

BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI LAPOK

# Kohászat

Vaskohászat

Öntészet

Fémkohászat

Anyagtudomány

Felsőoktatás

Hírmondó

146. évfolyam

2013/5-6. szám



Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület lapja.

Alapította Péch Antal 1868-ban.

## TARTALOM

### Vaskohászat

- 1 **Mucsi A.:** Alumíniummal csillapított acélszalagok nitridkiválási folyamatai a meleghengerlést követő technológiai műveletek során
- 6 **Móger R.:** Átépitésre leállított nagyolvastóban a kialakult tapadványok vizsgálata
- 13 **Tájékoztató az MVAE szeptember 26-i taggyűléséről**

### Öntészet

- 14 **Leskó Zs. – Dúl J.:** Az összetétel és a falvastagság hatása a nyomásos öntvények mechanikai tulajdonságaira
- 19 **Tóth N.:** Temperöntvénygyártás a KÜHNE Vasöntöde Kft.-ben
- 23 **A szakmánk él és fejlődik!**

### Fémkohászat

- 26 **Szarka J.:** Alumínium hideghengerlési hűtő-kenőolajok tulajdonságai
- 34 **Gál J.:** Adalékok az INOTA és az alumínium 60 éve c. cikkhez
- 40 **Emléktábla-avatás a volt Csepeli Fém-műben**

### Anyagtudomány

- 44 **Dobránszky J.:** Az értágítóbetétek anyagainak fejlődése
- 49 **Pataki T. – Lassú G. – Török T.:** Fémtermékek felületkezelése atmoszférikus nyomású plazmatechnikával
- 58 **Tomolya K.:** Golyósmalomban őrlött CuZr alapú ötvözetek szerkezetváltozásának vizsgálata

### Felsőoktatás

- 62 **Jubileumi Technikus Találkozó**
- 63 **Károly Gy. – Török B. – Harcsik B.:** Korszerű, új digitális jegyzetek készülnek a vaskohászati érdeklődésű kohómérnökök számára
- 65 **Interneten elérhető friss tananyagok** készültek a Metallurgiai és Öntészeti Intézetben
- 66 **A Műszaki Anyagtudományi Kar hírei**

### Hírmondó

- 67 **Balázs T. – Tardy P.:** Interjú Skultéty Tamással, a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. ügyvezető igazgatójával
- 71 **XX. szigetközi szakmai napok**
- 72 **Emlékeztető az OMBKE 2013. október 8-i választmányi üléséről**
- 72 **Köszöntések**
- 74 **Nekrológok**

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

## FROM THE CONTENT

### Mucsi, A.: Nitride precipitation processes in Al-killed steel strips during the technological steps of production after hot rolling ... .. 1

The technological steps of production of Al-killed low carbon steels largely influence the mechanical properties of the end-product. The first key element of good deep-drawability is to keep the free nitrogen in solid solution until the cold rolling ends. In order to prevent nitride precipitation during hot rolling and coiling of the strip proper alloying, short interpass times during hot rolling and low coiling temperature is necessary. The second key element is to precipitate the free nitrogen as nitrides (mainly AlN and complex nitrides) in the cold rolled microstructure during the heating-up stage of the batch annealing process. The proper technological parameters of production of these steels require the knowledge of nitride precipitation processes in hot rolled as well as in cold rolled state.

### Móger, R.: Investigation of accretion formation in the blast furnace ... .. 6

There are some theory regarding creation of accretion in Blast Furnace which are usually different from each other because of the construction of blast furnace. The raw material charged and the operation of blast furnace also can effect the extent of accretion process. In this paper the accretion process – one of the harmful effect – of alkali (Na, K) and zinc is examined. After the review of literature named, ISD DUNAFERR Co. Ltd. BF1 accretion process is investigated via samples from blast furnace.

### Leskó, Zs. – Dúl, J.: Effect of composition and wall thickness of the high pressure die casts' mechanical properties ... .. 14

In this paper we present two types of currently used vacuum systems on the HPDC and the preparation phase of an experimental tool. To investigate the properties of HPD castings we have designed a die geometry that complies with requirements of vacuum and non-vacuum systems. We used computer simulation to shape up the runner- and overflow-system. In the course of our work we examined specimens with differing thickness and alloys with different compositions to check the changes of mechanical properties and the effect of vacuum system.

