatings and Inorganic Anti-Corrosive Pigments (Chapter 28), in Paint and Coatings Testing Manual Book, MNL 17 (pp. 282–299.) Editor: JV Koleske. 2nd Ed., ASTM International, OH, USA, 2012
- [2] <https://magyarlakk.hu/termeklista/femszerkezetek/> (2021.01.12.)
- [3] EUROCORR 2021 Budapest, szeptember 19–23. <https://eurocorr2021.org/> (2021.01.12.)
- [4] *Yun Chen, Wenzhong Yang*: Formulation of Corrosion Inhibitors, Water Chemistry, Murat Eyvaz and Ebubekir Yüksel, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.88533.
- [5] *Ivušić F., Lahodny-Šarc O., Alar V.*: Corrosion inhibition of carbon steel in various water types by zinc gluconate / Korrosionsinhibierung von Kohlenstoffstahl durch Zinkgluconat in verschiedenen Wasserarten, Mat.wiss.u. Werkstofftech. 2013, 44, No. 4doi:10.1002/mawe.201300047 319
- [6] *Abbas Abdulsada S., Fazakas É., Török T. I.*: Corrosion testing on steel reinforced XD3 concrete samples prepared with a green inhibitor and two different superplasticizers, Materials and Corrosion (2019) 70(7), 1262–1272.
- [7] Felületvédelem a vegyipari üzemek gyakorlatában – videokonferencia a MTA MTB Korrózióvédelmi és Felülettechnológiai Munkabizottságának szervezésében. Miskolc, 2020. december 1.

TASZNER ZOLTÁN – PÓCZOS JÓZSEF – SIMON EMIL

# Sikeres próbaüzem és folyamatos fejlesztések az Ózdi Acélművek Kft.-nél

Nehezített körülmények között is sikeresen zárta a 2020-as évet a bajorországi székhelyű Max Aicher vállalatcsoport (80%) és a Magyar Állam (20%) közös tulajdonában lévő, 600 főt foglalkoztató ózdi acélgyár.

A cég 2017-ben megkezdett fejlesztési terveinek megfelelően zajlanak az 500 000 t/a betonacél rúd, tekercselt betonacél és huzal, névleges gyártókapacitás magasabb kihasználására irányuló fejlesztések.

A 60 millió euró, azaz közel 22 milliárd forint összérté-

kű beruházások középpontjában egy korszerű „drótsor” telepítése helyezkedik el, amely 24 hónap építés és gépészeti telepítés után sikeresen teljesítette az első melegüzemi teszteket. Az 1975-ben az ózdi Rúd- és Dróthengerműben létesült, mára elavult technológia 2017-es leállítását követően, 2020. december 18-án, újra az izzó acélkarikák látványától ragyoghatott a beüzemelésen dolgozó ózdi szakemberek tekintete. Az „új drótsor” sikeresen teljesítette első próbaüzemét.

**Dr. Taszner Zoltán** okleveles kohómérnök 2003-ban a Miskolci Egyetemen végzett, PhD-fokozatát 2007-ben szerezte az anyagtudományok és technológiák területén. Közel 15 évet dolgozott Németországban, mint vezető technológus, az olvadákredukción technológiafejlesztés területén projektvezető, műszaki ügyvezető igazgató. 2016 óta az Ózdi Acélművek Kft. műszaki igazgatója, 2019 óta az ÓAM felügyelő bizottságának tagja.

**Póczos József** 1974-ben végzett okleveles metallurgus üzemmérnökként. Az Ózdi Kohászati Üzemek Acélmű üzemegységében dolgozott több vezetői beosztásban, 1989-től az ózdi kohászat megszűnéséig mint termelési főmérnök. 1995-től fejlesztési mérnökként az ózdi acélgyártás újraindításának aktív résztvevője. Az ÓAM Kft. új acélművében 2008–2013 között műszaki igazgató, majd karbantartás-vezető. 2016-os aktív nyugállományba vonulása óta az ÓAM Kft. beruházásainak kivitelezésében projektvezető.

**Simon Emil** 1975-ben az NME-n végzett okleveles automatizálási üzemmérnökként, 1988-ban ugyanott szerzett szaküzemmérnöki oklevelet. 45 éve dolgozik Ózdon, elsősorban hengerműi villamos berendezések üzemeltetése, karbantartása területén, 2017 óta az ÓAM beruházásaiban projektvezető.





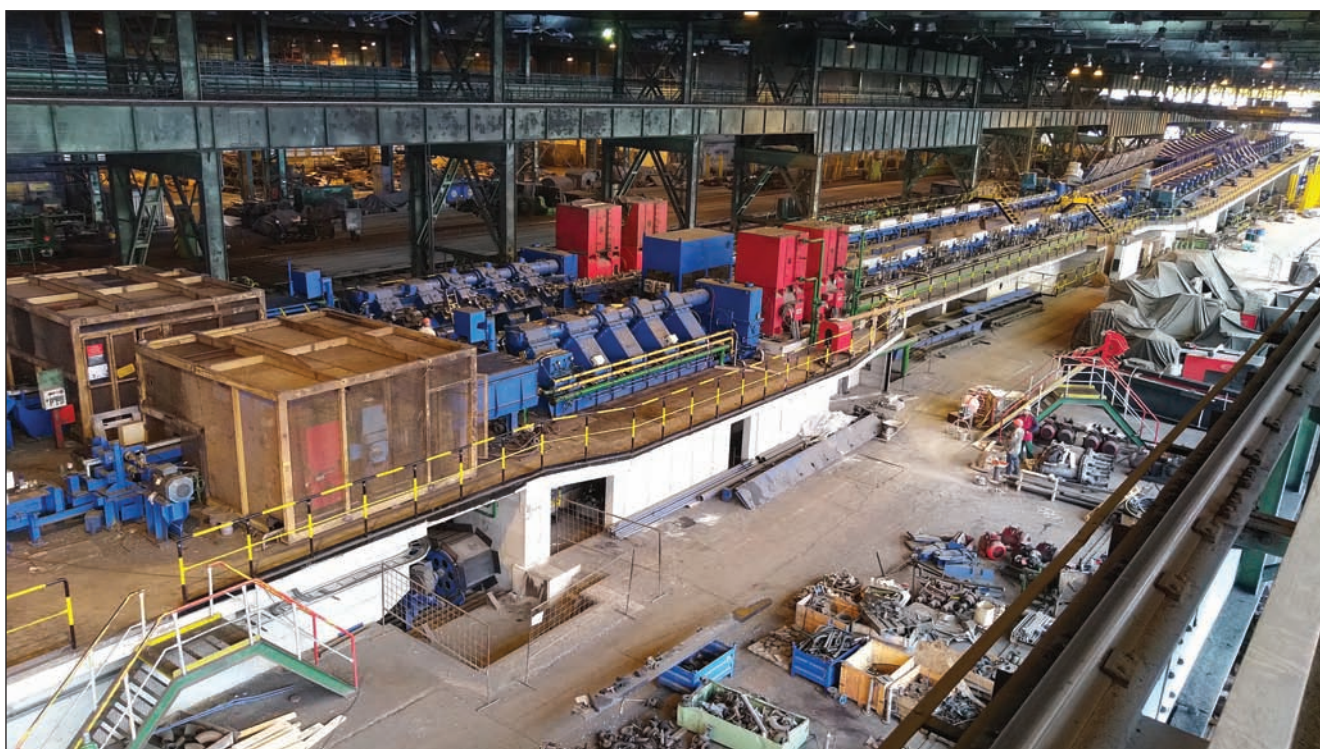
■ 1. kép. Első tekercs az új drótsoron

A korszerű, új és használt berendezések beillesztése az ózdi technológiai környezetbe, jelentős kihívással, a meglévő média- és ellátórendszerekbe nagy beavatkozással járó folyamat. Az új drótsor a korábbi technológiai sor helyén, az ún. drótsori csarnokban helyezkedik el. Az első próbálkozásra sikeres tesztüzem különösen a helyi, tapasztalt szakemberek kiváló felkészültségének eredménye.

szerzése, korszerű továbbfeldolgozó egységek beszerzése, telepítése is részei a folyamatban lévő fejlesztéseknek.

A drótsori termelési próbák 2021 első negyedévében folytatódnak. A termelés felfuttatásával, két éven belül, 150 000 t/a tekercselt termék előállítását és értékesítését célozza meg a gyár 5,5-16 mm-es átmérőben. Az összesen 10 évre tervezett fejlesztési program eddig megvalósult kulcselemei már mostantól lehetőséget nyitnak a jövő minőségi követelményeinek megfelelő termékek előállítására, a hazai, ill. a környező országok piacainak ellátására. A drótsorral párhuzamosan létesült új feldolgozó berendezéssel akár 5 t tömegű, csévált betonacél tekercs legkorszerűbb technológia szerinti előállítása, ill. új termékek bevezetése is lehetséges.

A hengerműi gyártókapacitás növelése ugyanakkor magasabb követelményeket támaszt a teljes ózdi technológiai sorral szemben. A meleghengerművet kiszolgáló elektroacélműben ezzel párhuzamosan zajlanak a gyártókapacitás és minőségi színvonal növelését célzó fejlesztések és beruházások. A folyamatos öntőmű 2018. évi fejlesztése, a kokillaszint szabályozás automatizálása után,



■ 2. kép. A drótsor központi elemei, a kikészítő blokkok és hűtőszakaszok Ausztriából

A közel 300 m-es hosszban megvalósult technológiai sor építése, meglévő környezetbe illesztése során mintegy 14 000 t beton, 1 500 t betonacél és közel 1 600 t gépészeti és villamos berendezés került beépítésre. Az ÓAM saját fővállalkozásában megvalósuló telepítésben több mint száz helyi és nemzetközi alvállalkozó vett részt. A beruházáson egy időben akár 15 munkaterületen és több szakágban, 50-150 fő egyidejű munkáját irányították sikeresen az ózdi szakemberek, a rúdsor folyamatos, párhuzamos termelése mellett. A közel 7 milliárd forintos beruházás az üzemi infrastruktúra szinte minden részét érintette. A technológia megújulása mellett az épület felújítása, új szerszám és gyártóeszköz megmunkáló gépek be-

2019-ben valósult meg a 60 t/h névleges kapacitású ívkemence olvasztóteljesítményének további növelése, három új RCB-éggő beépítésével. Az elmúlt évben pedig az acélműi analitikai laboratóriumok berendezései és a környezetvédelem kapták a legnagyobb hangsúlyt.

Az ívkemence teljesítményfokozásának egyik kulcseleme a 2020-ban üzembe helyezett új porleválasztó berendezés. A közel 2 milliárd forintból megvalósult környezetvédelmi beruházás próbaüzeme 2020. októberben kezdődött. Ez a berendezés gondoskodik az acélműi füstgáz előírásoknak megfelelő tisztaságáról. A berendezés maximális elszívó képessége az elődjének közel háromszorosa, azaz 1,4 millió m<sup>3</sup>/h. A ventilátorok motorteljesítménye



■ 3. kép. A kötözőprések és a tekercsmozgató pálya a legkorszerűbb svéd technológia alkalmazásával (telepítés közben)

3 MW. A kéményben elhelyezett korszerű lézeres rézszeckemérő berendezések folyamatosan rögzítik, és számítógépes rendszeren ellenőrzik a szigorú porkibocsátási adatok betartását.

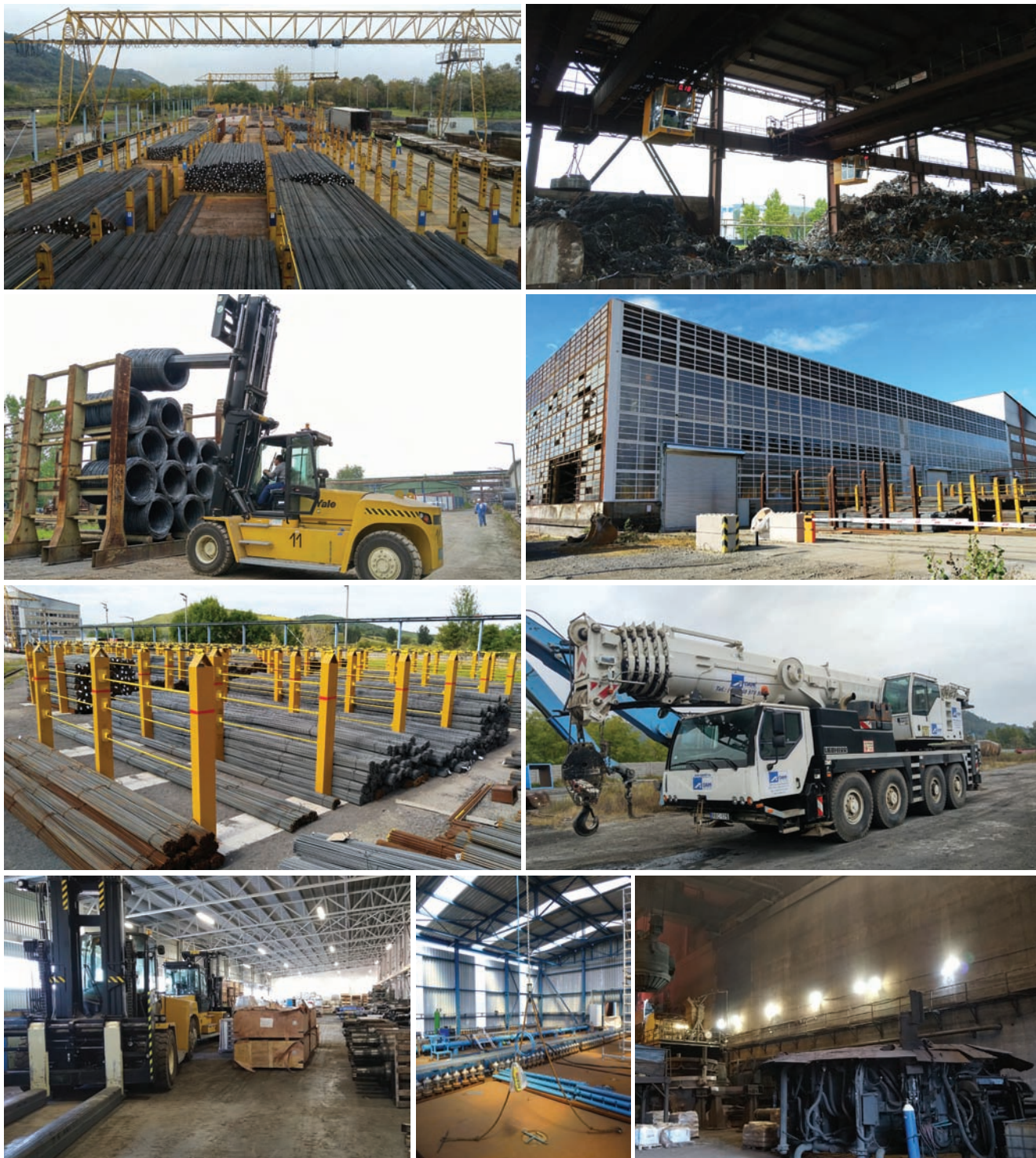
A termelékenységet, minőséget és környezetvédelmet célzó beruházások mellett szintén szükség mutatkozott a gyár logisztikai képességeinek növelésére is. A beruházások eddigi 4 éve alatt több ezer m<sup>2</sup> külső-belső tárolóterület és csarnok létesült, újult meg. 2018-ban új, 2000 m<sup>2</sup>-es gyártóeszköz raktárcsarnok épült, 2019-ben a kül-

ső készáru raktár közel 10 000 t késztermék befogadó képességgel bővült. Az új drótsor termékeinek tárolására 2020-ban további, mintegy 4000 m<sup>2</sup>-es új, nagy teherbírású betonozott tárolóterület készült, amelynek üzembe vétele a drótsori termelés felfutásával párhuzamosan zajlik.

Az üzemi logisztika részeként megújult a mobil-géppark is. Számos új rakodógép, autódaru, nehéztargonca, tehergépkocsi és egyéb emelőgép beszerzése valósult meg. A munkakörülmények átfogó javítása, a munka- és



■ 4. kép. Ragyogó kék ég az Ózdi Acélmű felett, balra az új Danieli gyártmányú porgépház és a 4400 mm átmérőjű szívócső három-ágú, egyenként 2200 mm-es csatlakozása a jobb oldali ívkemence csarnokhoz



■ 5. kép. Fejlesztések a géppark, a logisztika és a munkavédelem területén

környezetvédelem erősítése elengedhetetlen feltétele a modern nehézipari környezet termelékenységének javításához.

Az ÓAM Kft. tízéves beruházási és fejlesztési vállalása már közel 50%-ban teljesült, és a tulajdonosok elképzeléseinek megfelelően halad. A cég vezetése továbbra is elkötelezett a még megvalósításra váró projektek mellett. A termelékenység fokozásának következő elemeként, a tervek szerint 2021-ben indul el egy második, 10 000 t befogadó képességű alapanyag-tároló elegyter, ún. hulla-

déktér megvalósítása. A vasúti vágányokkal ellátott és három 15 t teherbírású hídaru befogadására alkalmas fedett csarnok és darupálya megvalósítása újabb 2,5 milliárd forintot pumpálhat majd a térség gazdaságába. A tervezett 2. hulladéktér-beruházás megtérülése a termelési terveknek megfelelően kevesebb mint 10 év. A beruházás egyaránt lehetőséget teremt a beszállítói infrastruktúra hatékonyságának fejlesztésére, a termelési volumen és a gyártmányminőség fokozására.

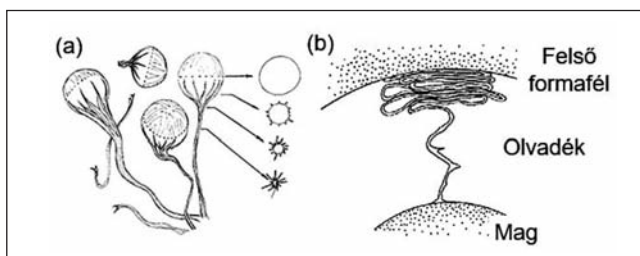
MÁDI LAURA – KAZUP ÁGOTA – BUBONYI TAMÁS – VARGA LÁSZLÓ

## A homokmagokból eltérő öntési hőmérsékletnél felszabaduló gázok nyomásváltozásának és az öntvényben megdermedt gázhólyagok kialakulásának vizsgálata

*A homokmagok kötőanyagának kiégése során képződött gázok az öntvényben gázhólyagos öntvényhibákat okozhatnak. Jelen cikkünkben bemutatjuk az eltérő öntési hőmérsékleten (680, 730 és 780 °C) öntött, azonos méretű homokmagokból fejlődő gázok nyomásváltozásának vizsgálatát. Az öntvényben megdermedt gázhólyagok megjelenési formáit és az öntvény névleges mérettől való eltérését CT, optikai és pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) segítségével vizsgáltuk.*

### 1. Bevezetés

Az öntészeti tudomány és technológia fejlődésének köszönhetően újabb lehetőségek nyílnak a komplexebb és a vékonyabb falvastagságú öntvények gyártására. A bonyolult öntvénygeometria általában nagyobb magfelületet eredményez, amellyel az olvadt fém érintkezik [1]. A magfelület növelése és a kilevegőztetési nehézségek jelentősen befolyásolják a homokmagban kialakuló nyomás nagyságát és a gázbetörési hajlamot. A gáznyomás változásának modellezése a homokmagokban az öntőipar egyik kiemelt műszaki feladata [2–5]. A homokmagból származó gázporozitást gázhólyagnak nevezzük. A gázhólyag (blow-holes) kifejezést széles körben használják az öntvényben található különféle üregek leírására. Gázhólyag alatt a folyékony fém felületén keresztül történő mechanikus gázbetörés okozta gázporozitást értjük [6]. Ez az öntvényhiba nem foglalja magába a fémbe oldott és a felületen keresztül bediffundáló gázok kiválását, valamint a felületi turbulencia által bekevert gázokat. A maggáz okozta gázhólyagok kis nyomású gázokat tartalmaznak. Nagyban különböznek a mikroporozitásoktól, amelyek kisméretűek, gömbszerűek és



1. ábra. a) A gázhólyag (gázbuborék és nyomvonala) és annak keresztirányú metszete, b) lehámlásos (exfoliation) öntvényhiba [6]

nagy nyomású gázokat tartalmaznak. A gázhólyag felületét jellegzetesen vastag, borszerű kettős oxidhártya fedi. A gázhólyag jellegzetes formája és alakja az 1. ábrán látható.

Az összefüggő gázhólyag képződése szempontjából az első gázbuborék kialakulása a legkritikusabb. A későbbiekben felszabaduló gázok tovább tágíthatják a már kialakult gázhólyagot, hiszen az első kivált gázbuborék az őt határoló oxidhártya miatt ún. nyomvonalat hoz létre az olvadékban. A gázhólyag felületi feszültsége a nagyobb hőmérsékletű helyeken lesz minimális, vagyis az utóljára

**Mádi Laura** 2016-ban szerzett MSc kohómérnöki diplomát a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán öntészet szakirányon. Jelenleg a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola PhD-hallgatója. Kutatási területe: öntés során a homokmagokban kialakult gáznyomások mérése.

**Kazup Ágota** 2020-ban szerzett MSc kohómérnöki diplomát a Miskolci Egyetem Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetben, ahol jelenleg tudományos segédmunkatársként tevékenykedik. 2020-ban a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskolában folytatta tanulmányait. Kutatási területe: két- és háromdimenziós szerkezetvizsgálatok módszertanainak kutatása.

**Bubonyi Tamás** 2019-ben szerzett Pro Scientia aranyérmert, majd kohómérnöki diplomát a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán. Jelenleg a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola PhD-hallgatója. Kutatási területe: számítógépi tomográfia anyagtudományi alkalmazása.

**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.

dermedő öntvényrészekben. A gázhólyagot a természetben fellépő erők oda mozgatják, ahol a lehető legkisebb a gázhólyag energiája. Ezt az erőt nevezik határfelületi gradiens erőnek [7].

Amennyiben a dermedési és az áramlási viszonyok lehetővé teszik, a homokmaghoz kapcsolódó gázhólyag a nyomás leépülésével vissza is húzódhat, melynek következményeként kettős oxidhártát hagy maga után. Ezt az öntvényhibát nevezik ún. lehámlásos (exfoliation) öntvényhibának, amely az 1b ábrán látható. A lehámlásos öntvényhibát a maggáz által kitágított, majd visszahúzódott, rétegesen felgyűrődött oxidhártya alakítja ki. Szerkezete lemezes, rétegelt. A gázhólyag az öntvény felső részében nyitott, szabálytalan nyomvonalra révén szivárgási útvonalat, hibát okozhat.

A gázhólyag képződésének elkerülésére számos technológiai lehetőség áll rendelkezésre. A következőkben bemutatott ajánlásokkal jelentősen csökkenthető a gázhólyag okozta öntvényhibák kialakulása. A legbiztosabb megoldás olyan kötőanyagrendszer használata, amelyből nem, vagy csak nagyon kis mennyiségű gáz keletkezik. Törekedni kell a minimális kötőanyagtartalom használatára, hiszen ezzel jelentősen csökkenthető az éghető anyagok mennyisége [8–12]. További megoldást jelenthet a késleltetett gázfejlődésű kötőanyagrendszerek alkalmazása. Gázfejlődés szempontjából a fenol-uretános rendszerek a legkedvezőbbek, míg a szilikát-észter kötőanyagrendszerek a kezdeti nagy gázfejlődésük miatt kerülendők.

A homokmag gázvezető képességét durva homok alkalmazásával vagy a magban elhelyezett gázvezetők segítségével lehet javítani. Indokolt esetben alkalmazható vákuum is, azonban a képződő kondenzátum miatt a vákuumrendszer gyakori karbantartása szükséges.

A homokmag kötőanyagának kiégése során a felszabaduló illékony anyagok a homokmag legfelső részében koncentrálnak. Amennyiben a tervezés lehetővé teszi, törekedni kell olyan elrendezésre, ahol a maggáz szabadon tud felfelé áramlani és kilevegőzni.

Az agyagbázisú mag és formázóanyag-javító paszták jelentős mennyiségű vízgőzt adhatnak le, ezért öntés előtt a szárításuk javasolt.

Maghomokkeverék készítésénél a kötőanyag egyenletes eloszlását kell biztosítani a homokszemcséken, ugyanis a nem megfelelő keverés során gyantagócok maradhatnak a homokmagban, ami öntés során akár gázrobbanást is okozhat.

A fém/forma határfelületen kialakuló repedezett, tekervényes oxidhártán keresztül a maggáz könnyedén be tud törni az olvadékba. Csökkenteni kell az oxidáló közeg és a fémolvadék közvetlen érintkezését. Különösen a nagyobb cink- és a magnéziumtartalmú alumíniumötvözetek esetén, mivel ezen ötvözetek oxidációs hajlama nagyobb.

Hasonló következménnyel járhat a külső és a belső fémhűtővasak használata is, ugyanis az illékony anyagok a folyékony fémfront előtt haladva ezeken a felületeken kondenzálódhatnak. Amikor a folyékony fém végül a hűtővasához érkezik, a kicsapódott kondenzátum elpárolog, és gázhólyagot eredményez. Megoldást a hűtővasak kerámiai réteggel történő bevonása, majd szárítása jelenthet, ennek köszönhetően egy inert, áteresztő és nem nedvesítő felületet kapunk. A barázdált, érdes felületi réteget az olvadék nem ned-

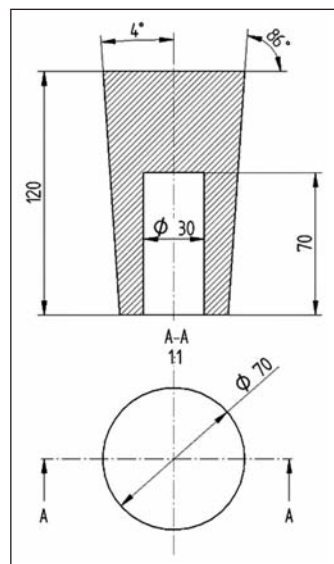
vesíti, így a barázdák alja szellőzőként működhet, lehetőséget adva a gázok szabad tágulására és eltávozására [6].

Campbell [6] a gázhólyag elkerülése érdekében az öntési hőmérséklet növelését javasolja. Elmélete szerint így a maggázoknak lehetőségük van a folyékony fémen keresztül kilevegőzni, a dermedés kezdetén létrejövő vékony kéreg kialakulása előtt. Ez legtöbb esetben az öntvény károsodásával párosul, hiszen az elszökött gázhólyag a nyomvonalra révén szivárgásos öntvényhiba kialakulásához vezethet. Erbslöh és társai [13] az öntési hőmérséklet, a formatöltési sebesség és a metallosztatikus nyomás növelésére hívja fel a figyelmet.

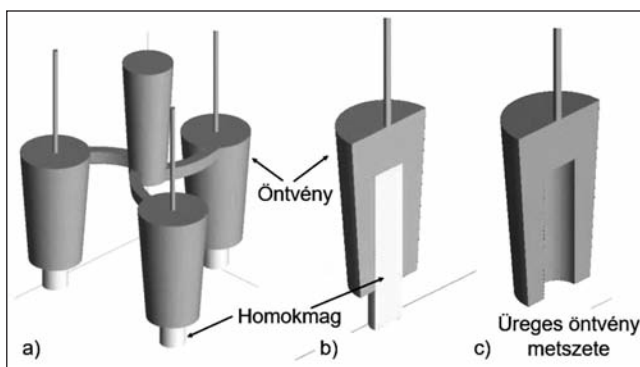
## 2. Kísérleti körülmények

Cikkünkben bemutatjuk az Al-7%Si-0,35%Mg-0,4%Cu öntészeti alumíniumötvözet három különböző (680-730-780 °C) öntési hőmérsékleten, 70 mm átmérőjű öntvények esetén, azonos méretű homokmagokból felszabaduló gázok nyomásváltozásának vizsgálatát.

A kísérleti körülmények megalkotása a korábban alkalmazott kísérleti összeállítások továbbfejlesztése alapján történt [14–16]. A homokmag geometriája minden esetben  $\varnothing 30 \times 100$  mm volt. A mag öntvénybe történő belégási hossza 70 mm volt. A mag 30 mm mélyen ült a magfészekben, ami megakadályozta a formatöltés közbeni elmozdulását. A metallosztatikus nyomással arányos, homokmag feletti olvadékoszlop magassága 50 mm volt. A 70 mm átmérőjű, 4°-os formázási ferdeségű kísérleti öntvény műszaki rajza a 2. ábrán látható. A 3. ábrán bemutatjuk a kísérleti öntvényt a magokkal és a beömlőrendszerrel. A 4. ábrán a kísérleti összeállítás látható a formaszekrényvel, az adaggyűjtővel és a nyomástávadókkal.



■ 2. ábra. A kísérleti öntvény metszete



■ 3. ábra. a) kísérleti öntvény magokkal és a beömlőrendszerrel, b) a homokmagot tartalmazó öntvény metszete, c) az üreges öntvény metszete

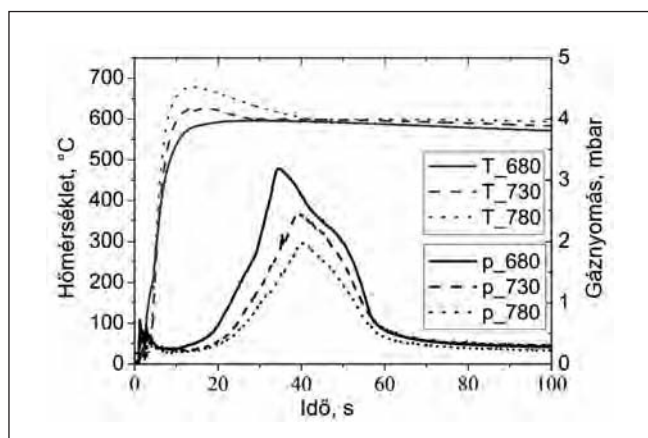


■ 4. ábra. Kísérleti összeállítás. Bal oldalon az alsó formaszekrény, a nyomástávadók és az adatgyűjtő. Jobb oldalon az alsó és felső formafél lezárt állapotban.

A kísérleti homokmagok önkötő furángyantás homokkeverékből készültek 1 m/m% gyanta- és 0,5 m/m% katalizátortartalommal. A homokmagok térfogatsűrűsége minden esetben 1,5 g/cm<sup>3</sup> volt. A homokmagok előállításához 0,22-0,3 mm szemcseméretű, sajdkovói homokot használtunk. Az alkalmazott, közel azonos szemcseméret esetén kiküszöbölhetők az eltérő granulometriai tulajdonságokból származó zavaró hatások. A fejlődő gázok elvezetésére szolgáló acélcsővet (Ø 6 × 300 mm) a próbatest axiális középvonalába, a fém/ forma határfelülettől 5 mm-re helyeztük el [16]. A homokmagból fejlődő gázokat szilikon cső segítségével továbbítottuk a nyomástávadóhoz. Kísérleteink során a homokmag felső síkja felett 5 mm-re, védőcsőben elhelyezett K típusú hőelem segítségével mértük az olvadék hőmérsékletét. A forma bentonitos-keverékből készült, 8% bentonit, 4% víz felhasználásával. A mérésekhez három Baumer típusú frontmembrános nyomástávadót, míg az adatgyűjtéshez egy univerzális 8 csatornás HBM QuantumX-MX840B típusú mérőerősítőt használtunk.

### 3. Kísérleti eredmények

A magban kialakult gáznyomásértéket a gázfejlődés intenzitása és a gázok tágulását akadályozó felületre kifejtett erők határozzák meg. A magban feltorlódott gázok út-



■ 5. ábra. Az olvadék hőmérsékletének, valamint a felszabaduló gázok nyomásváltozása az idő függvényében

ját a homokmag homokszemcséi között található tekervényes járatok, valamint a gáz/olvadék határfelületen fellépő erők akadályozhatják. A természeti törvények alapján a gázok a kisebb ellenállás felé áramlanak. A magok gázfejlődési intenzitása nem egyenletes, az elején nagy mennyiségű gáz keletkezik, aztán csökken a fejlődő gáz mennyisége. Az 5. ábrán a homokmagból felszabaduló gázok nyomásának és az olvadék hőmérsékletének változása látható az idő függvényében.

A vizsgált öntési hőmérsékletek esetén a felszabaduló gázok nyomáseredményeiből megállapítható, hogy az öntési hőmérséklet növelésével csökken a maximális gáznyomás ( $p_{max}$ ) értéke. Az öntési hőmérséklet növelésével nő a homokmagok hőterhelése, így várhatóan nagyobb gáznyomásra számíthatunk. Azonban különböző hőmérsékleteken az olvadék szilárd fázisaránya jelentősen eltér egymástól, ami a maggáz megjelenési formáit is befolyásolhatja. A nagyobb szilárd fázisarányral rendelkező olvadék esetén a gáz/olvadék határfelület alatt a gázok feltorlódhatnak, nagyobb nyomást eredményezve. Kis szilárd fázisarányral rendelkező olvadékok esetén a maggáz útja nem akadályozott, így önálló gázhólyagok formájában az olvadékba áramolhatnak.

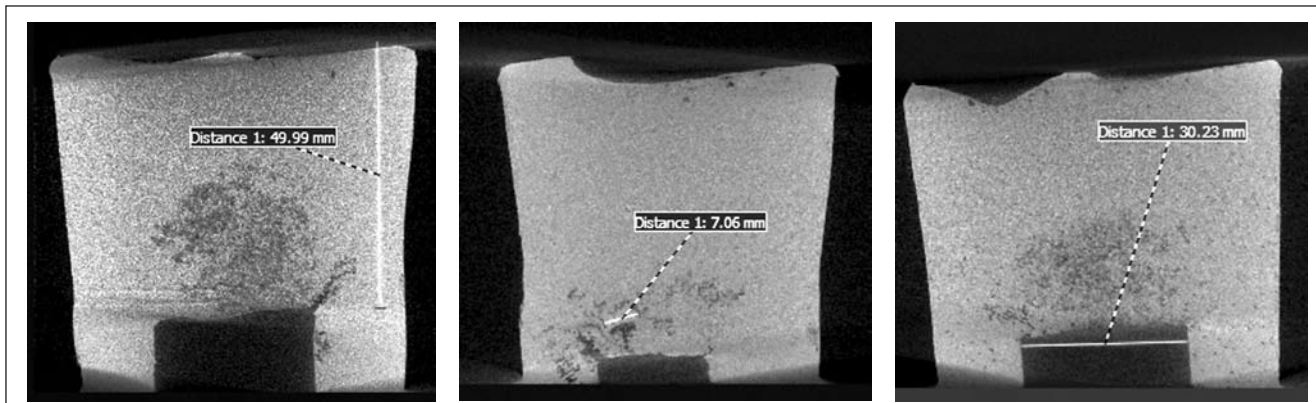
A Thermo-Calc program segítségével lehetőség van különböző összetételű ötvözetek adott hőmérsékleten történő szilárd fázisarányának a meghatározására. A  $p_{max}$  időpontjához tartozó hőmérsékletértékeket ( $T_{mért}$ ) összevetettük a Thermo-Calc programban számolt hőmérsékletértékekhez ( $T_{számolt}$ ) tartozó szilárd fázisarányokkal ( $f_s$ ). Kísérleteink során a mag felett 5 mm-re mértük az olvadék hőmérsékletét, a következőkben bemutatott értékek ebben a pontban érvényesek. A mag/olvadék határfelületen jelenlévő szilárd fázisarány nagyobb. Az 1. táblázat tartalmazza a különböző öntési hőmérséklet esetén a magokból felszabaduló gázok nyomásának maximális értékét és megjelenési időpillanatát, valamint az olvadék mért és számított hőmérsékletét és a hozzá tartozó szilárd fázisarányt.

A vizsgált (Al-7%Si-0,35%Mg-0,4%Cu) öntészeti alumíniumötvözet Scheil-féle lehülés alapján számított szilárd fázisarány és a fejlődött gázok nyomásának kapcsolatáról elmondható, hogy a legnagyobb szilárd fázisarány (32%) esetén alakul ki a legnagyobb gáznyomás (3,171 mbar).

A különböző öntési hőmérsékletek esetén kialakuló eltérő szilárd fázisarányok és a homokmagokból fejlődő gázok nyomáskülönbségei miatt az öntvényeket további vizsgálatoknak vetettük alá. Az öntvényekben található gázhólyagok megjelenési formáit CT, optikai és pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) segítségével vizsgáltuk. A 6. ábrán a komputertomográfiai vizsgálat során kimentett DICOM-metszeten a különböző öntési hőmérsékleten képződött gázhólyagok jellegzetes alakja látható. A gázhólyag méretét és az

1. táblázat. Különböző öntési hőmérséklet esetén a  $p_{max}$  értéke és megjelenésének időpillanata, valamint az olvadék hőmérséklete és a hozzá tartozó szilárd fázisarány

Öntési hőmérséklet, °C	$p_{max}$ , mbar	$t_{p_{max}}$ , s	$T_{mért}$ , °C	$T_{számolt}$ , °C	$f_s$
680	3,171	34	594,97	594,85	0,321
730	2,449	39	599,19	599,85	0,262
780	1,976	40	615,01	615,85	0,002



■ 6. ábra. Különböző öntési hőmérsékleten (balról jobbra haladva 680, 730 és 780°C-on) öntött darabokban található gázhólyagok

öntvény névleges méretétől való eltérését a myVGL program segítségével vizsgáltuk.

A felvételeken látható, hogy a 680 °C-on öntött darab fém/mag határfelületét a maggáz meggörbítette, valamint egy összefüggő gázhólyag alakult ki az öntvényben. A jelenség azzal magyarázható, hogy amennyiben a felforlódott, nagy nyomású gázok eléri a kritikus nyomást, képesek nagy, összefüggő gázhólyag formájában betörni az olvadéka. A 730 °C-on öntött öntvényben kisebb (Ø 7 mm), jól elkülöníthető gázhólyagok jelenlétét tapasztaltuk. A 780 °C-on öntött darabban sok, kis, diszperz gázhólyag található. Az olvadékok gáztartalmát az öntés során igyekeztünk azonos szinten tartani. Az általunk vizsgált azonos ötvözetminőség és öntvénygeometria esetén a szívódásos zsugorodás mértéke megegyezik.

A gázhólyagok további vizsgálata céljából a kísérleti öntvényekből optikai mikroszkópos vizsgálatra alkalmas darabokat munkáltunk ki, valamint a darabok töretfelületét pásztázó elektronmikroszkóp segítségével is vizsgáltuk. Az 50 × 70 mm-es mintákról mozaik mikroszkópos felvételeket készítettünk, ugyanis a nagyméretű gázhólyagok a mikroszkóp legkisebb, 50 ×-es nagyítása esetén sem fértek bele a látótérbe. A mozaikkép készítése során a mikroszkóp 50 ×-es nagyítású képekből, mozaikszerűen állítja össze a felvételt. A következőkben a 680 °C-on és a 780 °C-on öntött minták porozításelemzését mutatjuk be. A porozítástartalom százalékos meghatározása az ImageJ-program segítségével történt. A 7. ábrán a darabok bináris képei láthatóak.

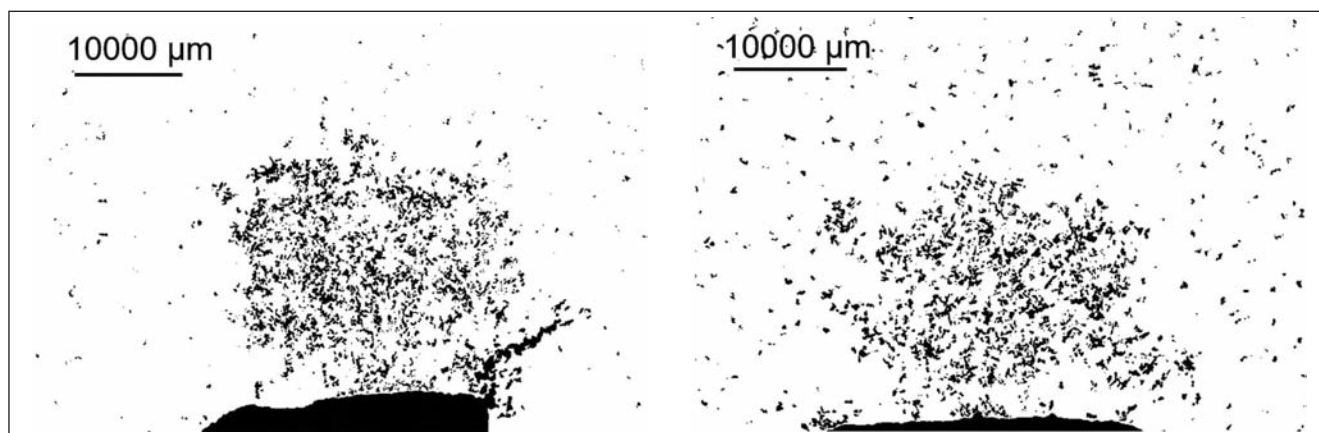
A darabok bináris képein látható, hogy a 680 °C-on öntött darabban a fém/mag határfelület jelentősen meggörbült, és egy nagy összefüggő gázhólyag alakult ki. A 780 °C-on öntött darabban a fém/mag határfelület csak kismértékben tér el a névleges mérettől, azonban az öntvényben elszórtan sok kis gázhólyag figyelhető meg. Az összporozitás-tartalom (beleértve a maggáz által meggörbített határfelületet) 680 °C esetén 9,051%, míg 780 °C-on 7,373%.

Az öntvényekben található kisebb gázhólyagok morfológiáját és méretét az öntvények töretfelületeiről készült SEM-felvételeken mutatjuk be, amelyek a 8. ábrán láthatók.

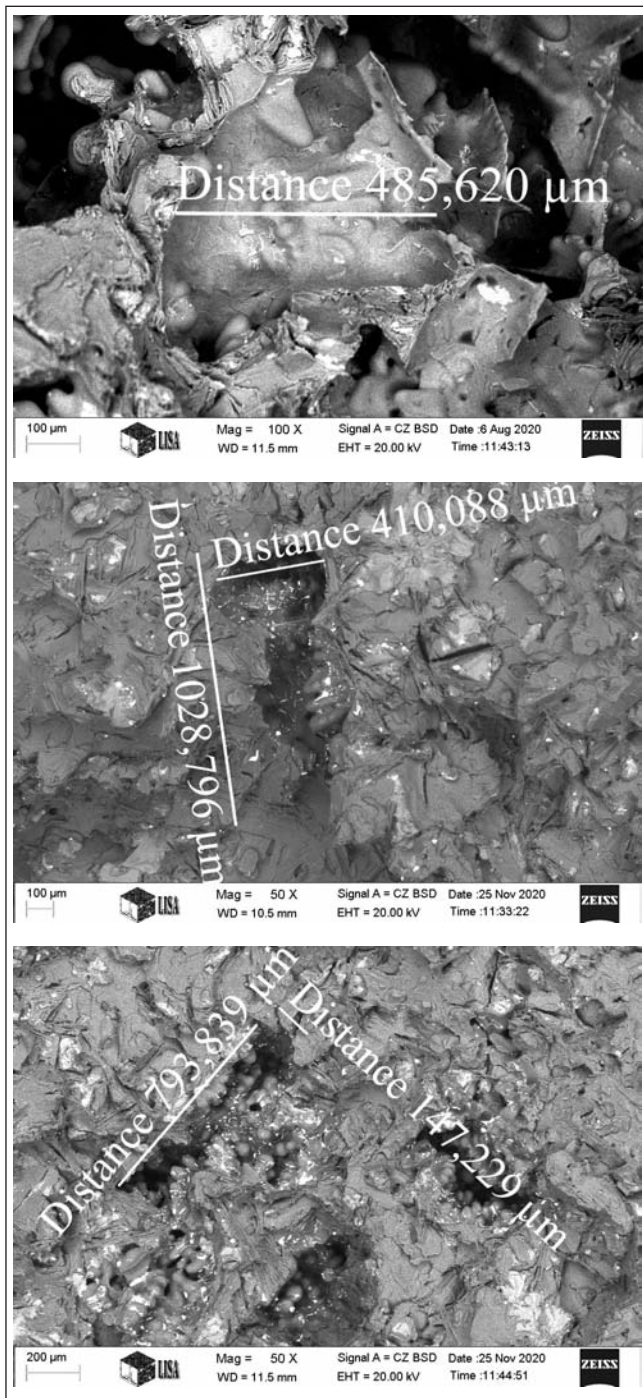
A töretfelületen található gázhólyagok lenyomatának mérete 680- és 730 °C-on ~410-485 µm, nyomvonallal együtt ~1029 µm. A 780 °C-on öntött darabban a gázhólyagok alakja lapított, méretük ~790 × 150 µm.