### Tóth, N.: Production of malleable iron castings in the KÜHNE Iron Foundry Co. Ltd. ... .. 19

KÜHNE Iron Foundry Co. Ltd., established as a part of KÜHNE Agricultural Machine Factory, is an owner of long tradition in the area of iron casting production. In this country, it is the only producer of blackheart malleable iron castings. This article deals with the history of the foundry in Moson-

magyaróvár and the process features of producing malleable iron castings.

### Szarka, J.: Features of cooling – lubricating oils for aluminium cold rolling ... .. 26

The cooling-lubricating oils used in aluminium cold rolling are mainly mineral originating base oils. Special additives are mixed into these oils, in order to improve the pressure-tightness and lubricity, to reduce the friction, wearing, foaming, infection, oxidation etc. Features of the cooling-lubricating oils (evaporation, viscosity, friction, heat transfer, fire danger changing) are gradually changed by the impurities contacted with the cooling-lubricating oil during the application (flue dust, steel- and aluminium wearing particles, hydraulic and lubricating oils, lubricating grease, water etc.) and the occurring physical-chemical processes.

### Dobránszky, J.: Evolution of stent materials ... .. 44

The most used vascular implants, i.e. stents are one of the best examples for demonstrating the synthesis of advanced materials and high precision technology. In this tiny device a serious medical and engineering experience and research efforts are concentrated from metallurgy of the base materials through the manufacturing to the packaging. The entire technology is strictly connected to the needs and reflections of physicians who apply these implants. The author summarizes the most important elements and his knowledge, including the Hungarian aspects, related to the stents, which have just only one generation history.

### Pataki, T. – Lassú, G. – Török, T.: Surface treatment of metal products using atmospheric pressure plasma techniques ... .. 49

With the rise of products with functional coatings and modified surfaces, surface cleaning is becoming more than ever relevant, while tightening European environmental standards promote chemical-free technologies, such as plasma treatment. This article mainly focuses on atmospheric pressure techniques and their applications for metals by presenting specific cases.

### Tomolya, K.: Structural monitor of transformation in CuZr based alloy during mechanical milling ... .. 58

This paper deal with ball-milling of CuZr based alloys. Ternary CuZrAl alloys were produced. Microstructure of the starting and the as-milled powders was analysed. Phases of the as-milled powders were identified. Amorphous matrix with nanocrystalline composite powders were produced, because T<sub>3</sub> (Al<sub>21</sub>Cu<sub>28</sub>Zr<sub>51</sub>) remained after the research work.

• **Szerkesztőség:** 1051 Budapest, Október 6. utca 7., III. em. • **Telefon:** 06-1-201-7337 •  
• **Levélcím:** 1371 Budapest, Pf. 433, e-mail: bkl.kohaszat@gmail.com •

• **Felelős szerkesztő:** Balázs Tamás •

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

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

• **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. •

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

# Golyósmalomban őrlött CuZr alapú ötvözetek szerkezetváltozásának vizsgálata

**A cikk kristályos CuZr alapú ötvözetek mechanikai őrlésével foglalkozik. Háromalkotós CuZrAl ötvözeteket állítottunk elő. Megvizsgáltuk a kiinduló és az őrlés hatására kialakult szövetszerkezetet és azonosítottuk a különböző ideig őrlött porokban lévő fázisokat. A kiinduló kristályos ötvözetekben lévő fázisok közül az őrlési kísérlet végén csak a  $T_3$ - ( $Al_{21}Cu_{28}Zr_{51}$ ) fázis maradt kristályos. Végeredményként amorf/nanokristályos kompozit porokat hoztunk létre.**

## Bevezetés

A Magyar Tudományos Akadémia által támogatott és a Miskolci Egyetemen lévő MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport többek között amorf ötvözetek előállításával és vizsgálatával foglalkozik. Elsősorban öntéssel és őrléssel állítunk elő amorf, ill. amorf/kristályos szerkezetű ötvözeteket. Öntéssel tömbi amorf ötvözeteket gyártunk, az őrléssel előállított porokat porkohászati technológiával dolgozzuk fel, hogy szintén tömbi amorf ötvözetet állítsunk elő.