### Összefoglalás

Az alkalmazott AISi7-es öntészeti ötvözet öntése esetén magokból fejlődő gázok nyomásának vizsgálata során arra a következtetésre jutottunk, hogy az öntési hőmérséklet növelésével csökken a gázok maximális nyomásának értéke. Az olvadék szilárd fázisaránya jelentősen befolyásolja a maggáz megjelenési formáját. 680 °C-os öntési hőmérséklet esetén a magot körülvevő olvadéknak már jelentősen nagy a szilárd fázisaránya (32%), aminek köszönhetően a magban nagy nyomás alakulhat ki (3,171 mbar). Amennyiben a maggáz eléri a kritikus nyomást, összefüggő gázhólyag formájában képes betörni az olvadéka. 780 °C-os öntési hőmérséklet esetén az olvadék szilárd



■ 7. ábra. A 680 °C-on és a 780 °C-on öntött darabok bináris képei (fekete: porozitás, fehér: alumínium)



■ 8. ábra. Az öntvény töretfelületén található gázhólyagok (felülről lefelé haladva 680-730-780 °C-on öntött darabokban)

fázisaránya csekély (0,2%), így a maggázok, ha legyőzik a határfelületi összehúzó erőt, akadálytalanul az olvadékba áramolhatnak kicsi, diszperz gázhólyagokat eredményezve.

### Köszönetnyilvánítás

A CT-vizsgálatok a Miskolci Egyetem 3D Finomszerkezet vizsgálólaboratóriumában található, YXLON FF35 típusú berendezés segítségével készültek. A SEM-felvételeket a Thermo Scientific Helios G4 PFIB CXe berendezés segítségével Kovács Árpád készítette. A szilárd fázisarány meghatározását a Thermo-Calc (verziószáma: 4.1.0.4995 és a SSOL5 (SGTE General Alloy Solution Database, v 5.0)) program segítségével Végh Ádám készítette.

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

### Irodalom

- [1] L. Winardi, H. E. Littleton, C. E. Bates: Pressures in Sand Cores, AFS Transactions, 2007. vol.115., Paper 07-062(04).pdf, 303–312.
- [2] Y. Maeda, H. Nomura, Y. Otsuka, H. Tomishige, Y. Mori: Numerical simulation of gas flow through sand core. Int. J. Cast Metals Res., 2002, 15, 441–444.
- [3] Laurentiu Nastac, Shian Jia, Mihaela N. Nastac & Robert Wood: Numerical modeling of the gas evolution in furan binder-silica sand mold castings – International Journal of Cast Metals Research VOL. 29. NO. 4, 2016, 194–201.
- [4] Hassan Khawaja: Semi-implicit method for pressure-linked equations (SIMPLE) solution in MATLAB – Int. Jnl. of Multiphysics Volume 12 Number 4, 2018, 313–325.
- [5] A. J. Starobin and C. W. Hirt: FLOW-3D Core Gas Model: Binder Gas Generation and Transport in Sand Cores and Molds – Flow Science Report 04-14, 2014
- [6] John Campbell: Complete Casting Handbook – 10.5. Rule 5: 'Avoid core blows' 635–659.
- [7] Kaptay György: Határfelületi jelenségek a fém-anyaggyártásban. 1. rész. A határfelületi erők osztályozása, BKL Kohászat 142. évfolyam, 3. szám, 2009, 39–46.
- [8] S. Ravi, J. Thiel: New Method for Measuring Gas Evolution in Chemically Bonded Sands AFS Transactions, 2016
- [9] J. Mocek, A. Chojecki: Evolution of the gas atmosphere during filling the sand mould with iron alloys. Archives of Foundry Eng. 9, 2009, nr 4 pp 135–140.
- [10] H. W. Diert, A. L. Graham, R. M. Praski: Gas evolution in foundry materials. Its source and Measurement. AFS Trans. 1976, 55, pp 221–228.
- [11] J. Orlenius, U. Gotthardsson, A. Diószegi: Mould and Core Gas Evolution in Grey Iron Castings, International Journal of Cast Metals Research 2008.
- [12] W. D. Scott, P. A. Goodman, R. W. Monroe: Gas generation at the Mold-Metal Interface, AFS Transaction 78-150, 1978, 599–610.
- [13] IKO-Erbslöh, Jörg Baier, Martin Köpper: Manual of Casting Defects, Incidence and avoidance of defects attributable to moulding sands, 1994., p. 51–55.
- [14] Tóth L.: Gázfejlődés az öntödei formázó és maghomok keverékekben. A bentonitos formázókeverékek aktív bentonit és víztartalmának összefüggése a plaszticitással és a repedési szilárdsággal, PhD-disszertáció, ME Öntészeti Intézet, Miskolc, 1997.
- [15] A. Chojecki, J. Mocek: Gas pressure in sand mould poured with cast iron, Archives of Foundry Engineering Volume 11, Issue, 1/2011, 9–14.
- [16] S. Ravi, J. Thiel: Prediction of Core Gas Pressure from Chemically Bonded Sand Molds Using Process Simulation Software, AFS Transactions, Paper 17-097 v125 –2017, Page 1 of 8



# Cementmentes monolitikus tűzálló anyagok a Busch-Hungária Kft. öntöde üstjeiben

A cikk bemutatja a cementmentes tűzálló anyagok kötésmechanizmusát, fizikai és kémiai tulajdonságait, valamint a gyakorlati alkalmazás előnyeit és hátrányait az öntödei üstök esetében.

## Bevezetés

A tűzálló anyagok komplikált rendszerek. A formázatlan (monolitikus) tűzálló anyagok fizikai-kémiai tulajdonságai a kötőanyag függvényében, a hőmérséklet hatására folyamatosan változnak. A monolitikus tűzálló anyagok a különböző kötőanyagok alkalmazása alapján az 1. ábra szerint csoportosíthatók.

Az ASTM besorolása [1] alapján:

- Low Cement (CaO tartalom 1,0% – 2,5%)
- Ultra-Low Cement (CaO tartalom 0,2% – 1,0%)
- No Cement Castables (CaO tartalom 0,2%-ig)

Ezek közül a nagy alumínium-oxid alapú hidraulikus kötőanyagok a legelterjedtebbek.

A hidraulikus kötésű betonok fejlődése során a különböző adalékanyagok alkalmazása – mint például a pelyhesítő anyagok, a polimer szálak – javította a mechanikai, tűzállósági, szilárdságtani tulajdonságokat és a hőlékésállóságot az alkalmazási hőmérsékleten. Más fejlesztések lehetővé tették a hidraulikus kötésű anyagok bedolgozását különböző technikákkal (szórás, vibrálás, szivattyúzás)

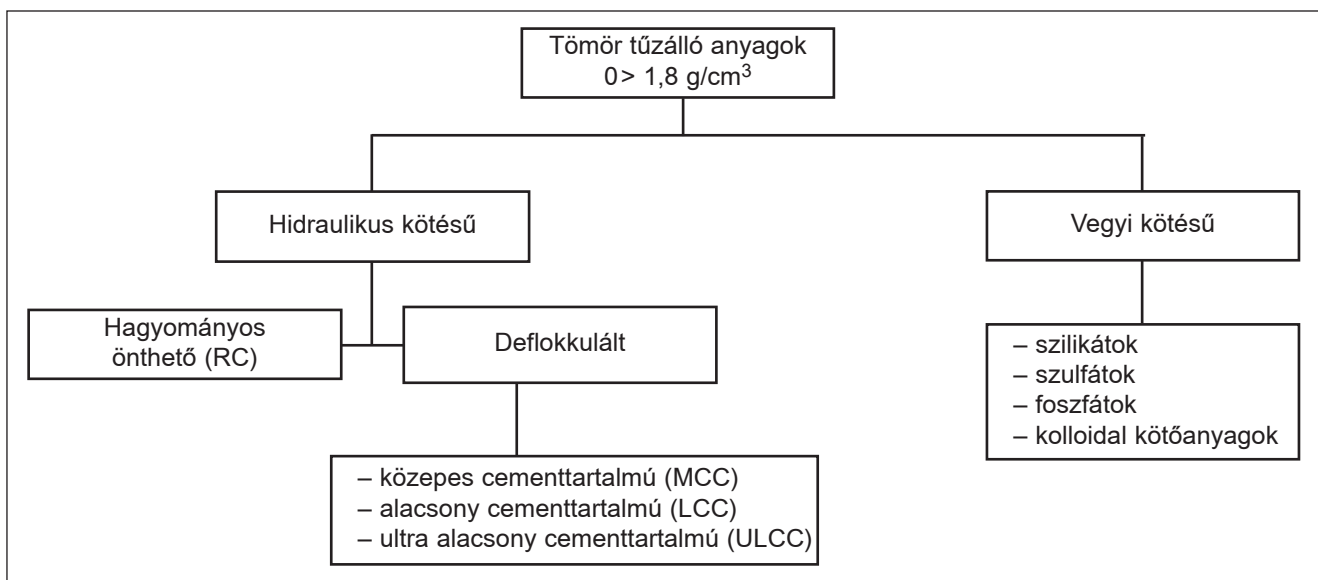
anélkül, hogy rontották volna a továbbfejlesztett jellemzőket. A fejlesztések a cementmentes tűzálló anyagok esetében napjainkban értek el olyan szintet, hogy ezen anyagok alkalmazása a gyakorlatban is egyre inkább teret nyer.

A különböző típusú kémiai kötőanyagok ma már helyettesíthetik a cementeket, az alábbi előnyöket biztosítva:

- a mikroszerkezet fokozott permeabilitását (a kiszáradás során a víz gyorsabban és biztonságosabban szabadul fel),
- a jobb hőlékésállóságot,
- a kisebb porozitást,
- a stabil mechanikai tulajdonságokat a teljes alkalmazhatósági hőmérséklet-tartományban.

## Kötési és mechanikai tulajdonságok

A hidraulikusan kötött tűzálló anyagokban használt nagy alumínium-oxid-tartalmú cement (HAC) vízzel érintkezve hidrátokat képez. Ezek a hidrátok mikrostruktúrájukban a vizet különböző formában tartalmazzák. A keletkező vegyületek szilárdsága fokozatosan növekszik, ahogy a hidratációs reakció előrehalad (hidraulikus kötés).



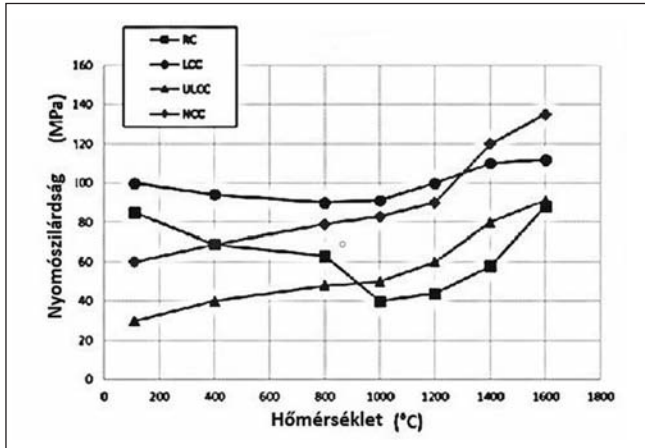
■ 1. ábra. A nem formázott, tömör tűzálló anyagok csoportosítása: RC (reguar castable) – hagyományos, MCC (medium cement castable) – közepes cementtartalmú, LCC (low cement castable) – alacsony cementtartalmú, ULCC (ultra low cement castable) – ultra alacsony cementtartalmú, NCC (no cement castable) – cementmentes

**Sziklavári István** 2016-ban anyagmérnök diplomát szerzett a Miskolci Egyetemen. 2018 óta a Busch-Hungária Kft. olvasztóüzemének vezetője.

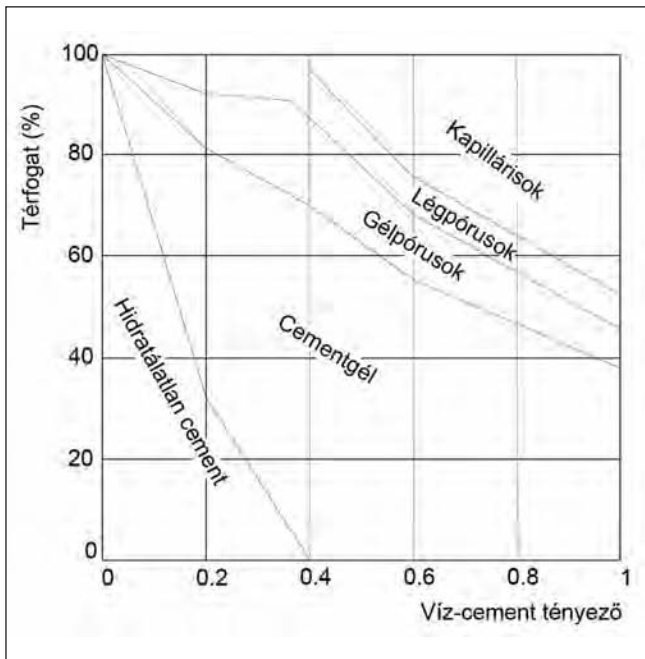
**Luca Folco** 2004-ben a Genovai Egyetemen vegyipari diplomát szerzett a fizikai-kémia és a kerámiaanyagok területén. A Seven Refractories Slovenia vállalatnál osztályvezetőként dolgozik.

**Kránicz Flórián** 1983-ban a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen kohómérnöki diplomát szerzett. Jelenleg a Grafitech Kft.-nél dolgozik.

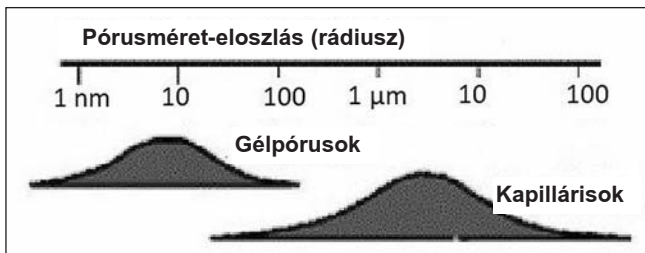
A hidraulikusan kötött monolit tűzálló anyagok kötési rendszere ideiglenes, hőmérséklet függő. A hevítés során a hidrátok átalakulása a mechanikai szilárdság csökkenését vonja maga után, a magas hőmérsékleten létrejövő keramikus kötés kialakulásáig. A kis szilárdság az RC típus egyik ismert alkalmazási határa a közepes hőmérsékleti tartományban. Az LCC és az ULCC termékek fejlesztése során alkalmazott technológiai módosítások – mint például a fajlagos szemcseméret-eloszlás



■ 2. ábra. Hideg nyomószilárdság a felfűtési hőmérséklet függvényében, különféle kötési móddal készült tabular alumíniumbetonok esetén [7]



■ 3. ábra. A víz-cement tényező hatása a cementkő összetételére



■ 4. ábra. A gélpórusok és a kapillárisok jellemző méreteloszlása

javítása, a deflokkuláló szerek alkalmazása és a cementtartalom csökkentése – hatásosan enyhítették ezt a problémát.

A koloid kötőanyagokkal rendelkező cementmentes (NCC) kötőanyag lehetővé teszi a cement elhagyását a keverékből, ezért sem hidrátok, sem kristályvíz nem keletkezik. A kötési mechanizmus egy – a határfelületeken létrejövő – „szol” előzetes képződésén alapul. A szárítás vagy a kifűtés során nem semmisül meg semmilyen ideiglenes kötés, a kötési szilárdság folyamatosan növekszik. Ennek eredményeképpen az NCC tűzálló termékek szilárdsága jóval stabilabb minden hőmérsékleti tartományban a hidraulikusan kötött tűzálló anyagokhoz képest (2. ábra).

### Porozitás-permeabilitás-kifűtés

A hidrátkötés során létrejövő cementkő jellemző összetétele a 3. ábrán látható. A cementkő térfogatának egy részét a különböző típusú pórusok teszik ki.

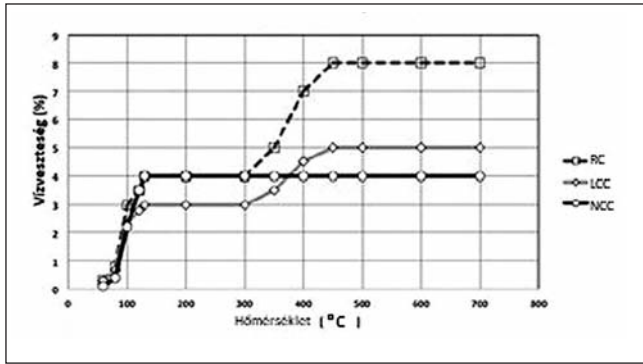
A porozitás (4. ábra) a szilárduló vagy megszilárdult beton térfogategységében lévő folytonossági hiány, mely létrejöhet kapillárisok, légbuborékok és légzárványok formájában.

Az alábbi pórusok a legjellemzőbbek.

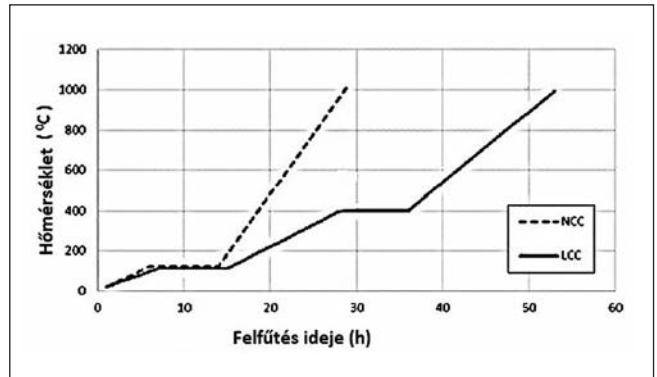
**Gélpórusok:** A cementgélben lévő és a mikrokristályos hidráttermék közti tér, amely a cement és a víz reakciója során jön létre. A gélpórusok átmérője 1-10 nm közötti.

**Kapillárisok:** A kémiai vízigényen felül adagolt víz elpárolgása után keletkező hajszálcsövek rendszere. A kapillárisok átmérője 1-10 μm közötti.

A hidraulikus kötésű tűzálló anyagok – különösen az LCC és az ULCC – sűrűsége nagy, gázáteresztő képessége csekély. A kötési mechanizmus során kialakuló nagy sűrűségű, kristályvíz tartalmú hidrátok tömítőanyagként viselkednek a felfűtés során. Ezért, ha a felfűtés sebessége miatt több vízgőz képződik, mint amennyi a pórusokon keresztül el tud távozni, és a gőznyomás meghaladja az tűzálló anyag aktuális szilárdsági értékét, robbanás következhet be [2]. Földgázzal történő felfűtés során a füstgázban vízgőz található, a metán égése miatt. A falazatban lévő szabad és kötött vizekből származó vízgőz az alacsonyabb parciális nyomású területek, azaz a kemence fegyverzete felé áramlik. Ha a fegyverzeten nem tud keresztüljutni, és parciális nyomása nagyobb lesz, mint a füstgázban lévő vízgőz parciális nyomása, a falazaton keresztül megindul az áramlás vissza a kemencétér felé. Jellemzően a 450-550 °C körüli térhőmérséklet a legveszélyesebb. A víz gyorsabb és biztonságosabb eltávozása céljából polimerszálakat adagolnak a hidraulikusan kötött anyagokhoz, melyek kiszáradás közben, majd a hevítés hatására összezsugorodnak, megolvadnak, mikropórus hálózatot hagyva maguk után, ahol a víz, illetve vízgőz eltávozhat, csökkentve a gőznyomást. A polimer szálak javítják, megkönnyítik az ilyen jellegű tűzálló anyagok kifűtését. Nagyobb hatásuk csak azután érzékelhető, ha összezsugorodnak és megolvadnak, vagyis miután a hőmérséklet meghaladja a 120 °C-ot [4], [5]. A koloid kötődésű NCC talán legfontosabb jellemzője a nagy gázáteresztő képesség [3], [4], [6]. **Bedolgozás**



■ 5. ábra. A vízvesztés mértéke a melegítés során, alumínium-oxidból készült normál (RC), kis cementtartalmú (LCC) és cement nélküli betonok (NCC) esetén [7]



■ 6. ábra. Javasolt felfűtési görbék 230 mm vastagságú NCC, illetve LCC típusú anyagokra [7]

során víz vagy az adalékanyagokkal, vagy keverővíz formájában juthat be a falazatba. Egyes monolitikus anyagok esetén a gyártók megengedik a kedvezőbb bedolgozhatóság miatt a folyékony kötőanyag mellett keverővíz adagolását is. A felfűtés során nagyon kevés víz marad a tűzálló anyagban 100 °C felett, mivel a kötési rendszer nem tartalmaz vizet.

Ez a sajátos viselkedés jól látható az 5. ábrán, amely három különböző kötésű alumínium-oxidból készült anyagra vonatkozik.

A kevés víz és a nagy gázáteresztő képesség miatt csökkennek azok a veszélyek, melyek a hidraulikusan kötött anyagok felfűtése során alakulhatnak ki, és a felfűtés időtartama is lerövidül. Ennek illusztrálására a 6. ábrán az NCC anyag javasolt felfűtési görbéjét hasonlítjuk össze egy hagyományos LCC anyag felfűtési görbéjével

### Gyakorlati alkalmazás

Az öntődei üstök alkalmazása során fellépő igénybevétel az egyik legkeményebb igénybevételi forma a tűzálló anyagok számára. Nem könnyű olyan tűzálló belés kialakítása, mely egyszerre rendelkezik kiváló ellenálló képességgel a következő hatásokkal szemben:

- hő,
- mechanikai igénybevétel (erózió),
- kémiai igénybevétel (korrózió).

#### 1. táblázat. Beépítési módok

Megnevezés	Tégla falazatok	Monolitikus falazatok	Monoform idomok
Beépítés hatása az anyagminőségre	Kevésbé érzékeny	Érzékeny	Kevésbé érzékeny
Bedolgozáshoz szükséges szakértelem	Magas szak tudás szükséges	Alacsonyabb szak tudás szükséges	Nem igényel
Sablonozás beépítéskor	Esetenként szükséges	Esetek többségében szükséges	Nem szükséges
Bedolgozás időigénye	Időigényes	Kevésbé időigényes	Alacsony
Felfűtési / Száritási idő	Gyors	Lassú	Gyors
Rugalmasság	Gyenge	Kiváló	Rugalmatlan
Tárolhatósági idő	Hosszú	Alacsony	Hosszú
Raktárkészlet költsége	Magas	Alacsony	Közepes
Falazat anyagköltsége	Alacsony	Közepes	Magas

Ezek mellett ugyanakkor könnyen beépíthető, kifűthető, karbantartható és gazdaságos működést biztosít.

Üstök esetében gyakorlatilag három különböző beépítési mód közül választhatunk:

- téglás (rég, jól ismert),
- monolitikus (döngölt, öntött, szórt)
  - döngölt – 1914 Plibrico
  - öntött – 1932 La Farge-aluminát cement 1908
  - szórt – 1984 TAKASHIMA patent,
- monoform – napjainkban.

A beépítési módok kiválasztásához az 1. táblázat ad segítséget. A kiválasztás szempontjai igen egyszerűek. Az a legjobb, amelyik az adott technológiai környezetnek és szabályozásoknak megfelel és költséghatékony.

A monolit tűzálló anyagokból készült szerkezeteket általában a bedolgozás helyszínén kell az alkalmazott anyagok és a kialakított falszerkezet ismeretében, szabályozott körülmények között kiszáritani és kiegészíteni a használatbavételük előtt, az idő előtti meghibásodások elkerülése érdekében. Többek között ez a feltétel teszi nehezsévé a hagyományos hidraulikus kötésű anyagok üzembevételét.

### Elméleti tudás használata a gyakorlati életben

Egy-két érdekes adat:

RC anyagok vízszükséglete: ~ 10-12% m/m

LCC anyagok vízszükséglete: ~ 6-8% m/m

ULCC anyagok vízszükséglete: ~ 4-6% m/m

Általában a vízmennyiség fele a hidrátkötések kialakulásához, a másik fele a bedolgozhatóság miatt szükséges. Ennek a vízmennyiségnek kell eltávoznia a szárítás és a felfűtés alatt.

Ha utánaszámolunk, 1 kg vízből képződött gőz térfogata 125 °C-on ~ 1800 liter.

Ha egy üstbe beépített tűzálló anyag mennyisége 1 t (ami nem is olyan sok, mindössze egy kisebb üst anyagmennyisége), abból ~180 m<sup>3</sup> vízgőz képződik. Ez a mennyiség távozik el a felfűtés alatt a monolitikus anyagból, ha RC tűzálló anyagról beszélünk.

A bedolgozáshoz olyan keverőgép szükséges, mely képes megkeverni a javasolt vízmennyiséggel is a monolitikus anyagot. A megfelelő folyósság eléréséhez adagolt többlet víz drasztikusan rontja a szilárdságot és feleslegesen növeli a nagyméretű kapilláris pórusok mennyiségét, ahová az olvadt fém és salak képes behatolni, elősegítve ezzel a korróziós folyamatokat és a tűzálló bélés idő előtti tönkremenetelét.

### A jó anyagválasztás hatása a Busch-Hungária Kft. üstjeinek esetén

A tűzálló anyagok költségei az öntödék működési költségeit tekintve, annak mindössze 2-5%-át teszik ki (7. ábra). Mégis ezek az anyagok azok, melyek döntően befolyásolják az energiafogyasztási, a karbantartási és a bérköltségeket. Jó anyagválasztással ezek a költségek jelentősen csökkenthetők.

### Bedolgozási tapasztalatok

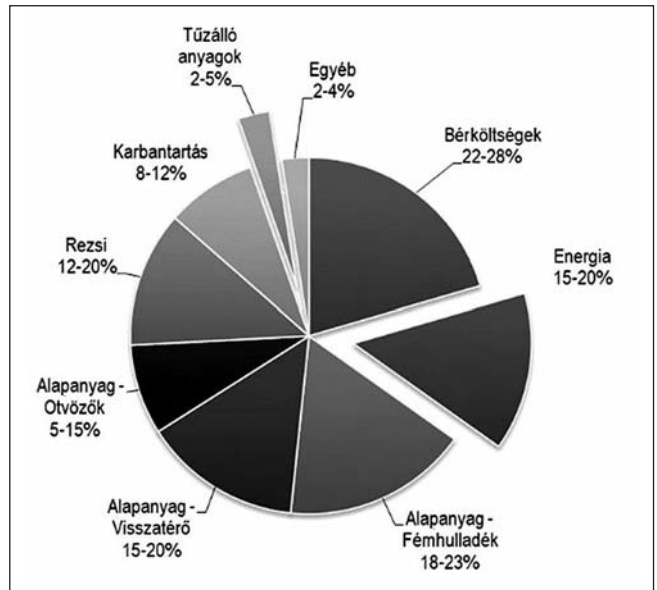
Busch-Hungária Kft. esetében az üstök bonyolultabb alsó geometriai részén a megfelelő plaszticitás, bedolgozhatóság elérése érdekében a folyékony kötőanyag javasolt mennyiségének felső részarányával, míg az egyszerűen bedolgozható helyeken az alsó részarány használatával érték el a legjobb eredményeket. Mindezek mellett előnyként jelentkezett a könnyű salaktalanítás.

A megoldás hátránya, hogy nehéz a bontás, kb. 600 adag után bedagad az anyag, és néhány centiméterrel kiemelkedik az üstpáncélból.

Az anyagok korrekt bedolgozásával az üstök falzatának élettartamát 300 adagról sikerült 800-1000 adagra emelni.

### Összefoglalás

Az utóbbi évek fejlesztési munkáinak köszönhetően egyre több felhasználási területen alkalmazhatók eredményesen a vegyi kötésű monolitikus tűzálló anyagok.



7. ábra. Öntödék működési költségeinek megoszlása

#### Előnyeik:

- kedvezőbb a pórusok mennyisége, mérete,
- könnyebb és gyorsabb a kifűthetőség,
- magasabb szilárdság az üzemi hőmérsékleten,
- kevesebb a fém és a salak penetráció,
- hosszabb az élettartam.

#### Hátrányaik:

- a folyékony kötőanyag fagyra érzékeny, szállítása, tárolása ellenőrzött körülményeket igényel,
- a tárolási idő rövidebb,
- a kezdeti szilárdság alacsonyabb.

A fenti információk ismeretében, a megfelelően kiválasztott cementmentes monolitikus tűzálló anyag gazdaságos üzemeltetést biztosít a felhasználónak.

### Irodalom

- [1] ASTM (C 401-91) Standard Classification of Alumina and Alumina-Silica Castable Refractories
- [2] A. Hiroshi: Journal Tech. Association Refractories, Japan, 2004, 24 (2), 115–119.
- [3] Ismael M.R.: Colloidal silica as a nanostructured binder for refractory castables
- [4] Zetterström, J.-M. Auvray, C. Wöhrmeyer, C. Parr: UNITECR 2015. Enhancement of permeability for a rapid dry-out of refractory castables
- [5] Innocentini M. D. M. et al.: J. Am. Ceram. Soc. 2002 85(8) 2110–2112.
- [6] Braulio M. A. L. et al.: Refractories World Forum, 2011 3(3), 135–141. Colloidal alumina as a novel castable bonding system refractories
- [7] SEVEN Refractories R&D

## ILLÉS ISTVÁN BALÁZS – NAGY SÁNDOR – SZABÓ LAJOS ÁDÁM – KÉKESI TAMÁS

# Ritkaföldfém és színesfém kinyerés lehetősége fehér LED-fényforrás hulladékából

*A világítástechnikában már egyeduralgkodóvá váló fehér LED-fényforrások értékes ritkaföldfém másodnyersanyagok lehetnek megfelelő kinyerő technológia alkalmazásával. Vizsgáltuk a ritkaföldfémeket tartalmazó fényporos világító „magoknak” (fénypor bevonatos LED-chipeknek) a fémes tartó alaphéjtól való elkülönítését híg nátrium-karbonátos és kalcium-hidroxidos oldatokkal. Az elválasztott magokból sósav alkalmazásával kioldhatók a ritkaföldfémek. Továbbá, a LED-egységekből az előbbi lépések után visszamaradó színesfém tartalmú alaphéjainak a hasznosítására is találtunk lehetőséget. Ehhez salétromsavas közegben történő kioldás utáni szelektív precipitációs lépésekből álló hidrometallurgiai eljárást vázoltunk fel.*

### Bevezetés

A világítástechnikai szektor direkt és indirekt úton felelős a klímaváltozást előidéző szén-dioxid-emisszió közel 5%-áért [1]. A nemzetközi energiaügynökség javaslatának hatására a világ számos országában a hagyományos volfrám izzószálát alkalmazó – nem kellően energiatékony – égők árusítása fokozatosan megszűnik, sőt számos országban már teljes mértékben betiltott a használatuk [2]. A LED- (Light Emitting Diode) technológia alkalmazásával az energiafelhasználás jelentősen csökkenthető, mivel az azonos fényerejű LED-ek 80%-kal kevesebb energiafogyasztással és 25-szörös élettartalommal rendelkeznek az izzószálalás fényforrásokhoz képest [3]. További előnyük, hogy a világító mag kis mérete miatt a kialakításuk formája tág határok között változhat. Továbbá, dióda alapú fénykibocsátás esetében nincs jelentős hővesztéssel járó infravörös kisugárzás, sőt a LED-égők jobban bírják a melegeledést, a hősokkot, valamint a mechanikai rázkódást. Ezért becslések szerint 2025-re a teljes világítástechnikai piac 95%-át a LED-égők fogják kitenni [4].

A hagyományos fehér fény előállításához egy InGaN félvezető réteget tartalmazó zafír alapú chipet alkalmaznak, ami (440–470 nm hullámhosszú) kék fényt bocsát ki, és ezt burkolják egy szilikagélyszerű mátrixba kevert cérium (Ce) és európium (Eu) ionokkal dópolt ittrium-alumíni-

um garnet (YAG:Me<sup>3+</sup>) fényporanyaggal. A dópoló „aktivátorok” képesek a megfelelő hullámhosszú látható fény kibocsátásra a LED-chipből érkező sugárzás elnyelése után [5]. Az aktivátor kationok (Eu<sup>3+</sup>, Ce<sup>3+</sup>) az alap kerámiaanyagban néhány kationt helyettesítve épülnek be. Ugyan sok olyan ion létezik, amelyek a garnetrácsba ágyazva képesek lennének foszforeszcenciára, a ritkaföldfémek a legmegfelelebbek, ugyanis a sűrű elektron-szerkezetüknek köszönhetően az egyes energiaszintek közötti átmenetek hatására létrejövő fénysugárzás keskeny vonalas emissziós színképet eredményez. A legelterjedtebb fehér fényű LED-egységben a ritkafémek mennyisége csekély: 1 mm<sup>2</sup> nagyságú világító felületre számítva ~3 µg Ce vagy Eu fémet tartalmaz. Az Y – különleges esetekben a Lu, vagy a Gd – nagyobb (90–200 µg) mennyiségben fordul elő, mivel ezek a fénypor alapmátrixát képezik [6]. A primer fényt adó LED-chipben alapvető alkotó a Ga, ami darabonként általában 17–25 µg mennyiségben, mellette az In pedig ~28 µg mennyiségben található meg. Az áram vezetésére használt arany mennyisége ~200 µg [6]. Noha a ritka- és a nemesfémek kis mennyiségben vannak jelen, kinyerésük mégis fontos szempont lehet, hiszen a változatos ásványi mátrixba keveredett geológiai előfordulásuk kedvezőtlen [7]. Ezek egyben az Európai Unió kritikus elemek listáján szerepelnek, hiszen az igényeknek hosszabb távon is megfelelő elérhetőségük az egyéb fémekhez kötött primer for-

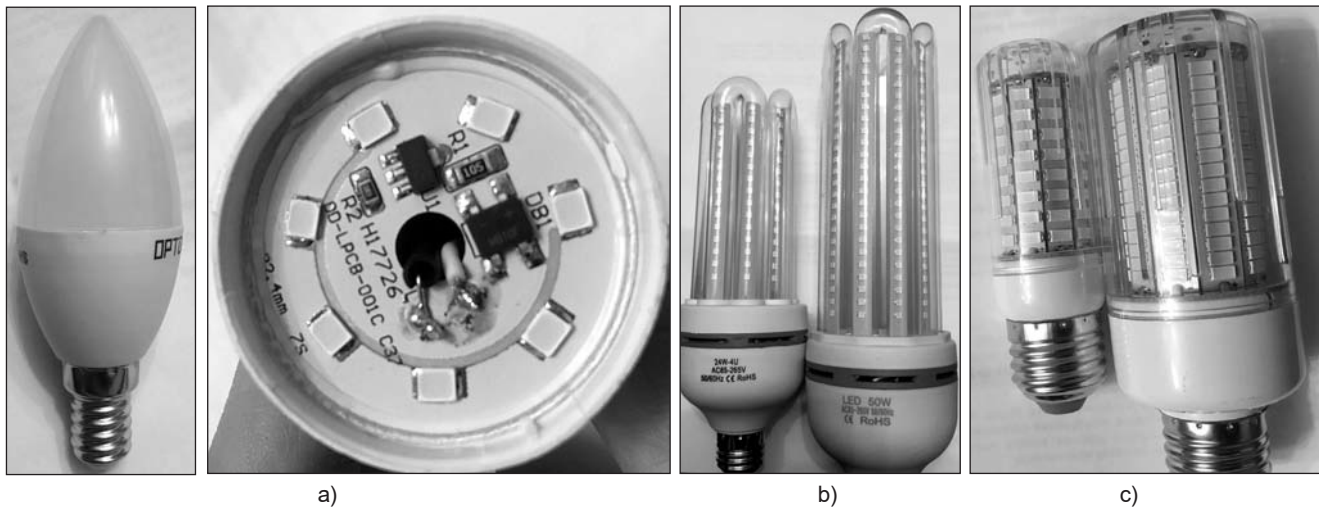
**Szabó Lajos Ádám** a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán szerzett anyagmérnöki BSc-oklevelet kémiai metallurgiai és felülettechnikai szakirányon. Jelenleg az MSc-képzést a kémiai fémtechnológiai szakirányon folytatja. Gyakornoki munkakörben alkalmazásban áll az Ózdi Acélműveknél.

**Illés István Balázs** a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán szerzett anyagmérnöki BSc-oklevelet a kémiai metallurgiai és felülettechnikai szakirányon. Hallgatóként aktív kutatómunkát végzett tudományos segédmunkatársi megbízással a Műszaki Anyagtudományi Karon.

**Nagy Sándor Márton** PhD, egyetemi docens. A Miskolci Egye-

tem Műszaki Földtudományi Karán a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet igazgatója. Alapvető kutatási területe a fém tartalmú nyersanyagok fizikai előkészítése, dúsítása.

**Kékési Tamás** DSc, egyetemi tanár, a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán a Metallurgiai Intézet korábbi igazgatója. Több doktori fokozata között szerepel az ultranagy tisztaságú fém előállítása témában Japánban szerzett is. Jelenleg a fémek hidro-elektrometallurgiai kinyerési és tisztítási folyamatai képezik a fő kutatási területét.



■ 1. ábra. Különböző teljesítményű fehér LED-lámpatestek: a) 6 W, b) 24/50 W, c) 60/160 W

rások alapján nem biztosított. A LED-piac gyors ütemben történő növekedése, valamint az élettartam növelését nem feltétlenül célzó fejlesztések miatt nyilvánvaló, hogy az újrahasznosítás a jövőben fontos szempont lesz. A fényporkonverziós LED-eket használó fényforrások szerkezeti felépítése eltérhet, azonban az egyes áramköri elemek gyakorlatilag megegyeznek. Néhány LED-lámpatest látható az 1. ábrán. Míg a LED-egységek az 1a és 1b ábrákon szereplő lámpatestekben műanyag, az 1c ábrán szereplő lámpában pedig több rétegben bevonatolt alumínium alaplemezekre vannak felszerelve.

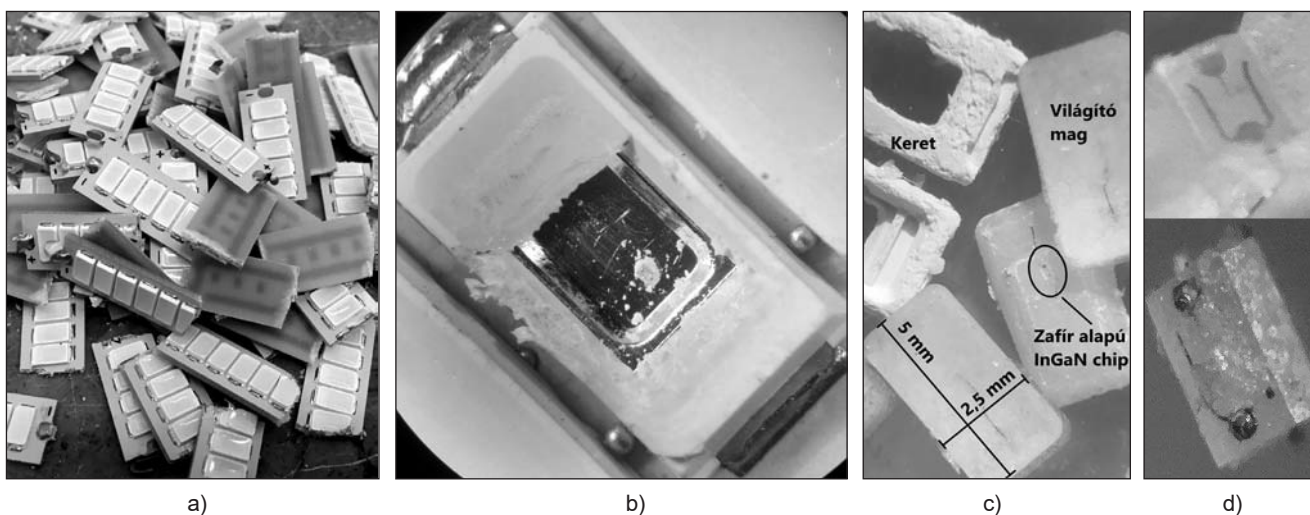
Az alaplemezek egy vékony rézréteg biztosítja a LED-egységek forrasztási pontjaihoz az áram hozzávezetését.

## 2. A feltáró kísérleti eljárás

A fénykibocsátó magban található értékes fémek kinyeréséhez először a lámpatestek kézi megbontására, valamint a LED-egységeket hordozó alaplapok kifejtésére és darabolására van szükség. A vizsgált típusú, nagy fényerejű és a műanyag alaplemezcsíkokon sok LED-egységet tartalmazó lámpatest az 1b ábrán látható. A 2a ábra

mutatja a kivágott alaplemezcsíkokon rögzített LED-egységeket, a 2c ábra felső részében láthatók a lemezek maradt LED-talphéjak, illetve alsó részében az ezekből eltávolított sárga színű fényporos világító magok. A tükörfényes ezüst felület a fény irányítását szolgálja. A LED-egységek két oldala forrasszal létesít fémes kapcsolatot az elektromos töltést szállító rézzel bevont alaplaphoz. Az alaphéjakból mechanikusan kibontott világító magokat sztereo fénymikroszkóppal vizsgáltuk. A 2d ábra mutatja az alaphéj felőli felületét, rajta az InGaN chippel és az arany vezetőekkel.

A 2d ábra méretjelölései szerint a LED-chip körvonala alig néhány tized milliméter méretű. Az optoelektronikai aktív InGaN anyag a chip zafír ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) anyagú hordozó lemezkéjén csupán néhány ezer nanométer vastagságú. A chip alatt található fémes alaphéj egy réz átmeneti réteg felett ezüsttel bevont vastálca. A LED termináljaihoz aranydrótok vezetik a feszültséget. Az egyik oldal az alaphéjon keresztül, a másik pedig közvetlenül kapcsolódik az alaplaphoz. Az opálosan áttetsző zafír hordozón csak az elektródok vezető szálai és a forrasz rajzolódott ki, míg a félvezető rétegek nem láthatók a sztereo mikroszkóppal.



■ 2. ábra. A LED-egységek a kivágott alaplemezcsíkokon (a), az alaphéjből félig kivágott világító YAG-mag (b), a mag alsó felülete és a nemfémes befoglaló keret (c), a fényt kibocsátó zafír alapú InGaN LED-chip felül- és oldalnézetei (d)

## 2.1. Feltáró oldás

A LED-egységek kioldható fémtartalmát oxidáló, illetve komplexképző hatást is adó erős ásványi savakkal vizsgáltuk. A fémes alaphéj oldódása egyúttal – a keverés mechanikai és az oldó közeg kémiai összetett hatásaival – a szilikagél típusú YAG-burkolóanyagba ágyazott LED-chipet tartalmazó mag leválasztását is eredményezheti. A forró, semleges víznek nincs érdemi hatása. Ezzel szemben a királyvíz a folyamatos forralást biztosító hevítés mellett nagymértékben oldja a fémes alaphéjt, így a világító magok elválasztása is megtörténik. Ugyanakkor az egységek polimer-kerámia keretét is erősen roncsolja. Ez megnehezítette a következő vákuumszűrővel kivitelezett szilárd/folyadék elválasztást. Fokozatos hígítással a nemfémes roncsolás mérséklődött, és a 3x-os hígítás esetében az iszapképződés sem lépett fel, valamint a fémes rész oldódása is intenzív maradt. Az oxidáló közegben a forrasanyag Sn-tartalmának jelentős része a  $\text{SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  csapadék formájában kivált. Ez a jelenség akár előnyös is lehet a komplex fémvisszanyerés szelektivitása szempontjából. Azonban az Sn egy része gélesedő kolloid ónsav csapadék formájában visszamarad az oldatban, így egyszerű szűrővel nem lehetett elkülöníteni.