Az amorf ötvözetek előállítása és vizsgálata nemzetközi szinten is kiemelkedő kutatási terület, amellyel számos jeles kutató foglalkozik [1–3]. Ennek oka, hogy jobb tulajdonságokkal (pl.: mechanikai, mágneses tulajdonságok, korrózióállóság) rendelkeznek, mint az ugyanolyan összetételű kristályos szerkezetű társaik. Az első publikációk magnézium- és lantanalapú tömbi amorf ötvözetekről jelentek meg a '80-as évek végén. Később folyamatosan közöltek cikkeket cirkónium-, titán-, vas- és kobaltalapú ötvözetekről is. A 2000-es évek elején pedig már a rézalapú ötvözetekre is fókuszáltak a kutatók [4]. A legtöbb amorf ötvözet alapanyaga, mint például a cirkónium, platina, magnézium, kobalt, nikkell, viszonylag drága, így nagy tömegű felhasználásuk még kor-

látozott. Az amorf anyagok egyik legnagyobb felhasználója az elektronikai ipar. Már léteznek olyan elektronikai termékek (laptop, telefon), amelyeknek a burkolóanyaga amorf fém, de óratokokat is készítenek amorf ötvözetekből. Az olajfúrók fúrófejeit szintén amorf ötvözetrel vonják be, kiváló kopásállóságuk miatt. A sporteszközök közül a tenis- és a golfütőt érdemes ebből az anyagból gyártani, mivel rezgéscsillapító képessége védi a sportoló ízületeit.

Ahhoz, hogy amorf ötvözetet tudjunk létrehozni, az alapfémhez amorfképző elemet (ilyen például a cirkónium vagy a hafnium) kell adagolni. A legtöbb amorf ötvözet általában rideg, elsősorban az atomok kis mértékű mozgékonyasága miatt, de ez a tulajdonságuk javítható ötvözéssel (pl.: CuZr ötvözethez alumíniumot adva) vagy részbeni kristályosítással (amorf/kristályos kompozit). Az összetétel megválasztása az amorf ötvözet készítésének egyik lényeges mozzanata, bizonyos tekintetben stratégiai kérdés. Az eutektikus összetételhez közeli ötvözetek például könnyebben amorfizálhatók.

Amorf ötvözetek előállításának egyik kritikus kérdése a szennyezők (pl.: oxigén) teljes mértékű kizárása, mert a jelenlévő szennyező elemek csíráképzőként hatnak, a cél pedig a csíráképződés elkerülése. Tömbi

amorf vagy amorf/kristályos fémötvözeteket többnyire öntéssel vagy porkohászati úton (őrlés, sajtolás, szinterelés) állítanak elő. Az öntészeti úton történő gyártást korlátozza, hogy az elérhető vastagságot befolyásolja a kritikus hűtési sebesség. Az ötvözet összetételétől függően is változik az önhető amorf darab vastagsága. Így például CuZrAgAl esetben maximum 25 mm átmérőjű darabot tudtak eddig önteni [5]. A porkohászati technológia ezzel szemben vastagabb darabok előállítására is alkalmas lehet, ennek első lépése az amorf vagy amorf/kristályos por gyártása. Az öntött anyagok porrá őrlésével számos szakirodalom foglalkozik [6–8], míg a porokból történő tömbi darabok létrehozásával azonban kevesebb [9,10]. Őrlés során a golyók által közölt mechanikai energia egy része az amorf szerkezet kialakulására fordítódik, miközben a szemcsék aprózódása és összehegedése egyaránt zajlik. Olyan folyamatok ismétlődnek, mint a mechanikai keveredés, a hideghegedés, a szemcsék töredezése. Végül egy megváltozott anyagszerkezetű, viszonylag finom szemcseméretű port (átlagos szemcseméret <50  $\mu\text{m}$ ) kapunk. A folyamat során kristályhibákat viszünk be a szerkezetbe, ilyenek a diszlokációk, rétegződési hibák, ikerhatárok [11]. A kristályos fázis ezeknek a folyamatoknak, a hibák halmozódásának (hibakoncentráció-növekedés) köszönhetően amorf szerkezetűvé válik [7].

Közleményünk bemutatja az alapanyaggyártást és az amorf por készítésének technikáját, valamint különböző vizsgálótechnikákkal nyert eredményeket, a mesterötvözet és az őrlött porok szerkezetét. A kutatómunka célja, hogy olyan amorf vagy amorf/kristályos kompozitporokat hozzunk létre, melyek a továbbiakban meleg sajtolással porkohászati úton feldolgozhatók.