## 2.2. A fényporos világítómag elkülönítése a fémes alaphéjtől

Noha a LED-egységek teljességre törekvő feltáró oldása fontos információt ad az anyag összetételére, a gyakorlat számára nem szükséges az egész LED-egységet oldatba vinni. Az értékes ritkaföldfémek csak a világító magban vannak jelen, így érdemes a magokat a fémes héjtől elsődlegesen elválasztani. Savas közegek ugyan alkalmasak az elválasztásra (90 perces kezelés után kb. 90% mértékben), azonban ezt az alapfémek nagymértékű oldódása kíséri, ami mellett fellép a ritkaföldfémek kioldódása is. A sokkomponensű kevert oldat koncentrációviszonyai pedig nem teszik lehetővé az ilyen nyers oldatokból az értékes alkotók kinyerését. Ezért megvizsgáltuk a világító magoknak a fémhéjából történő eltávolítását lúgos közegekkel is, amelyek az alaplapot és a magot nem roncsolják. A kísérleteket 650 1/min sebességű keverés-

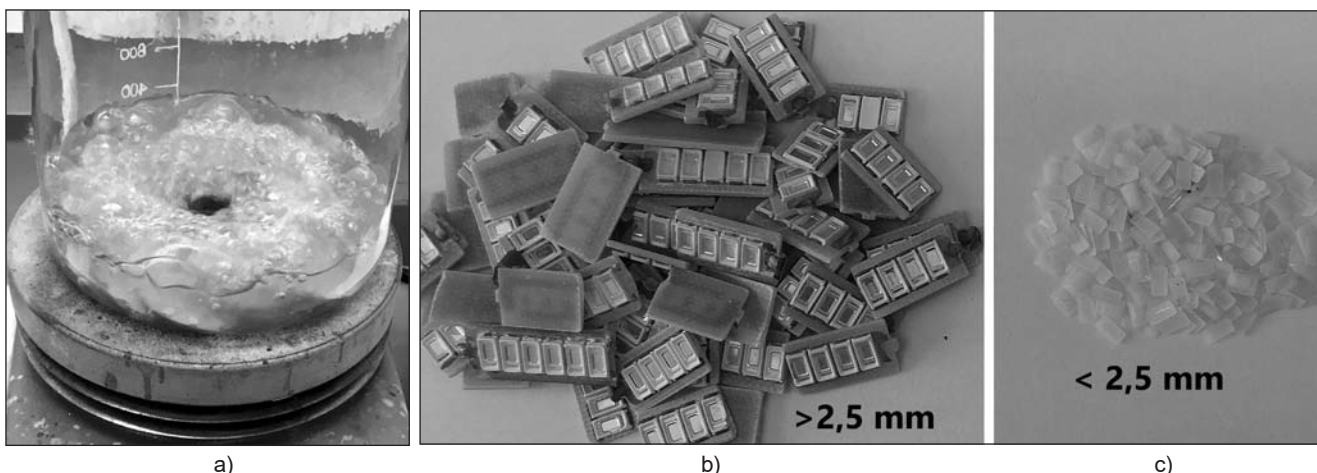
sel és forralva végeztük. Az alkalmazott minta tömegét (~1,5 g), azaz 15 LED-egységet tartalmazó alaplemez darabok képezték, a lúgos oldószer térfogata pedig 25  $\text{cm}^3$  volt. A feltárás után kapott oldatot és maradványt vákuumszűrővel elkülönítettük, majd a szilárd maradványt desztillált vízzel történő mosás után 50 °C-on szárítottuk. A szilikagél alapú YAG-fényporos magok és a nagy fémtartalmú maradvány anyag 2,5 mm-es lyukbőségű szitán egymástól jól elválaszthatók voltak. A kísérleti eljárást és a kapott termékeket a 3. ábra mutatja.

## 3. A feltáró kísérleti eredmények és értékelésük

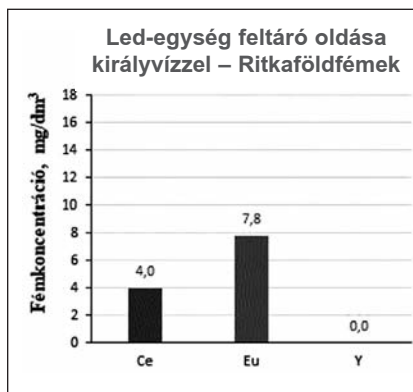
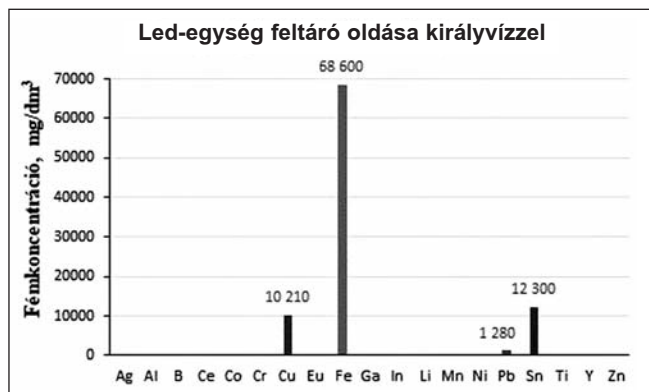
A 2b ábrán látható, réz vezetőréteget is tartalmazó műanyag alaplemez csíkokra rögzített – teljes LED-egységekből álló mintát 1 g/2  $\text{cm}^3$  minta/oldat mennyiségi arány és 350 1/min fordulatszámú mágneses keverés mellett királyvízben forraltuk 2 órán keresztül. Az így kapott oldat elemzése mikrohullámú plazma atomemissziós spektrometriával (MPAES) történt. Az eredményeket a 4. ábra mutatja.

A teljes LED-egység (keret + alaphéj + fényporos mag) királyvízes oldatának elemzése alapján kitűnik, hogy a fémes fázis fő alkotórésze a vas, valamint a két további legnagyobb mennyiségben jelen lévő alkotó, az Sn és a Cu. Az oldat ritkaföldfém tartalma arra enged következtetni, hogy a királyvíz képes behatolni a világító mag anyagába is, ezáltal a ritkafémeket tartalmazó YAG-fényporból is old komponenseket. A 4. ábrán látható összetételű oldat mellett 1,84 g világító mag is elkülönült a mintából. Ezt finomra őröltük kerámiamozsárban. Az őrleményt 40  $\text{cm}^3$  térfogatú királyvízzel kezelve, a kapott oldat jelentős ólomtartalom mellett csak kis koncentrációban tartalmazott euróriumot és ittriumot. A magok Eu- és Ce-tartalma nagyobb részben már a teljes LED-egységek előző királyvízes feltáró kioldásával oldatba ment. Mivel az Eu és Ce csupán dópoló anyag, a mag anyagában kevésbé stabil kötésben van jelen. Az Y, ezzel szemben a garnet-szerkezetben egy stabil kettős oxid alkotója, így nem oldódott ki.

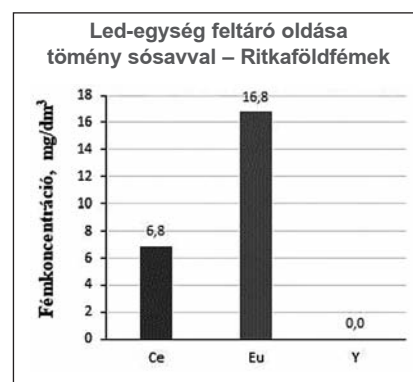
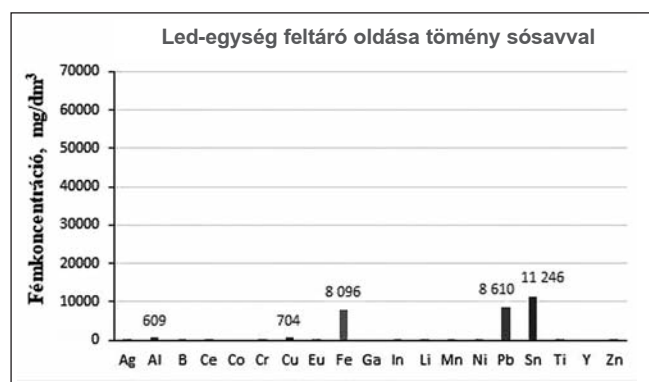
Meglepő a LED-egységek előzetes királyvízes feltárása után leválasztott magok oldatának nagy (~1140  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) Pb-tartalma, ami az Európán kívüli gyártóhelye-



■ 3. ábra. A lúgos feltáró oldás (a) és termékei, a fémes maradvány (b) és a fényporos magok (c)



■ 4. ábra. A LED-egységek forró királyvízes feltárásának analitikai eredményei (20 g LED-egység, 40 ml oldószer)



■ 5. ábra. A LED-egységek forró sósavas feltárásának analitikai eredményei (20 g LED-egység, 0,87g mag 40 ml oldószer)

ken még használt SnPb típusú forrasanyagból ered. Az ólom – illetve ólom-kloro-komplex ionok – a királyvízzel roncsolt világító magba infiltrálódnak. A feltáró oldás utáni vizes mosás közben az ólom kloridos komplexei elbomlanak, így az ólom kloridos csapadékként visszamarad, majd a magok következő királyvízes kezeléskor a friss oldatba kerül. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy az értékes ritkafémeket tartalmazó magok leválasztását célzó feltáró oldás során az oxidáló-savas közeg nem bizonyul megfelelőnek, mivel a maradvány nehézkesen különíthető el, de a savak a világító magba is képesek behatolni, így a ritkaföldfémek az alapfémes mátrixszal együtt oldatba kerülnek. Ez a szelektív kinyerésüket igen megnehezítené.

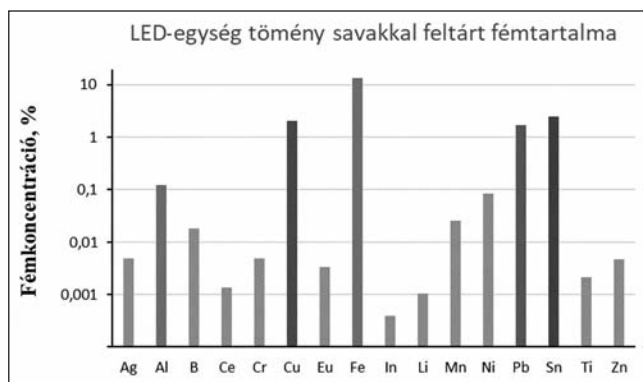
Elhagyva a feltáró oldásnál az erős oxidáló hatást, a világító mag és az azt befoglaló fém alaphéj feltáró oldását forró sósavas közegben is vizsgáltuk. A királyvízes kioldásnak megfelelő módon végrehajtott tömény sósavas oldás eredményeit az 5. ábra mutatja.

A sósavas kioldással szemben a fémes alaphéj ezüst bevonórétege és a réz kötőréteg gátlást okoz. A levegő jelenlétében fellépő oxidáló hatás érdesítette a felületet, így azon a fizikai fényszórás miatt feketedés jelentkezett, de jelentős fémoldódás nem következett be. A sósavas kioldás során a világító magok leválasztása lényegesen lassabb folyamat, mint az oxidáló savas feltárás során volt tapasztalható, azonban a szinte ép állapotú magok szárítás után egyszerű szitálással elválaszthatók a szilárd maradványból.

A forró királyvízes, illetve sósavas feltáró oldások alapján – a nagyobb értékeket véve figyelembe – az alaple-

anyagával szemben mutatott aktivitása miatt kevésbé hatékony. A tiszta víz azonban csak számottevően lassabban képes a magokat kilazítani a fémes alaphéjből. Az eredmények alapján a leghatékonyabb oldószer a  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  telített vizes oldata, amellyel már 60 perc alatt 90-100%-os leválasztási hatások érhető el.

A világító mag leválása függ a LED fizikai állapotától is, amit a használat során az anyagában keletkező hő fokozatosan megváltoztathat. Ezért a használt lámpatestekből származó mintákkal minden kísérletet három párhuzamos sorozatban végeztünk. A  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  kis vízdoldhatósága ( $K_{sp} = 5.5 \times 10^{-6}$ ) csak közepesen lúgos (pH ~12,4) közeg eredményez, valamint a határfelületek közé történő behatolás szempontjából a kisebb viszkozitása is előnyös. Az oldás után kapott (3c ábra) magokat porítottuk, majd

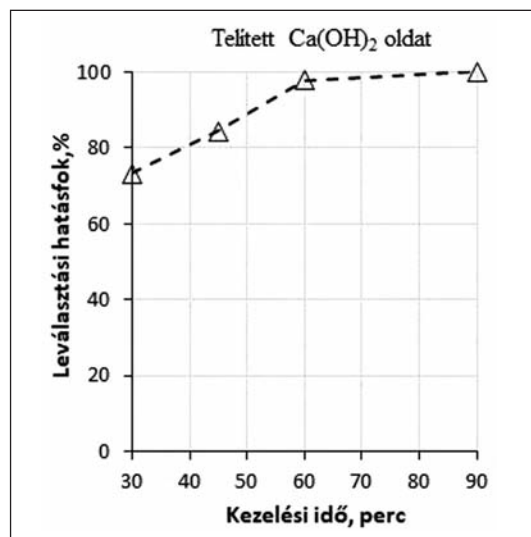
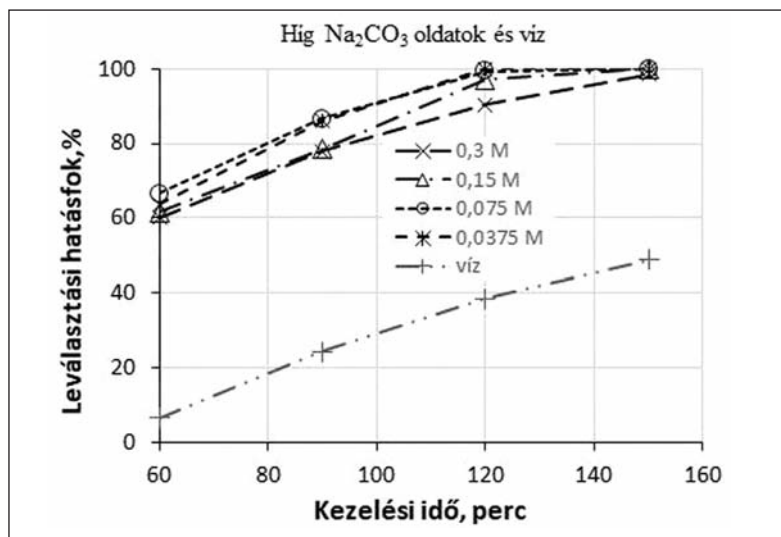


■ 6. ábra. A LED-egységek királyvízes, illetve tömény sósavas feltáró kioldásával kimutatott fémkoncentrációi (2 h, forralva)

mezre szerelt teljes LED-egységek kimutatott fémkoncentrációit a 6. ábra szemlélteti logaritmikus léptékben.

A világító magoknak a fémes alaphéjből való elkülönítésére a legjobb eredményeket az olcsó és gyengén bázikus  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , valamint  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  alkalmazása biztosította. A levált magok számával kifejezhető szeparálási hatásokot a kezelési idő függvényében a 7. ábra mutatja. A  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  oldatok esetében a 0,075 mol/dm<sup>3</sup> koncentráció volt a legelőnyösebb. Ennél töményebb oldat a nagyobb viszkozitása és a mag





a)

b)

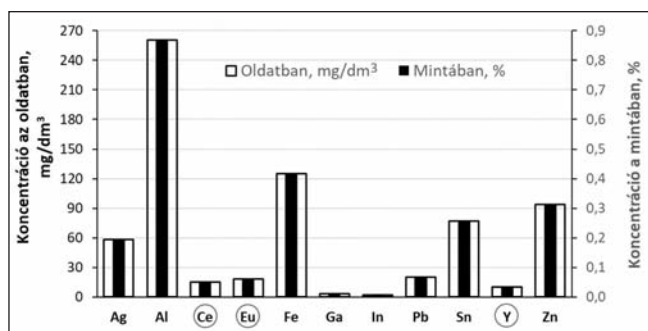
■ 7. ábra. A fényporos magok híg lúgos közegekkel történő leválasztásának hatékonysága a kezelési idő függvényében: a) különböző koncentrációjú Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> oldatok és víz; b) telített Ca(OH)<sub>2</sub> oldat

intenzív keverés mellett 37%-os sósavban forraltuk 2 órán át. A multielemes elemzés eredményét a 8. ábra mutatja. Mivel az alkalmazott oldószer sokszoros feleslegben volt jelen, viszonylag kis koncentrációjú oldatokat kaptunk.

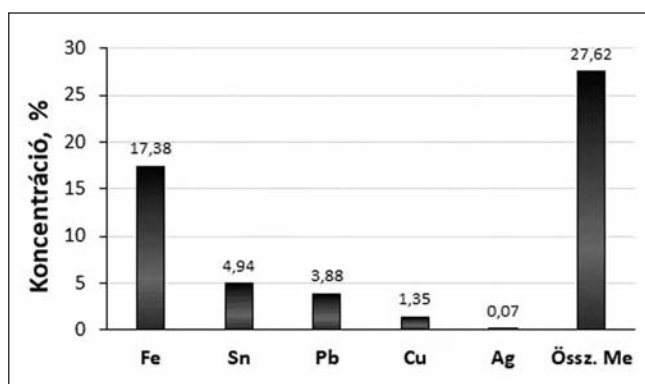
Dúsabb oldat nyerhető kisebb folyadék/szilárd arány mellett, illetve a szűrés után további nyersanyag adagolásával, de az oldatban lévő egyéb szennyező tartalmának az eltávolításáról is gondoskodni kell. Erre a célra a cementálás is jól alkalmazható. Mivel az Al standard potenciálja jelentősen negatív (-1,67 V), a még negatívabb standard-potenciállal rendelkező ritkaföldfémek (< -2,4 V) kivételével képes az összes fémszennyező hatékony cementálására az oldatból. Az alumíniummal szennyezett oldatból a ritkaföldfémek speciális eluáló szerekkel végzett ioncserés kromatográfiával, illetve szelektív reagenseket alkalmazó oldószeres extrakcióval tisztán kinyerhetők [8].

#### 4. A LED-egységek alaphéjának hidrometallurgiai kezelési módszere

A kiszabadított világító magokból a ritkaföldfémek kinyerését a fenti eredmények, valamint nagyobb tömegű mintával végzendő optimalizálás alapján lehet közelíteni. Ugyanakkor, az alaplemezre szerelt LED-egységek összes tömegének csak kb. 5%-át jelentik a magok. Ezek



■ 8. ábra. Az elválasztott YAG fényporos magok tömény sósavas oldatának multielemes analitikai eredményei (1,2 g porított minta, 40 cm<sup>3</sup> forró oldat, 2 h kezelési idő)

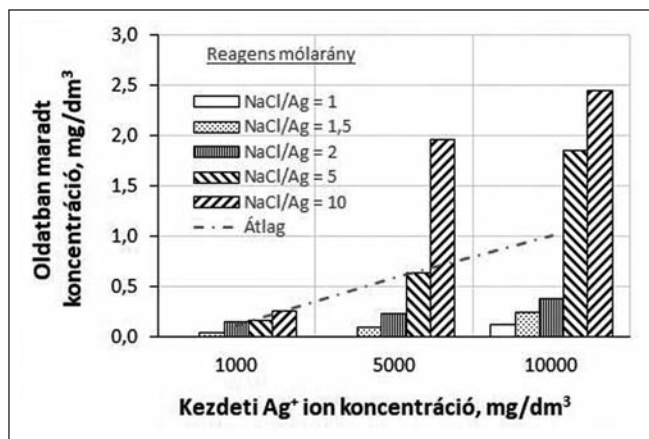


■ 9. ábra. Az alaplemezre szerelt LED-egységekből a világító magok eltávolítása után kapott maradék királyvízzel kioldott fémtartalma (AAS-módszer szerint)

elválasztása után egy viszonylag nagy tömegű, ~27% fémes és egyéb inert nemfémes komponensekből álló összetett maradvány keletkezik. Ennek az összetett fémtartalmát mindenképpen érdemes lehet kinyerni. A fémes alkotók szelektív kinyerésére javasolt hidrometallurgiai módszer fő jellemzőit az alábbiakban foglaljuk össze.

A világító magok elkülönítése után, a 3b ábrán látható maradvány 20 g mintáját 300 dm<sup>3</sup> királyvízben forralva, az eredményeket a 9. ábra mutatja. A feltáró oldások szerint lényeges fémkomponensek koncentrációit ez esetben egyenként elemeztük a pontosabb AAS-technikával.

Ebben a vegyes maradványanyagban a legnagyobb mennyiségben jelenlévő fémkomponens a vas. Ezt követik a gyártóhelyen még használt Pb40Sn60 összetételű ötvözet alkotói. Hosszabb távon azonban egyre inkább ezüsttel és rézzel, vagy egyéb fémekkel is ötvözött forrasztanyagokra lehet számítani, ami a nyersanyag réz-, ezüst- és óntartalmát jelentősen növelni fogja. A színesfémek kinyerése érdekében nemcsak a vas eltávolítása, de az egyes fémek szelektív elkülönítése is szükséges. Az erősen oxidáló salétromsavas közeg alkalmazásával nagymértékben elkerülhető az ón oldódása. A visszamaradó hidrátált SnO<sub>2</sub> csapadék az oldás után szitálással



■ 10. ábra. A nitrátos oldat ezüsttartalmát eltávolító kloridos leválasztás hatékonysága a kezdeti ezüstkoncentráció és a sztöchiometrikus NaCl szükséglethez viszonyított arány függvényében

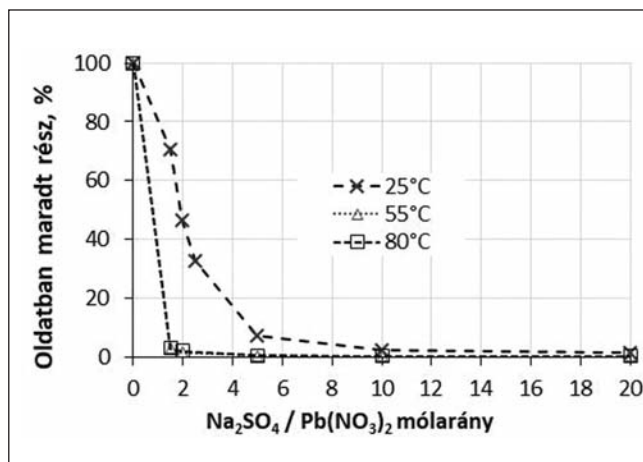
elválasztható a durva darabos nemfémes végmaradványtól. Ezért az oldott fémionok elválasztását salétromsavas modell oldatokkal vizsgáltuk, amelyekben 1–0 g/dm<sup>3</sup> tartományba eső kezdeti Fe, Cu, Pb és Ag koncentrációkat állítottunk be. Első lépésben érdemes az oldott ezüstöt stabil klorid csapadékként eltávolítani NaCl reagens hozzáadásával. Az AgCl képződése gyorsan végbemegy, és az oldatban maradó ezüstkoncentráció kevesebb, mint a kezdeti érték ezred része. Már a szobahőmérsékleten közel sztöchiometrikus mennyiségben adagolt NaCl is képes az oldott ezüsttartalom gyakorlatilag teljes eltávolítására. A NaCl reagens mennyiségének további növelése nem kedvező, amit a 10. ábra szemléltet.

Mivel a NaCl disszociációjából származó és jelentős feleslegbe kerülő kloridionok ezüst-klorokomplex ionok képzésével [9] növelhetik az ezüst-klorid egyébként szinte elhanyagolható oldhatóságát, [10] a nagyobb kloridion koncentráció csökkenti a lecsapás határfokát.

A salétromsavval oldatba került ólom esetében a szulfátos csapadék képzése lehet a szelektív eltávolítás célravezető módszere, valamint ennek során fontos szempont a hőmérséklet megválasztása is. Az ólom kiejtését 25, 55, valamint 80 °C hőmérsékleten és folyamatos 100 fordulat/perc keverési intenzitás mellett vizsgáltuk. A 11. ábrán látható eredmények szerint, a sztöchiometriai igény kétszeresét jelentő Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> adagolás csak felére képes csökkenteni az oldott ólom koncentrációját szobahőmérsékleten, 55 °C hőmérsékleten pedig 98%-os hatékonyság is elérhető. Az oldott ólom mennyiségének a kezdeti érték 1%-a alá való csökkentését a sztöchiometriai igényhez viszonyított ~5-szörös mennyiségű reagensadagolással lehet elérni.

A PbSO<sub>4</sub> csapadék képzését nagyobb hőmérsékleten végezve jelentősen csökken az oldatban maradó ólom koncentrációja, noha az ólom-szulfát oldhatósága a hőmérsékletet 25 °C-ról 80 °C-ra növelve 45 mg/dm<sup>3</sup>-ről másfélszeresére növekszik. Ez a csapadékképző folyamat kinetikai gátlására utal. A végső ólomkoncentrációt az oldhatósági szorzatnak megfelelően kb. 10-szeres Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> felesleg alkalmazásával sikerült lecsökkenteni ~10 mg/dm<sup>3</sup> értékre.

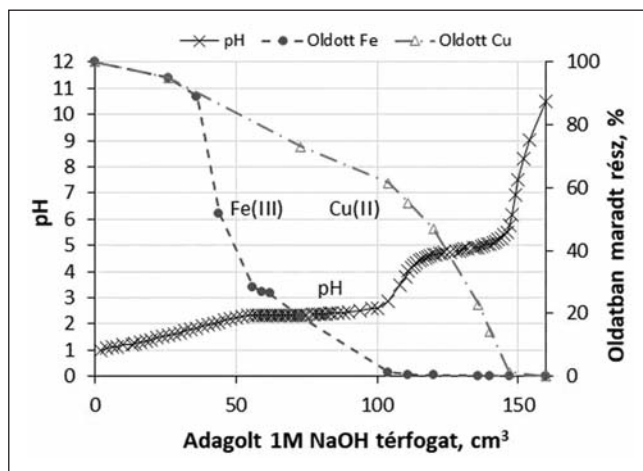
Utolsó oldatkezelési lépésként, a vas és réz egymástól



■ 11. ábra. Az oldatban maradt és a kezdeti (4 g/dm<sup>3</sup>) Pb-koncentráció viszonya a Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> adagolási arány és a hőmérséklet függvényében

történi elkülönítése csak részben valósítható meg szelektív hidrolízissel. A pH irányított emelését fokozatosan adagolt NaOH reagenssel biztosítva, a 12. ábrán látható részleges szelektivitással távozik az oldott vas, illetve a réz, hidroxid csapadékok formájában.

A vas a nitrátos oldatból jól eltávolítható hidroxidos lecsapással, de a kolloid formában keletkező csapadék koaguláltságát biztosítani kell a megfelelő fizikai eltávolítás érdekében. A kísérleteknél koagulációt segítő Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> adalékkal is javítottuk az Fe(OH)<sub>3</sub> csapadék szűrhetőségét. A levegővel érintkezésben stabil Fe(III) ionok hidrolízise során a csapadékszempcsék csíráképződése lokálisan elősegíti a Cu(II) ionok reakcióját is. A nagy felületű Fe(OH)<sub>3</sub> csírákon adszorbeálva, a 12. ábra szerint, az oldott réz kb. 40%-a is távozik, mire az összes vas kicsapódik az oldatból. A szelektivitás ilyen körülmények mellett nem biztosítható megfelelő mértékben. Azonban a réztartalom 60-70%-a még az oldatban maradt a vas teljes eltávolítása után is, így ez a hányad – szűrést követően – a pH-t tovább emelve tisztán kinyerhető. A vasas csapadékba kerülő Cu-tartalom pedig a rézre szelektív ammóniás oldószerrel onnan utólag kioldható. Mivel a réz-amin-komplex állapotban való stabilitásának feltétele a lúgos közeg, így egyszerű forralással az ammóniát eltá-



■ 12. ábra. A pH és az oldatban maradt Fe(III) és Cu(II) koncentrációk változása az adagolt NaOH mennyiségének a függvényében

volvítva az oldatból tiszta  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  válik ki, az ammónia pedig vízben elnyelve visszajártható.

A réz eltávolítására azonban alternatív megoldásokat is érdemes lehet a továbbiakban megvizsgálni. Az anioncserés elválasztás [11] is felmerülhet gyakorlati lehetőségként, de itt könnyebben megvalósítható a réz cementálása még a vas eltávolítása előtt. Ennek során tiszta vaslemezt kell mártani az oldatba intenzív keverés mellett, ami az oldott rézet a felületén elemi állapotban leválasztja egy gyors kontaktredukciós folyamatban [12], miközben csak a kis réztartalomnak megfelelő mennyiségű vas kerül az oldatba. A szintén megvizsgált cementálási reakcióhoz még szobahőmérsékleten is csak kb. 10 perc érintkezési idő volt szükséges. A laza szivacs, illetve por formában kapott réz pedig a bemeztett vaslemez felületéről mechanikusan leválasztható.

A fémionok – minél szelektívebb – eltávolítása után visszamaradó  $\text{NaNO}_3$  és  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  oldatból bepárlással a só kinyerhető és egyéb célokra hasznosítható.

### Köszönetnyilvánítás

A munkát az NKFIH „Tématerületi Kiválósági Program 2019” projektje támogatta. A szerzők köszönetüket fejezik ki dr. Tóth Mártonnak, a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézete egyetemi adjunktusának a multieleemes MPAES elemzések elvégzéséért.

### Irodalom

- [1] alliedmarketresearch, „alliedmarketresearch,” [Online]. Available: <https://www.alliedmarketresearch.com/industrial-commercial-led-lighting-market>. [Hozzáférés dátuma: 11 7 2020].
- [2] „easy-lightbulbs,” [Online]. Available: <https://www.easy-lightbulbs.com/lighting-guides/phase-out-of-incandescent-bulbs/>.
- [3] energy.gov, „energy.gov,” [Online]. Available: <https://www.energy.gov/energysaver/save-electricity-and-fuel/lighting-choices-save-you-money/how-energy-efficient-light>
- [4] civitta, „civitta,” [Online]. Available: <https://civitta.com/articles/top-trends-in-the-lighting-industry>.
- [5] J. Lucas, T. L. Mercier, P. Lucas és A. Rollat: „Applications of Rare Earth Luminescent Materials”, in Rare Earth: Science, Technology, Production and Use, Elsevier, 2015, pp. 281–318.
- [6] K. Anish, Inamuddin and A. M. Abdullah: E-waste Recycling and Management, Springer, 2020.
- [7] T. Kékesi: A kémiai metallurgia alapjai, Miskolc: Miskolci Egyetem, 2018.
- [8] F. Habashi: “Extractive metallurgy of rare earths”, Canadian Metallurgical Quarterly, vol. 52, pp. 224–233, 2013.
- [9] T. Kékesi and M. Isshiki: “Anion exchange for the ultra-high purification of transition metals”, Erzmetall, vol. 56, no. 2, pp. 59–67, 2003.
- [10] L. G. Sillén, A. E. Martell and J. Bjerrum: Stability constants of metal-ion complexes, London: Chemical Society, Spec. Pub. No. 17., 1964.
- [11] T. Kékesi, K. Mimura and M. Isshiki: “Ultra high purification of Iron by anion exchange in hydrochloric acid solutions”, Hydrometallurgy, vol. 63, pp. 1–13, 2002.
- [12] M. E. Schlesinger et al.: Extractive Metallurgy of Copper, Amsterdam, etc.: Elsevier, 2011

KÁRPÁTI VIKTOR – SZÚCS MÁTÉ

## Lemezek kötőhengerlésének elméleti alapjai és alkalmazásai

**A lemezes fémkompozitok egyre nagyobb teret hódítanak az ipari felhasználásban, amit elsősorban sajátos fizikai és mechanikai tulajdonságaiknak köszönhetnek. Jelen cikkünkben egy rövid áttekintést mutatunk be a kötőhengerlés technológiájáról és a legfontosabb alkalmazási területekről, amelyek érintik az autóipart, a speciális szupravezető gyártást és az ultrafinom szemcsés anyagok előállítását. Ismertetjük a lemezek közötti kötés kialakulásának alapvető feltételeit, a kötés létrejöttének mechanizmusát, valamint a kötés szilárdságát befolyásoló tényezőket.**

**Kárpáti Viktor** 2020-ban szerzett MSc kohómérnök diplomát hőkezelési és képlékenyalakítási szakirányon a ME Műszaki Anyagtudományi Karán. Jelenleg doktorandusz hallgató és a Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet tanszéki mérnöke. Kutatási területe a képlékenyalakítás, kristályosodás, valamint a roncsolásmentes anyagvizsgálat.

**Szúcs Máté** PhD a ME Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet tudományos munkatársa. Szakmai területe: a képlékenyalakítás, képlékenyalakítási technológiák modellezése, alakítástechnológiai mérések.

### Bevezetés

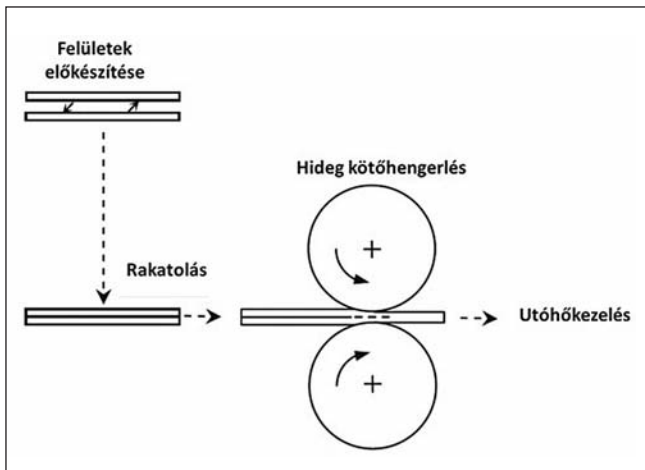
A lemezes fémkompozitok rétegelt szerkezetek, melyek két vagy több egymáson elhelyezkedő fémlémezből épülnek fel, melyek közt – az előállításuk során – atomi kapcsolat alakul ki. A lemezes fémkompozitok előállíthatók meleg és hideg kötőhengerléssel egyaránt. Felhasználásuk szerint megkülönböztetjük az ultrafinom szemcsés lemezes kompozitokat, funkcionális szendvicsszerkezeteket, valamint a keményforrasztáshoz (brézing eljárás)

használt úgynevezett plattírozott lemezeket [1]. A halmozódó kötőhengerléssel történő lemezes kompozit előállítás során ultrafinom szemcsés anyag jön létre, ezáltal a lemez szilárdsági tulajdonságai javulnak, és a szívóssága sem romlik. A funkcionális szendvicsszerkezetek esetében a kész lemez fizikai és mechanikai tulajdonságait az egyes rétegek paraméterei együttesen határozzák meg. A funkcionális tulajdonságot a fémkompozit rétegrendje és szövetszerkezete biztosítja. Például bimetálok esetében a kompozit hőtágulási tulajdonságai változnak, bizonyos szendvicsszerkezetek esetén súlycsökkenés elérése a cél, vagy a szilárdság és korrózióállóság növelése. Az autóiparban széles körben elterjedt a plattírozott lemezek felhasználása, amiben eltérő olvadáspontú ötvözetek helyezkednek el egymáson, így a részleges megolvadás révén hozunk létre kötést az egyes szerkezeti rétegek között. Az eltérő rétegek kapcsolódásával különleges kompozitszerkezet alakítható ki, amelynek tulajdonsága a hengerlés paramétereinek változtatásával szabályozható [2, 3].

Cikkünkben ismertetjük a kötés kialakulásának alapvető mechanizmusát, a különböző elméleti modelleket és a kötés szilárdságát meghatározó hengerlési paramétereket a teljesség igénye nélkül. Továbbá bemutatjuk a kötőhengerlési technológiával készült legfontosabb lemezes kompozit típusokat is.

### Kötőhengerlés fogalma és módszerei

Az ipari kompozitanyagok felhasználása az elmúlt évek tendenciái alapján egyre növekszik, ami a technológia folyamatos fejlesztését teszi szükségessé. Az összetett anyagtechnológiák közül a lemezes szerkezetű fémkompozitok hengerlése napjainkban is gyors fejlődésen megy keresztül. Meleg hengerlés esetén az újrakristályosodás az alakítás hőmérsékletén történik, míg hideghengerlés esetén ez a folyamat nem indul. A kötőhengerlés olyan képlékenyalakítási technológia, ahol a rétegek tapadását és a kötés minőségét az előkészítő és az alakító műveletek együttesen határozzák meg. A képlékenyalakítás előtt két vagy több fémlémezt helyeznek egymásra, majd a kívánt fogyáig hengerlik a szerkezetet, miközben a rétegek között mechanikai kötés alakul ki (1. ábra).

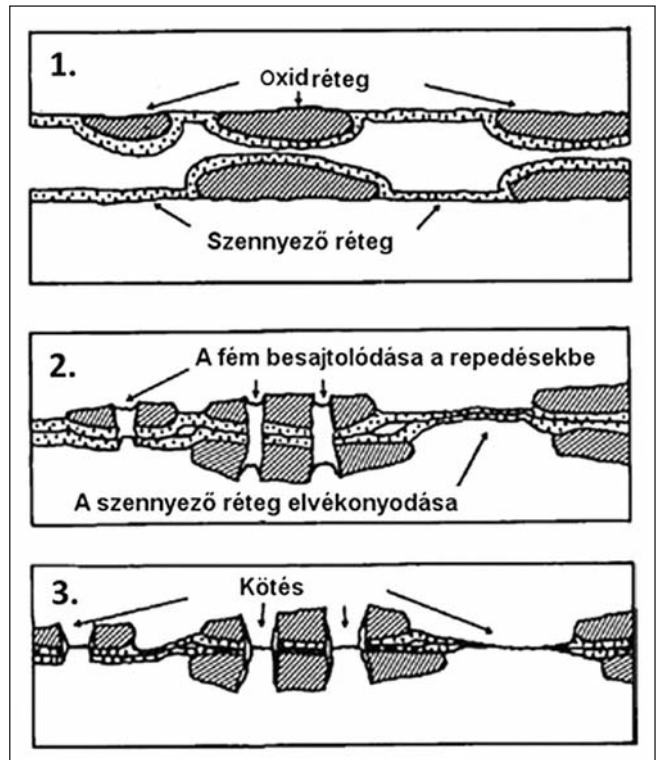


■ 1. ábra. A kötőhengerlés sematikus ábrája [4]

A hideghengerlés után alkalmazott hőkezelés bizonyos esetben növeli a kötési szilárdságot, ha a réteghatáron kialakult diffúziós zóna vastagsága optimális, valamint rideg intermetallikus fázisok nem jelennek meg, míg a lágyító hőkezelés esetén viszont a fémkompozit alakíthatósága javul [4]. Hideghengerléskor a szövetszerkezetben fázisátalakulások nem mennek végbe. A felületi minőség jobb, és a gyártási költségek is alacsonyabbak, azonban a kezdeti állapothoz képest az anyag alakíthatósága kisebb, a szilárdsága pedig nagyobb, ami a hengerlési erőt és a nyomatékszükségletet növeli. Zongan és társai [5] a melegalakítási hőmérséklet kötési szilárdságra való hatását vizsgálták. A melegalakítás hőmérsékletén fellépő diffúz adhézió elősegíti a kötés kialakulását, és növeli a kötési szilárdságot is. Más szerzők a határfelületen lejátszódó folyamatok szerepét is kihangsúlyozzák, vizsgálati eredményeik alapján összefüggést állapítottak meg a kötés erőssége és a szilárd oldat határfelületén kiváló vegyületfázisok koncentrációja és eloszlása között [6–8].

### Kötés kialakulásának mechanizmusa

A kötés minőségét jelentősen befolyásolják a különböző technológiai paraméterek és az anyagtulajdonságok. A kötés folyamatának leírására az alábbi elméletek terjedtek el: az energiagát, a film, az újrakristályosodási és a diffúziós kötési elmélet. Az energiagát elmélet szerint még abban az esetben sem alakul ki a kötés, ha a tiszta felületek az alakítóerő hatására lépnek kapcsolatba, a kötés előfeltétele az energiagát legyőzése [9]. A tapadást legalább három változó mennyiség befolyásolja egyszerre: nyomás, alakváltozás és hőmérséklet, melyek mindig a technológia paramétereiktől függenek: a szerszám és



■ 2. ábra. A filmelmélet szerinti kötés kialakulása valós technológiai körülmények között [9]

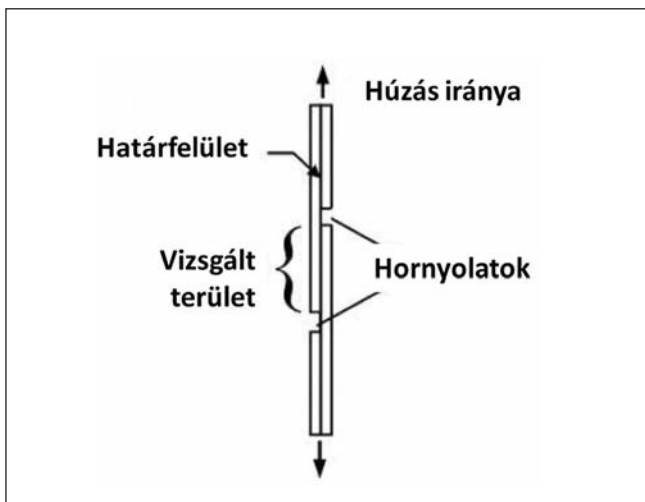
munkadarab geometriától, az anyagminőségtől stb. Míg Parks az újrakristályosodási küszöböt [10], addig Erdmann-Jesnitzer a diffúziót jelöli meg a tapadás elsődleges feltételeként. Semenov az energiagátat az érintkező felületeknél lévő kristályok orientációs hibájából származtatja [11]. A filmelmélet szerint a kötés akkor alakul ki, ha a nagy nyomás hatására az oxidfilm feltöredezik és a fémtiszta felületek szorosan érintkeznek egymással. Vaidyanath és társai [12], valamint Mohamed és Mashburn szerint a filmelmélet az alacsony hőmérsékletű kötőhengerlések domináns mechanizmusa (2. ábra) [13].

Ideális állapotban a fémlemez felülete oxidmentes, ebben az esetben a kötési hajlam, mivel a felületek könnyen aktiválódnak. Azonban reális technológiai körülmények között a felület oxidos és szennyezett, ami a kötés kialakulását minden esetben korlátozza. A kötés kialakulása több részfolyamatból áll, aminek elemét a 2. ábra magyarázza. Az érintkező felületeket borító oxid- és szennyező réteg alakváltozás hatására feltöredezik, miközben a tiszta fémfelületek aránya egyre növekszik. A folyamatosan növekvő nyomás következtében a fémek először besajtolódnak a repedésekbe, majd összetalálkozva mechanikus kötést alakítanak ki [4, 9].

### Kötési szilárdság meghatározása és modelljei

A kötési szilárdság meghatározása húzóvizsgálattal történik, amit a 3. ábra szemléltet. A vizsgált keresztmetszet síkját azonos nagyságú ellentétes irányú erőpár terheli, így a számított nyírófeszültség a kötési szilárdsággal arányos.

A hideg kötőhengerléssel létrehozott kötések szilárdságának meghatározására kifejlesztett modelleket az 1. táblázat foglalja össze,



■ 3. ábra. A kötési szilárdság meghatározására alkalmazott húzóvizsgálat [15]

1. táblázat. Kötési szilárdság modellek

Vaidyanath	$\sigma_b = \sigma_0 R_f (2 - R_f)$	(1)
Wright	$\sigma_b = \sigma_0 H \left( 1 - \frac{(1 - R_f)^2}{(1 - R_f)^2} \right)$	(2)
Bay	$\sigma_b = (1 - \psi^2) Y (P - P_E) + \psi^2 \frac{Y - Y'}{Y - Y'} P$	(3)
Zhang és Bay	$\sigma_b = \psi P_b$	(4)
Hosseini	$\sigma_b = \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^n \frac{\sigma_0}{K} \ln \left( \frac{1}{1 - R_f} \right)$	(5)
Govindaraj	$\sigma_b = K_1 \sigma_0 \exp \left( -\frac{\sqrt{3}}{2} K_2 \varepsilon_e \right)$	(6)

ahol:  $\sigma_b$  – kötési szilárdság,  $\sigma_0$  – a kiinduló anyagok szakítószilárdsága,  $R_f$  – végső vastagság,  $H$  – empirikus keményedési együttható,  $Y$  – felületnövekmény,  $Y'$  – a felületnövekmény határértéke, ahol felszakad a film,  $\psi$  – oxiddal fedett és fedetlen területek aránya,  $P$ ,  $P_E$  – nyomás értékek,  $K$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $n$  – képlékenységi paraméterek,  $\varepsilon_e$  – egyenértékű alakváltozás.

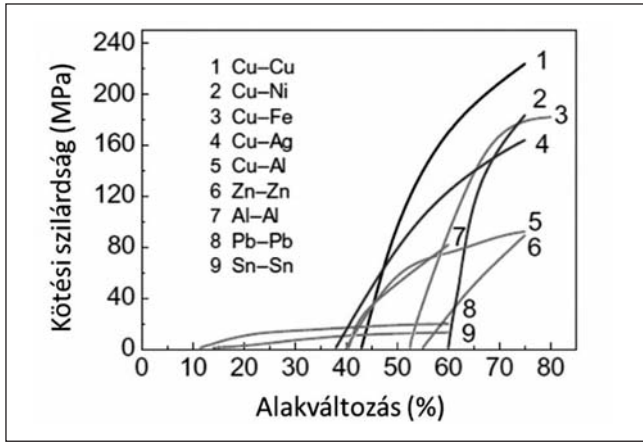
A kötési szilárdság és a hengerlési paraméterek közötti elméleti összefüggés leírásával először Vaidyanath (1), valamint Wright és szerzőtársai (2) foglalkoztak. Az általuk megalkotott formula tartalmazza a kész vastagságot és az anyagtulajdonságot kifejező tagokat. Bay az oxid és a szennyező rétegek hatását is figyelembe veszi, továbbá az általa javasolt formulák (3), (4) kiegészülnek a felületi nyomás paraméterrel is. Hosseini és társai (5) által publikált modellt lefejtő teszttel (T-peel test) validálták. Govindaraj és társai (6) kifejlesztettek egy újabb határfelületi kötési modellt, ebben az egyenletben a kötési szilárdság a hengerlési zónában lévő határfelület egyenértékű alakváltozásával függ össze. Elméletüket szakítóvizsgálattal igazolták, és megállapították, hogy az egyenértékű nyúlás növekedése jobb minőségű kötést eredményez. [14–16].