**Mizser-Tomolya Kinga** okleveles anyagmérnök, a Magyar Tudományos Akadémia Miskolci Egyetemen lévő Anyagtudományi Kutatócsoportjában dolgozik, mint tudományos munkatárs. 2007-ben PhD-fokozatot szerzett alumínium mátrix szemcsékkel erősített kompozitok témakörben. Jelenleg fő kutatási területe ötvözetek amorfizálása őrléssel és a kapott porok pormetallurgiai feldolgozása.

## 1. Alapanyaggyártás

A kísérletek első lépése a nagy tisztaságú, kristályos mesterötvözetek készítése. Az előállítás a Debreceni Egyetem Szilárdtest Fizikai Tanszékén lévő ívfényes olvasztó berendezésben (1a ábra) történt.

Az ívfényes olvasztó berendezés közepén egy vízzel hűtött réztégely van, amelybe az olvasztandó tiszta fémek kerülnek. Lényeges, hogy nagy tisztaságú fémeket használjunk, mivel az alapanyagban oldott szennyezők ronthatják az amorfizálhatóságot. Legalább 99,9%, de jellemzően nagyobb tisztaságú fémeket alkalmazunk. A lezárt berendezésben vákuumot ( $10^{-7}$ – $10^{-8}$  bar) hozunk létre. Ezt követően kis mennyiségű, nagy tisztaságú argon beengedésével a tér alkalmassá válik az ívfény kialakítására. Az ívfény megolvastja a jelen lévő elemi fémeket, amelyek néhány másodperc alatt – az intenzív olvadáskáramlás következtében – homogén ötvözetet képeznek. Az ötvözet a felületi feszültség miatt közel gömb alakot vesz fel. Az ötvözet forgatását követően az olvasztást négyszer-ötször megismételjük, hogy a homogenitást tovább javítsuk. A végeredmény egy átlagosan 15 g tömegű, kb. 2 cm átmérőjű ötvözet darab (1b ábra). Az alkalmazott berendezés előnye, hogy az ötvözetet meg tudjuk védeni az oxigén hatásától és a salak képződésétől, ugyanis az olvasztás terében folyamatosan olvadt állapotban tartunk egy titán-darabkát (titán gettert), aminek feladata az olvasztás során felszabaduló oxigén megkötése. Mivel a cirkóniumnak nagy az affinitása az oxigénhez, így szükség van a gáztérben a szabad oxigén megkötésére, ill. koncentrációjának minimálisra csökkentésére, ugyanis az ötvözetben keletkező fém-oxidok rontják az amorfizálhatóságot, mert csíráképzőként hatnak. A titán getter alkalmazása esetén 150 ppm alatti oxigéntartalmú ötvözetet lehet készíteni. Az így kapott mesterötvözet kiválóan alkalmazható további őrlési kísérletekhez.

## 2. Őrlés

A kristályos anyagot megőrölve amorf vagy amorf/kristályos szerke-

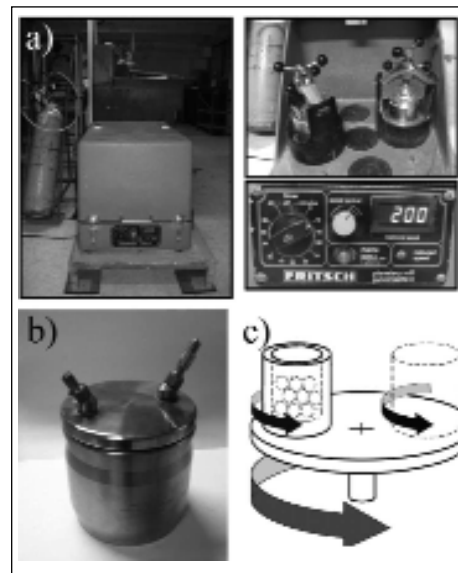
zetű por állítható elő. Az őrlés előtt különböző műveletek elvégzése szükséges, ilyen a mesterötvözet aprítása és az aprított szemcsék méret szerinti szétválasztása fém-szita segítségével. Így a kiinduló por szemcsemérete <300 mikrométer. Az őrléshez „Fritsch Pulverisette 5” golyósmalmot (2a ábra) használtunk, amelybe egyidejűleg két tégely (2b ábra) helyezhető el. A saválló acéltégelyekbe 30-30 gramm mennyiségű kristályos port mértünk be, ehhez hozzáadtuk az 5, 7 és 10 mm átmérőjű acélgolyókat 20:1 golyó/őrlendő anyag arányt alkalmazva. Ezt követően a tégelyeket lezártuk és argonnal feltöltöttük, majd az őrlést 200 fordulat/szám/perc sebességgel 25 órán keresztül végeztük és 5 óránként mintát vettünk [12]. Egy óra őrlés után két órán keresztül hűlt a berendezés, hogy az őrlés során ugyanolyan körülményeket biztosítsunk. A bolygóműves őrléskor a tégelyek egy forgó tárcsán is és a saját tengelyük körül is forognak, ahogyan a 2c ábra szemlélteti. Az őrlés során a bevitt mechanikai energia hatására alakul ki az amorf szerkezet. A tégelyek és a tárcsa forgásából származó centrifugális erők hatással vannak a tégelyek tartalmára, azaz az őrlő golyókra és az őrlendő porra is. Őrlés során a golyók egymással és a fallal is ütköznek, miközben köztük állandóan jelen van az őrlendő por, ami ezáltal ismétlődően nyíró és nyomó igénybevételnek van kitéve. A folyamatos ütközések hatására deformáció jön létre, majd alakítási keményedés és törés játszódik le [13].