### Kötési szilárdságot befolyásoló tényezők

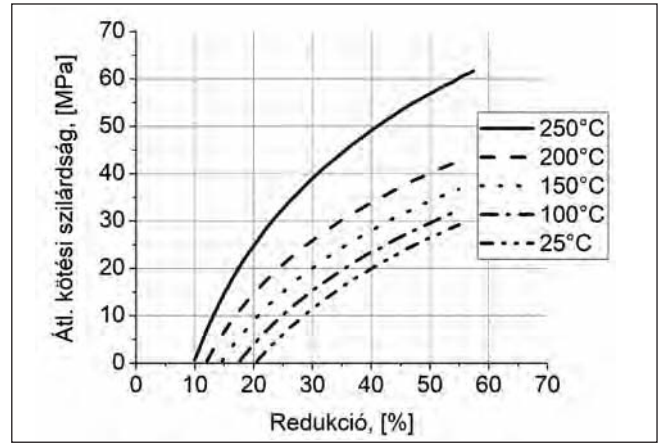
#### – Deformációs küszöb és az alakítás hőmérséklete

A kötés kialakulásának alapfeltétele az ún. deformációs küszöb elérése, ami az érintkező felületek növekedésével van kapcsolatban. A deformációs küszöb azt a minimális alakváltozást jelenti, ami alatt folytonos mechanikai kötés nem alakul ki a rétegek között. A 4a ábrán láthatók a különböző anyagpárokra jellemző deformációs küszöbértékek hideghengerléskor. Megállapítható, hogy a kérdéses határérték anyagpáronként változik. A lágyabb fémek tapadásához kisebb redukció elegendő, illetve a szilárdság is alacsonyabb szintű, ami az alacsonyabb folyáshatárral magyarázható.

A hengerlési hőmérséklet hatását a 4b ábra érzékelteti Al 1100/Al 1100 esetében. Megállapítható, hogy az alumíniumlemezek közötti szilárdság a hengerlési hőmérséklet függvényében nő, míg az alakváltozási küszöb csökken. [6]



a)



b)

■ 4. ábra. a) Anyagpárookra jellemző deformációs küszöb értéke [4]; b) A hengerlési hőmérséklet hatása a küszöbdeformációra [6]

– Alaktényező

A hengerlés geometriai viszonyát az úgynevezett alak-tényezővel ( $\Delta$ ) veszik figyelembe:

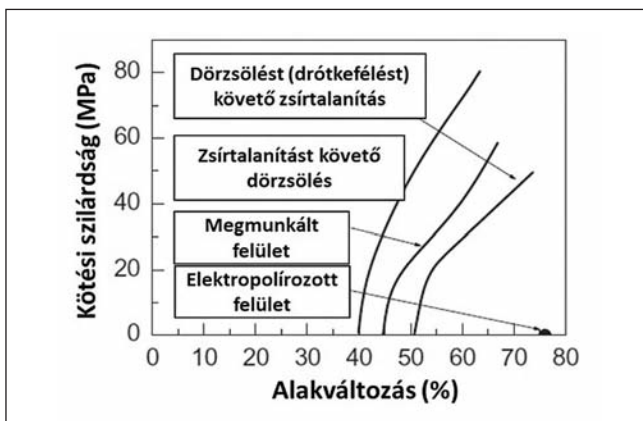
$$\Delta = \frac{h}{L} = \frac{2-r}{2} \sqrt{\frac{h_0}{rR}} \quad (7)$$

ahol:  $L$  a nyomott ív hossza,  $h = (h_0+h_f) / 2$  – a lemez átlag vastagsága,  $r = (h_0+h_f) / h_0$  – a lemezek relatív vastagság csökkenése,  $h_0$  és  $h_f$  – a lemez kiinduló és vég vastagsága,  $R$  – a henger sugara.

Állandó  $h$  érték mellett a növekvő  $L$  nyomott ív a felületi nyomás csökkenését okozza, ekkor az alaki tényező relatív kis értékű. Így a kötés elősegítése céljából érdemes a nagyobb alaki tényezők beállítását.

– Felület-előkészítés

A megfelelő kötési szilárdság biztosítása érdekében elengedhetetlen az érintkező felületekről a szennyezőanyag-réteg eltávolítása. Az eltávolítandó rétegek általában oxidokból, adszorbeált ionokból, porból, hengerlési emulzióból állnak. Az 5. ábra a különböző módszerrel előkészített felületek kötési szilárdságra gyakorolt hatását mutatja be alumíniumötvözetek kötőhengerlése során. A vizsgálat alapján megállapítható, hogy a legnagyobb kötési szilárdságot a zsírtalanított, majd dörzsölt (drótkéfélt) felületek hengerlésekor tapasztalták, ezért jelenleg is ez a legelterjedtebb felületelőkészítési módszer.



■ 5. ábra. Különböző módon előkészített felületek hatása a kötési szilárdságra [17]

– Rácsszerkezet

A kötés kialakulásában jelentősen szerepet játszik a fémek rács szerkezete is. A 6. ábra alapján megállapítható, hogy a hideg kötőhengerlés elsősorban a felületen középpontos (FKK) kockarácscsal rendelkező fémek esetében alkalmazható eredményesen, feltéve, hogy kisebb az alakítási keményedés.

	fkk										hex						tkk			romb	
	Ni	Pd	Pt	Ag	Cu	Au	Al	Sn	Pb	In	Zr	Ti	Be	Zn	Cd	Mg	Tl	W	Fe	Li	Bi
romb																					
tkk																					
hex																					
fkk																					

■ Sikeres hideg kötés (CRB)  
 ■ Sikeres ARB-kötés  
 ■ Sikeres hideg és ARB-kötés

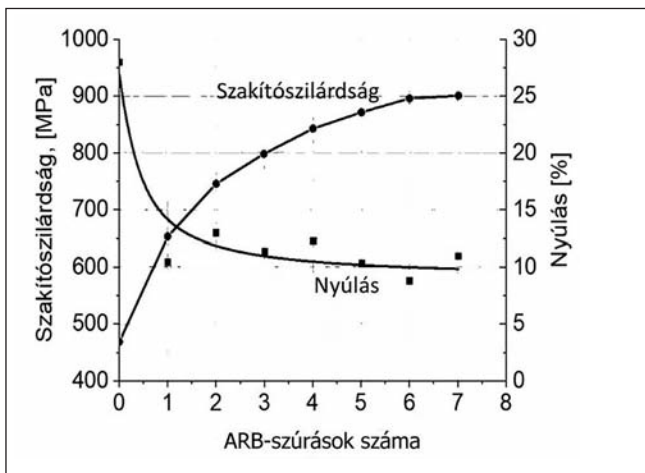
■ 6. ábra. Eltérő rács szerkezetű fémek kötőhengerlési vizsgálatának összefoglaló táblázata [4]

A hexagonális ráccsal rendelkező fémek, mint a magnézium, kadmium vagy cirkónium kötési tulajdonságai lényegesen kedvezőtlenebbek, mint a felületen középpontosoké, ami jellemzően a nagyobb deformációs küszöb és a kisebb kötési szilárdság értékekben is kifejeződik. Ennek oka, hogy míg a felületen középpontos kockarácscú fémek esetén az oxidfilmréteg felszakadása koherensen történik, addig a hexagonális rács szerkezetű fémek esetében az érintkező felületeken lévő oxidfilm egymástól függetlenül szakad fel, ezzel gátolva a tiszta fémfelületek nagyobb felületen történő érintkezését. Ezenkívül a hexagonális rácsú fémek alakítási keményedése eltér az egyéb ráccsal rendelkezőkétől [4, 9].

## Kötőhengerlés alkalmazása

### – Ultrafinom szemcsés anyag előállítása

A halmozódó kötőhengerlés (ARB – Accumulative Roll Bonding) a nagy szilárdságú lemezanyagok előállításának egyik technológiája, ami nagy mennyiségű gyártást tesz lehetővé. A kedvező szilárdság az ultrafinom szemcseszerkezetnek köszönhető, amit a rétegek nagymértékű sokszoros deformációjával lehet elérni. Az alakítás egy többlépcsős folyamat, amiben az előzetesen feldarabolt és felületileg előkészített lemezeket egymásra helyezik, majd legalább a deformációs küszöbig hengerlik. A műveletet a kívánt szemcseszerkezet és anyagtulajdonság eléréséig ismétlik meg a megnyúlt lemezek hosszának kétfelé vágásával, valamint az azt követő felület-előkészítéssel. A kereskedelmi tisztaságú titánlemezek meleg halmozódó kötőhengerlése esetén szűrások számának növelésével a szakítószilárdság nő, míg az alakíthatóság csökken. Ezt a jelenséget a 7. ábra mutatja [18–20].



■ 7. ábra. A mechanikai tulajdonságok változása az ARB-szűrások számának növelésével [20]

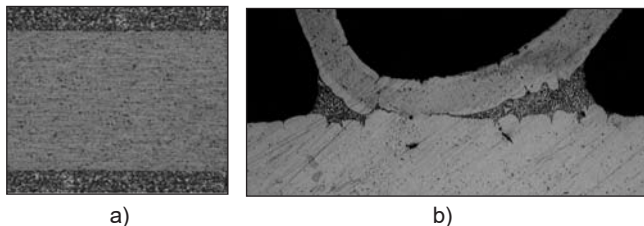
Peng Qu és társai [21] 2014-ben Ti/Al/Nb/Al/Ti lemez kompozitot állítottak elő hasonló technológiával, ahol minden egyes szűrést megelőzően a lemezeket acetonnal és alkoholban pácolták, majd a felületüket drótkéfével dörzsölték. A hideghengerlés során szűrásonként 50%-os redukciót alkalmaztak, míg a teljes százalékos alakválto-

zás értéke meghaladta a 96%-ot. A szerzők az elvégzett vizsgálatok alapján megállapították, hogy a nagy számú szűrás következtében a rétegek deformációja inhomogén és a nagyszögű szemcsehatárok száma is növekszik, továbbá nagy mértékű szemcsesűkülés volt jellemző. T. Nizorek és társai [22] 2014-ben Cu/Nb/Cu rétegrendű, 200 000 rétegből álló kompozitanyagot állítottak elő hideg ARB-technológiával. A hengerléskor alkalmazott nagy ciklusszám következtében kialakult nanokristályos szemcseszerkezet rendkívüli szilárdságnövekedést eredményezett.

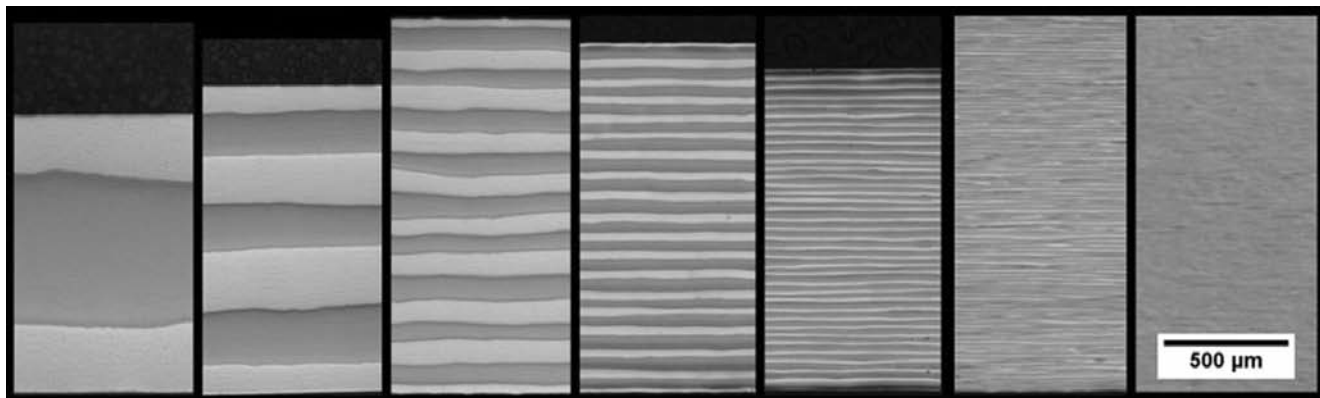
A halmozódó kötőhengerlések során a rétegek száma exponenciálisan növekszik és a rétegvastagság csökken, ez a hatás a 8. ábrán figyelhető meg. Szűrásonként 50%-os alakváltozás történt. A hengerlést követően lágyítást végeztek 500 °C-on, a hőkezelési fázisban 1 óra után a rézszemcsék több száz nanométeresre nőttek, a nióbium szemcsék viszont nem változtak. A végeredmény egy 20 nm-es vastag rétegrendű, nanokristályos kompozit. Az eljárással 1200 MPa szakítószilárdságot és 25%-os nyúlást értek el.

### – Plattírozott lemezek előállítása

A plattírozás szélesebb körben használt definíciója szerint fémlamezzel történő borítás. A plattírozáskor az ún. magötvözet és az eltérő olvadáspontú fedőlemezek kötését meleghengerléssel valósítják meg. A hengerléssel előállított félkész lemeztermékek speciális tulajdonságai a felhasználás során hasznosulnak pl. korrózióvédelem vagy autóhűtő lamella gyártás területén (9a ábra). Az autóhűtők gyártásához hengerelt plattírozott lemezeket használnak. Az összeszerelt autóhűtőt kemencében felhevítik, ahol a többrétegű lemez külső rétege leolvadva a maganyagról kellő szilárdságú összefüggő kötőréteget hoz létre a lemezalkatrészek között (9b ábra) [23].



■ 9. ábra. a) Háromrétegű alumíniumlemez szövetképe, autóhűtő lamella alapanyag; b) Keményforrasztásos kötés szövetképe, hűtőlamella-csatlakozásnál [23]



■ 8. ábra. Cu-Nb lemezes kompozit optikai mikroszkóppal készített keresztmetszet-felvételei az ARB-folyamat különböző szakaszaiban [22]

Szabó Gábor és társa [24] plattírozással állítottak elő olyan szendvicsszerkezetet, amelynek fedőrétegei a „brézing” technológiában a leolvadó rétegeket alkotják (10. ábra). Hengerlési kísérleteikben különböző szűrás-terveket kipróbálva, anyagpáronként állapították meg azokat a viszonylag szűk alakváltozási tartományokat, amelyek még sikeres kötés biztosítanak fedő- és magöt-  
vözetek között.



■ 10. ábra. A kiinduló szendvicsszerkezet [24]

A kísérleti tapasztalatok alapján, olyan tapasztó szűrás-terv alkalmazása javasolt, amivel biztosítható a következő két feltétel: a fedőlemez nyúlása nem kisebb a magétól, és a felületi nyomás elegendő ideig áll rendelkezésre a fedőlemez hőmérséklet-csökkenése nélkül. A kötés általában nem hibamentes, ezért a kötés minősítésére is szükség van, amit lefejtő vizsgálat segítségével végeztek el.

#### – Funkcionális lemezes fémkompozit gyártása

A funkcionális kompozitlemezeket elsősorban a szigorú gyártástechnológiával létrehozott fizikai tulajdonságaik teszik egyedivé. E tulajdonságokat használja ki például a szupravezető gyártás, ami elsősorban a gyógyászati és a részecskegyorsító technológiák számára állít elő huzal- és lemezalapanyagot (11a ábra). Ikuo és társai [25] olyan kötőhengerelt kompozitstruktúrák fejlesztésével foglalkoztak, ami speciális szupravezető és mágneses tulajdonságokkal egyaránt rendelkezik. Kompozitjuk egy sokszekvenciás Cu-Nb-NbTi szendvicsszerkezetű lemez, aminek vastagságát, rétegtartását és a felhasználáshoz szükséges elvi geometriákat a 11b ábra szemlélteti.

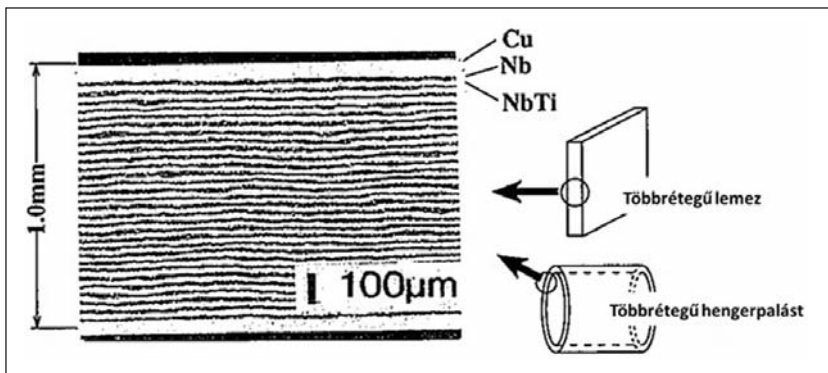
A száz rétegű lemez előállítása egy összetett hengerlési és hőkezelési folyamat, aminek kezdetén a megfelelően előkészített lemezeket egy rézkazettába zárják. A kazettának kettős szerepe van, megvédi a lemezeket az oxidációtól, valamint biztosítja a rétegtartást. Az összeszerelés után a kazettát elektronsugárral lehegesztik, majd a sokszekvenciás szerkezetet melegen és hidegen

hengerlik. A kompozit ideális szupravezető tulajdonságait a hengerléssel előállított szekvenciának és a hengerlés-hőkezelés kombinációjaként létrehozott szövetszerkezetnek köszönheti. A rétegeknek eltérő szerepük van: a réz felelős a hő elvezetéséért. A lokális felmelegedés veszélyét minden esetben csökkenti, ami könnyen bekövetkezhet egy-egy üzemzavar esetén, enélkül a szupravezető tulajdonság megszűnne. A nióbiium-titán  $\alpha$ -fázisa a szupravezetést biztosítja, a hőkezeléssel képzett  $\beta$ -titán kiválások pedig a mágneses erővonalakat stabilizálják, ennek hiányában az anyag melegszik és szupravezető tulajdonsága megszűnik. A tiszta nióbiium szerepe szintén nagyon fontos és elengedhetetlen része a kompozitstruktúrának, hiszen meggátolja a határfelület menti keresztidiffúziót. A keresztidiffúzió következtében a Cu/NbTi határfelületen nagy hőmérsékleten réz-titán intermetallidok alakulnak ki, amelyek az elektromos vezető képességet és az alakíthatóságot is negatívan befolyásolják.

#### Összefoglalás

A lamináris kompozitok előállításának célja az anyagszerkezeti tulajdonságok szabályozott változtatása (javítása) és kombinálása az alkalmazások számára. A kötőhengerlés olyan technológia, ahol a rétegek közötti kötés a képlékenyalakítás hatására jön létre. A kötés kialakulása többlépcsős folyamat, amelynek alapfeltétele a deformációs küszöb elérése, ekkor a két fém között adhéziós kötés jön létre. A kötés kialakulását és a kötés mechanikai tulajdonságát további számos paraméter határozza meg, mint például a hőmérséklet, nyomás vagy a szerkezet és munkadarab geometriai viszonyai. A kötőhengerlés végezhető hideg vagy meleg állapotban. Hideghengerléskor a szövetszerkezetben nem történnek fázisátalakulások, a felület jobb minőségű, viszont az anyag alakíthatósága a művelet végén nagymértékben lecsökken. Felhasználásuk szerint megkülönböztetjük az ultrafinom, esetenként nanoszemcsés lemezes kompozitokat, plattírozott lemezeket és funkcionális szendvicsszerkezeteket. Az ultrafinom szemcseszerkezetet és a kívánt nagy szilárdságot a rétegek nagymértékű sokszoros deformációjával lehet elérni. A plattírozott lemezek és a funkcionális szendvicsszerkezetek eltérő tulajdonságokkal bírnak, ami a rétegek közti tulajdonságok eltéréseiből következik.

Folytatás a 31. oldalon



■ 11. ábra. a) Cu/Nb/NbTi réteges fémkompozit [25], b) Szupravezető páncél [26]



## Cikkek szerzők szerinti csoportosítása

### Vaskohászat

- Farkas Ottó – Cseh Ferenc – Harcsik Béla:** A hidrogén redukáló szerepe és mértéke a nagyolvasztói nyersvasgyártásban .....1/1
- Harcsik Béla – Nyitray Dániel – Sipos István:** A Fazolák öröksége – Fejezetek a diósgyőri kohászat történetéből.4/12
- Kondás Béla:** Autóipari hatások a hengerelt acéltermékek európai kínálatára .....1/7
- Tardy Pál:** A globális járvány kezdetének hatása az acéliparra .....5-6/1
- Thiele Ádám – Hári László – Magyar Domonkos:** Az acél kovácstűzbeli elégségének metallurgiai háttere – damaszokolt anyagokon kialakuló felületi hibák magyarázata .....5-6/6
- Tisza Miklós:** Autóipari acélananyagok fejlesztési irányzatai – 1. rész .....2-3/1
- Tisza Miklós:** Autóipari acélananyagok fejlesztési irányzatai – 2. rész .....4/1
- Török Tamás István:** Acél korrózióvédelme alumíniumbevonattal .....4/9

### Öntészet

- Boris Nogowizin:** Nyomásos öntvények elosztócsatorna-rendszere .....2-3/10
- Dargai Viktória – Tóth Gergő – Varga László:** A vízüveges maghomokkeverékek melegdeformációs és üríthetőségi tulajdonságainak vizsgálata .....5-6/16
- Gyarmati Gábor – Fegyverneki György – Tokár Mónika – Mende Tamás:** Alumíniumolvadékok kettős oxidhártya-tartalmának minősítése komputertomográfia segítségével ....4/30
- Kovács Sándor Endre – Szentes Zsolt – Varga László:** 3D fénynyomatással előállított, nagy hővezetőképességű nyomásos öntészeti szerszámanyag tulajdonságainak vizsgálata .....1/16
- Majoros Csaba – Szabó Richárd – Molnár Dániel:** Kettős működtetésű utántömörítés hatása a vastag falú nyomásos öntvény belső térfogati inhomogenitására .....5-6/11
- Nyeste Viktor:** Klímakompresszor nyomásos öntvények gyártásának fejlesztése .....1/12
- Sipos László Áron – Fegyverneki György – Budavári Imre – Pete László Gábor – Varga László:** Warm-box magkészítési technológiával előállított műgyanta kötésű homokmagok reaktivitásának és üríthetőségi tulajdonságainak vizsgálata .....4/18
- Szalva Péter – Orbulov Imre Norbert:** A vákuumos kilevegőzés hatása a nyomásos öntéssel gyártott alumíniumöntvények kifáradási tulajdonságaira .....4/23

### Fémkohászat

- Illés István Balázs – Kékesi Tamás:** A sóadagolás szere-

- pe és fejlesztési lehetősége az alumíniumolvasztási salakok termomechanikai feldolgozásánál .....1/22
- Illés István Balázs – Nagy Sándor – Kékesi Tamás:** LCD-hulladékokból történő indium fémkinyerés hidrometallurgiai úton .....5-6/22
- Kazup Ágota – Kárpáti Viktor – Hegedüs Balázs – Gergely Gréta – Gácsai Zoltán:** Öntési paraméterek hatása a kristályosodó szövetszerkezetre félfolyamatosan öntött AlSi ötvözet esetén .....2-3/27
- Kőszegi Szilvia – Szépvölgyi János – Bereczki Péter:** Új, piacképes hengerelt alumíniumtermékek technológiájának fejlesztése az Arconic-Köfém Mill Products Hungary Kft. és kiemelkedő hazai felsőoktatási K+F intézmények együttműködésében .....2-3/22
- Mádainé Üveges Valéria – Bokányi Ljudmilla:** Fémek kinyerése elektronikai hulladékokból bioszolubilizációval ..4/35
- Pázmány Judit – Fehér Jánosné – Gonda Viktor – Sánta Edit Orsolya – Verő Balázs:** Az Al5182 ötvözet teljesítőképességének meghatározása .....4/41
- Renkő József Bálint – Szabó Péter János:** EN-AW 6082 alumíniumötvözet többtengelyű kovácsolásának fizikai és virtuális szimulációja .....5-6/31

### Anyagtudomány

- Bárczy Pál:** Anyagtechnológiától anyagtudományig és vissza .....1/30
- Biró Martin – Nagy Erzsébet – Mertinger Valéria:** Hidegalakító szerszámacél hőkezelési technológiájának optimalizálása .....2-3/33
- Fehér András:** A magyar Szent Korona fémtani tulajdonságainak értékelése .....2-3/38
- Györke Réka – Szórádi Sándorné – Márkus Gábor – Nagy Andrea – Török Béla – Török Tamás István:** Nagy-lózs, Szentpéteri-dűlő 6. századi temetőjéből származó nemesfém leletegyüttes felületkezelésének metallurgiai vonatkozásai .....4/63
- Kaptay György:** Kémiai elemek a kohászat szolgálatában és azon túl .....5-6/36
- Leveles Borbála – Kemény Alexandra – Orbulov Imre Norbert:** Alumínium mátrixú bimodális fémhabok gyártása és vizsgálata .....4/54
- Nagy Erzsébet – Kristály Ferenc – Barkóczy Péter – Mertinger Valéria:** Orientált fémcszervezetek vizsgálata Rietveld-illesztés alkalmazásával .....5-6/42
- Nagy Márton – Bán Krisztián – Fogarassy Zsolt – Berényi Richárd:** Amorf és nanokristályos lágymágneses anyagok bevezethetőségének vizsgálata gépjármű elektromotorok gyártásába .....1/40
- Szabó Attila – Verő Balázs – Lovas Antal:** A Humel-Rothery-szabályoktól a nagyentrópiájú ötvözetekig .....4/48



**Szlanicsik Attila – Kemény Alexandra – Katona Bálint – Orbulov Imre Norbert:** Alumíniummátrixú szintaktikus habok bemetszésérzékenysége .....1/34  
**Szobota Péter – Sepsi Máté – Mertinger Valéria:** Dekarbonizáció mérése roncsolásmentes módszerrel – avagy a központ nélküli diffraktométerek új alkalmazása .....4/59

## Felsőoktatás

**Palotás Árpád Bence – Mende Tamás – Stumpf Éva:** A kohómérnökképzés Magyarországon .....1/44

## Közlemények

### Vaskohászat

Az acélipar fiatal, innovatív mérnökeit díjazták. Tehetség, szaktudás, kreativitás .....1/11  
 Koszorúzás a 250 éves diósgyőri vasgyártás emlékére .....4/17  
 Közlemény .....2-3/9

### Fémkohászat

Két céggé vált szét a székesfehérvári Arconic-Köfém .....2-3/32  
 Új szakkönyvek is segítik a kohász képzést a Miskolci Egyetemen .....1/28

### Felsőoktatás

150 éves a Fémkohászati Tanszék .....2-3/43  
 A Miskolci Egyetem hírei .....2-3/42  
 A Műszaki Anyagtudományi Kar hírei 2020. február .....1/54  
 Interjú dr. Farkas Ottó professor emeritussal .....1/50

### Hírmondó

126 éves a „Jó szerencsét!” köszöntés .....2-3/58  
 175 éve halt meg a Bányászhimnusz költője .....1/67  
 2019 májusa és 2020 augusztusa között elhunyt tagtársaink .....4/75  
 25 éves lett a Fémszövetség .....2-3/55  
 95 éves dr. Pilissy Lajos .....1/69  
 A „Megemlékezés napja” Ózdon .....2-3/57  
 A 80 éves dr. Jónás Pál köszöntése .....1/69  
 A Csaba Metál fejlesztési stratégiája a fenntartható üzleti sikerért. Interjú Majoros Csaba vezérigazgatóval .....4/68  
 A Ferencz István Észak-Dunántúli Kohászati Regionális Szervezet évváró/évnnyitó rendezvénye .....2-3/56  
 A Magyar Öntészeti Szövetség 31. közgyűlése .....5-6/54  
 A Miskolci Egyetem hírei .....4/76, 5-6/53  
 A Szent Borbála megemlékezések elindításának hiteles története .....1/57  
 A XX. Fémkohászati Szakmai Napról... .....1/66  
 Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület szabályzata az elektronikus hírközlő eszközök használatáról, illetve az ülés tartása nélküli döntéshozatalról .....2-3/46  
 Az acél szépsége. Emlékezés Horváth Istvánra, a Dunaferri egykori elnök-vezérigazgatójára .....4/77  
 Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület vezetésének értesítője a Választmány tagjaihoz a vonatkozó szabályzat szerint .....2-3/48  
 Beszámoló a Közép-Európai Vaskultúra Útja Egyesület Ma-

gyar Tagozatának 2019. évi tevékenységéről .....2-3/50  
 Beszámoló az Alapszabály Bizottság munkájáról .....4/75  
 Beszámoló az OMBKE 110. küldöttgyűléséről .....4/73  
 Beszámoló az OMBKE kohász szakosztályainak 2019. évi munkájáról .....1/61  
 Borbély Lajos – a fejlesztő (1843–1923) .....2-3/53  
 Dr. Hatala Pál elnök serlegbeszéde az OMBKE 2019. december 12-i választmányi ülésén .....1/59  
 Emlékeztető az OMBKE 2019. december 12-i választmányi üléséről .....1/58  
 Emlékeztető az OMBKE 2020. július 21-i választmányi üléséről .....4/70  
 Emlékeztető az OMBKE 2020. január 23-i rendkívüli választmányi üléséről .....1/60  
 Felhívások, közlemények .....1/68, 1/71, 2-3/64, 5-6/57  
 Harangtörténeti Konferencia Egerben .....1/65  
 Képek a 2019. évi Szent Borbála-napi központi ünnepségről .....1/B4  
 Képek a nagylőzsi ásatásról és a leletekről .....4/B3  
 Képek a Szent Koronáról .....2-3/B4  
 Kitüntetést kapott az EKMITA .....5-6/55  
 Köszöntések .....1/69, 1/70, 2-3/64  
 Boross Péter .....5-6/56  
 Katkó Károly .....5-6/56  
 Pordán Zsigmond .....5-6/57  
 Megemlékezés koszorúzással a Fazola Henrik által épített első faszenes nagyolvasztó emléktáblájánál az alapítás 250 éves évfordulója alkalmából .....4/B4  
 Meghívók, hirdetések .....1/71  
 Nekrológ  
 Baán István (1951–2020) .....5-6/59  
 Csirikusz József dr. (1941–2020) .....4/78  
 Csukásné Kővári Etelka (1950–2020) .....2-3/61  
 Fiumei Attila (1937–2020) .....2-3/59  
 Horváth Csaba (1933–2020) .....2-3/63  
 Karancz Ernő (1932–2020) .....4/79  
 Kovács Tibor dr. (1943–2020) .....2-3/59  
 Mikus Károly (1932–2020) .....2-3/60  
 Mura Imre (1938–2020) .....4/80  
 Patay Pál dr. (1914–2020) .....5-6/58  
 Simon Béla (1942–2020) .....4/80, 5-6/60  
 Szabó István dr. (1943–2020) .....2-3/61  
 Szalay Géza (1929–2019) .....1/72  
 Szarka Gyula dr. (1932–2020) .....5-6/58  
 Szende György (1932–2020) .....2-3/62  
 Tóth Ferenc (1933–2019) .....2-3/58  
 Ózdon újra szól a gyári dudu .....2-3/57  
 Prohászka János emlékezete születésének 100. évfordulóján .....2-3/49

Szemelvények kohászatunk múltjából – A munkácsi vasgyár .....	5-6/B4	Tartalom és tárgymutató – 2019 .....	2-3/I–IV
Szent Borbála-napi országos központi ünnepség .....	1/56	Tisztelt Tagtársak! .....	2-3/45
Tájékoztató az OMBKE választmányi üléséről .....	5-6/47	Túl a 90-en. Kovács László vasdiplomás kohómérnök, tiszteleti tagunk köszöntése .....	2-3/B3
Tardy Pál exelnökünk 80 éves .....	1/70		

## Betűrendes névmutató

### Vaskohászat

Cseh Ferenc .....	1/1
Farkas Ottó .....	1/1
Harcsik Béla .....	1/1, 4/12
Hári László .....	5-6/6
Kondás Béla .....	1/7
Magyar Domonkos .....	5-6/6
Nyitrai Dániel .....	4/12
Sipos István .....	4/12
Tardy Pál .....	5-6/1
Thiele Ádám .....	5-6/6
Tisza Miklós .....	2-3/1, 4/1
Török Tamás István .....	4/9

### Öntészet

Boris Nogowizin .....	2-3/10
Budavári Imre .....	4/18
Dargai Viktória .....	5-6/16
Fegyverneki György .....	4/18, 4/30
Gyarmati Gábor .....	4/30
Kovács Sándor Endre .....	1/16
Majoros Csaba .....	5-6/11
Mende Tamás .....	4/30
Molnár Dániel .....	5-6/11
Nyeste Viktor .....	1/12
Orbulov Imre Norbert .....	4/23
Pete László Gábor .....	4/18
Sipos László Áron .....	4/18
Szabó Richárd .....	5-6/11
Szalva Péter .....	4/23
Szentes Zsolt .....	1/16
Tokár Monika .....	4/30
Tóth Gergő .....	5-6/16
Varga László .....	1/16, 4/18, 5-6/16

### Fémkohászat

Bereczki Péter .....	2-3/22
Bokányi Ljudmilla .....	4/35
Fehér Jánosné .....	4/41
Gácsi Zoltán .....	2-3/27
Gergely Gréta .....	2-3/27
Gonda Viktor .....	4/41
Hegedüs Balázs .....	2-3/27
Illés István Balázs .....	1/22, 5-6/22
Kárpáti Viktor .....	2-3/27

Kazup Ágota .....	2-3/27
Kékesi Tamás .....	1/22, 5-6/22
Kőszegi Szilvia .....	2-3/22
Mádainé Üveges Valéria .....	4/35
Nagy Sándor .....	5-6/22
Pázmány Judit .....	4/41
Renkő József Bálint .....	5-6/31
Sánta Edit Orsolya .....	4/41
Szabó Péter János .....	5-6/31
Szépvolgyi János .....	2-3/22
Verő Balázs .....	4/41

### Anyagtudomány

Bán Krisztián .....	1/40
Bárczy Pál .....	1/30
Barkóczy Péter .....	5-6/42
Berényi Richárd .....	1/40
Biró Martin .....	2-3/33
Fehér András .....	2-3/38
Fogarassy Zsolt .....	1/40
Györke Réka .....	4/63
Kaptay György .....	5-6/36
Katona Bálint .....	1/34
Kemény Alexandra .....	1/34, 4/54
Kristály Ferenc .....	5-6/42
Leveles Borbála .....	4/54
Lovas Antal .....	4/48
Márkus Gábor .....	4/63
Mertinger Valéria .....	2-3/33, 4/59, 5-6/42
Nagy Andrea .....	4/63
Nagy Erzsébet .....	2-3/33, 5-6/42
Nagy Márton .....	1/40
Orbulov Imre Norbert .....	1/34, 4/54
Sepsi Máté .....	4/59
Szabó Attila .....	4/48
Szlanicsik Attila .....	1/34
Szobota Péter .....	4/59
Szórádi Sándorné .....	4/63
Török Béla .....	4/63
Török Tamás István .....	4/63
Verő Balázs .....	4/48

### Felsőoktatás

Mende Tamás .....	1/44
Palotás Árpád Bence .....	1/44
Stumpf Éva .....	1/44



# Tárgymutató – 2020

<b>3</b>		
3D fémnymtatás	.....	1/16
<b>A, Á</b>		
acél		
– autóiipari,	.....	1/7, 2-3/1, 4/1
– fejlesztése,	.....	2-3/1, 4/1
– hőkezelése,	.....	2-3/33
acélipar	.....	5-6/1
acéllemez	.....	1/7
alumínium hengerlése	.....	2-3/22
alumíniumbevonatok	.....	4/9
alumíniumlemez	.....	2-3/22
– tulajdonságai	.....	2-3/22
alumíniumolvasztás	.....	1/22, 4/30
alumíniumöntvény	.....	1/12, 4/31
– nyomásos,	.....	4/23
alumíniumötvözet		
– autóiipari,	.....	4/41
– kovácsolása,	.....	5-6/31
– öntészeti,	.....	2-3/27
– tulajdonságai	.....	4/41
anyagtechnológia	.....	1/30
anyagtudomány	.....	1/30, 4/48, 5-6/31, 5-6/36
anyagvizsgálat		
– roncsolásmentes,	.....	4/59
aranyötvözet	.....	2-3/38
<b>B</b>		
beömlőrendszer	.....	2-3/10
<b>D</b>		
damaszkolás	.....	5-6/6
dekarbonizáció	.....	4/59
<b>F</b>		
felsőoktatás	.....	1/44
fémhabok	.....	1/34, 4/54
fémhulladék	.....	4/35
<b>H</b>		
habok		
– szintaktikus,	.....	1/34
– bimodális,	.....	4/54
hidrogén	.....	1/1
hidrometallurgia	.....	5-6/22
hulladékhasznosítás	.....	4/35, 5-6/22
<b>I</b>		
indium	.....	5-6/22
<b>K</b>		
kohászat	.....	5-6/36
– története,	.....	4/12
kompozitok	.....	1/34
korrózióvédelem	.....	4/9
kristályosodás	.....	2-3/27
<b>L</b>		
lágymágneses anyagok	.....	1/40
<b>M</b>		
maghomok	.....	4/18, 5-6/16
Magyarország(on)		
– vaskohászata,	.....	4/12
<b>N</b>		
nagyolvasztó	.....	1/1
nemesfémek	.....	2-3/38, 4/63
<b>NY</b>		
nyersvasgyártás	.....	1/1
– Magyarországon	.....	1/1
<b>Ö, Ő</b>		
öntvény		
– nyomásos,	.....	1/12, 1/16, 2-3/10, 5-6/11
– szerszámok	.....	1/16, 4/23
– hibái	.....	5-6/11
öntvényhibák	.....	1/12, 5-6/11
öntvénytisztítás	.....	4/18, 5-6/16
ötvözetek	.....	4/48
– amorf,	.....	1/40
– fázisai	.....	5-6/42
<b>P</b>		
pandémia	.....	5-6/1
<b>R</b>		
régészet	.....	4/63, 5-6/6
rézötvözet	.....	5-6/42
<b>S</b>		
salakok	.....	1/22
sókeverékek	.....	1/22
<b>SZ</b>		
szerszámacél	.....	2-3/33
<b>T</b>		
tomográfia	.....	4/30

A kötőhengerlési technológiának számos módszere és kombinációja ismert, amelyek közül mindig az elérni kívánt anyagtulajdonság szempontjából legalkalmasabbat kell kiválasztani.

### Köszönetnyilvánítás

A tématerületi kutatás a Miskolci Egyetemen, egyfelől az Innovációs és Technológiai Minisztérium támogatásával zajló Tématerületi Kiválósági Program keretében támogatott projekt részeként (Támogatói Okirat ikt. száma: NKFIH-846-8/2019), 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 (Támogatói Okirat ikt. száma: TKP-17-1/PALY-2020) alapján támogatott projekt részeként valósult meg. A kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

### Irodalom

- [1] Gácsai Zoltán, Simon Andrea, Pázmán Judit: Fémkompozitok, Miskolci Egyetem (2011)
- [2] Hull, D., Clyne, T. W.: An Introduction to Composite Materials, Cambridge Solid State Science Series, Cambridge (1996)
- [3] Dr. Gácsai Zoltán és Dr. Mertinger Valéria: Fémtan, Magyarország (2004)
- [4] Long Li, Kotobu Nagai and Fuxing Yin: Progress in cold roll bonding of metals. Sci. Technol. Adv. Mater. 9 (2008) 023001 (11pp)
- [5] Zongan Luo, Guanglei Wang, Guangming Xie, Lipeng Wang and Kun Zhao: Interfacial Microstructure and Properties of a Vacuum Hot Roll-bonded Titanium-Stainless Steel Clad Plate with a Niobium Interlayer. Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.) Vol.26 No. 6 pp. 754–760, 2013
- [6] M. Eizadjou, H. Danesh Manesh, K. Janghorban: Investigation of roll bonding between aluminum alloy strips. Materials and Design 29 (2008) 909–913.
- [7] Cheng Zhang, Shouxin Wang, Hanxue Qiao, Zejun Chen, Taiqian Mo and Qing Liu: Enhancing the Mechanical Properties of Hot Roll Bonded Al/Ti Laminated Metal Composites (LMCs) by Pre-Rolling Division Process. Metals (2019) 9, 795
- [8] M. Ma, X. Meng, and W. C. Liu: Microstructure and Mechanical Properties of Ti/Al/Ti Laminated Composites Prepared by Hot Rolling. ASM International, Journal of Materials Engineering and Performance 26(7) July 2017. 3569
- [9] Seyed Mahmoud Ghalehbandi, Massoud Malaki, and Manoj Gupta: Accumulative Roll Bonding – A Review. Appl. Sci. 2019, 9, 3627
- [10] Parks, J. M.: Recrystallization welding. Weld. J. 1953, 209–222.
- [11] Semenov, A.: The phenomenon of seizure and its investigation. Wear 1961, 4, 1–9.
- [12] Vaidyanath, L.; Nicholas, M.; Milner, D.: Pressure welding by rolling. Bri. Weld. J. 1959, 6, 13–28.
- [13] Mohamed, H.; Washburn, J.: Mechanism of solid state pressure welding. Weld. J. 1975, 8, 302–310.
- [14] Kavan Khaledi, Tim Brepols, Stefanie Reese: A multi-scale description of bond formation in cold roll bonding considering periodic cracking of thin surface films. Mechanics of Materials 137 (2019) 103142
- [15] R. Jamaati és társai (2011) – R. Jamaati and M. R. Toroghinejad: Cold roll bonding bond strengths: review. Materials Science and Technology (2011) VOL 27 NO. 7 1101
- [16] Hailiang Yu és társai (2014) – Hailiang Yu, A. Kiet Tieu, Cheng Lu, and Ajit Godbole: An Investigation of Interface Bonding of Bimetallic Foils by Combined Accumulative Roll Bonding and Asymmetric Rolling Techniques. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International, 4038 – volume 45a, august 2014
- [17] Vaidyanath és társai (1960) – Vaidyanath L. R. and Milner D. R. Br. Weld.: J. 1 1 1960
- [18] Saito és társai (1999) – Y. Saito, H. Utsunomiya, N. Tsuji and T. Sakai: Novel Ultra-High Straining Process for Bulk Materials – Development of the Accumulative Roll-Bonding (ARB) Process. Acta mater. Vol. 47, no. 2, pp. 579–583, 1999
- [19] Tsuji és társai (2003) – Nobuhiro Tsuji, Yoshihiro Saito, Seong-Hee Lee and Yoritoshi Minamino: ARB (Accumulative Roll-Bonding) and other new Techniques to Produce Bulk Ultrafine Grained Materials. Advanced Engineering Materials 2003, 5
- [20] Justin L. Milner, Fadi Abu-Farha, Cristina Bunget, Thomas Kurfess, Vincent H. Hammond: Grain refinement and mechanical properties of CP-Ti processed by warm Accumulative roll bonding, Materials Science & Engineering A 561, pp. 109–117, 2013
- [21] Peng Qu és társai (2014) – Peng Qu, Liming Zhou, Hui Xu and Viola I. Acoff: Microtexture Development of Niobium in a Multilayered Ti/Al/Nb Composite Produced by Accumulative Roll Bonding. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International 2014, VOLUME 45A, DECEMBER 2014 – 6217
- [22] T. Nizorek és társai (2014) – T. Nizolek, N. A. Mara, I. J. Beyerlein, J. T. Avallone, J. E. Scott, T. M. Pollock: Processing and Deformation Behavior of Bulk Cu–Nb Nanolaminates. Metallogr. Microstruct. Anal. (2014) 3:470–476.
- [23] Szabó Gábor: Plattírozott alumínium lemezek komplex gyártástechnológiai optimalizációja. Doktori (Ph.D.) értekezés. Miskolc, 2016
- [24] G. Szabó és V. Mertinger: Alumíniumlemezek plattírozási technológiájának optimalizálása, BKL (Kohászat), 145:(3) pp. 25–28. (2012)
- [25] Ikuo Itoh, Kazuo Fujisawa, Hioraki Otsuka: NbTi/Nb/Cu Multilayer Composite Materials for Superconducting Magnetic Shielding. Nippon Steel Technical Report. 2002
- [26] Barna D. és társai (2018) – Barna, D., Novák, M., Brunner, K., Petrone, C., Atanasov, M., Feuvrier, J., Pascal, M.: NbTi/Nb/Cu multilayer shield for the superconducting shield (SuShi) septum. IEEE Trans. Appl. Supercond. 29 (2018) 4900108

# Mangánnal ötvözött alumíniumtuskók mikro-szerkezetének változása előmelegítés során

*Az alumíniumötvözetek felhasználási területe nagyon széles. Az mangánnal ötvözés egy nagyon kedvező tulajdonságokkal rendelkező szerkezeti anyagot biztosít, aminek egyik speciális felhasználási területe a gépjárművek hőcserélője. Ebben az alkalmazásban mind a szilárdság, mind a korrózióállóság lényeges tulajdonság. Mind a két fő tulajdonságot meghatározza az, hogy az ötvözetben az alumínium-mangán kiválások milyen méretben, mennyiségben és eloszlásban vannak jelen. A kiválási folyamat a mangán mellett adagolt ötvözők mennyiségétől és az öntött tuskó hőkezelésétől függ. Cikkünkben ezeket a hatásokat vizsgáljuk meg mikroszkópi felvételek összehasonlításával.*

## Bevezetés

Ma már nem a jellemző, felfedezett és tömegesen felhasznált fémről nevezünk el korokat. Azonban, ha majd a jövő embere visszanéz, arra a következtetésre juthat, hogy az alumínium korában élünk. Ötvözeiteinek hatalmas a felhasználási területe, ami folyamatosan bővül. Jellemző ötvözeit alkalmazzuk a háztartástól a járműiparig, a rögzítéstechnikától az űrtechnikáig [1]. Mindenhol az alumíniumba és ötvözeibe botlunk, miközben klasszikus fémötvözetek egyre speciálisabb területekre szorúlnak vissza. Az ipari fejlődést tekintve ez természetesen nem jár azzal, hogy felhasznált mennyiségük csökken, azonban az alumínium egyre több alkalmazási területet hódít meg. A 2000-es évek elejétől kb. 2014-ig az alumíniumfelhasználás megduplázódott, ezért az új kohófém előállítása mellett az újrahasznosítása is kiemelt fontosságot kapott. Ezt követően évi kb. 3-4% felhasználásnövekedés volt megfigyelhető. Mára – 2021-re – a várható éves felhasználás világszinten kb. 70 millió tonna lesz. Leszűkítve az iparágakat, a modern kor fejlődésének köszönhetően az alumíniumfelhasználás legdinamikusabban a jármű- és az energiaiparban észlelhető [2]. Korábban csak az egyes egyedi, illetve luxusjárművekbe építettek be alumínium elemeket. Ma már a hétköznapi szériajárművekbe is építenek alumínium alkatrészeket, mint karosszériaelemek, kötőelemek, kovácsolt keréktermékek, motorblokk, valamint sebességváltó-alkatrészek és hőcserélő berendezések. Az energiaiparban a hőcserélők mellett a szélerőművek száma növekszik az alternatív energia iránti igény miatt, amelyek megépítéséhez szintén kedvelt alapanyag az alumínium. Ezért is lényeges, hogy az alumíniumtermékek gyártását tanulmányozzuk, az egyes ötvözetek viselkedését alaposan megismerjük, hogy a műszaki kihívásoknak megfelelő alumíniumterméket tudjunk gyártani [3]. Az egyik legnagyobb félkésztermékcsoport az alumíniumlemezek, -szalagok, aminek önmagában is nehéz felsorolni az összes alkalmazásait. Az alumíniumlemezek gyártására alapvetően két technológiai sor kínálkozik: a folyamatos öntéssel gyártott lemeztermékek és a félfolyamatos, tuskóöntéssel induló lemezgyártás [4]. A két alaptchnológia között az a különbség látható, hogy a folyamatos öntési eljárásban a

megszilárdult pászmat, illetve lemezt melegen azonnal továbbhengereljük, amíg az öntött tuskót általában vissza kell melegíteni a meleghengerlés kezdő hőmérsékletére, hiszen meleghengerléssel csökkenthető gazdaságosan a tuskó vastagsága lemez méretté [5]. Kristályosodás során a technológiai folyamatok adta lehűlési sebesség mellett számítani kell dúsulásokra. Ennek egyik fajtája a mikro-dúsulás, ami a mikroszerkezetben okoz összetételbeli különbséget. Ez oda is vezethet, hogy nem egyensúlyi intermetallikus fázisok képződnek. Természetesen a gyártás egyik célja az előírt ötvözet homogenitása, így a tuskók felmelegítése és hőntartása módot ad arra, hogy ezeknek a dúsulásoknak a hatásait csökkentsük, amire a folyamatos lemezöntési technológiák során korlátozott a mód. Természetesen ez az alap fémtani kép, ami az alumínium lemezgyártás második fázisát jellemzi.