## 3. CuZr alapú mesterötvözetek

A kísérletekhez olyan ötvözeteket választottunk, amelyek a Cu-Zr-Al ternér rendszerben az eutektikus összetételt megközelítik. Ennek oka, hogy az amorf szerkezet ezeknél az ötvözeteknél alakítható ki legkönnyebben. Háromalkotós rendszerben csak irodalmi adatokra alapozva lehetséges a jellegzetes összetételek megadása. Bo és társainak munkáját felhasználva [14] jelöltük ki azokat az összetételeket, amelyekből nagy valószínűség-



■ 1. ábra. a) Ívfényes olvasztó berendezés; b) a mesterötvözet képe



■ 2. ábra. a) Őrlőberendezés, b) őrlő tégely képe, c) az őrlés elvi ábrája

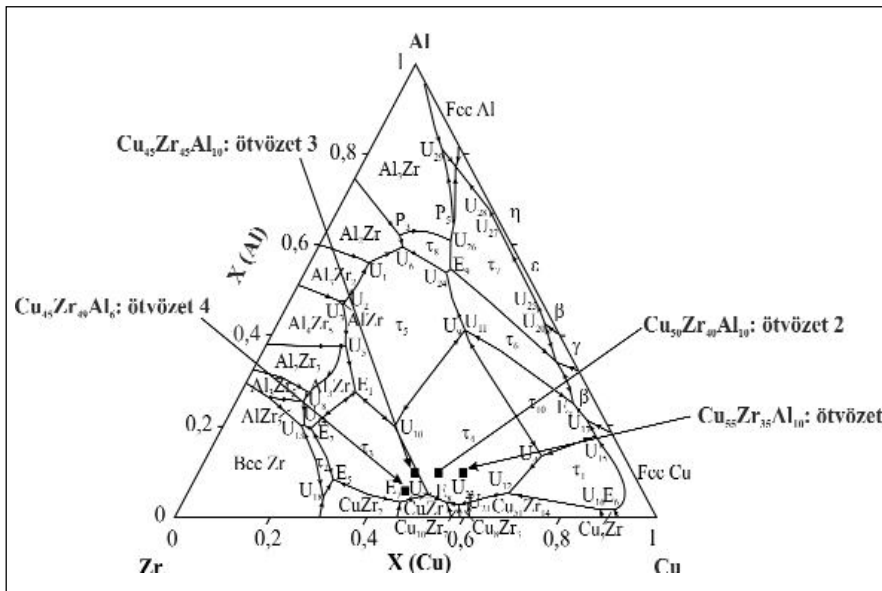
gel amorf vagy részben amorf szerkezetű ötvözetpor készíthető. Az 1. táblázat tartalmazza a kiválasztott összetételeket és elnevezéseiket.