Az alumíniumötvözetek mindegyike tartalmaz kis mennyiségben mangánt, de van egy ötvözetcsoport, ahol a fő ötvöző maga a mangán. Szerkezeti anyag céljára kedvelt ötvözet, hiszen az alumínium ötvözőit tekintve az olcsóbbak közé tartozik, és impresszív mechanikai és korrózióknak jól ellenálló tulajdonságokat mutat [7]. Ezen a ponton érdemes kitérni ismét azokra a felhasználási lehetőségekre, amelyekre ez az ötvözetcsoport a legmegfelelőbb. Jól mélyhúzható, amihez kellő szilárdság is társul [4]. Ezen tulajdonságainak köszönhetően kerül felhasználásra a hőcserélő berendezések alapanyagaként. Fókuszáljunk példaként az autókban lévő hőcserélőkre (pl. radiátor – motor hűtővíz hűtéséhez, kondenzátor – klíma része, motorolaj hűtő, turbó levegő betöltő, hűtőradiátor – autó utastér fűtéshez, párologtató – klíma berendezéshez, „intercooler” – turbóból a motorba beáramló levegő hűtéséhez stb.). A jövő generációs hibrid vagy teljesen elektromos meghajtású járművek akkumulátoraihoz ugyanúgy használnak alumínium-mangán ötvözetet. Az akkumulátorokat is hűteni kell, amelyhez szintén hőcserélő berendezésre van szükség. A hőcserélők világában cél az egyre könnyebb és viszonylag egyre kisebb berendezések elterjedése, amelyhez minél hosszabb élettartam és hatékony hőcsere párosul. Ezen elvárások teljesítéséhez egyre kisebb vastagságú alumíniumszalagra és bonyolult termékdizájn megvalósítására van szükség úgy, hogy az alapanyag ki van téve szélsősé-

ges hatásoknak. Például sivatagi meleg, amihez a homok miatt erős abrazív koptató igénybevétel is társul, tengeri nagy sótartalmú pára, rendkívüli hideg, a hűtőfolyadék vagy olaj kémhatása, összetétele és turbulens áramlása, a rendszer belső nyomása, hőmérséklet-ingadozása stb. Ilyen körülmények mellett a jól megtervezett dizájn mellett az alapanyag-választás és annak tulajdonságai kulcsfontosságúak. A mangán-alumínium ötvözetek elterjedése köszönhető az említett hatásokkal szembeni ellenállásának.

Ezek a hőcserélők különböző alumínium részegységekből épülnek fel. Az egyes elemeket összeépítik, és kemencébe téve keményforrasztással rögzítik. Legelterjedtebb forrasztás a vákuumos vagy a folyósító eljárás. Alkalmazott módszerek megfelelően kell ötvözetet választani. Vákuumos eljárás esetében magnézium ötvözőre is szükség van, mert ez képes az alumínium felületén lévő alumínium-oxid módosítására, ami a megfelelő kötéshez szükséges forrasztás során. Másik esetben folyósító réteget visznek fel a felületre, ami segít kémiai úton felbontani az oxidréteget. Ebben az esetben a magnézium jelenlétére nincs szükség. Az említett elemek forrasztásához az alap alumínium-mangán ötvözetre egy vagy több rétegben, felhasználásnak megfelelően más ötvözet plattírozása történik, amelynek olvadáspontja kisebb az alap alumínium-mangán ötvözeténél. Forrasztás során ez a réteg olvad meg, kialakítva az elemek közötti forrasztási pontokat, de vannak olyan rétegek is, amelyek nem olvadnak meg [8]. Ezek feladata extra korróziós védelem biztosítása. Ilyen réteget alkalmaznak a hűtőkön belül például csövekben, amelyben hűtőfolyadék érintkezik a felülettel. Az alumínium-mangán ötvözetet hívják a magötvözetnek, amely feladata a megfelelő szerkezet és szilárdság biztosítása a jó korrózióállóság mellett, a védőréteg szerepe a korrózióvédelem javítása, illetve a leolvadó réteg az elemek közötti összeforraszthatóságért felel. Ezek együttese, kiegészítve az elemek vastagságával, választott ötvözetrel, forrasztási eljárással határozza meg a késztermék, azaz a hőcserélő élettartamát. Mindezek mellett az alapanyag tulajdonsága, pontosabban mechanikai tulajdonság, szemcseszerkezet, kiválásszerkezet jelentős hatással bír a késztermék tulajdonságára.

Mint látható, az alkalmazások kombinációs lehetőségeinek nagy száma miatt az ötvözetválasztás kiemelt kérdéskör. A mangántartalmú ötvözeteknek számos módosulata, egyedi verziója létezik, amelyek kifejlesztése hosszú kutatómunka eredménye. A mangán az alumíniumban nem hajlamos dúsulásra, és technológiai hűlési sebességeket tekintve a tuskó lehűlésekor szilárd oldatban marad annak ellenére, hogy a hőmérséklet-csökkenéssel intenzíven esik az oldhatósága az alumínium rácsában. Az alumínium-mangán tuskók felmelegítésekör és hőntartásakor azonban az oldhatóságnak megfelelő mennyiségű alumínium-mangán intermetallikus fázis kiválik [9]. A kiválás kinetikája természetesen függ a hőntartás hőmérsékletétől. Kisebb hőmérsékleten a nagy hajtóerő miatt sok csíra képződik az alumíniumrácsban, azonban a kis hőmérséklet miatt a mangándiffúzió sebessége is kicsi, így sok apró kiválás jellemzi majd a mikroszerkezetet. Nagy hőmérsékleten a csírák képződésének hajtóereje kicsi, így kevés képződik, azonban a nagy hőmérséklet okozta nagyobb termikus ak-

tíválás miatti gyors mangándiffúzió a kiválások gyors növekedését eredményezi. Emiatt nagy hőmérsékleten végzett előmelegítés hatására nagy méretű, durva intermetallikus fázisok jelennek meg a mikroszerkezetben. Az intermetallikus fázisok mérete és mennyisége eleve módosítja a lemez mechanikai tulajdonságait, azonban nemcsak a felhasználásnál, hanem a gyártási folyamatban is jelentős hatást fejtenek ki. A megalakításkor és a lágyításkor lejátszódó újrakristályosodás kinetikájára vannak jelentős hatással [10]. Ezáltal a kialakuló szemcseszerkezetet is befolyásolják, ami ugyancsak jelentősen hat az elkészült lemez tulajdonságaira. Egyes felhasználási területeknél szintén jelentős szerepet kell tulajdonítani a gyártás közben kialakult kiválásoknak és az így kapott félkész termék szemcseszerkezetének, mert hatással van a késztermék hosszútávú felhasználására, azaz az élettartamára is. Ez különösen a hőcserélő alapanyagokra vonatkozik. A kis méretű fázisok gátolják a szemcsehatár mozgását, amíg a nagyméretű fázisok elősegítik a csírák képződését újrakristályosodáskor. Az, hogy milyen kiválásszerkezettel milyen lemeztulajdonságok érhetők el, egy hosszabb tanulmány témája lehet. Azonban ehhez elengedhetetlen, hogy ismerjük az említett mangánkiválás folyamatát. Emellett ráadásul az említett egyéb, nemegyensúlyi fázisok viselkedését is ismernünk kell. Jelen tanulmányban arra vállalkozunk, hogy a mikroszerkezet vizsgálatának eredményein keresztül bemutassuk az említett folyamatokat. A számszerűen kifejezett kinetika leírása helyett inkább a megjelenő mikroszerkezeti sajátosságokra és azok jelentőségére koncentrálnunk, mert mint láttuk, akár jelentős befolyással is lehetünk a késztermék tulajdonságaira.

### Vizsgált ötvözetek, vizsgálati eljárások és előmelegítő hőkezelések

A vizsgált ötvözetek az Arconic-Köfém Kft. székesfehérvári üzeme által gyártott szériaötvözetek voltak. Az adott ötvözetekből készült öntött tuskóból vágtak mintákat, amiknek vizsgáltuk a mikroszerkezetét, mint öntött kiinduló állapotot. Mindegyik ötvözet az alumínium-mangán ötvözet volt, az EN AW 3xxx ötvözetcsaládba tartoztak. A mangántartalom mindegyik esetben közel 1w% körüli érték. Az alapötvözet nem is tartalmazott más ötvözőt, az ötvözetcsalád legismertebb tagja az EN AW 3003 ötvözet. A későbbiekben ezt **A** ötvözetnek nevezzük. Az elemzés szempontjából lényeges a vas: 0,6 tömeg% és a szilícium: 0,7 tömeg% tartalma. A **B** ötvözet kevés, 0,5 w% réztartalom mellett nem tartalmazott más ötvözőt, és a szilíciumtartalmát is jelentősen, közel 0,4 tömeg%-ra csökkentették. Természetesen vasból is kevesebbet, ugyancsak 0,4 tömeg%-ot tartalmazott. A **C** ötvözet az említett 0,5% réztartalom mellett hasonló mennyiségben magnéziumot is tartalmazott. Emellett a szilíciumtartalma nagyobb volt, mint az **A** ötvözeté, közel 1% maximális értékig. Ezzel arányosan a vas-tartalom is nagyobb volt. Röviden fogalmazva a **B** ötvözet a mangán mellett jóval kevesebb ötvözőt, a **C** ötvözet pedig jóval több ötvözőt tartalmazott. Az említett elemeket és határokat tekintve a legtöbb ötvözőt az alumínium ebben a mennyiségben szilárd oldatban oldja. Természetesen az alumínium-vas-szilícium rendszerben az ötvözet-

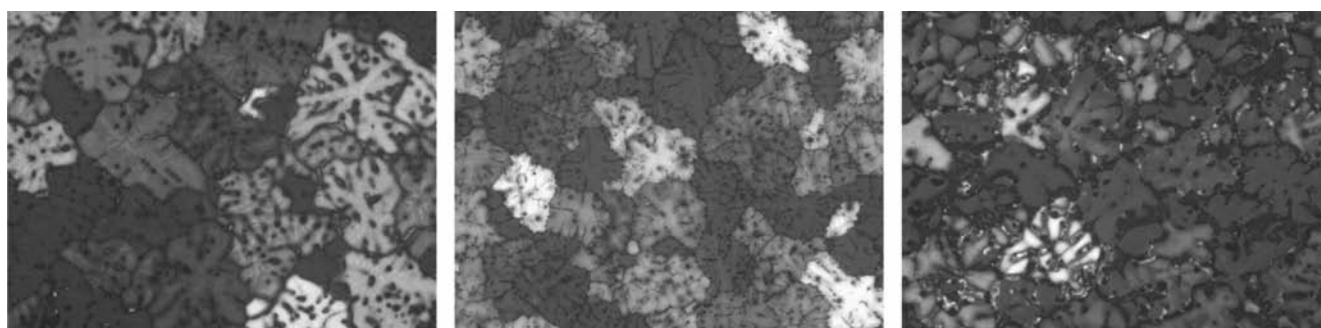
ben lévő mennyiségek esetén is lejátszódnak eutektikus és peritektikus folyamatok, amiknek és a mangántartalomnak köszönhetően különböző fázisok találhatók. Adott körülmények között ezeknek az intermetallikus fázisoknak a hatása is azonosítható a vizsgálni kívánt kiválási folyamatokra.

Háromféle hőkezelést végeztünk. Az I. hőkezelés során egyszerűen felmelegítettük a mintát 510 °C-ra és ott 1 órát tartottuk. A II. hőkezelés során 540 °C-ra hevítettük és 4 órát tartottuk hűn a mintákat. A III. hőkezelés során 610 °C-on hőkezeltük a mintát 8 órán keresztül. Természetesen a lehűlés során is mehetnek végbe folyamatok, így a nagy hőmérsékleten hőkezelt mintákat programozottan hűtöttük 510 °C-ra, majd onnan a minták ugyanolyan körülmények között, vízben hűltek.

A metallográfiai vizsgálathoz a mintákat mechanikus csiszolás, majd polírozás után hidrogén-fluorid vizes oldatában marattuk, hogy az intermetallikus fázisokat mind optikai,

mind pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgálni tudjuk. A felvételeket Zeiss Axiomager M1m optikai mikroszkóppal és Zeiss EVO MA 10 pásztázó mikroszkóppal készítettük.

A fázisok vizsgálata után a szemcseszerkezet tanulmányozásához a felületet újra políroztuk, és elektrolitosan, Barker-marószerral marattuk. Az eljárás eltér a klasszikus maratási eljárásoktól. A Barker-eljárás hatására az alumínium-ötvözetek felületén megjelenő kettőstörő réteg a szemcsék kristálytani orientációjától függően adott szemcsén vastagabb, másikon vékonyabb lesz. Így a szemcseszerkezet lineárisan polarizált fényben, egy hullámhosszoltalással kiegészítve színesen pompázik az optikai mikroszkóp okulárjában. A felvételeket polarizált megvilágításra is alkalmas Zeiss AxioVert 40 optikai mikroszkópokkal készítettük. Hullámhosszoltolás alkalmazása nélkül szürkeárnyalatos képeket tudunk rögzíteni. A cikkben az így elkészített mikroszkópi felvételeken végzett megfigyelésekről számolunk be.

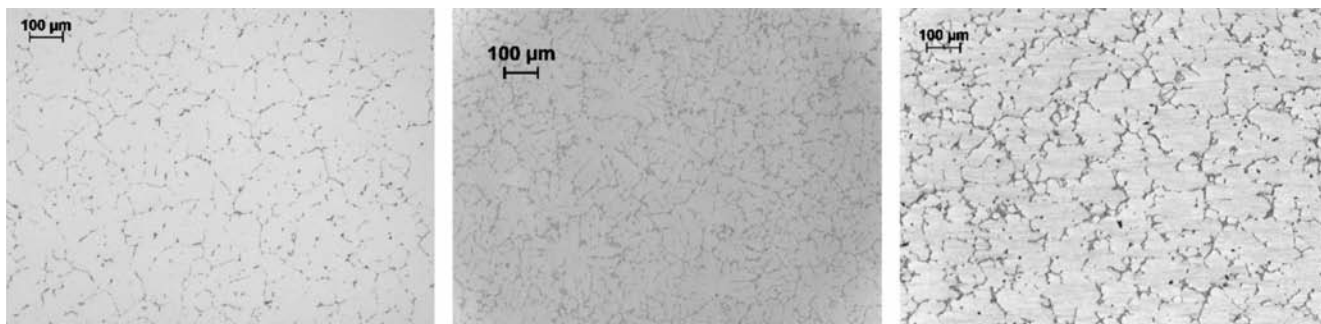


a) B ötvözet

b) A ötvözet

c) C ötvözet

Optikai mikroszkópos felvétel, Barker-maratás

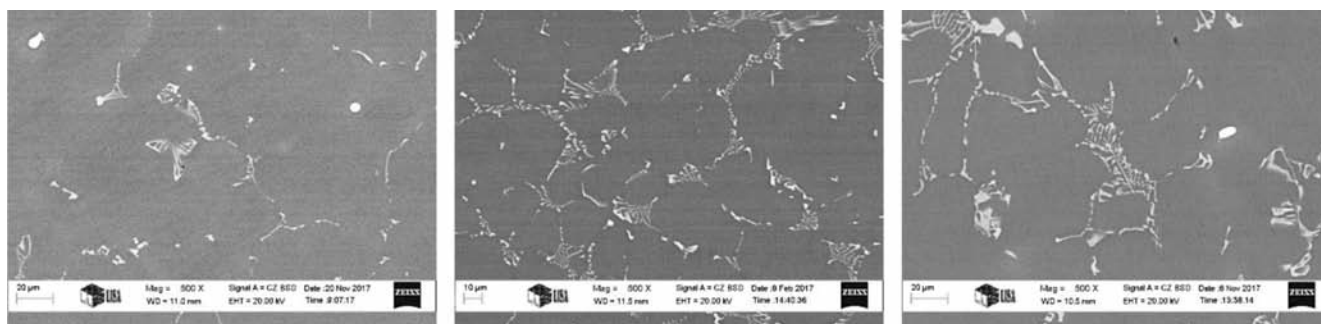


a) B ötvözet

b) A ötvözet

c) C ötvözet

Optikai mikroszkópos felvétel, HF-os maratás



a) B ötvözet

b) A ötvözet

c) C ötvözet

Pásztázó elektronmikroszkópos felvétel, HF-os maratás

■ **1. ábra.** A vizsgált ötvözetekből készült tuskók jellemző mikroszerkezete. A minták a tuskók azonos helyéről származnak; a felvételek nagytájolása azonos



## Eredmények, folyamatok

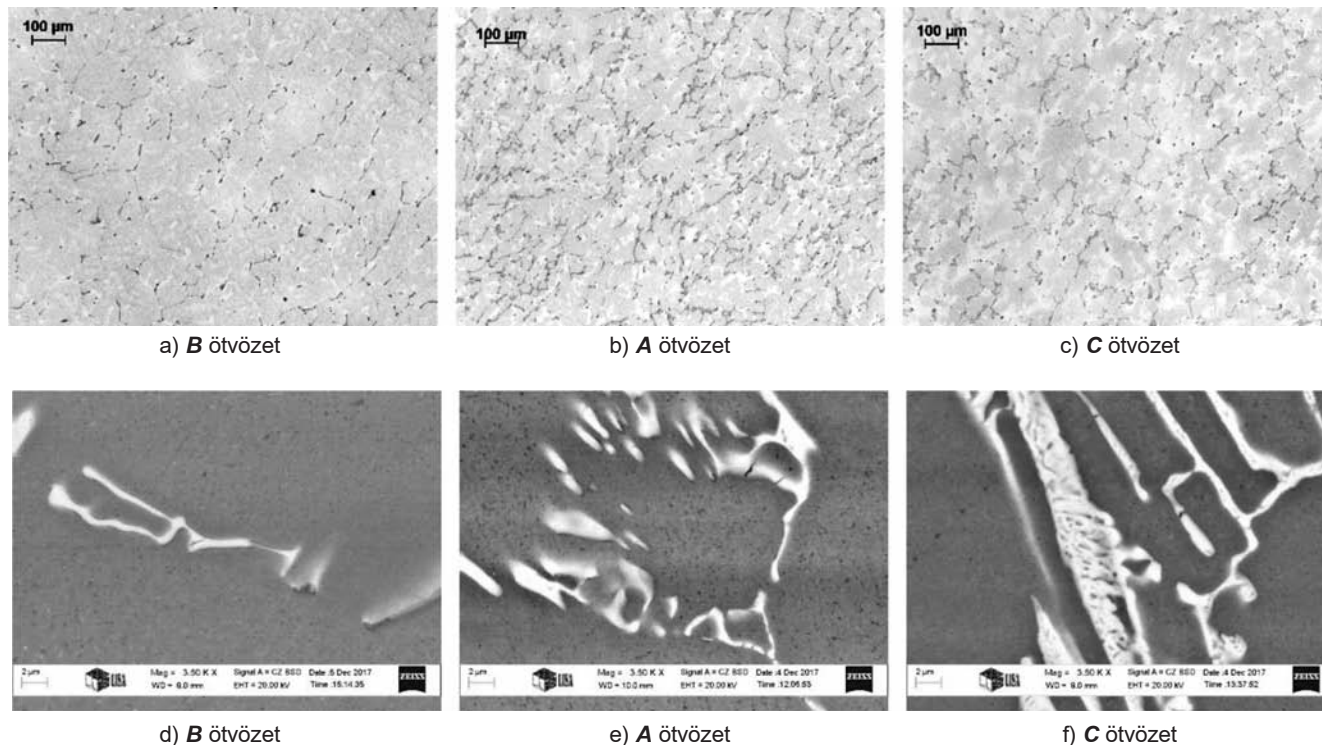
A mikroszkópi felvételeket két tábla foglalja össze azért, hogy jobban összevethetőek legyenek, az eredmények jobban elemezhetőek legyenek. Ebben a részben a táblákon látható képek összehasonlító leírását adjuk meg. Az 1. ábra első sora a különböző ötvözetek öntött tuskóinak a szemcseszerkezetét mutatja. A színes maratással (Barker-eljárás) készült felvételeken (1a–1c ábrák) dendrites szerkezet látható. Természetesen a szemcseméret változik a tuskóban, ezért igyekeztünk jellemző mintát venni közel azonos pozícióból, hogy az összevetés minél pontosabb legyen. Látható, hogy minél nagyobb a tuskó ötvöztartalma, annál kisebbek a szemcsék, bár ez a különbség nem jelentős. A dendritek maguk is finomabb szerkezetűek. Az ötvöztartalom növekedésével a szekunder dendritágtávolság csökken. Ez az összetételi túlhűlés megemelkedésének köszönhető, aminek okán a dendritágak fejlődése, növekedése a hőelvonás irányában gyorsabb.

A színes maratással előkészített mintákon a kristályosodott fázisok nem vizsgálhatók, azokat hidrogén-fluorid vizes oldatába bemártással tehetjük láthatóvá. A kristályosodás-kor kialakuló egyensúlyi és nem-egyensúlyi fázisok mennyisége természetesen a nagyobb ötvöztartalmú C mintában nagyobb (1d–1f ábrák). Az is látható (1g–1i ábrák), hogy az átlagos méretük kisebb, apróbb fázisokat nagyobb mennyiségben látunk. Az ugyancsak természetes, hogy a nagy méretű fázisokból is több van, de arányaiban nem olyan mértékben több, mint az apróbb fázisokból. Az apróbb fázisok nagyobb mennyiségéért egyrészt a nagyobb túltelítettségéből következő gyorsabb csíráképződés a felelős. Másrészt, ahol a kristályosodási folyamat eutektikum képződésével ér véget, ott a nagyobb ötvöztartalom miatt az eutektikum hányada is nagyobb, így annak finomabb

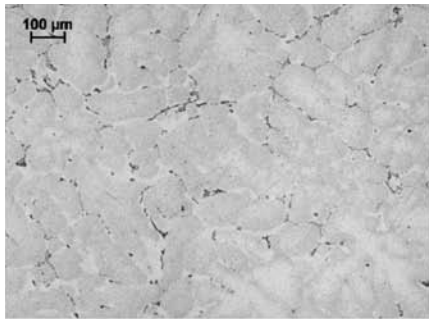
kristályosodott szerkezete nagyobb területeken jelenik meg.

A 2. ábra a hőkezelt szerkezetekről készült optikai és elektronmikroszkópi felvételeket mutatja. A mintaelőkészítés hidrogén-fluoridos maratással történt, így kapunk megfelelő képet a kiválások mennyiségéről. Az optikai mikroszkópi képeken látható az alumínium-mangán ( $Al_6Mn$ ) fázisok megjelenésének ténye, de a méretükről, eloszlásukról és elhelyezkedésükről az elektronmikroszkópi fotók adnak részletes információt.

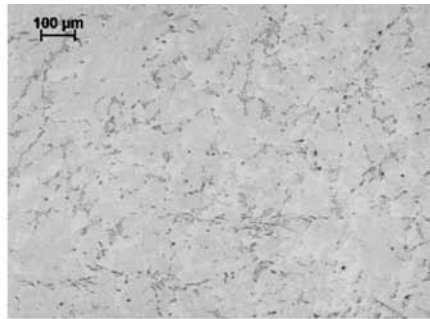
Ha az ötvöző mennyiségének függvényében nézzük a mikroszerkezetet, akkor a nagyobb ötvözöttségű C minták esetében látunk több (2f ábra), esetenként jóval több kiválást (2l ábra), mint a másik két ötvözet esetében (2d, 2e, 2j, 2k ábrák). Ennek oka, hogy az említett ötvözők a mangánnal együtt oldva helyezkedtek el az alumíniumrácsban, így a nagyobb ötvöztartalom esetén a túltelítettség C esetben nagyobb. Azaz a kiválás hajtóereje is nagyobb. Emiatt több, jellemzően kisebb alumínium-mangán ( $Al_6Mn$ ) vegyületfázis válik ki. Látható, hogy a B esetben is, a legkisebb ötvözöttség mellett jóval kisebb számban jelennek meg a kiválások (2d, 2j ábrák), mint a másik két ötvözet esetében. Ez ugyan jellemző mindegyik hőkezelés esetén, azonban hőkezelésként összehasonlítva a mikroszerkezeteket a hőmérséklet és hőkezelési idő növekedésével egyre nagyobb mértékű kiválásokat figyelhetünk meg (2d, 2j, 2p ábrák). Amíg azonban a kis ötvözöttségű B mintáknál a hőkezeléssel jelentősen befolyásolható a kiválás mértéke, addig a C minták mikroszerkezete kevésbé érzékeny a hőkezelésre (2f, 2l, 2r ábrák). Ennek oka is a túltelítettség. Minél több ötvözt tartalmaz a minta a mangán mellett, annál biztosabban megjelenik a vegyületfázis a hőkezelés során, mert minden hozzáadott ötvöző csökkenti a mangán oldhatóságát.



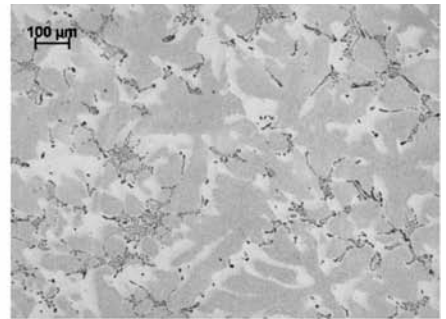
Optikai mikroszkópi és pásztázó elektronmikroszkópi felvételek, 510 °C 1 óra hőkezelés után



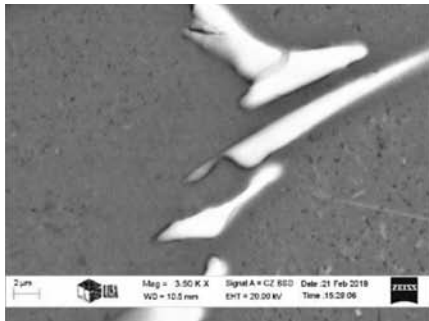
g) B ötvözet



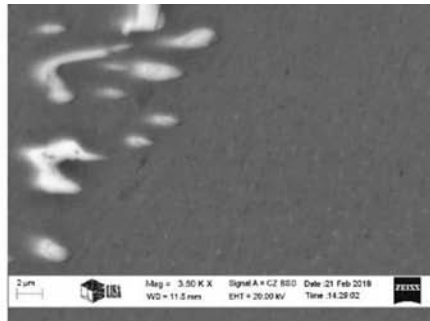
h) A ötvözet



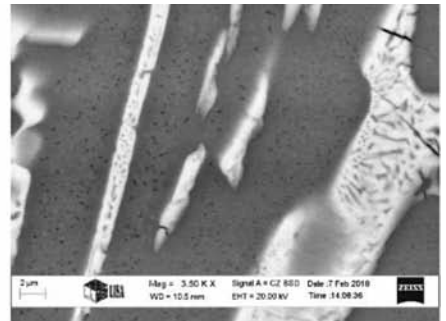
i) C ötvözet



j) B ötvözet

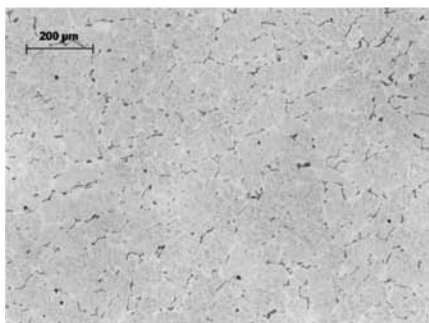


k) A ötvözet

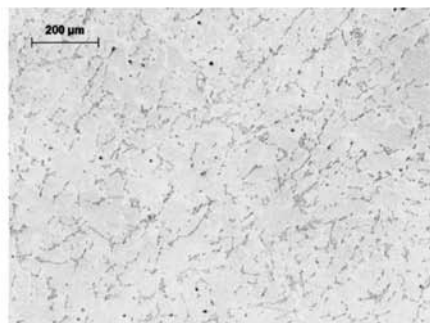


l) C ötvözet

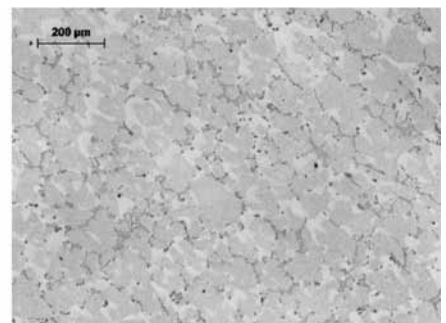
Optikai mikroszkópi és pásztázó elektronmikroszkópi felvételek, 540 °C 4 óra hőkezelés után



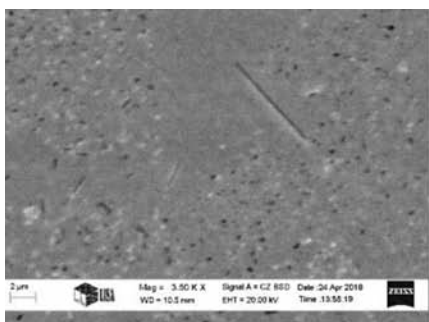
m) B ötvözet



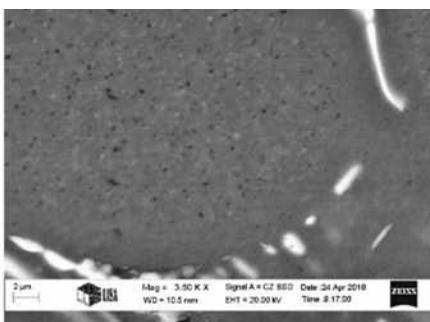
n) A ötvözet



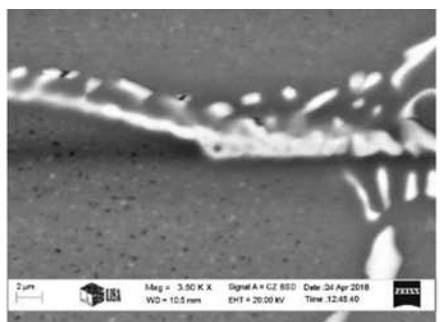
o) C ötvözet



p) B ötvözet



q) A ötvözet



r) C ötvözet

Optikai mikroszkópi és pásztázó elektronmikroszkópi felvételek, 610 °C 8 óra hőkezelés után

■ 2. ábra. A vizsgált ötvözetekből készült hőkezelt minták jellemző mikroszerkezete

Ebben az esetben a bevezetőben említett drasztikus különbségeket nem tudjuk létrehozni. A hozzáadott ötvözők csökkentésével azonban hőkezelésre érzékenyebb ötvözetet készítünk, és lényeges lesz a lemez tulajdonságainak kialakulásában az előlemezítő hőkezelés. Ezt az ötvözet

alkalmazásakor a tervezésnél figyelembe kell venni. Az optikai mikroszkópi képek nagyítása nem ad pontos képet a kiválások méretéről és pontos mennyiségéről, csak a látványból észlelhetők ezek az eltérések. Bár az optikai mikroszkópi felvételeken ez határozottan látszik, figyelemmel

kell lennünk arra, hogy a maratás eredményét az elektrokémiai folyamatok befolyásolják, és ott is látszanak ilyen sávok, ahol az nem alakul ki (2f, 2i és 2l, 2o ábrák).

Az elektronmikroszkóp egyik képalkotó módja kémiai összetétel alapú. A képeken a mangánkiválások és a kristályosodáskor képződő fázisok világosak, amíg az alumínium szilárd oldat sötétszürke árnyalatú (2d–f, 2j–l, 2p–r ábrák). Több helyen vannak fekete fázisok. Ezek ugyancsak az alumínium-mangán intermetallikus fázisokat jelölik. Az előkészítés során (polírozás, maratás) ezek a fázisok kiperegtek a vizsgált felületből, így csak a helyük látható. Azonban ezek is jól elkülöníthetőek az alumínium szilárd oldattól, így a kiválások összessége vizsgálható.

A kis ötvöztartalmú mintákban nagyobb méretű fázisok fejlődnek (2p ábra), mint az erősebben ötvözött esetben (2r ábra). A kiválási folyamat alapján véve két részfolyamatra bontható, a vegyületfázis csíráinak képződésére és azok növekedésére. Ha a szilárd oldat, amiből a kiválás történik, erősebben túltelített, akkor gyorsabb lesz a csíráképződés, ott több fázis keletkezik. A sok csíra miatt a fázisok így kisebbekre nőnek. Kisebb túltelítettség esetén kevesebb csíra keletkezik, és inkább a növekedés lesz a meghatározó folyamat. Természetesen mind a két részfolyamat érzékeny a hőmérsékletre. Minél nagyobb a hőmérséklet, annál gyorsabb mind a két folyamat. A hőmérséklet mellett az időt is változtattuk, hogy magasabb hőmérsékleten a növekedést (és a fázisok durvulását is) segíteni tudjuk, azaz nagyobb méretű fázisok képződjenek (2p ábra). Az elektronmikroszkópi képek már teljesen világossá teszik, hogy a magasabb túltelítettség, azaz ötvöztartalom esetén kisebb különbséget kapunk a hőkezelés változtatásával, miközben a kisebb ötvözöttség esetén jelentősen befolyásolni vagyunk képesek a kiválási folyamatot.

Az alumínium-mangán vegyületbe ( $Al_6Mn$ ) a vas is képes beépülni és  $Al_6(Mn,Fe)$  vegyület képződik. A vas beépülésének mértékével a vegyületfázisok morfológiája is megváltozik. Az eredetileg kis nyújtottságú lencseszerű  $Al_6Mn$  fázisok mellett rövidebb-hosszabb tűs morfológiát mutató  $Al_6(Mn,Fe)$  jelenik meg vasfelesleg esetén (2p ábra). Ez csak a legkisebb ötvöztartalmú, kis mennyiségű szilíciumot tartalmazó ötvözetben fordul elő. A vas és szilícium ismert viszonya miatt ez a jelenség a másik két ötvözetben nem figyelhető meg.

Az elektronmikroszkópi képeket összevetve az optikai mikroszkópi képekkel látható, hogy adott esetben valóban kialakul a kiválásmentes sáv (2j, 2q és 2r ábrák). De ahol ez nem jelentkezik az elektronmikroszkópi felvételen (2l ábra), ott is markánsan látjuk az optikai mikroszkópi felvételen (2j ábra). Természetesen a kiválási folyamatban az ötvözők fázisokat igyekeznek építeni, és úgy kilépni a szilárd oldat rácsából. Azonban a kristályosodás során képződött fázisok környezetében, a szilárd oldatban már ott vannak azok a fázisok, amikhez kapcsolódni tudnak az ötvözőatomok. A kristályosodott fázisok közelében, amennyiben a csíráképződés sebessége kicsi, ez meg is történik. Amikor a csíráképződési kényszer, így a sebesség is nagy, ott megtörténik a fázisok képződése közvetlenül a kristályosodáskor képződő fázisok közvetlen környezetében, vagy akár a kristályosodott eutektikum szilárd oldat fázisában is.

## Összegzés

Az alumínium-mangán ötvözetek gyártásakor a termék tulajdonságait tekintve rendkívül fontos, hogy a mangán oldott, vagy alumínium-mangán intermetallikus fázisok formájában van-e jelen. Ha kiválások képződnek, akkor pedig azok mérete és mennyisége egy jelentős kérdés. Tuskó öntését követő hengerléshez alkalmazott hevítéssel és hőkezeléssel a kiválási folyamat és annak eredménye akár jelentősen is befolyásolható. Ez az eredmény azonban erősen meghatározott már az ötvözethez adalékolt egyéb szilárd oldatban jelenlévő ötvözők által. Minél több ilyen ötvözőt adunk az alapötvözethez, annál nagyobb túltelítettség, azaz kiválási hajlam érhető el. Az ilyen ötvözetek kevésbé érzékenyek a hőkezelés hőmérsékletére és időtartamára. Minél kevesebb a hozzáadott ötvöző, annál nagyobb mértékben tudjuk a hőkezeléssel befolyásolni az ötvözet későbbi veselkedését, változtatni a termék tulajdonságait. A bemutatott képekkel és leírásokkal igyekeztünk rámutatni arra, hogy komplex folyamatok mennek végbe, amelyeket mind figyelembe kell vennünk, hogy adott alkalmazáshoz a megfelelő ötvözetet válasszuk. Megfelelő vizsgálatok elvégzésével és kiértékelésével összegyűjthető mindaz az ismeret és tapasztalat, ami ahhoz szükséges, hogy az alapanyagokkal szemben is egyre gyorsabban növekvő elvárásoknak meg tudjon felelni az adott alkalmazáshoz választott/fejlesztett ötvözet.

## Irodalom

- [1] Totten G. E., MacKenzie D. S. ed.: Handbook of Aluminum Vol. 1, 2, Marcel Dekker Inc., Basel, 2003
- [2] Totten G. E., Tiryakioğlu M., Kessler O. ed.: Encyclopedia of Aluminum and Its Alloys, CRC Press, London 2019
- [3] MacKenzie D. S., Totten G. E.: Analytical Characterization of Aluminum, Steel and Superalloys, CRC Press, London, 2006
- [4] Davis J. R.: ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, 1993
- [5] Eskin D. G.: Physical Metallurgy of Direct Chill Casting of Aluminum Alloy, CRC Press, London, 2008
- [6] Limley R. ed.: Fundamentals of Aluminium Metallurgy, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2011
- [7] Afseth A., Nordlien J. H., Scamans G. M., Nisancioglu K.: Effect of thermo-mechanical processing on filiform corrosion of aluminium alloy AA3005, Corrosion Science Vol. 44 (2002) pp. 2491–2506.
- [8] Liao L. H., Jin H., Gallemeault M., Esmaeili S.: Recrystallization behavior of a co-cast AA3xxx – AA6xxx aluminum alloy laminate – Effect of annealing conditions and cold reduction levels Materials Characterization vol. 94 (2014) pp. 215–226.
- [9] Li Y. J., Håkonsen A., Mortensen D., Pettersen T., Furu T.: Modelling the phase transformation from  $Al_6(Mn,Fe)$  to  $\alpha-Al(Mn,Fe)Si$  phase during homogenization of AA3xxx alloys, Materials Science Forum Vols. 519-521 (2006) pp 297–302.
- [10] Liu J., Morris J. G.: Macro-, micro- and mesotexture evolutions of continuous cast and direct chill cast AA 3105 aluminum alloy during cold rolling, Materials and Engineering A357 (2003) pp. 277–296.

RÉGER MIHÁLY – HORVÁTH RICHÁRD – SZÉLL ATTILA – RÉTI TAMÁS –  
GONDA VIKTOR – FELDE IMRE

## Új módszer felületi rétegek keménységeloszlásának becslésére

*A fémötvözetek felületkezelésének leggyakoribb célja a felület keménységének és kopásállóságának növelése. A felületkezelés eredményeként kialakult kéregvastagság és a mélység irányú keménységeloszlás meghatározása a kezelt felületre merőleges irányú csiszolaton végrehajtott keménységméréssel és metallográfiai vizsgálattal történhet. A hőkezelés eredményességének gyors ellenőrzéséhez felületi keménységmérés is alkalmas, ennek elvégzése lényegesen egyszerűbb és olcsóbb, ugyanakkor a rétegvastagságra és keménységeloszlására vonatkozóan a felületi keménység csak közvetett információkat hordoz. A felületi és keresztmetszeti keménység az indentáció során kialakuló képlékeny zóna matematikai modelljén keresztül hozható kapcsolatba, melynek segítségével a felületi és mélységi keménységfüggvények átszámíthatók egymásba. A matematikai modell alkalmazhatóságának ellenőrzése különböző rétegvastagságú karbonitridált minták keménységi adatainak elemzésével történt. A megvizsgált esetekben a kidolgozott módszerrel a keresztmetszeten mérhető keménységeloszlás kielégítő pontossággal becsülhető a felületi keménységmérési adatok felhasználásával.*

### 1. Bevezetés

A fémek felületi rétegeinek minősítésére a legelterjedtebb eljárás a szűrő keménységmérési módszerekkel (Vickers, Rockwell) meghatározott keménységi értékek nyomon követése. A réteg minősítéséhez általában két mérőszám meghatározása, becslése szükséges. Egyrészt a felület keménységének kiemelkedő jelentősége van, hiszen a működő alkatrészekben a felületi keménység drasztikusan befolyásolja a kopás, elhasználódás folyamatát. A felületi keménység meghatározása önmagában sem triviális feladat, tekintve, hogy a mért keménységi érték függ az alkalmazott eljárástól és a terhelőerő nagyságától is. Ez utóbbinak az az oka, hogy a mért keménységi értéket nemcsak a felület keménysége, hanem a felület alatti – általában lágyabb – anyagréteg keménysége is befolyásolja. A felületen mért  $H_s$  keménység a terhelőerő függvénye, minél nagyobb a terhelés, általában annál kisebb a felületi keménység. Ugyanakkor az *1a ábrán* látható módon a  $H_s$  felületi keménység az indentációs mélység függvényének is tekinthető ( $F_1 < F_2 < F_3 < F_4$ ), a továbbiakban a felületi keménységfüggvény kifejezésen ez utóbbit értjük ( $H_s = H_s(h)$ ). A másik

mérőszám a felületi réteg vastagsága, melynek meghatározása roncsolásos vizsgálattal, a minta felületre merőleges irányú csiszolattal, általában azonos és kicsi terhelőerővel végzett keménységmérési sorozattal történik. A felülettől adott  $x$  távolságokban megállapított  $H_d$  diszkrét keménységi értékeket a folytonos – általában a felülettől monoton csökkenő – keménységletfutási függvény elemeinek tekintjük az *1b ábra* vázlatának megfelelően ( $H_d = H_d(x)$ ), így a felülettől számított távolság és a keménységi értékek közötti összefüggés, vagyis a mélységi keménységfüggvény közelítőleg meghatározható. Ezen függvény segítségével azután a vonatkozó előírások vagy szabványok alapján a rétegvastagság értéke megállapítható. A felületre merőleges helyzetű csiszolaton metallográfiai vizsgálatokat is szokás végezni, mivel a felületi kezelések általában a mikroszerkezet jellegzetes módosulásait is eredményezik.

A felületen és a felületre merőleges csiszolaton mért keménységi értékek, vagyis a  $H_s(h)$  és a  $H_d(x)$  függvények természetesen összefüggnek, hiszen egyazon felületi réteg tulajdonságait „tapogatjuk le” a keménységmérő eszközzel végzett különböző irányú és pozíciójú méréssel. A

**Dr. Réger Mihály** szakmai életrajzát 2019/2. számunkban közzé tettük.  
**Dr. Horváth Richárd** 2007-ben egyetemi oklevelet kapott a BME Gépészmérnöki Karán, 2015-ben doktorált ugyanott. 2004-től dolgozik az Óbudai Egyetem Bánki Karának Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézetében.

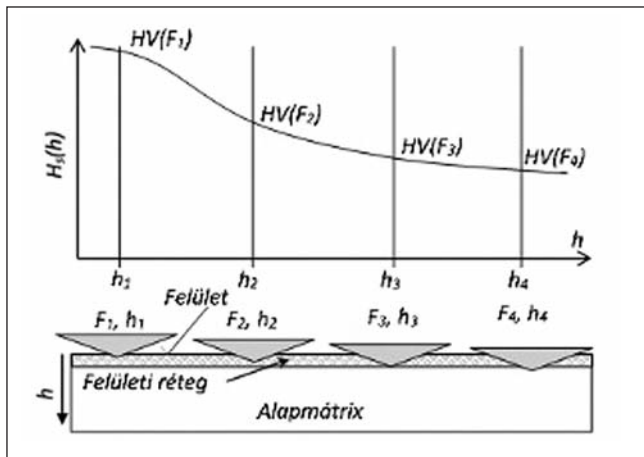
**Széll Attila** 2009-től a TS Magyarország Kft. PVD szegmensének irányítója, jelenleg a vállalat termelési vezetője. 2017 óta a Dunaújvárosi Egyetem anyagmérnök BSc-hallgatója.

**Dr. Réti Tamás** felsőfokú tanulmányait a Bánki Donát Műszaki Főiskolán és az ELTE Alkalmazott Matematika Szakán végezte.

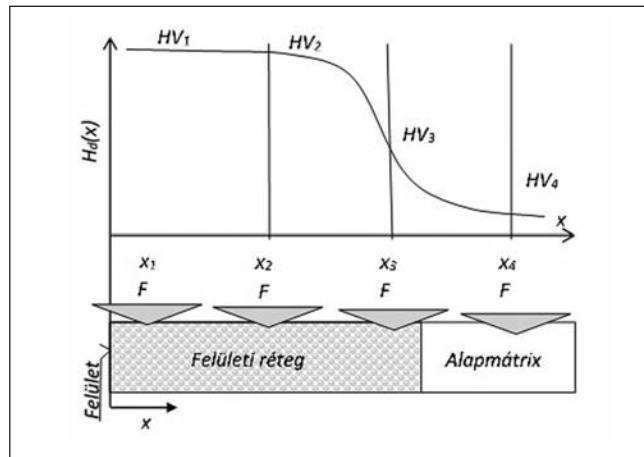
1995-ben elnyerte az MTA műszaki tudomány doktora címet. Jelenleg az Óbudai Egyetem oktatója, emeritusz professzorként.

**Dr. Gonda Viktor** gépészmérökként végzett a BME-n, 2008-ban doktorált. 2012-től dolgozik az Óbudai Egyetem Bánki Karának Anyagtechnológia Tanszékén.

**Dr. Felde Imre**, informatikus mérnök, PhD-fokozatát 2007-ben szerezte, az Óbudai Egyetemen habilitált 2018-ban. 2012-től az Óbudai Egyetem Neumann János Informatika Karának kutatási dékánhelyetteseként, 2018-tól az Egyetem rektorhelyetteseként dolgozik.



a) felületi



b) mélységi

■ 1. ábra. A  $H_s$  felületi és a  $H_d$  mélységi keménységfüggvény értelmezése

kicsi terheléssel végzett felületi keménységmérés alapvetően a kéreg felső tartományáról szolgáltat információt. Ugyanakkor ez az információ is egy felületi tartomány átlagos mechanikai viselkedését tükrözi, hiszen akármilyen kicsi is a terhelőerő, létrejön egy nullánál nagyobb méretű  $h$  indentációs mélység. A mért keménységet nemcsak a  $h$  vastagságú felületi anyagréteg, hanem az indentációs nyom körüli és alatti anyagrétegek viselkedése is befolyásolja. A réteg keménységének meghatározása során kis terhelés esetén a lenyomat mérethatását (indentation size effect, ISE) is figyelembe kell venni, mivel kis terheléseknél a terhelőerő függvényében is változhat a keménység [1, 2]. Jelen munkában az ISE hatástól eltekintünk, mivel a keménységmérések során alkalmazott legkisebb terhelés (1,962 N, HV0,2) esetén is jellemzően 2  $\mu\text{m}$ -nél nagyobb  $h$  indentációs mélységek alakultak ki. A felületi keménységmérés során minél nagyobb a terhelőerő, a mért érték annál kevésbé jellemzi a legkülső felület állapotát, hiszen a támasztó réteg, illetve az alapmátrix befolyása egyre nő. Ebből adódik az az alapkérdés, hogy akkor tulajdonképpen mit is jellemez egy felületi keménységi mérőszám, és hogyan is lehet interpretálni a felületi keménységmérési eredményeket inhomogén keménységeloszlás esetén.

A jelen tanulmány elsősorban ezekre a kérdésekre keresi a választ, illetve arra, hogy egy keménységi szempontból inhomogén réteg felületi keménységmérése alapján lehet-e bármilyen megalapozott következtetést levonni a teljes kéregszerkezet mechanikai tulajdonságait illetően. Végül soron a tanulmányban arra teszünk kísérletet, hogy a felületi keménységi adatokból jó közelítéssel megbecsüljük a mélységi keménységi értékeket, vagyis a felületre merőleges síkban (csiszolaton) a felülettől mért távolság függvényében várható mélységi keménységeloszlást.

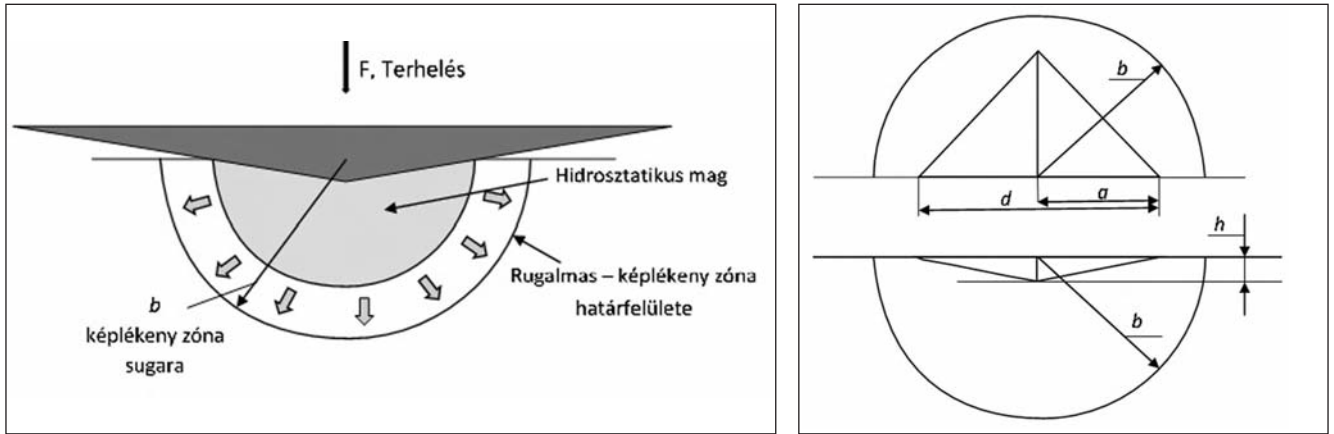
## 2. A kompozit keménység és annak értelmezése

A felületi keménység információtartalmának elemzése a vékony felületi bevonatok (pl. PVD) alkalmazásának elterjedésével vált igazán fontossá. Ezekben az esetekben a felületi bevonat (film) tényleges keménységének meghatározása nagy bizonytalansággal terhelt, mivel a szubsztrát (vagyis az alapmátrix, a hordozó) keménysége is befolyásolja a mérés eredményét. Ebben az időszakban születtek

meg azok a matematikai modellek, melyek a felületi keménység értékét ún. kompozit keménységként értelmezték, vagyis a mért keménységi értéket a szubsztrát és a bevonat egyedi keménységének kombinációjával határozták meg. A kidolgozott modellekkel – ha ismert a szubsztrát keménysége – a felületen mért kompozit keménységből a bevonati film keménysége megbecsülhető.

Elsőként Bückle [1] javasolt számítási módszert a film és a szubsztrát keménységének kombinációjával a kompozit keménység meghatározására. Hasonló elveken alapul Jönsson és Hogmark [3] modellje, mely a terhelés alátámasztási felületek, illetve ezek vetületeinek relatív arányából vezeti le az eredő keménység meghatározási módját. Burnett és Rickerby elviekben is új modellt publikált a kompozit keménység meghatározására, ez az indenter alatt kialakuló rugalmas-képlékeny tartomány mechanikai szempontból korrekt figyelembevételén alapul [4]. Az alakítási keményedésre hajlamos anyagok esetén a viszonyok a gömbszerű üreg belső nyomás hatására történő tágulásának mechanikai modelljével írhatók le, melynek elmélete és a keménységmérésre történő adaptálása a 70-es évek óta ismert [5–7]. Burnett és szerzőtársa ezen elméletre építve nem a felületek, hanem térfogatok arányait vette számításba a keverési szabály alkalmazásával, így ez a megközelítés az indentáció során a bevonat és az alapmátrix képlékeny alakítási munkaszükségletének arányait veszi figyelembe. Iost a Jönsson és Hogmark modell mellett annak továbbfejlesztett változatát (Korsunsky modell) [8, 9], illetve a módosított Puchi-Cabrera [10] eljárást hasonlította össze és alkalmazta a vékony rétegek valódi keménységének meghatározására [11]. Szintén Jönsson és Hogmark munkájára alapozva Coorevits és Mejjas a felületi keménység alapján történő mélységi keménységeloszlás becslésére dolgozott ki eljárást, mely az indenter alatti felületek integrális figyelembevételén alapul [12].

A kompozit keménységet a jelen dolgozatban – Burnett megközelítési módszerét követve – az indenter alatt, a 2. ábra vázlatán bemutatott, félgömb alakúnak feltételezett képlékeny zóna térfogata alapján értelmezzük [4]. A Vickers alakú indenter esetén e megközelítés alkalmazhatóságát Mata végeselemes számítási eredményei is alátámasztják [13].



■ 2. ábra. Az indenter alatt kialakuló képlékeny zóna (balra) és annak metszetei (jobbra)

A keménységmérés során kialakuló rugalmas-képlékeny állapot leírására kidolgozott elmélet (gömbszerű üreg belső nyomás hatására történő tágulása) szerint a rugalmas-képlékeny alakváltozás határfelületét jelentő félgömb alakú felület  $b$  sugara és a Vickers-lenyomat  $a$  félátlója ( $a = d/2$ ) között érvényes a

$$b = a(E/H)^{1/p} \cot^{1/3} \varphi \quad (1)$$

összefüggés, ahol  $E$  a rugalmassági modulus,  $H$  a felületi keménység,  $p$  egy 2-3 közötti értékű konstans (jelen munkában  $p = 3$ ),  $\varphi$  pedig az indenter szemközti oldalélei által bezárt szög fele ( $148^\circ/2 = 74^\circ$ ). Kiemelkedően fontos ez az összefüggés a gyakorlati alkalmazás szempontjából, mivel kapcsolatot teremt az indentációs nyom és a képlékeny zóna mérete között. A Vickers-gyémánttal létrehozott lenyomat  $h$  mélysége és  $d$  átlója között fennáll a  $d = 7h$  összefüggés, így a  $b$  képlékeny zóna sugár közvetlenül a  $h$  indentációs mélység függvényeként is értelmezhető ( $b = b(h)$ ).

Burnett modelljét *Ichimura* fejlesztette tovább és alkalmazta duplex bevonatú szerszámacélok PVD-rétegeinek értékelésére [14, 15]. A numerikus eljárás alkalmazásához a képlékeny zóna  $b$  sugarú félgömb térfogatát  $n + 1$  darab gömbövszeletre osztotta fel a felülettel párhuzamos síkok mentén. Az így adódó  $n+1$  gömböv mindegyikére definiálta annak térfogatát és keménységét, ez utóbbi a mélységi  $H_d(x)$  keménységeloszlási függvény alapján meghatároz-

ható. *Ichimura* értelmezésében a kompozit keménység ekkor a következőképpen számítható:

$$H_{comp} = H_s(h) = (V_f / V_0)H_f + \sum_{i=1}^n (V_i / V_0)H_i \quad (2)$$

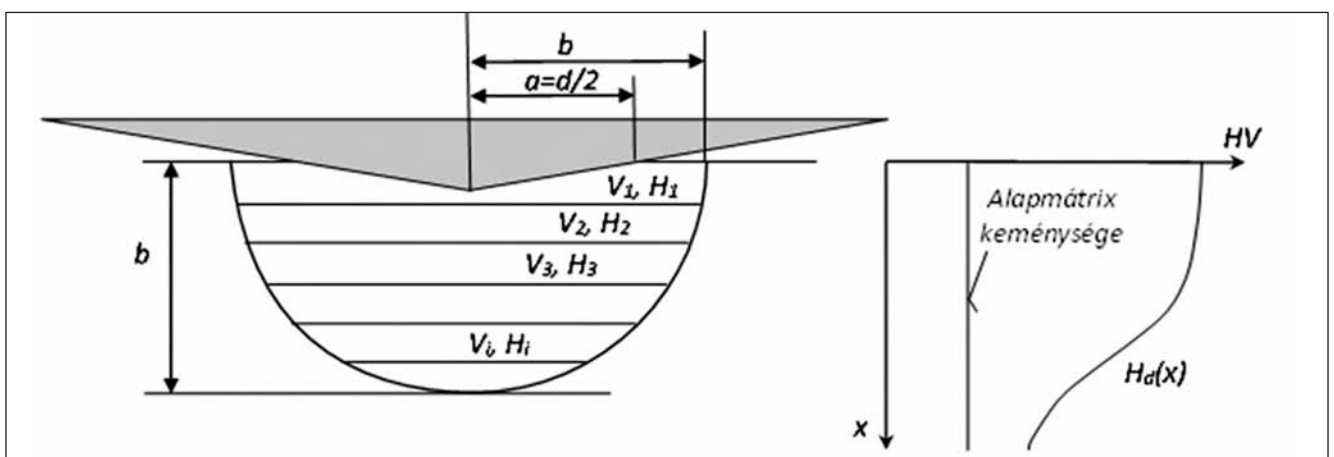
ahol  $V_f$  és  $H_f$  a felületi filmréteg térfogata és keménysége,  $V_i$ ,  $H_i$  a felület alatti  $i$ -edik gömböv térfogata és jellemző keménysége,  $V_0$  pedig a  $b$  sugarú képlékeny zóna térfogata. Ha a felületi filmréteg jelenlététől eltekintünk, akkor a (2) egyenlet a 3. ábrán bemutatott általánosított viszonyokra vonatkozóan a (3) összefüggés formájában írható fel. Megfelelő pontossággal ismert mélységi keménységeloszlás alapján egy tetszőleges  $h$  indentációs mélységhez tartozó felületi keménység az (1) egyenlet és a

$$H_{comp} = H_s(h) = \sum_{i=1}^n (V_i / V_0)H_i \quad (3)$$

összefüggés alkalmazásával becsülhető (ahol az  $i = 1$  érték a felülettel érintkező gömbövet jelenti).

### 3. A keménységi függvények átszámítása

A felületkezelt rétegek  $H_d(x)$  mélységi keménységeloszlása általában monoton csökkenő jellegű. A felülettől a darab belsejének irányában haladva a gyakorlati felületkezelt alkatrészek esetében (pl. betétedzés, felületedzés, nitridálás) a keménység monoton csökkenése reálisan feltételezhető,



■ 3. ábra. A kompozit keménység értelmezése (balra) és a réteg keménységeloszlásának vázlata (jobbra)

mivel általában éppen az a cél, hogy a felületet ellenállóvá, kopásállóvá tegyük. Bizonyos esetekben előfordul, hogy a bevonatolt rétegben a keménységeloszlás maximuma nem a felületre esik (pl. maradék ausztenit megjelenése, vagy dekarbonizálódás miatt), de az esetek többségében a felületi és a maximális keménység helye és értéke között kicsi az eltérés, így a monoton csökkenő tendencia jellemzőnek feltételezhető.

A mélységirányban kialakuló keménységfüggvény (a felülettől az alapmátrix eléréséig) folytonosnak tekinthető a betétedzés és a felületedzés esetén. A nitridált felületi kéreg vegyületi réteget is tartalmazhat, ez esetben a keménységi függvény folytonossága csak a diffúziós tartományra tekinthető igaznak. Vegyületi nitridréteg, vagy pl. PVD-bevonat esetén lépcsős függvény feltételezése indokolt. A jelen tanulmányban foglaltak a folytonos és monoton csökkenő mélységi keménységfüggvényt eredményező felületkezelési esetekre tekinthetők érvényesnek (pl. betétedzett, felületedzett, vegyületi réteg nélküli nitridált kéreg).

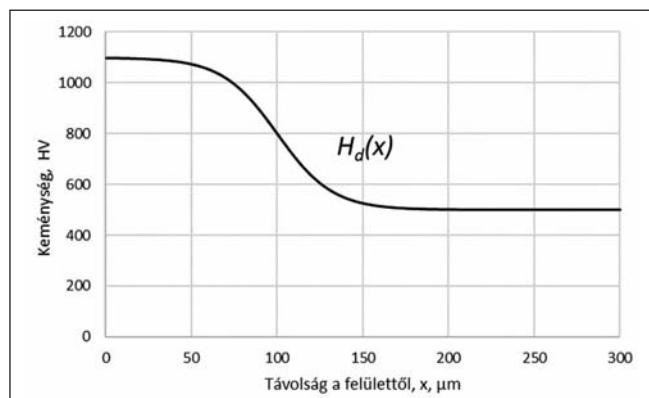
A numerikus módszerek alkalmazhatóságának érdekében célszerű a mélységi keménységeloszlást közelítő függvénnyel definiálni. Az előzetes számítások, valamint a könnyű kezelhetőség és a paraméterek fizikai értelmezhetősége okán a

$$H_d(x) = A1 + \frac{A1 - A2}{1 + e^{(x-x0)/dx}} \quad (4)$$

alakú, monoton csökkenő szigmoid függvény alkalmas a mélységi keménységeloszlás leírására. A (4) egyenletben  $A1$  a függvény felső,  $A2$  az alsó határértéke,  $x0$  a görbe inflexiós pontjának  $x$  koordinátája,  $dx$  pedig időállandó, mely a függvény  $x$  tengely menti nyújtottságát fejezi ki.

### 3.1. A felületi keménységfüggvény számítása a mélységi keménységeloszlásból

A (4) egyenlettel közelített mélységi keménységeloszlásból a felületi keménység az (1) és (3) összefüggések felhasználásával határozható meg, előre definiált indentációs mélységekhez tartozóan. Tételezzük fel, hogy a mélységi keménységfüggvény ismert, és a keménység eloszlását az alábbi paraméterek definiálják:  $A1 = 1100$  HV,  $A2 = 500$  HV,  $x0 = 100$   $\mu\text{m}$ ,  $dx = 12,5$   $\mu\text{m}$ . Az  $x0/dx$  arány értéke fentiek alapján 8. Erre az esetre a függvény alakját a 4. ábra szemlélteti.



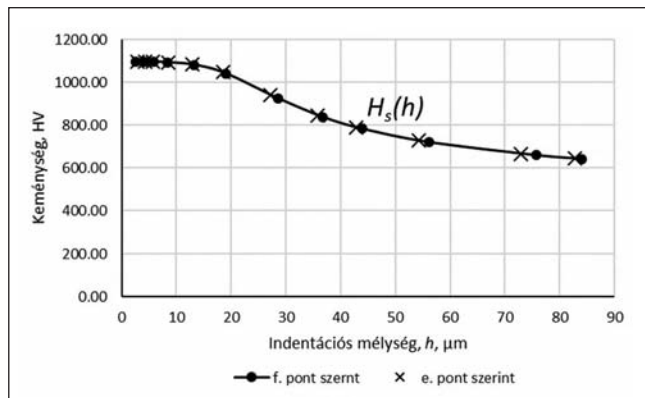
■ 4. ábra. A  $H_d(x)$  mélységi keménységeloszlást reprezentáló szigmoid függvény

Rögzítsük azon diszkrét  $h$  indentációs mélység értékeit, melyekhez tartozóan a várható felületi keménységet keressük. Az indentációs mélység sorozat kiválasztásának fontos szempontja, hogy  $h$  illeszkedjen a Vickers keménységmérés indentációs mélység tartományához és a várható rétegvastagsághoz. A jelen számításban a  $h$  indentációs mélység tartománya 3 és 82  $\mu\text{m}$  között változik, ez  $d \sim 7h$  feltételezése esetén 21-574  $\mu\text{m}$  lenyomatátlló tartománynak felel meg.

Tekintettel arra, hogy az (1) egyenletben szerepel a kiszámítandó  $H$  felületi keménység értéke is, így a  $b$  képlékeny zóna sugár függvény meghatározása többciklusú rekurziós számítással végezhető el az alábbi lépésekben:

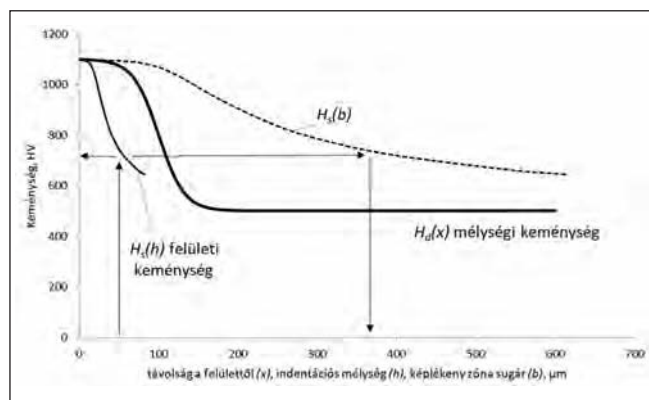
- Legyen adott  $d$ , illetve  $h$  érték esetén  $H_0$  a  $H_s(h)$  felületi keménységfüggvény egy kezdeti, becsült értéke (pl. 500 HV egységesen).
- Határozzuk meg ezen feltétel mellett a  $b$  értékét az összes kiválasztott  $h$  indentációs mélységre, majd a számítás elvégzése után az eredményül adódó felületi keménységi érték sorozatot tekintsük a következő számítási ciklus kezdeti értékének.
- A számítási ciklus többszöri ismétlése során a ciklushoz tartozó kezdeti érték és a végeredmény konvergál egymáshoz.
- Képezzük a ciklusban minden  $h$  értékhez tartozóan a kezdeti és végérték különbségét, melyek hibahatáron belüli eltérése esetén kapjuk a felületi keménységérték sor végeredményét. A tapasztalatok szerint 0,01 HV értéknél kisebb eltérés adódik értékpáronként 6-8 számítási ciklus elvégzése után.
- A lenyomat méretéből és a fentiek szerint meghatározott keménységből a szükséges terhelőerő a Vickers-keménység definíciója alapján számítható.
- Mivel a keménységmérő berendezéseken a terhelés diszkrét, előre meghatározott értékekre választható, így célszerű a szokványos terhelésekre (HV0,2, HV0,5, HV1...HV120) korrigálni (pl. lineáris interpolációval, extrapolációval) az e pontban kapott eredményeket. A számítási módszer alkalmazásával kapott felületi keménységi értékeket az 5. ábra diagramja ábrázolja.

A 6. ábra a számítás fontosabb eredményeit összefoglalóan mutatja be. A kiindulópont tehát a mélységi vagy keresztmetszeti keménységeloszlás, ennek alakulását a felülettől mért  $x$  távolság függvényében a vastag vonal jelzi (azonos a 4. ábrán bemutatott függvénnyel). A végered-



■ 5. ábra. A  $h$  indentációs mélység–felületi keménység összefüggés alakulása ( $H_s(h)$ )

mény a vékony vonallal jelzett felületi keménységi értéksor, mely a  $h$  indentációs mélység függvényében látható (azonos az 5. ábrán bemutatott függvénnyel). A bemutatott esetben tehát például az 50  $\mu\text{m}$  mélységű felületi keménységi indentációs nyom a 730 HV keménységi értékhez tartozik, vagyis 50  $\mu\text{m}$  mélységű lenyomatot létrehozó terhelés esetén adódik a 730 HV felületi keménység. A 6. ábrán szerepel még egy szaggatott vonallal jelzett függvény, mely az adott  $H_s(h) = H_s(b)$  felületi keménységhez (és  $h$  értékhez) tartozó  $b$  képlékeny zóna sugarát reprezentálja. A felületi keménység (vékony vonal) egyes értékeinek meghatározása a szaggatott vonallal jelzett sugarú félgömb térfogatrész mélységi keménységi értékeinek figyelembevételével történt. Például a 730 HV értékhez tartozó pont esetén (melynél a felületi keménységmérés lenyomat mélysége 50  $\mu\text{m}$ ), a képlékeny zóna sugara 370  $\mu\text{m}$  körüli érték. Ez azt jelenti, hogy a felületi keménységfüggvény e pontjának értéke a 370  $\mu\text{m}$  sugarú félgömbnek feltételezett képlékeny zóna térfogatának és keménységének figyelembevételével volt számítható a 3. ábra vázlatával összhangban.



■ 6. ábra. A mélységi és felületi keménységfüggvény, valamint a képlékeny zóna sugarának alakulása a vizsgált esetben

### 3.2. A mélységi keménységeloszlás becslése a felületi keménységi értékekből

Ebben az esetben a méréssel meghatározott  $H_s(h)$  felületi keménység az input adatsor, a mélységi keménységeloszlást jellemző  $H_d(x)$  függvény pedig az output, az eredmény. A felületi keménységi értékekből a mélységi keménységeloszlás meghatározása visszavezethető a 3.1. fejezetben ismertetett fordított irányú számításra. Az inverz eljárás alkalmazása során a mélységi keménységi célfüggvény (szigmoid függvény) paramétereit célszerűen megválasztott tartományban változtatva minden paraméterkombinációban meghatározható a visszaszámított és a mért felületi keménységi értéksor különbsége, azaz a hibafüggvény (lásd (5) egyenlet). Keressük tehát a (4) egyenlet paramétereinek azon kombinációját, melyből a visszaszámított felületi keménység hibafüggvénye minimumot ér el. Az így meghatározott függvény lesz a – vizsgált paramétertartományban a felületi keménységértéket a legkisebb hibával közelítő –  $H_d(x)$  mélységi keménységeloszlás reprezentációja.

Az inverz feladat hatékony megoldásához a feltérképezendő paramétertartomány szűkítése célszerű. Mivel a (4) egyenlet paramétereinek fizikai jelentéssel is bírnak, így az alapanyag és a felületkezelés jellegének ismeretében a

vizsgálandó tartomány viszonylag nagy biztonsággal kijelölhető. Az  $A1$  paraméter a mélységi keménységeloszlás maximális értéke, melynek várható értéktartománya a gyakorlati felületkezelések esetében jól becsülhető. Az alapmátrix  $A2$  keménysége az esetek többségében ismert, így akár konstans értékűnek is tekinthető. Az  $x_0$  érték a görbe inflexió pontjának felülettől való távolsága szabad változó, értéktartománya a várható rétegvastagsághoz igazodik.  $dx$  az  $x_0/dx$  arányból számítható, ez az arány a felületi rétegek esetében általában 2 és 40 közé esik. Minél nagyobb az  $x_0/dx$  arány, annál élesebben változik a keménység az inflexió pont környezetében.

## 4. Vizsgálati anyagok

A felületi keménység és felületre merőleges csiszolaton mérhető keménységeloszlás összefüggésének ellenőrzése karbonitridált megalakító szerszámacél mintákon történt, melyek hőkezelése ipari körülmények között valósult meg [16]. A próbatestek alapanyaga 1.2344 ESR/ESU elektroalagos átolvasztással készült, nagytisztaságú, finom karbideloszlású megalakító szerszámacél, (C 0,39%, Cr 5,2%, Mo 1,4%, V 0,95%, Si 1,1%), mely elsősorban nyomásos öntőszerszámok, töltőkamrák, műanyag fröccsszerszámok készítésére használatos.

A szerszámacél minták alapanyagának hőkezelése az anyagminőségre vonatkozó előírások szerint történt, nevezetesen ausztenítés 1050 °C-on vákumban, hűtés nagy nyomású nitrogén-gázban, háromszoros megeresztés nitrogén védőgázban 530, 600 és 570 °C-on. A hőkezelést követően a próbatesteken mért keménységi értékek átlaga 50,6 HRC (521 HV) érték volt. A minták karbonitridálására cianidmentes sófürdőben került sor. A 380 °C hőmérsékletű 60 perces előmelegítés után a karbonitridálás 580 °C-on történt, szignifikánsan eltérő kéregvastagságok elérése érdekében 60, 120 és 480 perces időtartammal. A hőkezeléssel megcélzott nitridált rétegvastagság 0,08, 0,1 és 0,18 mm volt a növekvő karbonitridálási idők sorrendjében [16].

A hőkezelés végén a nitridált felületi vegyületi réteg kémiai úton eltávolításra került, ennek megfelelően a mélységi keménységfüggvény folytonos monoton csökkenő jellegű feltételezhető.

A felületre merőleges síkban kimunkált polírozott csiszolaton a mélységi irányú keménységeloszlás mérése HV0,2 (1,962 N) terheléssel, Vickers keménységmérés eljárással történt 50  $\mu\text{m}$ -es lépésközzel [16]. A felületi keménység meghatározása érdekében növekvő terhelések alkalmazása mellett szintén Vickers keménységmérés sorozatot végeztünk. A mikrokeménység mérése 0,2, 0,5, 1, 2, a makrokeménység megállapítása 5, 10, 20, 30, 40, 60, 100, 120 kg-os terheléssel történt. A felületi keménységmérés terhelési tartománya ennek megfelelően közel három nagyságrendet ível át. A keménységméréseket Zwick 3212 és hagyományos univerzális keménységmérő berendezéssel hajtottuk végre.

## 5. Felületi és mélységi keménységátszámítás karbonitridált réteg esetén

A karbonitridált, vegyületi rétegtől mentes minták kemény-



ségmérési adatainak feldolgozása keretében a mélységi keménységeloszlás alapján a felületi keménységi értékek becslését a 3.1. fejezetben, a felületi keménységből a mélységi keménységeloszlás meghatározását a 3.2. fejezetben leírt módon végeztük. A mélységi és felületi keménységmérés adatai alapján a mért és számított adatok összehasonlítására mindkét számítási irányban lehetőség van. Az eltérés jellemzésére a

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_{i,mért} - H_{i,szám})^2}{n}}$$

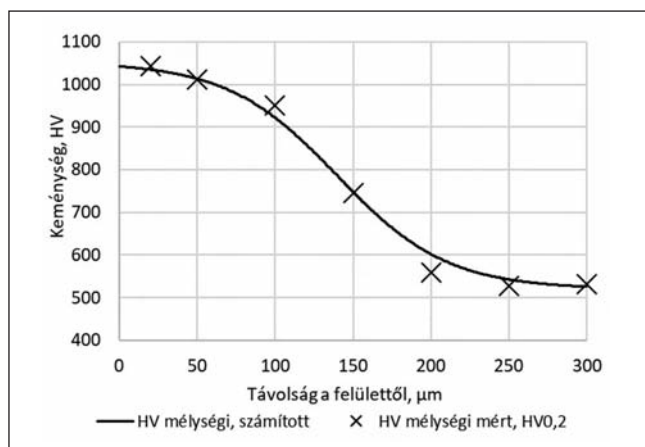
összefüggéssel definiált szórási jellemzőt alkalmaztuk (n a mért és számított adatpárok száma).

### 5.1. A mélységi keménységeloszlásból becsült felületi keménység

A  $H_d$  mélységi keménységeloszlás felülettől mért  $x$  távolság függvényében ábrázolt mérési adatai, illetve az adatokra kereskedelmi szoftverrel illesztett szigmoid függvény a 7a ábra diagramján látható, példaként a leghosszabb idejű, 480 perces karbonitridálási esetre nézve. A mélységi keménységeloszlás alapján a 3.1. fejezetben leírt módon számított felületi keménységfüggvény a 7b ábra diagramján követhető nyomon, melyen – az összehasonlíthatóság érdekében – a felületi keménység méréssel meghatározott értékeit is feltüntettük. A felületi keménységet a lenyomat átlójából számított  $h$  indentációs mélység függvényében ábrázoltuk. Mindhárom karbonitridálási esetre a közelítő függvény illesztési paramétereit az 1. táblázat foglalja össze.

**1. táblázat.** A mélységi keménységeloszlás közelítésére alkalmazott (4) egyenlet szerinti szigmoid görbe paramétereit a különböző karbonitridálási variációk esetén

Paraméter	Karbonitridálási idő, perc		
	60	120	480
A1, HV	1052,7	1049,2	1052,1
A2, HV	528,5	539,2	520,1
$x_0$ , $\mu\text{m}$	58,4	76,2	139,9
$dx$ , $\mu\text{m}$	10,9	11,2	27,4
$x_0/dx$	5,4	6,8	5,1



a

**2. táblázat.** A mért és számított felületi keménység értékei közötti szórás

Átszámítás iránya	Szórás, HV	Karbonitridálási idő, perc		
		60	120	480
mélységi → felületi átszámítás	mélységi keménység	11,94	15,68	20,76
	felületi keménység	18,30	25,74	10,98
felületi → mélységi átszámítás	felületi keménység	10,98	14,61	7,13
	mélységi keménység	18,15	27,69	13,06

(5) A számított és mért adatok közötti szórásokat a 2. táblázat „mélységi → felületi átszámítás” sora tartalmazza.

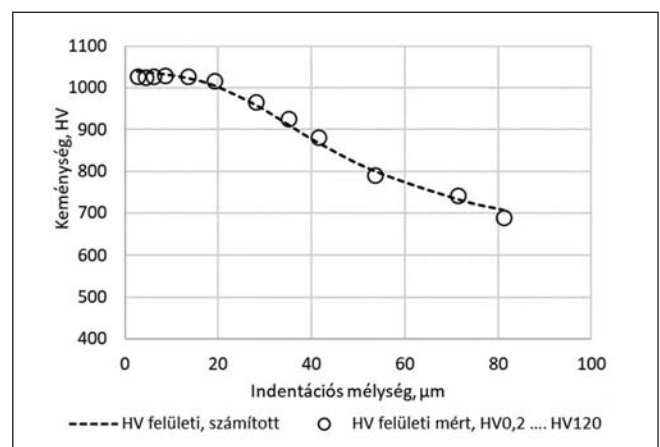
### 5.2. A felületi keménységből becsült mélységi keménységeloszlás

A  $H_s$  felületi keménységi adatokból a  $H_d$  mélységi keménységeloszlás inverz módon történő meghatározásához (3.2. fejezet) a (4) egyenlet paramétereit az alábbi határok között változtattuk:

- A1 maximális (felületi) keménység: 1000-1100 HV között, 10 HV lépésekben,
- A2 minimális (alpmátrix) keménység: 500-550 HV között, 10 HV lépésekben,
- $x_0$  inflexiós pont  $x$  koordinátája: 30-200  $\mu\text{m}$  között, 1  $\mu\text{m}$  lépésenként,
- $x_0/dx$  arány: 4-30 között, egységnyi lépésközben.

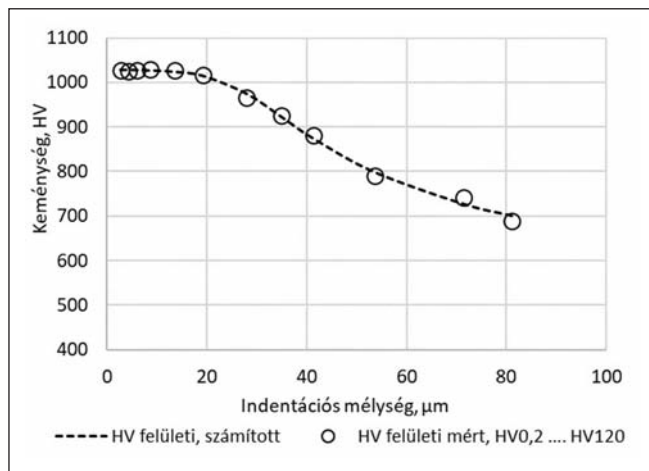
Minden paraméterkombináció, vagyis mélységi keménységeloszlás definiál egy felületi keménységi érték sorozatot, mely a 3.1. fejezetben foglaltak alapján határozható meg. A becsült értékek és a mért felületi keménységi adatok eltéréseinek (szórásának) minimumához tartozik a keresett – a vizsgált tartományon belüli –, legjobb illeszkedést eredményező paraméteregyüttes.

A 8. ábra az inverz számítás eredményeit mutatja be, ismét a 480 perces karbonitridálási technológiára vonatkozóan. A 8a ábra diagramja a 4. fejezetben definiált terhelések alkalmazása mellett mért felületi keménységi értékeket mutatja az indentációs mélység függvényében. A diagramban a fentiek szerint meghatározott, a felületi keménységi mérés adatsoraira legjobban illeszkedő  $H_s(h)$  függvényt is ábrázoltuk. A 8b ábra diagramja a legjobb felületi keménység illeszkedéshez tartozó  $H_d(x)$  mélységi keménységeloszlást reprezentálja. Ugyanezen diagramban a mélységi

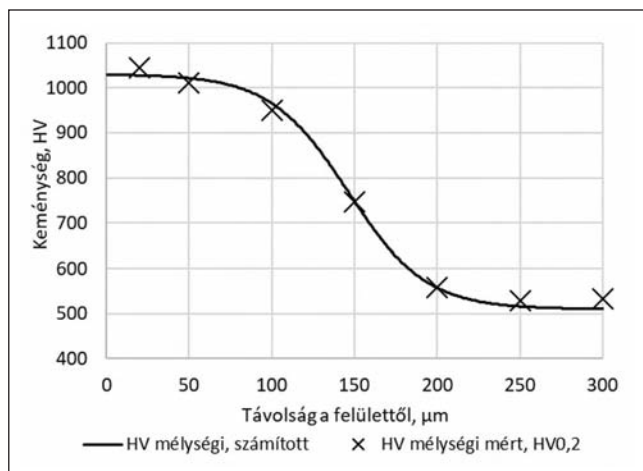


b

**7. ábra.** A mélységi keménységi értékek (a), és az ebből számított felületi keménység (b) alakulása a 480 perces karbonitridálás esetére



a



b

■ 8. ábra. A felületi keménységi értékek (a) és az ebből számított mélységi keménységeloszlás (b) alakulása 480 perces karbonitridálás esetén

keménység mérésel megállapított értékei is láthatóak. A mérési és inverz számítási eredmények eltérését, szórását a 2. táblázat „felületi → mélységi átszámítás” sora tartalmazza. Az inverz számítás végeredménye, vagyis a felületi keménységből származtatott mélységi keménységeloszlást leíró függvény paramétereit a 3. táblázatban foglaltuk össze.

**3. táblázat.** A felületi keménységből származtatott mélységi keménységeloszlási függvény paramétereit a három karbonitridálási variáció esetében

Paraméter	Karbonitridálási idő, perc		
	60	120	480
A1, HV	1030	1050	1030
A2, HV	530	530	510
$x_0$ , $\mu\text{m}$	55	80	146
$dx$ , $\mu\text{m}$	2,75	4	18,25
$x_0/dx$	20	20	8

## 6. Az eredmények értékelése

Az indenter alatt kialakuló képlékeny zóna Ichimura megközelítésében interpretált matematikai modellje a 3. fejezetben leírtak alapján egyértelmű kapcsolatot hoz létre a  $H_s(h)$  felületi és a  $H_d(x)$  mélységi keménységi függvények között. Egy adott mélységi keménységeloszlási függvény egyértelműen leképezhető felületi keménységi függvényre, illetve egy felületi keménységfüggvény egyértelműen meghatározza a mélységi keménységeloszlás függvényét.

Az 5. fejezet az elméleti modell gyakorlati alkalmazhatóságát elemzi a mélységi és felületi keménységek mérésel meghatározott adataira támaszkodva. Ez a megközelítés lehetőséget ad annak megítélésére, hogy a mélységi és felületi keménységfüggvények egyértelmű leképezése illeszkedik-e a vonatkozó mérési adatokhoz. A 2. táblázatban összefoglalt szórési értékek relatíve alacsony szintje első közelítésben valószínűsíti az elméleti modell gyakorlati alkalmazhatóságát, vagyis azt, hogy a felületi keménységből a mélységi keménységeloszlás – keresztmetszeti csiszolat készítése nélkül – kielégítő pontossággal becsülhető.

Az eredeti mélységi keménység adatokra illesztett függvény (1. táblázat), illetve a felületi keménységi értékek vonatkozásában a legjobb illeszkedést eredményező függvény (3. táblázat) paramétereinek összevetése arra mutat rá, hogy a felületi ( $A1$ ) és az alpmátrix ( $A2$ ) keménysége elfogadható pontossággal becsülhető a bemutatott eljárással. Hasonló megállapítás tehető az inflexiós pont helyzetére ( $x_0$ ) vonatkozóan, tekintve, hogy az eltérés maximuma 6-7  $\mu\text{m}$  körüli. A keménységi függvény  $x$  irányú nyújtottságát jelző  $x_0/dx$  paraméter alakulásában viszont szisztematikus különbség azonosítható, a felületi → mélységi átszámításból rendre nagyobb  $x_0/dx$  érték adódik (3. táblázat). Ez azt jelenti, hogy a felületi mérési adatsor meredekebb keménységi átmenetet prognosztizál az inflexiós pont környékére, mint az a mélységi adatokból következne. Az eltérés magyarázatának egyik eleme bizonyosan az, hogy a mélység irányú, keresztcsiszolaton végzett mérés során a keménységgradiens meghatározását a lenyomat mérete is befolyásolja, leginkább éppen az inflexiós pont környékén. A HV0,2 lenyomatátló 700 HV értéknél 23  $\mu\text{m}$ , így a két átlóvég között a lenyomat alatti anyagréz keménységében 150-200 HV különbség is lehet.

A bemutatott eljárás alkalmazhatósági határainak felmérése érdekében számos kérdés további vizsgálata szükséges. Tisztázandó például, hogy a keménységmérés jól ismert és a gyakorlatban tapasztalt eredendő mérési bizonytalansága hogyan befolyásolja a becslés pontosságát, illetve az, hogy az igen változatos típusú, szerkezetű, vastagságú és keménységeloszlású felületi rétegek esetére milyen módosításokkal alkalmazható a számítási eljárás.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatási eredmények létrejöttét a 1.3.1-VKE-2017-00025 azonosítószámú projekt támogatása tette lehetővé.

## Irodalom

- [1] Buckle, H., J. Westbrook and H. Conrad: The science of hardness testing and its research applications. American Society for Metals, 1973. 453.

- [2] Burnett, P. and T. Page: Surface softening in silicon by ion implantation. Journal of materials science, 1984. 19(3): p. 845–860.
- [3] Jönsson, B. and S. Hogmark: Hardness measurements of thin films. Thin solid films, 1984. 114(3): p. 257–269.
- [4] Burnett, P. J. and D. Rickerby: The mechanical properties of wear-resistant coatings: I: Modelling of hardness behaviour. Thin Solid Films, 1987. 148(1): p. 41–50.
- [5] Johnson, K.: The correlation of indentation experiments. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1970. 18(2): p. 115–126.
- [6] Marsh, D.: Plastic flow in glass. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences, 1964. 279(1378): p. 420–435.
- [7] Tabor, D.: The hardness of solids. Review of physics in technology, 1970. 1(3): p. 145.
- [8] Tuck, J., et al.: Modelling of the hardness of electroplated nickel coatings on copper substrates. Surface and Coatings Technology, 2000. 127(1): p. 1–8
- [9] Tuck, J. R., et al.: On the application of the work-of-indentation approach to depth-sensing indentation experiments in coated systems. Surface and Coatings Technology, 2001. 137(2-3): p. 217–224.
- [10] Puchi-Cabrera, E.: A new model for the computation of the composite hardness of coated systems. Surface and Coatings Technology, 2002. 160(2-3): p. 177–186.
- [11] Iost, A., et al.: A comparison of models for predicting the true hardness of thin films. Thin Solid Films, 2012. 524: p. 229–237.
- [12] Coorevits, T., et al.: An integral approach of indentation of Functionally Graded Materials. Surface and Coatings Technology, 2020. 381: p. 125–176.
- [13] Mata, M., O. Casals and J. Alcalá: The plastic zone size in indentation experiments: The analogy with the expansion of a spherical cavity. International Journal of Solids and Structures, 2006. 43(20): p. 5994–6013.
- [14] Ichimura, H., F. Rodriguez, and A. Rodrigo: The composite and film hardness of TiN coatings prepared by cathodic arc evaporation. Surface and Coatings Technology, 2000. 127(2-3): p. 138–143.
- [15] Ichimura, H., Y. Ishii and A. Rodrigo: Hardness analysis of duplex coating. Surface and Coatings Technology, 2003. 169: p. 735–738.
- [16] Széll Attila: Melegalakító szerszámacélon kialakított karbonitridált réteg mikroszerkezetének optimalizálása továbbí pvd bevonatoláshoz, Dunaújvárosi Egyetem, TDK dolgozat, 2019.

HLAVÁCS ADRIENN – SCHWEITZER BENCE – MERTINGER VALÉRIA – BENKE MÁRTON

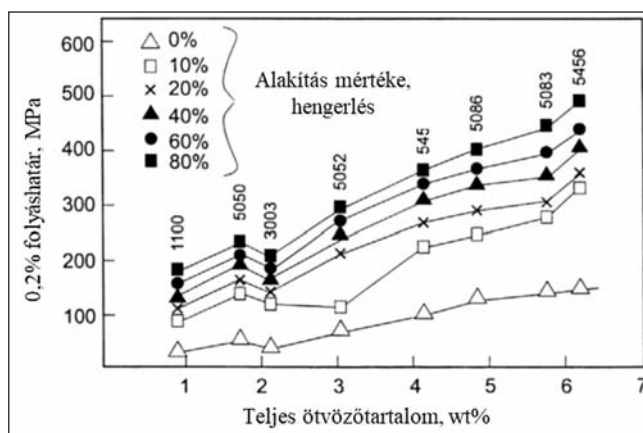
## Melegen hengerelt alakítható alumínium-ötvözetek fülesedése és a fő ötvözők hatása

*Jelen kutatásban melegen hengerelt állapotú, új összetételű, alakítható (3xxx-es és 5xxx-es típusú) alumínium-ötvözetek fülesedését vizsgáljuk. A lemezek vastagságából adódóan a konvencionális csészehúzó vizsgálatok nem alkalmazhatóak, ezért az általunk kidolgozott fülesedést becsülő módszert alkalmazzuk, melyhez kizárólag textúravizsgálatok eredményeire van szükség. Az eredményekből megállapítható, hogy a két ötvözet másképp viselkedik a meleghengerlés után, illetve, hogy az ötvöztartalom az egyik ötvözet esetében befolyásolja, a másik ötvözet esetében nincs hatással a fülesedés értékeire.*

### Bevezetés

Az alumínium (Al) alapú ötvözetek felhasználás szempontjából nemesíthető és alakítható ötvözetek csoportjára bonthatók. Az alakítható alumínium-ötvözetek családjába tartoznak az ötvöztelen (1xxx-es), a mangán- (Mn) tartalmú (3xxx-es), a magnézium- (Mg) tartalmú (5xxx-es) és az egyéb ötvözőket tartalmazó Al (8xxx-es) ötvözetek. Ezen ötvözetekből készült félkész termékek végső tulajdonságait nagymértékben befolyásolja a felhasznált alapanyag ötvöztartalma és az előállítás módja [1–5]. Az alakítás és az ötvöztartalom hatását a folyáshatárra alakítható alumínium-ötvözetek esetében a 1. ábra mutatja.

A hengerléssel előállított félkész termékek tulajdonságaiban fontos szerepet játszik az alakíthatóság irányfüggése is, amelyet a meleg-, illetve hideghengerlés, valamint az alkalmazott lágyító hőkezelések során kialakuló kristálytani



■ 1. ábra. A folyáshatár változása a hidegalakítás mértéke és az ötvöztartalom függvényében [3]

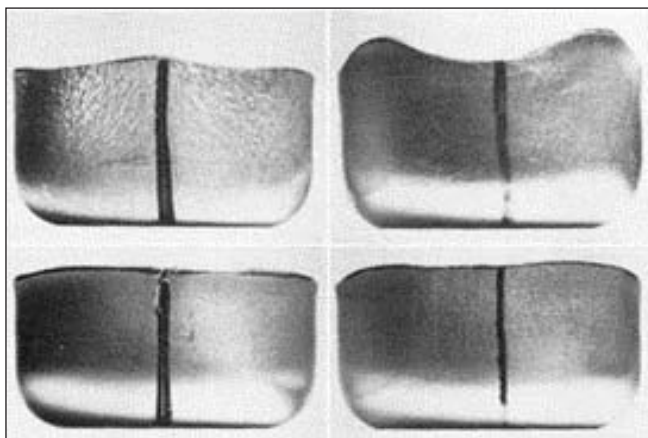
**Hlavács Adrienn** szakmai életrajzát a 2019/1. számunkban közzétük.

**Schweitzer Bence** 2019-ben szerzett anyagmérnöki diplomát a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán. Jelenleg ugyanott kohómérnöki MSc-képzésén 3. féléves hallgató. Főbb kutatási területei: röntgendiffrakciós textúravizsgálatok, fülese-

dés becsülő módszer alkalmazása FKK és TKK rácsú fémek esetén.

**Dr. Mertinger Valéria** szakmai életrajzát a 2017/2. számunkban közzétük.

**Dr. Benke Márton** szakmai életrajzát a 2019/1. számunkban közzétük.



■ 2. ábra. Különböző textúrájú mélyhúzott alumínium csészék [6]

textúra befolyásol [3]. A kristálytani textúra okozta inhomogenitás kimutatásának legelterjedtebb módja a csészehúzó vizsgálat. Ennek során textúras anyagok esetében lehúzott csészén magasabb (fülek), illetve mélyebb (völgyek) figyelhetők meg. A legelterjedtebb alumíniumötvözetek esetében négyes szimmetria látható a fülek megjelenésében. Hidegen hengerelt lemezek esetében a fülek hengerlési irányhoz (HI) képest ( $\phi$ )  $45^\circ + (n \cdot 90^\circ)$  helyeken, míg újrakristályosodott állapotban a HI-hoz képest a  $0^\circ + (n \cdot 90^\circ)$  irányokban jelentkeznek (2. ábra) [3, 6–8].

A csészehúzó vizsgálatok elvégezhetőek a végvastagságú lemezekben, így a félkész termékek jellemzése megoldott. Napjainkban már fontos az alapanyag viselkedésének ismerete a teljes gyártási folyamat alatt, különösen olyan esetekben, amikor új összetételű ötvözetek állnak bevezetés előtt. A melegen hengerelt állapotú lemezek esetében azonban a csészehúzó vizsgálat nem végezhető el a lemezek vastagsága miatt. A Miskolci Egyetem Fémtechnológiai és Nanotechnológiai Intézete által kidolgozott {200} pólusábra alapú módszer alkalmas alumíniumötvözetek fülesedésének jellemzésére széles lemezvastagság-tartományban [9–14]. Kutatásunk során célunk új összetételű, 3xxx és 5xxx típusú alakítható alumíniumötvözetek fülesedésének jellemzése a teljes gyártási folyamat során. Jelen cikkünkben csak melegen hengerelt állapotú lemezek fülesedését mutatjuk be olyan ötvözeteken, melyekben az Fe és Si tartalma az elterjedt ötvözetekhez viszonyítva szélesebb tartományban változik.

### Elvégzett vizsgálatok

Alakítható alumíniumötvözetek családjába tartozó 3xxx és 5xxx típusú melegen hengerelt állapotú ötvözetek vizsgálatát végeztük el. A vizsgálatok során 30/50-nel jelöltük az alap ötvözeteket, amihez képest vizsgáltuk az ötvözőtartalom változását. A 3xxx-es ötvözetek esetében a szilícium- (Si) és a vas- (Fe) tartalom hatását vizsgáltuk. Egyik minta esetében megmaradt az eredeti Fe/Si arány,

másik minta esetében megnövekedett. Az 5xxx-es ötvözetek esetében a Mn és az Mg változását vizsgáltuk. A vizsgált ötvözetek ötvözőinek változását az 1. táblázat mutatja.

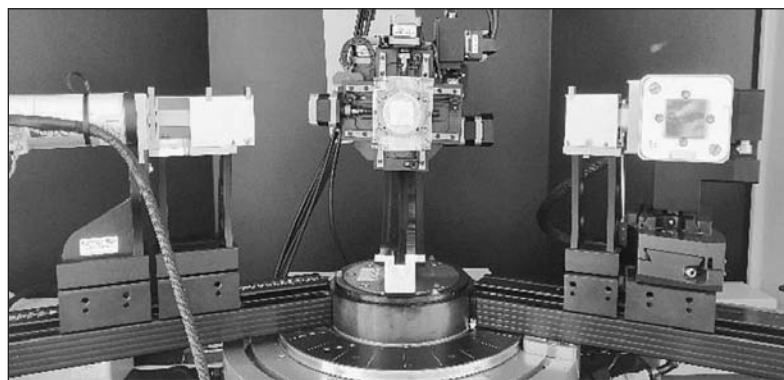
A meleghegerléseket VonRoll típusú kísérleti hengerállványon végeztük, a 3xxx-es ötvözetek esetében 470 °C-on 6,7 mm vastagságig, az 50, 51 és 52 jelű ötvözetek esetében 450 °C-on 5 mm vastagságig, az 53, 54 és 55 jelű ötvözeteken 450 °C-on 7 mm vastagságig.

A röntgendiffrakciós textúravizsgálatokat a Miskolci Egyetem Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet Röntgendiffrakciós Laboratóriumában található Euler-bölcsővel felszerelt Bruker D8 Advance diffraktométerrel végeztük (3. ábra), az alábbi paraméterek alkalmazásával:  $\text{CoK}\alpha$  sugárzás, 40 kV csőfeszültség, 40 mA áram, gyújtási idő 10 s, lépésköz ( $\Delta 2\theta$ )  $0,05^\circ$ . A mérés során a legnagyobb relatív intenzitású, {111}, {200} és {220} pólusábrákat vettük fel. A pólusábrák alapján kiszámítottuk az orientációs eloszlásfüggvényt (ODF). Az ODF szintetizálása során először a mért pólusábrákat újrászámítottuk, hogy megkapjuk a holtterek adatait is, vagyis a teljes,  $\chi = 0-90^\circ$  tartományhoz tartozó pólusábrákat. Az újrászámításhoz a hengerlést jellemző ortorombos alakváltozást használtuk, ami a HI és keresztirány (KI) tengelyeire egyaránt szimmetrikus pólusábrát eredményez.

Az intézetünkben kidolgozott pólusábra alapú módszert alkalmaztuk a vizsgált alumíniumlemezek fülesedésének becslésére. A módszer alapja, hogy a {200} pólusábra teljes intenzitáseloszlás-függvényének a hengerlési síkra eső merőleges vetülete jó közelítéssel azonos a csészehúzás-kor kapott profillal. A módszer első lépése pólusábrák mérése (4a ábra), újrászámítása (4b ábra), majd a {200} ref-

1. táblázat. A vizsgált ötvözetek

Ötvözetcsalád	Ötvözet jelölése	Ötvözőtartalom (tömegszázalék)				Arány
		Mn	Si	Fe	Mg	
3xxx ötvözet	30	1,08	0,25	0,6	-	2,4
	31	1,08	0,15	0,36	-	2,4
	32	1,08	0,15	0,40	-	2,6
5xxx ötvözet	50	0,35	-	-	3,28	
	51	0,13	-	-	3,42	
	52	0,44	-	-	3,25	
	53	0,28	-	-	4,91	
	54	0,32	-	-	4,60	
	55	0,42	-	-	4,19	



■ 3. ábra. Euler-bölcsővel felszerelt Bruker D8 Advance diffraktométer

lexió esetében a  $\chi$ - (a diffraktáló nyaláb normális és a normál irány közötti szög) metszetek illesztése  $n$  darab Gauss-görbével. Ezután meghatározzuk a Gauss-görbék területeit ( $T_i^\varphi$ ), majd szorozzuk a Gauss-görbék maximumához tartozó  $\chi$ -érték szinuszával ( $\sin\chi_{MAX,i}^\varphi$ , 4c ábra). Az ily módon súlyozott intenzitásadatokat összegezzük az adott  $\varphi$  (HI-val bezárt szög a hengerlési síkon) értékhez, végül az összegzett intenzitásokat ábrázoljuk  $\varphi$  függvényében, ami a csészeprofil relatív változását adja (4d ábra) [9–13].

A becsült fülesedés számszerű meghatározásához a csészehúzó vizsgálatok során alkalmazott átlagos fülesedés számítási módszert alkalmaztuk (1–5. képletek) ahol,  $h_{p_i}$  a csésze magassága a füleknél,  $\bar{h}_p$  az  $n$  darab fül-nél mért csészemaagasságok átlaga,  $h_{v_i}$  a csésze magassága a völgyeknél,  $\bar{h}_v$  az  $n$  darab völgnél mért csészemaagasságok átlaga,  $h_e$  az átlagos fülmagasság,  $h$  az átlagos csészemaagasság,  $Z$  a becsült átlagos fülesedés [13].

$$\bar{h}_p = (h_{p1} + h_{p2} + \dots + h_{pn})/n \quad (1)$$

$$\bar{h}_v = (h_{v1} + h_{v2} + \dots + h_{vn})/n \quad (2)$$

$$h_e = \bar{h}_p - \bar{h}_v \quad (3)$$

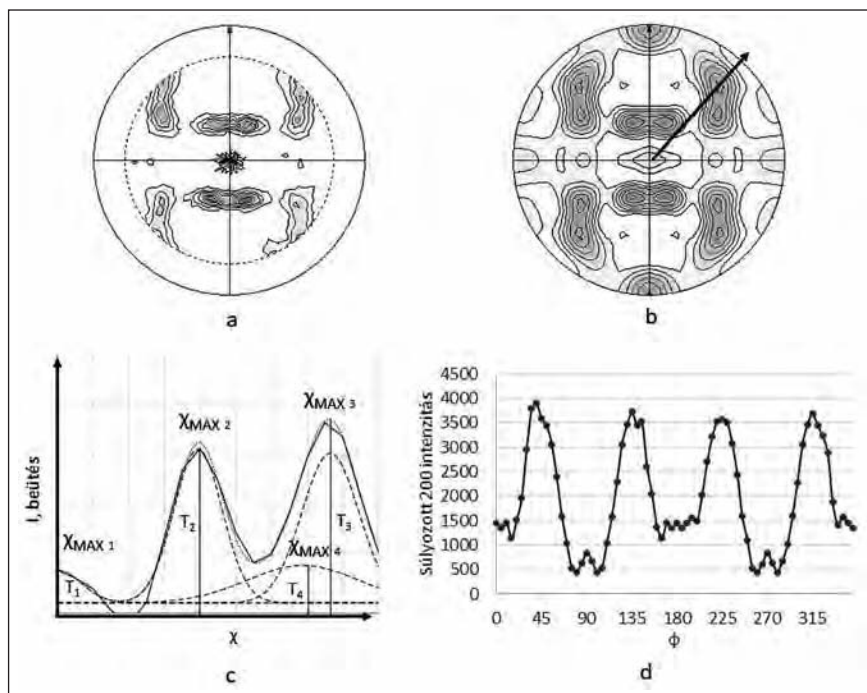
$$h = (\bar{h}_p + \bar{h}_v) / 2 \quad (4)$$

$$Z = (h_e / h) \cdot 100 \quad (5)$$

## Eredmények

Az 5. ábra mutatja a 3xxx-es típusú melegen hengerelt alumíniumötvözetek becsült csészeprofiljai és a becsült átlagos fülesedés eredményeit. Mindhárom ötvözet esetében alakításra jellemző, négyes szimmetriájú csészeprofilot kapunk. A becsült átlagos fülesedés értékei esetében megfigyelhető, hogy a Fe- és a Si-tartalom csökkentése növeli (2,01-ről 2,71). Az Fe/Si arány növelése szintén erősíti az alakítási fülesedés mértékét (2,71-ről 3,31).

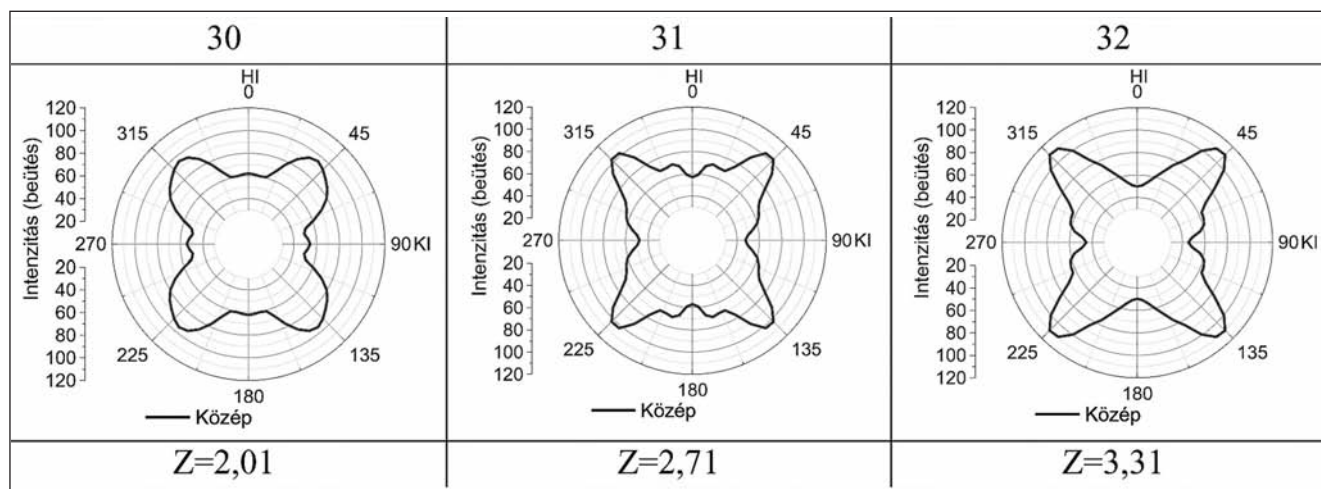
A becsült csészeprofilokat és a becsült átlagos fülesedés eredményeit a melegen hengerelt 5xxx-es ötvözet esetében a 6. ábra mutatja. Az eredmények alapján megállapítható, hogy meleghengert követően 8-as szimmetriájú, közel textúramentes csészeprofilokat kapunk, ami a becsült átlagos fülesedés kis értékén is jelentkezik ( $Z = 0,28 - 1,1$ ).



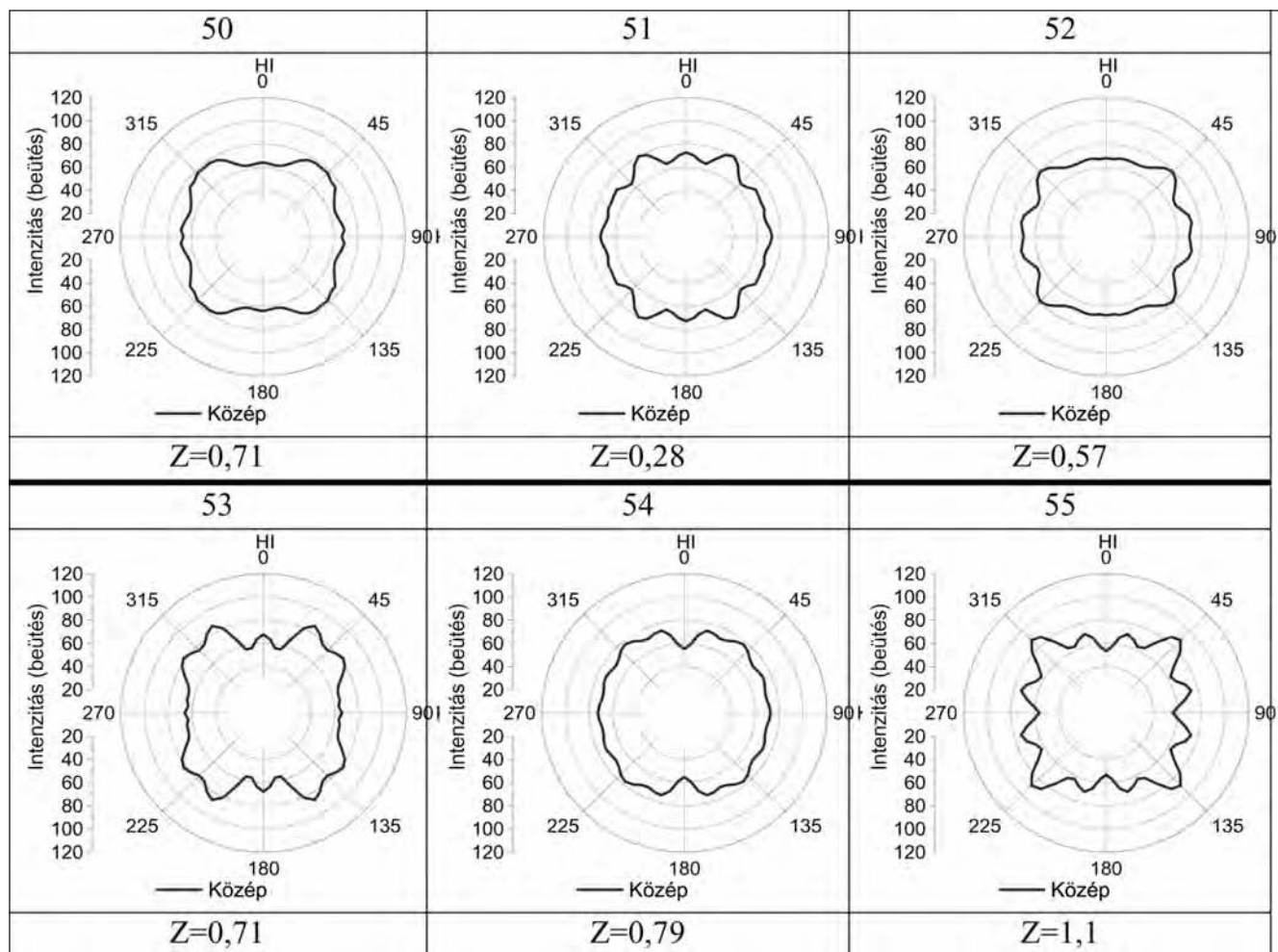
■ 4. ábra. A pólusábra alapú fülesedést becsülő módszer lépései: a) mért {200} pólusábra; b) újrászámított {200} pólusábra jelölve egy tetszőleges  $\chi$ -metszettel; c)  $\chi$ -metszet illesztése Gauss-görbékkel; d) {200} teljes intenzitáseloszlás-függvény merőleges vetülete a hengerlési síkra [9–11]

## Összefoglalás

A melegen hengerelt 3xxx-es és 5xxx-es típusú alumínium-ötvözetek vizsgálatának eredményeiből megállapítható, hogy a 3xxx-es ötvözetre erős alakítási fülesedés jellemző, melyet a Si-tartalom 0,2 m/m%-os csökkentése, valamint a Fe 0,2 m/m%-os csökkentése tovább erősít. Ezek alapján, az ötvözetek tervezésekor érdemes figyelembe venni a Si-



■ 5. ábra. A 3xxx-es melegen hengerelt alumíniumötvözetek becsült csészeprofiljai és a becsült átlagos fülesedés eredményei



■ 6. ábra. Az 5xxx-es melegelt alumíniumötvözetek becsült csészeprofiljai és a becsült átlagos fülesedés eredményei

és Fe-ötvözők növelésének hatását a lemezek alakváltozó képességének inhomogenitására. Az 5xxx-es ötvözetnél szinte fülesedésmentes viselkedést tapasztaltunk, melyet a Mn 0,2 m/m%-os csökkentése, valamint 0,1 m/m%-os növelése, továbbá a Mg mennyiségének 0,2 m/m%-os növelése érdemben nem befolyásol.

### Köszönetnyilvánítás

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

### Irodalom

- [1] R. E. Sanders Jr., S. F. Baumannh, H. C. Stumpf: Wrought Non-Heat-Treatable Aluminum Alloys, Treatise on Materials Science and Technology Vol. 31, 1989, 65–105
- [2] E. Köves: Alumínium kézikönyv, 1984
- [3] I. J. Polmear: Light Alloys (Fifth Edition), Metallurgy of the Light Metals, 2017
- [4] E. A. Starke Jr.: Alloys: Aluminum, Encyclopedia of Condensed Matter Physics, 2005, 18–24.
- [5] C. Vargel: Corrosion of Aluminium Second Edition, 2020
- [6] T. Sheppard, M. A. Zaidi: Influence of hot-working parameters on earing behaviour of Al-2Mg sheet, Metals Technology Vol. 9, 1982, 368–374.
- [7] P-W. Kao: Texture and earing behaviour of cold-rolled aluminium alloy 3004. Materials Science and Engineering Vol. 74 Issue 2, 1985, 147–157.
- [8] O. Engler: Control of texture and earing in aluminium alloy AA 3105 sheet for packaging applications, Materials Science and Engineering A 538, 2012, 69–80.
- [9] M. Benke, A. Hlavacs, I. Piller, V. Mertinger: Lemezek fülesedése és a {h00} pólusábrák közötti kapcsolat. BKL Kohászat 152, 2019/3, 36–39.
- [10] M. Benke, A. Hlavacs, P. Imre, V. Mertinger: Prediction of earing of aluminium sheets from {h00} pole figures, European Journal of Mechanics – A/Solids Vol. 81, 2020, 103950
- [11] Benke M.: A kristálytani anizotrópia (textúra) újszerű megközelítése, Habilitációs értekezés, 2020
- [12] M. Benke, B. Schweitzer, A. Hlavacs, V. Mertinger: Prediction of earing of cross-rolled Al sheets from {h00} pole figures, Metals 10(2), 2020, 192.
- [13] M. Benke: Prediction of earing of aluminium sheets from {111} pole figures, Crystallography. Reports, 2020, 980–984.
- [14] A. Hlavacs, M. Szűcs, V. Mertinger, M. Benke: Prediction of Earing of Hot-Rolled Al Sheets from Pole Figures Metals 11, 2021, 99.

## 100 éve született Horváth Zoltán

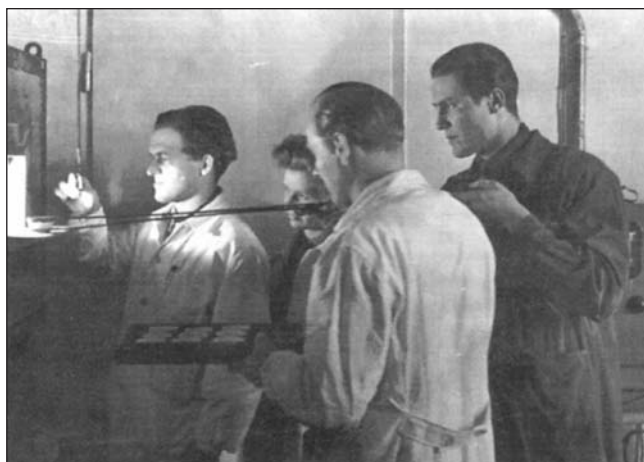
Az 1921-ben született Horváth Zoltán szülővárosában, Miskolcon egyre nagyobb jelentőségűvé vált a vaskohászat és fémipar, viszont felsőfokú mérnökképző intézmény, nevezetesen a Nehézipari Műszaki Egyetem csak 1949-től jött létre itt. A hazai ásványvagyon kiaknázását tekintve pedig addigra Magyarország kiszolgáltatottá vált. A világháború után alapvetően átrendeződött szövetségi rendszerben felértékelődtek az ország bauxit- és uránérckészletei. Az alumínium és urán fémek kinyerésének és feldolgozásának hidro-elektrometallurgiai szakterülete a soproni József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Bányakohó- és Erdőmérnöki Karán végzett szakember számára is bizonyosan új kihívást jelentettek, akinek a felépült miskolci egyetemen nyílt lehetősége a szeretett és addigra már felsőfokon művelt fémkohászati szakterületén újat és maradandót alkotnia. Dr. Horváth Zoltán ezt a küldetését mint a Kohómérnöki Kar alapító dékánja (1955–65) és 34 éven keresztül a Fémkohászati Tanszék vezetője váltotta valóra, s vált nemzedékeken keresztül a kohómérnök hallgatók tudós tanítómesterévé és nemzetközi szinten is elismert kutatóvá [1].

A jelenlegi Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának szerteágazó nemzetközi kapcsolatrendszere is részben visszanyúlik az akkori Kohómérnöki Kar nemzetközi kapcsolatépítési törekvéseire (1. kép), melynek akkor is és ma is, a legfontosabb partnerei a németországi egyetemek és kutatóintézetek voltak.

Dr. Horváth Zoltán szakterületének iskolateremtő és messze előrelátó tevékenységét szemléltetik azok a gondolatok, amelyek a 2004-ben bekövetkezett elhunyt utáni első Kari Tanácsi ülésen, az erre az alkalomra külön meghívott és kiváló tudományos diákkori munkáik alapján kitüntetett anyag- és kohómérnök hallgatók és a Kari Tanács tagjai előtt hangozhattak el [2]:



■ 1. kép. Kari oktatók tanulmányútja Potsdamban 1959-ben. Középen dr. Horváth Zoltán fényképezőgéppel



■ 2. kép. Dr. Horváth Zoltán fémkohászati gyakorlatot vezet

„...Horváth Zoltán professzor rendkívül fogékony volt az újra. A folyamatosan korszerűsített tananyagba előadásain szinte azonnal beépítette a legfrissebb ismereteket, mint például az akkor még különleges szerkezeti anyagnak számító titán, ill. magnézium alapú anyagok előállítását, az atomenergiát hasznosító iparban – gondoljunk a Paksi Atomerőmű jelentőségére Magyarország villamosenergia-ellátásában – nélkülözhetetlen, ill. „karrierjüket” annak fejlődésével párhuzamosan építő fémek, az urán, a cirkónium és az ún. ritkafémek metallurgiáját. Ma már tudjuk, hogy az utóbbi fémek közül többüknek azóta mennyire fontos szerep jutott a még napjainkban is rohamosan fejlődő mikro- és optoelektronikai iparban.”

Az anyag-előállítási és -kölögzési technikák (elválasztási és tisztítási műveletek és a továbbfeldolgozási eljárások), valamint a fémes és fémtartalmú hulladékok mint másodnyersanyagok újszerű és környezettudatos feldolgozási lehetőségeinek fejlődése is felkeltette érdeklődését, és számos ipari kutatási területen testet öltött. Inspirálta hallgatóit ezekben az irányokban olyan feladatok vállalására, amelyek – elsősorban a diplomatervező munkáikban felhasználva – bizonyították a professzor kiváló oktatói-kutatói képességeit és távlatos látásmódját (2. kép).

Idézzünk fel néhány szemléltető példát erre dr. Horváth Zoltán miskolci működésének csaknem félévszázados periódusából az 1986-ban történt nyugdíjazásig:

1961, 1962, 1963

Nagytisztaságú alumínium előállítása

Nagytisztaságú réz előállítása

Nagytisztaságú cink előállítása

1965

A periódusos rendszer IV.A és V.A oszlopában található fémek metallotermikus kinyerése

1970

Mikrobiológiai kioldás/lúgzás és alkalmazása

1970

Molibdén tisztítása elektronsugaras átolvasztással (vákuummetallurgia)

- 1971 Urántartalmú oldatok oldószeres extrakciója
- 1971 Sárgarezek cériumos ötvözése
- 1975 Titán-karbid, -karbonitrid, -nitrid bevonatok képzése keményfémeken (felületkezelés)
- 1976 Komplexképző ioncserélő gyanták alkalmazása ritkaföldfémek elválasztására
- 1980 Fémüvegek tulajdonságai (Fe–B alapú fémüvegek hőkezelése)
- 1984 Amorf ötvözetek előállítása gyorsítással
- 1985 Volfrámhuzalgyártás minőségi kérdéseinek vizsgálata a volfrámpor-előállítás körülményeinek függvényében (pormetalurgia)



■ **3. kép.** Dr. Horváth Zoltán mellszobra (Kutas László szobrászművész alkotása) a Miskolci Egyetem B1/C1 épülete III. emeletének lépcsőfordulójában

A felidézett fentebbi kutatási területeken, illetve azokhoz kapcsolható témakörökben mind a mai napig sokan (BSc- és MSc-hallgatók, magyar és külföldi PhD-hallgatók, egyetemi oktatók és kutatók) dolgoznak a Műszaki Anyagtudományi Karon, szerencsére most már olyan mérés-technikai infrastruktúrával is felszerelve, mint amilyenre egy friss példa a modern fémes nanotechnológiai területeken nemzetközi szinten is ütőképes 3D Laboratórium [3]. Nem szabad elfelejteni, hogy az ő keze alól kikerült szakembe-

rek számos kutatóintézetben és iparágban alkottak maradandót.

A jelenkori kari kohászati anyagtudományi, illetve anyagtechnológiai oktatási-kutatói szakterületek kijelölésében és megalapozásában tehát már évtizedekkel korábbról találhatók olyan nemes előzmények, amelyeket tekintve dr. Horváth Zoltán érdemeit joggal elévülhetetleneknek tekinthetjük.

Dr. Horváth Zoltán több mint fél évszázados munkásságát az utódok is joggal nagyra becsüli. A volt Fémkohászati Tanszéke bejárata előtt 2009-ben közadakozásból állíttatott fel a bronz mellszobra (3. kép), mindannyiunkat emlékeztetve a Miskolcon új kart alapító dékánra és a fémkohászat külföldön is elismert kiváló és iskolateremtő professzorára.

### Irodalom

- [1] Szemelvények dr. h. c. Horváth Zoltán professzor életrajzából: <https://www.uni-miskolc.hu/~dudujka/HorvathZ.html>
- [2] Dr. Török Tamás megemlékezése a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar Kari Tanácsának ülésén, 2004
- [3] 3D Laboratórium, Miskolci Egyetem: <http://3dlabtest.uni-miskolc.hu/index.html>

**Dr. Török Tamás**

## Emlékeztető az OMBKE 2021. február 3-i Online Zoom Meeting választmányi üléséről

A levezető dr. Hatala Pál elnök volt, aki megállapította, hogy a Választmány határozatképes (a szavazásra jogosult választmányi tagok száma: 23 fő, jelen van 18 fő). A jegyzőkönyv vezetésére Zelei Gábor ügyvezető igazgatót, hitelesítésére Körösi Tamás főtitkárt kérte fel. Technikai okok miatt hagyományos „kézi szavazásra” tért át a Választmány.

A Választmány egyhangúlag, ellenszavazat és tartózkodás nélkül elfogadta az előzőleg megküldött napirendet, a következők szerint:

**1. Elnöki megnyitójában** dr. Hatala Pál tájékoztatást adott az OMBKE vezetőség fontosabb munkáiról, többek között:

dec. 3. virtuális szakestély, HP;

dec. 4. megjelent az első Hírlevél;

jan. 6. virtuális évindító vezetőségi ülés, SzA, KT, ZG, HP;

jan. 18. a 26. Magyar Öntőnapok Konferencia és Kiállítás indító megbeszélése, HP.

**2. Az Egyesület aktuális pénzügyi helyzetéről,** a Múzeum krt.-i lakás értékesítésének állásáról, az Egyesület lehetséges új székházáról Zelei Gábor ügyvezető igazgató tájékoztatott.

Az ülésről kép- és hangfelvétel, valamint írásos jegyzőkönyv készült, ezek az Egyesület központjában a tagok számára elérhetők.

Az Egyesület árbevétele lényegesen elmaradt a tervhez képest – közel 37 M Ft volt –, főleg a COVID-19 járványhelyzetnek köszönhetően, de a mérleg a költségelszámolás után pozitív egyenleggel zárult. A tagdíjbevétel a tervtől kissé elmaradt, de a 2019-es szintet meghaladta. Pártoló tagdíjból a tervezett 2/3-a folyt csak be. Az Egyesület viszonylag kedvező pénzügyi helyzetben kezdi az évet, mintegy 18 M Ft megtakarítása van.

Ismertette, hogy a Múzeum krt.-i ingatlanra egyelőre nincs konkrét érdeklődő. Ezért az Elnök kérte a Választmányt, hogy járuljon hozzá az ingatlan irányárának március 15-ig 950 E Ft/m<sup>2</sup>-re, majd március 15-től 900 E Ft/m<sup>2</sup>-re történő csökkentéséhez, amit a Választmány egyhangúlag elfogadott.

Tájékoztatott, hogy az Egyesület talált a céljainak megfelelő eladó irodaházat. A X. kerületi Hízaló téri irodaház tehermentes, azonnal beköltözhető, jól megközelíthető. Az irányára 120 M Ft, amit két részletben is lehet fizetni.

A Választmány egyhangúlag elfogadta a javaslatot az érdemi tárgyalások megindításáról és a foglalóhoz/előleghez szükséges forrás előteremtéséről. Ugyancsak elfogadta a javaslatot három fős bizottság felállításáról, amelynek feladata a forrás előteremtése és az ingatlanhoz kapcsolatos kérdések tisztázása. A három javasolt tag: dr. Tolnay



Lajos, Kőrösi Tamás és Zelei Gábor. (Bővebb tájékoztató az ingatlanról az 52. oldalon olvasható.)

**3. Az alapszabály-tervezet** állásáról dr. Lengyel Károly, az Alapszabály Bizottság elnöke számolt be. Ismertette, hogy határidőre megkapta a szakosztályok álláspontját. A nyilvánvaló módosításokat átvezeti, és csak a nyitott pontokat kell egyeztetni az AB-ben, és így a kialakított konszenzusos javaslat elkészülhet. Ebben az esetben február végére a Választmány részére a javaslat előterjeszhető. A Választmány egyhangúlag elfogadta a tájékoztatót.

**4. A BKL kérdőív kiértékeléséről és az Alapszabály-tervezet BKL-re vonatkozó előírásairól** tájékoztatást adott Kőrösi Tamás főtítkár.

A Hírlevél kérdőívét 1600-ból 263 tagtárs töltötte ki. Túlnyomó többségük nem igényli a nyomtatott lapot, illetve hajlandó hozzájárulni a nyomtatott lap kiadásával kapcsolatos költségekhez.

Előreláthatólag az egyik fő szponzor támogatása kiesik, így a lap fenntarthatósága érdekében számba kell venni a lapok összevonását, az elektronikus változat promotálását, és ezzel a nyomtatott példányszám csökkentését, valamint a tagi hozzájárulás bevezetését. Az egyesületi tagság csak az elektronikus formához juthatna hozzá ingyenesen. Felmerült, hogy át lehetne térni a színes nyomtatásra, amit talán bizonyos vállalható többletköltségek mellett a szakcikk szerzői is támogatnának.

A BKL „megújítására” vonatkozó javaslat kidolgozásáért a Kiadói Bizottság lenne a felelős.

Vígh Tamás szerint a lapokat már a tradíció miatt sem szabad hagyni erodálódni. A lapok összevonása ellen szól, hogy a szakmák annyira specializálódtak, hogy a közös lap nem számíthat a tagság egyöntetű érdeklődésére. A Hírlevél bevezetését jó kezdeményezésnek látta.

Balázs Tamás egyetértett a társ felelős szerkesztővel, viszont nehezményezte, hogy a javaslat kidolgozásába nem vonták be a lapok felelős szerkesztőit. Nem ért egyet a lapok összevonásával, azt javasolja, hogy a módosított Alapszabályban ne szerepeljen ez. A nyomtatott lapok példányszámának csökkentése és a digitális lap irányába haladás támogatandó. Szorgalmazta, hogy a különböző médiacsatornák egymást kiegészítve, egymásra épülve tájékoztassák a tagságot. Egy új kérdőívben célszerű lenne kiegészítőleg megkérdezni a tagság véleményét. A legjelentősebb költségelemet, a szerkesztői költségeket úgy is lehet csökkenteni, ha a szerkesztők társadalmi munkában dolgoznak.

Csurgó Lajos, a Fémkohászati Szakosztály elnöke felvetette, hogy amíg a lapok kérdésében nem születik döntés – hiszen ez az egyesület legnagyobb költségvetési tétele –, addig ideiglenesen szüneteljen a lapok kiadása.

A vitában Hatala Pál elmondta, hogy a lapokat a mostani tagdíjak mellett addig lehet – a jelenlegi formájában, úgy, hogy alanyi jogon járnak a tagságnak – fenntartani, amíg kapunk rá támogatást. Ha csökken a fedezet, akkor ahhoz alkalmazkodnunk kell.

A Választmány a napirendi pontot azzal fogadta el, hogy a Kiadói Bizottság a következő Választmányi ülésre dolgozza ki javaslatát.

**5. A tájékoztatót az Egyesület 2021-es tervéről** Zelei Gábor ügyvezető igazgató tartotta.

A szakosztályok jelenleg ismert összes forrásigénye

16,77 M Ft. Ha a legnagyobb tétel, a Bányász-Kohász-Erdész Találkozó elmarad, úgy 6,77 M Ft igénnyel lehet számolni. Az Egyesület költségterve két változatban készült el, amennyiben a járványhelyzet fennmarad az év nagy részére, illetve ha az év második felében már lehetőség lesz rendezvények megtartására. Az egyesületi bevételekre 30, illetve 35 M Ft prognosztizálható. A kiadásokban 47, illetve 57 M Ft merülhet fel, amiben a BKL kiadása kb. 14 M Ft lenne. Tehát jelentős veszteség várható.

Jelenleg még nagyon sok a bizonytalanság, ezért talán a végleges tervet a következő Választmányi ülésre lehet benyújtani. A Választmány egyhangúlag elfogadta a tájékoztatót.

**6. A Bányász-Kohász-Erdész Találkozóról** Bársony László, a Tatabányai Helyi Szervezet elnöke adott tájékoztatást. Idén a találkozót nem lehet megtartani a pandémia miatti rendkívüli jogrend, az időpontok, a szálláshelyek és egyéb okok miatt, így 2022-re kell halasztani. Nem mondunk le a találkozó megszervezéséről, sok a pozitív, támogató visszajelzés.

A Választmány egyhangúlag elfogadta a tájékoztatót.

**7. A Péch Antal emlékévről** indítványt tett Törő György, a Bányászati Szakosztály elnöke, aki kimentését kérte az ülésről, helyette Zelei Gábor ismertette a javaslatot.

Jövőre, Péch Antal születésének 200. évfordulójára van esély arra, hogy a Magyar Posta emlékbélyeget, a Magyar Nemzeti Bank emlékérmét bocsásson ki. Ennek a szervezését egy évvel az évforduló előtt el kell kezdeni. Ha a Választmány megadja a hozzájárulását, úgy kezdeményezik az emlékbélyeg és az emlékérem kibocsátását az illetékes helyeken.

**8. Török Károly, Kőolaj- és Vízbányászati Szakosztály, Dunántúli Helyi Szervezet elnöke** indítványozta **Tóth János jelölését Tiszteleti Tagságra**. Tóth János, a Magyar Olaj- és Gázipari Múzeum nyugalmazott igazgatója 51 éven át szolgálta a magyar olajipart. 1975-től kezdett dolgozni a Múzeumban, 1985-ben nevezték ki igazgatónak. Elévülhetetlen érdemei vannak abban, hogy a Múzeum még ma is működik.

A Választmány egyhangúlag elfogadta a javaslatot, azzal, hogy a végső jelöltet a következő küldöttgyűlés előtt kell meghatározni.

**9. Tájékoztatót adott a Múzeumok, bemutatóhelyek, emlékhelyek és kegyeleti helyek választmányi bizottság** megalakulásáról Mednyánszky Miklós, a Bizottság vezetője.

A Bizottság elkészítette a 2021. évi munkatervét, amit elfogadásra javasolt. Eszerint a fő feladatuk a kapcsolatok kiépítése, egy konferencia megszervezése és az emlékhelyek katalógusának elkészítése. A Választmány egyhangúlag elfogadta a beszámolót.

**10. Tájékoztatójában Zelei Gábor elmondta, hogy a XXII. Nemzetközi Bányászati, Kohászati és Földtani Konferenciát** az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság döntése szerint online formában szervezik meg.

A Választmány egyhangúlag elfogadta a tájékoztatót.

**11. Az egyebekben Bocz András** arról számolt be, hogy a Dunaferri helyzete nagyon nehéz, és ez kihatással lehet a Dunaújvárosi Helyi Szervezet tevékenységére is.

*Zelei Gábor emlékeztetője alapján összeállította BT*

# Új székházba költözik Egyesületünk?

Mint ismeretes, az Egyesület kb. két éve kezdte el egy új „székház” keresését. A korábbi Múzeum körüli ingatlan valójában két egybenített lakás volt, sajnos több okból sem volt alkalmas valódi székháznak. A jelenlegi irodánk helyzete az ismert okok miatt bizonytalan, ez felgyorsította a székházkeresést. Egy X. kerületi önálló irodaház került a látótérbe. Az épület a Hízaló téren van, jól megközelíthető mind gépjárművel, mind tömegközlekedéssel. Van saját parkolója és az épület melletti parkolók is ingyenesek. A kétszintes épület (2 x 178 m<sup>2</sup>) alsó szintjén található akkora közösségi tér, ahol rendezvényeket lehet tartani, az emeleten a két összenyitható iroda kivételével helyiség is alkalmas előadások megtartására, akár 50 fő is elfér széksorosan.



Az épület a 99-es autóbusszal vagy az M3 metróval érhető el

elnök, Kőrösi Tamás főtitkár, Zelei Gábor ügyvezető igazgató) hívott életre és bízott meg a részletes tárgyalások megkezdésével. A Bizottság február 17-én személyes bejárás során találkozott az eladóval, és az ingatlant minden meghatározó szempontból alkalmasnak találta egyesületi székháznak. Úgy ítélte meg, hogy a jelenlegi piacon nem látszik alternatívája ennek az épületnek. Folytatódik az egyeztetés az eladókkal.

A Múzeum krt.-i ingatlan értékesítésével megbízott társaság tájékoztatást adott arról, hogy az elmúlt hetekben megindult a nagy értékű belső kerületi ingatlanok iránti kereslet. Várható, hogy hamarosan jelentkeznek potenciális vevők a volt székházunkra, amit az év során el is lehet adni.

A vétel és eladás



Az épület bejárata



A földszinti nagyterem

Az irodák száma lehetőséget nyújt kisebb társaságok részére egy-egy helyiség bérbéradására, ami az ingatlan fenntartását segítheti. Viszonylag új építésű ingatlan (2004), a rezsit is elfogadható az információ szerint (100 E Ft/hó nagyságrendű). Az ingatlan belülről teljesen felújított, kívül szigetelt, most úgy tűnik, hogy egyáltalán nem szorul átalakításra, azonnal beköltözhető. Az ingatlan irányára 120 M Ft. Az eladók a vételárat két részletben is elfogadnák, az aláíráskor 60 M Ft-ot, az év végéig pedig a fennmaradó összeget.

A Választmány az előterjesztést megvitatta, és egy három tagú bizottságot (Tolnay Lajos exelnök, tiszteleti



Az egybenyitható termek

közötti időszakra szükséges forrásbevonás érdekében kereste meg az OMBKE elnöke, Hatala Pál a szakosztályvezetőket azzal a kéréssel, hogy mérjék fel azon tagtársak körét, akik anyagi lehetőségeiket figyelembe véve tudnának az Egyesületnek év végéig kölcsönt adni szabályos, ügyvéd által készített szerződés formájában. A kölcsönigények gyűjtése jól halad, lapzártáig már 50

tagtársunktól összesen 60 M Ft összeget meghaladó felajánlás érkezett.

**Zelei Gábor**  
ügyvezető igazgató

# Szent Borbála-napi országos központi ünnepség

A 2020. december 4-re tervezett Szent Borbála-napi országos központi ünnepséget a vírusveszély felerősödése miatt nem lehetett megrendezni. Nem lehetett megtartani a hagyományos ökumenikus Borbála-misést sem a budapesti Gellért-hegyi Sziklatemplomban.

Az ünnepségre tervezett beszédek a Magyar Bányászati Szövetség honlapján videóüzenetben meghallgathatók. Köszöntőt mondott *prof. dr. Palkovics László* innovációs és technológiai miniszter, *dr. Fónagy János* országgyűlési képviselő, a nemzeti vagyonért felelős parlamenti államtitkár, miniszterhelyettes és *Marton Zsombor Ádám*, a Magyar Bányászati Szövetség elnöke.



Szt. Borbála nap alkalmából *prof. dr. Palkovics László* innovációs és technológiai miniszter elismeréseket adományozott a Bányászati Szövetség és az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület előterjesztése alapján. A kitüntetéseket később adják át az érdekelteknek.

Az OMBKE javaslata alapján Szent Borbála-érem elismerésben részesült lelkiismeretes bányászati tevékenységért: **Dr. Bohus Géza**, a Borsod Dolomit Kft. robbantásvezetője, **Dencs László**, a Magyar Földgáztároló Zrt. EBK vezetője.

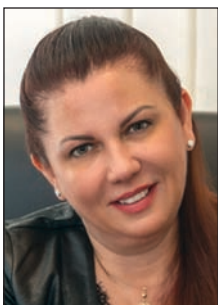
Az OMBKE javaslata alapján Szent Borbála-érem elismerésben részesült lelkiismeretes kohászati tevékenységéért: **Dobóczy István** főmérnök, TEKA Zrt., **Dr. Sevcsik Mónika** HR igazgató, DUNAFERR Zrt., **Vlaszák Mihály** ügyvezető igazgató, METALLOGLOBUS Fémöntő Kft.

Az OMBKE javaslata alapján Miniszteri Elismerő Oklevél elismerésben részesült:

**Dr. Kertész Botond** bányászati igazgató, COLAS Északkeleti Kft.

Szívből gratulálunk minden elismerésben részesült tagtársunknak, és további sikereket, jó egészséget kívánunk!

**Szent Borbála-érem kitüntetésben részesült kohász tagtársaink szakmai életútja:**



**Dr. Sevcsik Mónika** eddigi szakmai, tudományos és vezetői pályafutása a magyarországi koháshoz kötődik. Kutatási területei a tüzeléstan, a kohászati kemencék és ipari tüzelési rendszerek. Az acélgépjártási technológiák terén végzett tevékenysége az energiafelhasználás racionalizálásában, a környezetvédelemben kiemelt jelentőséggel bír. Munkássága nem korlátozódik egy-egy műszaki területre, hanem a vállalatirányítás és a szakmai közélet számos területére kiterjed. Jelenlegi munkahelye az ISD Dunaferr Zrt., ahol RMS és HR igazgatóként dolgozik, emellett a Magyar Vas- és

Acélipari Egyesülés elnök ügyvezető igazgatója.

Tagja az OMBKE-nek, aktív támogatója a Dunaújvárosi Helyi Szervezetnek és az Egyesület egész szervezetének is.



**Vlaszák Mihály** 1985-ben szerzett alakítástechnológiai üzemmérnöki diplomát a Dunaújvárosi Kohó- és Fémipari Főiskolán. Pályafutását a Csepeli Féműben kezdte, kezdetben dolgozott a színesfém szalaggyártás területén, később a huzalgyártás területén. 1989-től a Metalloglobus különböző egységeiben vezetőként tevékenykedett, 2004-től irányítja a Metalloglobus Fémöntő Kft.-t, amely lágyforrasztó ötvözetek és ólomhuzal gyártásával foglalkozik.

1981 óta tagja az OMBKE-nek. Jelentős támogatója az Fémkohászati Szakosztály rendezvényeinek. Nevéhez fűződik a pákozdi Miskahuszár szobor megálmodása és megvalósítása.



**Dobóczy István** 1982-ben szerzett oklevelet a Nehézipari Műszaki Egyetem Kohómérnöki Karán, képlékenyalakító szakon. A Mosonmagyaróvári Fém szerelvénygyárban (Mofém) kezdett dolgozni. A vállalat napjainkban Teka Magyarország Zrt. néven folytatja tevékenységét. Itt 1994-ig üzemi mérnök, később művezető, üzemvezető-helyettes, majd üzemvezető munkakörben dolgozott. Közben elvégezte a Budapesti Műszaki Egyetemen a minőség szabályozási szakot. 2002-ig minőségbiztosítási főosztályvezető, majd 2002–2007 között termelési főmérnök volt. 2007-től műszaki főmérnök.

A Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának Öntészeti Intézetével és Képlékenyalakítási tanszékével közös ipari kutatási projektek koordinálásában, megvalósításában vett és vesz részt cége képviselőjeként.

Az OMBKE-nek 2001 óta tagja. A Mosonmagyaróvári helyi szervezetnek, majd a Ferencz István Észak-Dunántúli Kohászati Regionális Szervezetnek tevékeny, aktív tagja. Számos szakmai esemény szervezője, aktív lebonyolítója. Hosszú ideig a helyi szervezet vezetőségi tagja volt, 2018 óta a helyi szervezet alelnöke.

## Szent Borbála-napi koszorúzás

A budapesti Szent István krt. 11. sz. alatti épületen 2020. október 1-jén felavatott emléktábla Szent Borbála-napjára tervezett koszorúzására a szigorú járványügyi előírások miatt csak kisebb létszámmal volt lehetőség. A december 4-i rendezvényen az OMBKE vezető tisztségviselői, *dr. Hatala Pál* elnök, *Kőrösi Tamás* főtitkár, *Zelei Gábor* igazgató mellett a Kőolaj-, Földgáz- és Víz bányászati Szakosztály Budapesti Helyi Szervezet vezetőségének tagjai, *Jármai Gábor*, *Dallos Ferené* és *Fisch Iván* vettek részt.

# A Miskolci Egyetem hírei

• A Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán a 2020/21. tanév I. félévében (2020 szeptemberében) az oktatás jelenléti formában, de a vírusvédelmi szabályok betartása mellett, blokkosított órarenddel (a gyakorlatok félév elejére való ütemezésével) kezdődött. A vírus szeptember végén/októberben felütötte a fejét, így bizonyos évfolyamok már ekkor áttértek a távoktatásra, de később (novemberben) a vírus országos terjedése miatt az egész kari (és egyetemi) oktatás (majd a vizsgaidőszakban a számonkérés) távoktatásban zajlott és fejeződött be.

• 2021. január 5–7. között zajlottak a Műszaki Anyagtudományi Kar záróvizsgái. Összesen 65 hallgató hat záróvizsga-bizottság előtt adott számot tudásáról. A záróvizsgára vírusvédelmi intézkedések mellett, de a megszokott, személyes formában került sor. A záróvizsga követelményeit minden hallgató sikeresen teljesítette. A vírus miatt a végzettek sajnos nem tudták ünnepélyes keretek között átvenni az oklevelüket, majd előzetes egyeztetést követően a Hallgatói Központ munkatársaitól kapják meg a diplomájukat.

Gratulálunk a frissen végzett Kollégáinknak, és további sikereket kívánunk!

Az előző tanulmányi félévben sikeres habilitációs eljárást folytattak le az alábbi kollégáink: Dr. Barkóczy Péter, Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet; Dr. Baumli Péter, Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet; Dr. Benke Márton, Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet.

A Műszaki Anyagtudományi Kar Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskolájában PhD-oklevelet szerzett: Majtényi József, Dargai Viktória, Kiss Bálint, Román Krisztina, Somdee Patcharapon, Nuilek Kanokon, Hadjadj Rachid, Varanasi Dheeraj. Gratulálunk a kollégáinknak, és további sikereket kívánunk!

• 2021. január 13-án online nyílt napra került sor a Műszaki Anyagtudományi Karon. A járványügyi intézkedések nem tették lehetővé, hogy a Karunk iránt érdeklődőket az intézményünkben fogadassuk, ezért számukra rendhagyó módon online nyitottuk ki a kapuinkat. A közel 3 órás online nyílt napon interjút adtak az intézetigazgatók, illetve mind a hat intézetünk laborjába is ellátogattunk. Karunk hallgatói, végzett hallgatói is informáltak a nyílt nap nézőit, akik egy rövid videó keretében a diákéletbe is belekóstolhattak. Az érdeklődők duális partnereink közül a NEMAK Győr Alumíniumöntőde Kft.-vel és a BorsodChem Zrt.-vel is megismerkedhettek. A két vállalat és a kar folyamatosan nyereményjátékokat is biztosított a résztvevők számára. A kari nyílt nap utólag is visszanezethető a Kar Facebook-oldalán és a YouTube-csatornáján.

• A 2020/21. tanév II. félévét (2021. februárban) az országos vírusvédelmi intézkedéseknek megfelelően távoktatás formájában kezdtük meg, és várhatóan ebben a formában is fejezzük be. A záróvizsgákat ugyanakkor ebben a félévben is személyes jelenlét mellett tervezzük megtartani.

*Mende Tamás*



**MISKOLCI**  
EGYETEM

**MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR**

## FELHÍVÁS

A Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kara felhívást intéz az Alma Mater egykori hallgatóihoz, akik 1951-ben, 1956-ban, 1961-ben, illetve 1971-ben (70, 65, 60, 50 éve) vették át diplomájukat a Kohómérnöki Karon Miskolcon vagy Sopronban.

Várjuk jelentkezésüket, hogy részükre, jogosultságuk alapján, a rubin-, a vas-, a gyémánt- vagy aranyoklevél kiállítására érdekében szükséges intézkedéseket meg tudjuk kezdeni.

**Jelentkezési határidő: 2021. április 15.**

A jelentkezéshez szükséges dokumentumok:

- kérelem nyomtatvány hiánytalanul kitöltve,
- oklevél fénymásolata,
- rövid szakmai önéletrajz (maximum egy A/4 oldal egyes szám harmadik személyben fogalmazva),
- egy darab igazolványkép.

A teljes lista és a kérelem nyomtatvány elérhető a kari honlapon: [www.mak.uni-miskolc.hu](http://www.mak.uni-miskolc.hu) és az egyetem főportálján.

Kérjük, hogy a dokumentumokat lehetőleg elektronikus formában, az írott szöveget formázatlan word dokumentumként, a fényképet önálló fájlként szíveskedjenek megküldeni.

Dr. Palotás Árpád Bence  
dékán

### Elérhetőségek:

E-mail: [roneczne.judit@uni-miskolc.hu](mailto:roneczne.judit@uni-miskolc.hu)

Cím: Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar Dékáni Hivatal

3515 Miskolc-Egyetemváros C/1. I. emelet 109. szoba

Telefon: +36/46/565-090



# Az MTA Műszaki Tudományok Osztálya bizottságainak alakuló ülése

Az MTA Műszaki Tudományok Osztálya tudományos bizottságainak tagsága a köztestületi tagok szavazatai alapján ez év elején eredményesen kialakult.

A **Metallurgiai Tudományos Bizottság** Józsa János osztályelnök meghívására és vezetésével tisztújító alakuló ülést tartott 2021. február 23-án.

A bizottság választott tagsága: *dr. Farkas Ottó, Fegyverneki György PhD, Harcsik Béla PhD, dr. Imre József, dr. Károly Gyula, dr. Kékesi Tamás, Marczis Gáborné PhD, Móger Róbert PhD, Molnár Dániel PhD, dr. Palotás Árpád Bence, dr. Szűcs István, dr. Tardy Pál, Taszner Zoltán PhD, Török Béla PhD, dr. Török Tamás, Varga László PhD.*

A tudományos bizottság munkájában két akadémikus (*Roósz András és Kaptay György*), valamint hat tudomány/MTA doktora vesz részt.

Az alakuló ülést 12 tag részvételével, a járványhelyzetre való tekintettel online rendszeren keresztül tartották meg. Az ülés elsődleges feladata a bizottság új elnökének, illetve titkárának megválasztása volt. Az elnökre egy javaslat érkezett, Kékesi Tamás, a korábbi elnök személyében, akinek jelölését a tagság és a jelölt is elfogadta. Az elnökjelölt titkárnak Török Bélát javasolta, amit a tagság és a jelölt szintén elfogadott.

A bizottság titkos szavazással egyhangúlag választotta meg elnöknek Kékesi Tamást és titkárnak Török Bélát.

Az **Anyagtudományi és Technológiai Tudományos Bizottság** alakuló ülésére 2021. február 23-án került sor, a járványhelyzetre való tekintettel online rendszerben. Az ülés levezető elnöke *Józsa János* osztályelnök volt.

A bizottság választott tagsága: *Baumli Péter PhD, Benke Márton PhD, Buza Gábor PhD, dr. Czinege Imre, dr. Czoboly Ernő, dr. Csanády Andrásné, dr. Dévényi László, dr. Dobránszky János, dr. Gácsi Zoltán, Hargitai Hajnalka PhD, dr. Krállics György, dr. Kundrák János, dr. Lenkeyné Biró Gyöngyvér, dr. Lukács János, dr. Mátyási Gyula, dr. Mertinger Valéria, dr. Orbulov Imre Norbert, dr. Réger Mihály, dr. Szabó Péter János, dr. Tisza Miklós, dr. Tóth László, dr. Trampus Péter, dr. Verő Balázs, dr. Zsoldos Ibolya.*

A Bizottság munkájában résztvevő akadémikusok: *Bársony István, Czigány Tibor, Kaptay György, Monostori László, Roósz András.*

A rendezvény egyetlen napirendi pontja a bizottság elnökének, elnökhelyettesének és titkárának megválasztása volt. A korábbi egyeztetések eredményeként mindhárom posztra egy-egy javaslat érkezett *Szabó Péter János* (BME), *Réger Mihály* (ÖE) és *Hargitai Hajnalka* (SZIE) személyében. Mindhárom jelölt elfogadta a jelölést. Rövid hozzászólásukban méltatták az előző elnök, *Gácsi Zoltán* két cikluson át végzett lelkiismeretes munkáját.

A bizottság jelen lévő 23 tagja egyhangú szavazással megválasztotta *Szabó Péter Jánost* elnöknek, *Réger Mihályt* elnökhelyettesnek, *Hargitai Hajnalkát* titkárnak.

*HB –SZPJ*

## FROM THE CONTENT

*(Continued from page B2)*

In this study we present an overview of the roll bonding technology and its most important applications which includes automotive industry, superconductor and ultrafine grains sheet manufacturing. Additionally, we describe the basic criteria of bond rolling, the mechanisms of the bond forming and the parameters influencing the bond strength.

### **Barkóczy Péter: Changes in the microstructure during preheating of aluminium- manganese alloys ... .. 32**

The range of applications for aluminum alloys is very wide. Alloying with manganese provides a structural material with very favorable properties. One of the special applications of which is in heat exchangers for vehicles. In this application, both strength and corrosion resistance are essential properties. These main properties are determined by the size, amount and distribution of aluminum-manganese precipitates in the alloy. The precipitation process depends on the amount of alloys added in addition to the manganese and the heat treatment of the cast billet. In this paper, these effects are examined by comparing microscopic images.

### **Réger Mihály – Horváth Richárd – Széll Attila – Réti Tamás – Gonda Viktor – Felde Imre: New method for estimation of hardness distribution of surface layers ... .. 38**

The most common purpose of surface treatment of alloys is to increase the surface hardness and wear resistance. The thickness and the in depth hardness distribution of the surface layer can be determined by hardness measurement and structural examination on a metallo-

graphical section perpendicular to the treated surface. Surface hardness measurement is also suitable for quick control of the effectiveness of heat treatment, it is much simpler and cheaper to perform, however, surface hardness carries only indirect information about the layer thickness and hardness distribution. The surface and cross-sectional hardness relate through the mathematical model of the plastic zone formed during the indentation, with the help of which the surface and in depth hardness functions can be converted into each other. The applicability of the mathematical model has been checked by analyzing the hardness data of nitrocarburised samples of different layer thicknesses. In the examined cases, the hardness distribution measured in the cross section can be estimated with sufficient accuracy by the developed method using the surface hardness measurement data.

### **Hlavács Adrienn – Schweitzer Bence – Mertinger Valéria – Benke Márton: Earing and the effect of the main alloying elements of the hot-rolled aluminum alloys ... .. 45**

In this research, the earing behaviour of hot-rolled, new, formable (3xxx and 5xxx type) Al alloys is examined. Due to the thickness of the sheets, conventional deep-drawing experiments could not be carried out. Therefore, an earing prediction method - which was developed by us and requires solely texture measurement data - is applied. Based on the results it can be deduced that for one alloy group, the alloying element content has an effect on the magnitude of earing, while it has no effect in another alloy group.

**2021-ben jubiláló tagtársainknak szeretettel gratulálunk, további jó egészséget és még sok békés, boldog évet kívánunk!**

**95. születésnapját ünnepli**

Laár Tibor  
Gimesi Mihály

Fémkohászati Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály

**90. születésnapját ünnepli**

Pálovits Pálné  
Czupi Gyula  
Temesi Sándor dr.  
Rajczy András  
Gál József  
Baráz András

Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály

**85. születésnapját ünnepli**

Tranta Ferenc dr.  
Barcsik László  
Kis Lajos  
Dudás Gyula dr.  
Hopka László  
Szabó Zoltán dr.  
Sólyom Jenő  
Stein Mihály  
Tóth Sándor  
Dzsaja Lajos

Egyetemi Osztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Egyetemi Osztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály

**80. születésnapját ünnepli**

Kováts Miklós dr.  
Pálya Károly  
Grünvalszky Károly  
Belányi József  
Krajcsi József  
Villányi István  
Csantavéri Tivadar Károly  
Vitéz János dr.  
Hetényi István  
Hőgye András  
Németh Józsefné  
Ifju János  
Károly Gyula dr.  
Solt Péter Mihály  
Szegedy-Maszák Tibor

Vaskohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Egyetemi Osztály  
Öntészeti Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály

**75. születésnapját ünnepli**

Nagy Géza dr.  
Bokor Sándor  
Bodorkós György  
Pivarcsi Lászlóné  
Széll Pálné  
Pupp János  
Tóth Vendel  
Kreis József  
Kukla Ferenc

Fémkohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály

Káplánné Juhász Márta

Fejes László  
Nagy Ferenc dr.  
Éva András dr.  
Sándor József dr.  
Bagi János  
Tóth László  
Rudolf Lajos  
Vágvölgyi György  
Vizvárdy Endre  
Politzer Tamás  
Szombatfalvy Rudolf  
Tóth László  
Tar Gyula József  
Vitos László  
Szücs István dr.  
Széll Pál  
Tóth Mihály  
Sztankay György  
Tamási István  
Köves Kristóf  
Imre József dr.  
Horváth Tamás

Öntészeti Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Egyetemi Osztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály

**70. születésnapját ünnepli**

Fazekas János  
Horváth Béla  
Király László  
Kiss Endre dr.  
Nagyváthy László  
Horváth Károly  
Dékány Endre  
Török Tamás dr.  
Tóth Tibor  
Grélinger Gábor  
Patakfalvi Zoltán  
Horváth Ferenc  
Bárdos István  
Nagy Béla  
Nagyváthy Lászlóné  
Rajos Tiborné  
Boross Péterné  
Menyhártné dr. Zsiros Mária  
Hajnal József  
Horváth János Gábor dr.  
Gácsi Zoltán dr.  
Ballus Tivadar  
Cserta Péter  
Penk Márton  
Reich Antal

Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Egyetemi Osztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Öntészeti Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Fémkohászati Szakosztály  
Vaskohászati Szakosztály

## Felhívás 70. életévüket ebben az évben betöltő Tagtársainkhoz

Tisztelt Tagtársunk!

Nagy öröm számunkra, hogy tagnyilvántartásunk szerint Ön ez évben ünnepli születésének 70. évfordulóját. Egyesületünk kedves hagyománya, hogy e kerek születési évfordulót ünneplő tagtársainkat a lap hasábjain köszöntjük.

Ez ügyben kérem Önt, hogy – egyes szám harmadik személyben írt, max. 25 sor terjedelmű – életrajzát és egy aktuális igazolványképet szíveskedjék a lap szerkesztőségének elküldeni lehetőleg

**elektronikus formában a [bkl.kohaszat@gmail.com](mailto:bkl.kohaszat@gmail.com) címre, vagy**

**postai úton a „BKL Kohászat szerkesztősége, 1051 Budapest, Október 6. utca 7.” címre.**

Segítségét előre is köszönve további jó egészséget kívánok.

**Balázs Tamás  
felelős szerkesztő**

### 70. születésnapját ünnepelte



**Hári László** 1950-ben született Székesfehérvárott. A középiskolát szülővárosában, a jónévű József Attila Gimnázium francia nyelvi tagozatán járta ki.

Két évi háromműszakos munka után jelentkezett az NME Dunaújvárosi Kohó- és Fémipari Főiskolai Karára, ahol nappali tagozaton, 1974-ben szerezte meg a metallurgus üzemmérnöki oklevelet.

Ebben a minőségben első munkahelye a Kőbányai Vas- és Acélöntöde volt, ahol egy évet dolgozott. Ezután kapott meghívást egykori főiskolája Metallurgiai Tanszékére, ahol szakoktatóként a nyersvasgyártás és az acélgégyártás tárgyak gyakorlatait vezette. Ezzel párhuzamosan végezte a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem levelező tagozatán a tanulmányait, ahol 1979-ben szerzett okleveles kohómérnöki oklevelet. Az egyetemi doktori vizsgát 1986-ban tette le vasérczsugorítási témakörben, az 1998-as PhD-disszertációjának témája az operációkutatás kohászati alkalmazásának vizsgálata volt.

A 70-90-es években töretlenül folyt a tanszék fejlődése. Sikeres volt a tanszék publikációs tevékenységének megindulása és felfutása, a TDK-tevékenységben való kiemelkedő aktivitás, a doktori fokozattal rendelkező tanárok létszámarányának 50% fölé való növelése és az ipari háttérű képzésben való részvétel. Mindezt kiegészítette az egyéni szakmai továbbképzés. Hári László mindezen tevékenységből kivette a részét.

A 1991–2001-es években Hári László a Dunaferri Rt.-

ben dolgozott, és rövid kutatóintézeti munka után a Műszaki Fejlesztés Osztályára került, ahol a nyersvas- és acélgégyártási szakterülettel, később környezetvédelmi feladatokkal foglalkozott. Ekkor nyerte el a főmérnöki beosztást.

A főiskolai és a dunaferri munkássága alatt kb. 60 szakcikke jelent meg, konferenciákon előadásokat tartott, 6-6 hetes tanulmányúton volt Franciaországban és Japánban. Szakmai tudását egyszerre próbálta mélyíteni és szélesíteni.

Ebben az időszakban érte az önállóvá lett Dunaújvárosi Főiskola igazgatójának hívása, mely a közben megüresedő Metallurgiai Tanszék tanszékvezetői állásának betöltésére vonatkozott. Egy cikluson keresztül volt a Metallurgiai Tanszék vezetője. Feladata a közben szétesett vas- és fémkohász, valamint öntész szakirányon folyó képzés újjászervezése volt. Mindez megvalósult a két szakirány összevonásával és egyidejűleg a bolognai képzésbe való bekapcsolódással. Közben megtörtént a 10 évre leállt tanöntöde újraaktiválása is.

Dr. Hári László utolsó hét munkás évét beosztott főiskolai tanárként töltötte, miközben a Fizikai-kémia, az Acélgégyártás, a Hulladékgazdálkodás, az Öntészet és a Metallurgiai folyamatok szimulációja c. tárgyakat tanította. Érdeklődése és fő kutatási területe a metallurgiai folyamatok szimulációja a nyersvas- és acélgégyártásban.

Az OMBKE-nek 1973 óta tagja.

Tankönyvírói munkásságára jellemző, hogy 2015–2020 között négy, kiadás előtt levő példatárt írt a nyersvasgyártás, acélgégyártás, pácolás-horganyzás és az archeometallurgia témakörökben. Az utóbbi három évben a Miskolci Egyetemen külső óraadó.

Dr. Hári László feleségével Dunaújvárosban lakik, két fia és egy unokája van.

**Dr. Klug Ottó**  
1934–2020



2020. december 11-én, életének 87. évében váratlanul elhunyt dr. Klug Ottó okleveles vegyészmérnök.

Klug Ottó 1934-ben született Budapesten. 1958-ban a Veszprémi Vegyipari Egyetemen szerezte meg elektrokémia szakos oklevelét, és ennek birtokában a Fémipari Kutatóintézetben kezdett dolgozni, előbb az elektrometallurgiai, majd a vegyszeti és a timföldtechnológiai osztályon, 1968-tól tudományos főmunkatársként. Közben 1962–1966 között levelező aspirantúrán a Leningrádi Lenzovjet Technológiai Intézetben kandidátusi fokozatot szerzett, majd 1968-ban a Veszprémi Vegyipari Egyetem műszaki doktorrá avatta.

1973-ban áthelyezték a Magyar Alumíniumipari Trösztökhöz, ahol a műszaki fejlesztés főmérnöke volt mintegy 12 évig, majd a nemzetközi kapcsolatok igazgatóságán folytatta munkáját 1993 végén történt nyugdíjba vonulásáig.

1996–1997-ig a Ferroglobus Rt.-nél a privatizációs ügyek közreműködője volt.

Munkája során több analitikai eljárás kifejlesztésében, majd az alumínátlóg-oldatok oszcillometriás üzemi mérésének kidolgozásában vett részt. A későbbiekben az alumíniumipari vertikum műszaki-fejlesztési tevékenységében számos szakterület munkáját támogatta.

Résztvevője volt a KGST Fémkohászati Állandó Bizottságon belül működő Timföld-alumíniumgyártási Tudományos-műszaki Tanácsnak, majd a MAT-Mansfeld Kombinát (NDK), illetve a MAT-Kovohute (CSSZSZK) együttműködések titkári teendőit látta el. A privatizálás során résztvevője volt számos tárgyalásnak a MAT, illetve Hungalu vállalatnál, majd a Ferroglobusnál.

Nyugdíjasként 1999-től az Országos Műszaki Múzeum Öntödei Múze-

umának könyvtárosa volt. A múzeumban eredményesen hasznosította nyelvtudását, fémkohászati szakmai ismereteit, történelmi tudását. Mindig segítőkész, szorgalmas, figyelmes munkatárs volt. Korábbi nyugdíjas munkatársainak és a múzeumi kollégáknak többnapos autóbuzos kirándulásokat szervezett a környező országokba. Az utakra gondosan felkészült, sok hasznos ismeretet osztott meg a résztvevőkkel.

Szakmai munkáját öt könyv megírása, illetve szerkesztése, továbbá mintegy 200 szakcikk és 12 szabadalom (utóbbiak társfeltalálójaként) dokumentálja. Múzeumi munkájával kapcsolatban 17 közleménye jelent meg.

Találmányaiért a kiváló feltaláló érem ezüst, majd arany fokozatával jutalmazták. Mintegy 10 éven át az MTA Kémiai osztálya elektroanalitikai munkacsoportjának tagja volt.

Az OMBKE-nek 1958-tól volt tagja. Nyugdíjasként több éven át segítette az egyesület munkáját (így például a balatonfüredi bányász-kohász találkozó szervezését), részben mint az egyesület könyvtárosa is.

Egyesületi könyvtári munkájáért emléklappal jutalmazták, 50 és 60 éves egyesületi tagságáért Sóltz Vilmos-emlékérem, illetve -emlékjelvény kitüntetést kapott.

1990-től a közelmúltig a BKL Kohászati szerkesztőbizottsági, majd szerkesztőségi munkáiban, valamint a székesfehérvári Alumíniumipari Múzeum „A mi múzeumunk” című lapjának szerkesztésében vett részt.

Tanárno feleségével több mint 50 évig élt együtt, két gyermekük, négy unokájuk született.

Klug Ottó búcsúztatása 2021. január 4-én, a budapesti Szervita téri Szent Anna templomban volt.

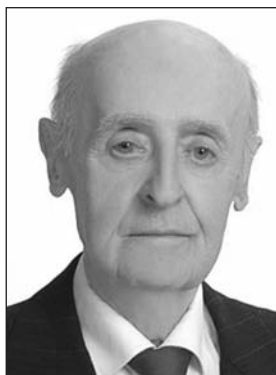
Emlékét megőrizve mondunk utolsó Jó szerencsét!

SA



## Szarka János

1936–2021



Néhány héttel 85. születésnapja előtt itt hagyott minket Szarka János, az elmúlt évtizedek egyik legjelentősebb fémkohásza. A Rudabánya melletti Felsőtelekesen született, bányászcsaládban. Az elemi iskola 5 osztálya után 1946-ban került Miskolcra, a Fazekas Mihály Népi Kollégiumban fejezte be elemi tanulmányait. 1954-ben a diósgyőri Kohászati Technikumban öntőipari technikus, 1959-ben a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen technológus kohómérnöki oklevelet vehetett át.

Kiváló végzést követően a Nehézipari Minisztérium Alumíniumipari Főosztályára került, amelyből rövidesen megalakult az Alumíniumipari Tervező Intézet. Így lett az ALUTERV „alapító tagja”, ahol rövidesen a székesfehérvári KÖFÉM 65 ezer tonnás alumínium félgyártmányt gyártó szélesszalag henger-germő megvalósításának és a hozzá tartozó tuskóöntöde fejlesztésének technológus főtervezőjévé nevezték ki, amit mint később valamennyi munkáját, sikerrel oldott meg. 1996-ban történt nyugdíjazásáig 37 éven át szolgált az ALUTERV-et és a teljes magyar alumíniumipart. Nem lett „nyugdíjas”. Folytatta tevékenységét az általa alapított NEOPLAN Mémnöki Tervező Bt. keretein belül, ami 1996–2017 között eredményesen működött. Ezt követően pedig 2018-ban, volt munkatársai-ból szervezett 11 fős önkéntes csapattal ellenszolgáltatás nélkül kidolgozták a korábban megszüntetett hazai alumíniumfólia-gyártás újraindítását megalapozó nemzeti alumíniumfólia henger-germő beruházási tanulmányt, felkeltve az illetékes minisztérium érdeklődését, arra alkalmas befektetőt keresve. Szívügye volt a téma. Nyugdíjasként is úgy működött, mint egy „kisaluterv”.

Ez a 60 éves, nagyívű tervezői pálya hengerművel indult és azzal záródott. Elismerten az alumíniumhengerlés legnagyobb tudora volt, úgy is mint technológus tervező, de gyakran a csatlakozó üzemszervek kiviteli tervezője is. 2006-ban adta ki az „Alumínium-ötvözetek meleghengerlése” c. kötetét. Henger-germő tervezési-fejlesztési témákban maradandót alkotott a Székesfehérvári KÖFÉM-en kívül a Kőbányai

Könnnyűfémműben és az Inotai Alumíniumkohóban. Tervezői tevékenysége kiterjedt a hengerlésen túl az olvasztóművek, öntödék világára is. Az ajkai nagynyomású öntödébe karusszel öntőgépet, a MOTIM-ba kerámia szűrőlapégető kemencét tervezett, a Csepeli Fémmű fejlesztésénél rézredukáló kemence tervezésében vett részt. Gyakran keresték az iparágon kívülről is, így részt vett a hazai magnéziumkohó előkészítésében, de cink- és ólomhengerek telepítésében is.

Tervezői eredményei mellett emlékezzünk az alkotó emberről: A széles szakmában legkorábban ő űzte a számítógépes tervezést, a tuskihúzást feledve, nála számítógép nyomtatta a tervrajzokat. Több kollégát is oktatott erre baráti gesztusból, nagy alapos-sággal. Elmélyedt matematikai tudása is mindnyájunk fölé emelte. Szorgalma példátlan, hozzáállása minden vonatkozásban segítő és barátságos volt. „Munkamániája” mellett igényelte a baráti társaságot, részt vett minden közösségi rendezvényen, mindig derűt és jókedvet sugározva. Jellemzően még az alkoholmentes sörrel is felvidult, talán mert szerette a kollégáit. Képes volt 75 fölött is Zuglóból átker-ekezni a városmajori Maros sörözőbe, az aluterves összejevetelekért.

Szarka János mint alkotó mérnök sokunk számára utolérhetetlen példakép volt. A tudás és a szorgalom így mértékű együttes megléte nagyon magasra emelte őt. Még ha mindez hivatalos elismerésekben kevésbé nyilvánult is meg. 1971-ben és 1982-ben a Nehézipar Kiváló Dolgozója, 1994-ben Kiváló Munkáért miniszteri kitüntetésben részesült. Az OMBKE tevékenységét 2015-ben Kerpely Antal-emlékéremmel, majd 60 éves tagságát követően Sóltz Vilmos-emlékéremmel ismerte el.

Február 1-én a Nagytétényi Adytum Ravatalozóban szűk családi körben és a volt ALUTERV-es kollégák-barátok tiszteletadásával vettünk végső búcsút...

Kedves János, Jani bácsi, Janikám, nyugodj békében! Mi mindig emlékezni fogunk Rád!

Hajnal J.

**Dr. Riba Dezső**  
1937–2021



Aranyokleveles, technológus kohómérnök, PhD-fokozatot elért, címzetes egyetemi docens kollégánk születésétől haláláig Miskolc polgára volt. Mérnökként kiemelkedő kutató, fejlesztő és oktató tevékenységet folytatott. A fiatal mérnököt dr. Diószeghy professzor invitálta az akkoriban alapított TÜKI-be, ahol kezdetben beosztott, majd vezető kutatóként több mint 40 éven át végzett eredményes tudományos munkát. Szakterületét az izzítóke-mencék, a berendezések földgáztüze-lése, a tüzelőrendszerek biztonsági berendezéseinek fejlesztése képezték. Mindennek eredményességét több szabadalom is tanúsítja. Az acélok képlékeny alakítás előtti átízzítása témakörben készített kandidátusi értekezését 1979-ben védte meg. Hazai és nemzetközi szaklapokban nagyszámú publikációja jelent meg. Egyetemi jegyzeteknek is volt szerzője vagy társszerzője. Meghívott előadóként a

miskolci, debreceni és a gödöllői egyetemen is oktatott. Kiváló előadó volt.

Évtizedeken át sajnos küzdenie kellett egy vírusfertőzés okozta krónikus reumás betegséggel. A betegség kapcsán – rá jellemzően, másokon segítő – a Miskolci Reumás Betegek Egyesületében több mint 30 éven át aktívan tevékenykedett.

Feleségével három leánygyermeket neveltek fel. Dezső a lányaival megszerettette az úszást, akik ebben figyelemreméltó eredményeket értek el.

Szép kort megérve váratlanul, egy-napi kórházban tartózkodás után súlyos emésztőrendszeri elváltozás miatt távozott.

Miskolcon, a nevezetes deszka temetőben, 2021. február 12-én a vég-tisztességadás keretében helyezték el hamvait. Emlékét nem feledve mon-dunk ezúton kollégánknak utolsó Jó szerencsét!

**Dr. Takács István**

**Horváthné Rózsahegyi Ibolya**

1934–2021



Rózsahegyi Ibolya 1934. március 18-án született Budapesten. 1952-ben érettségizett a budapesti Teleki Blanka Leánygimnáziumban. Ugyanezen évben kezdte meg tanulmányait a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Kohómérnöki Karán. 1957-ben abszolutóriumot, 1965-ben diplomát kapott a vas- és fémkohómérnöki szakon. 1976-ban a Budapesti Műszaki Egyetemen anyagvizsgáló szakmérnöki oklevelet szerzett.

1957 és 1963 között a Magyar Optikai Művek anyagvizsgáló laboratóriumában dolgozott gyártástervezőként, majd anyagvizsgáló mérnökként a fémek és ötvözetek mechanikai és metallográfiai vizsgálatával, valamint spektrográfiai vizsgálatával foglalkozott.

1963-tól az Országos Érc- és Ásványbányák központi laboratóriumában spektroszkópiai csoportvezetőként, majd 1967-től 1972-ig a Gépipari Technológiai Intézet laboratóriumában anyagvizsgáló mérnökként dolgozott.

Ezután nyugalomba vonulásáig, 1990-ig a Magyar Szabványügyi Hivatal Kohászati Osztályán főelőadó, illetve főmunkatárs volt.

1958-ban ment férjhez Horváth Csaba okleveles kohómérnökhöz. A házasságukból egy gyermek született, Eszter, aki biológus lett.

Horváthné Rózsahegyi Ibolya búcsúztatása a budapesti Szent István-bazilikában volt, 2021. február 12-én.

Nyugodon békében, emlékét megőrizzük.

**A Szerkesztőség**



## Szent Borbála Dunaújvárosban

*Bráda Tibor* festőművész munkája az a monumentális üvegtablak, amely a bányászok és kohászok védőszentjét, Szent Borbálát ábrázolja. A 3,65 x 1,1 méteres ólmozott üvegtablakot 2020. november 12-én építette be a helyére, a dunaújvárosi Krisztus Király Főtemplomba, a művész kivitelező csapata.

A díszablak költsége vasmús szakemberek által szervezett jótékonyági adományozás nyomán gyűlt össze. A Dunaújvárosi Római Katolikus Templom és Iskolaépítő Alapítvány keretein belül indított gyűjtés koordinálója az OMBKE dunaújvárosi helyi szervezetének elnöke, *Cseh Ferenc* és titkára, *Kvárik Sándor* volt. Több cég és magánszemély – köztük dunaferres kollégák – adományainak köszönhetően vált lehetővé a műalkotás elhelyezése.

Az alkotó festőművész az elmúlt évek során már üvegebe álmodta és elkészítette a Krisztus családfáját, Szent Istvánt, IV. Bélát, Szent Lászlót és családjukat, Salamon királyt, a Golgotát, valamint a Szent Pantaleont ábrázoló, csodálatos színvilágú, 7,5 magas és 4,5 méter széles díszablakokat. A munka folytatásaként a Szent Borbála-ablak elkészítésére ismét a művészt kérte fel a templom plébánosa, *Baltási Nándor*, valamint a mecénások. Az adományozók képviselőjében az alkotóval *Bocz András*, az OMBKE Vaskohászati Szakosztályának elnöke, az MVAE igazgatóhelyettese tartotta a kapcsolatot, és vállalta a koordinációs feladatokat.

Szöveg: *Szilágyi Irén*  
Fotó: *Németh Zsolt*

## Képek Török Tamás István: EUROCORR 2021 – Harcolni a korrózió ellen is kell című cikkéhez (4–6. oldal)



1. ábra. Festett öntöttvas és acélszerkezet korrodálódott felülete városi környezetben



2. ábra. Festett acél gyártóeszköz korrodálódott felülete ipari környezetben



3. ábra. Acélbetét korróziós termékei által lefedített fedőréteg nélküli erkélykonzol



4. ábra. Megbontott szigetelőréteg alatti acélkorrózió

# Szentmártoni Bodó János: Az vasról való ének (részlet)

*Kiadva Kolozsvárott 1636-ban*

*Az ezerhatszáz és az huszonötben,  
Az kellő Nyárnak szintén közepében,  
Aranyos vize gyönyörű mentében  
Ezeket íram egy hűvös Szigetben.*

*De mire való az Vas, ha azt kérded?  
Azt is én töllem, ezennel megérted,  
Ha csak katánggal nem virágzik kerted,  
Az Vasnak hasznát eszedbe veheted.*

*Vassal faragják az szép templomokat,  
Vassal faragják az nagy kőházakat,  
Vassal építik a szép palotákat,  
Vassal ássák meg az szép Halas Tókat.*

*Vassal vágják az aranyat a földből,  
Ha mit megisznak az arany edényekből,  
Vassal gyűjtik azt az szőlőhegyekből,  
Vassal keresnek Buzát is az földből.*

*Az jó Vitézeknek végig Vas Szablyája  
Vas hegyes töre, Vas az ő Sisakja,  
Vasból áll inge, Vas az ő puskája.  
Hegyes Vas nélkül rossz az kopjája.*

*A puskaport is Vassal török, rontják,  
Vas golyóbillal az Várat megrontják,  
Az tunya lovat mind addig szoríttyák,  
Vas sarkantyú közt még futni tanították*

*Vassal vágnak fát mind erdőn, mind itthon,  
Kövé malacot megsütnek vas nyárson,  
Ha a tűz elfogyna az egész világon,  
Tüzet tehetnek két darab atzélon.*

*Vassal patkollyák Csizmáknak az talpát,  
Vassal készül az jó kenyér sütő lapát,  
Vassal csénállyák vasból is az kapát,  
Vassal készítenek mind gubát s mind subát.*

*A bélyegítője hiszen Vas az pénznek,  
Mind az ezüstnek s mind pengig az réznek,  
Vas az eszköz minden Mívesnek,  
Mert az szép művek vasat nem gyűlölnék.*



*Senki sem tudgya azt előszámlálni,  
Mennyi sok haszna kezd az Vasnak lenni,  
Azért a Vasat ne károld megvenni,  
Egy nap ha kétszer főttet akarsz enni.*

*Nem drága az vas, ha találják készen,  
Megveszik őtet aranyon, ezüstön,  
Azért a Vasnak ellene semmiben,  
senki ne mondgyon tellyes életében.*

A képen Georgius Agricola: De re metallica című, 1556-ban megjelent könyvének vasolvasztó kemencét ábrázoló rajza látható.