1. táblázat. A kísérleti ötvözetek elnevezése és összetétele

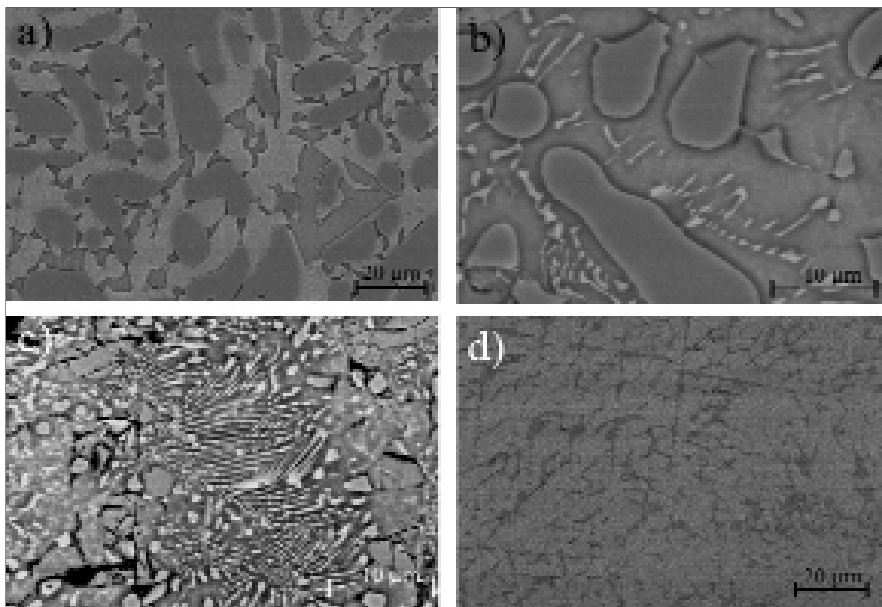
Ötvözet neve	Összetétel, atom%		
	Cu	Zr	Al
1. ötvözet	55	35	10
2. ötvözet	50	40	10
3. ötvözet	45	45	10
4. ötvözet	45	49	6

A 3. ábra a CuZrAl ötvözetrendszer likviduszfelületét mutatja, megjelölve a kísérleti összetételeket. Az egyensúlyi fázisdiagram alapján kettő azon a felületen található, ahol a  $\tau_4$  (AlCu<sub>2</sub>Zr) a primér fázis, kettő pedig ahhoz a felülethez tartozik, ahol a  $\tau_3$  (Al<sub>21</sub>Cu<sub>28</sub>Zr<sub>51</sub>) kristályosodik elsőként. Ez a diagram kiindulópontot jelent a további vizsgálatokhoz és információt ad arról, hogy milyen fázisok lehetnek jelen az ötvözetekben. Azonban meg kell jegyezni, hogy az

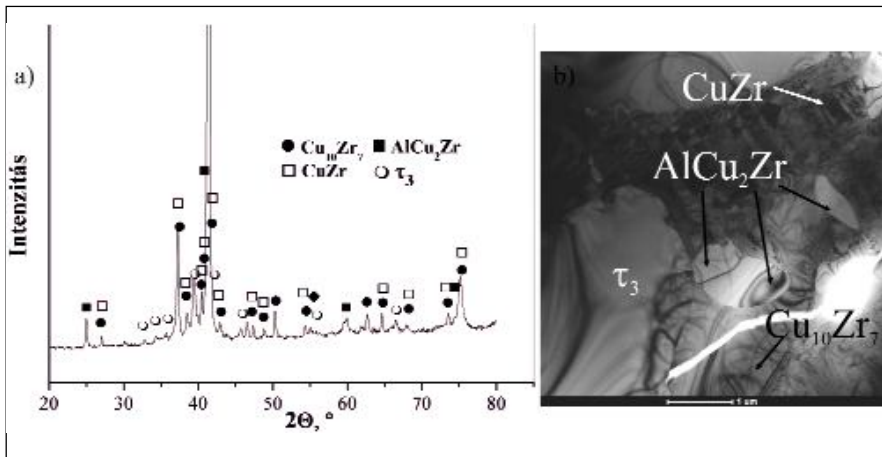




■ 3. ábra. A CuZrAl ötvözetrendszer likvidusz felülete [13]



■ 4. ábra. A mesterötvözetek szerkezete a) 1. ötvözet, b) 2. ötvözet, c) 3. ötvözet, d) 4. ötvözet



■ 5. ábra. 1. ötvözet a) röntgendiffrakciós felvétele, b) HRTEM képe

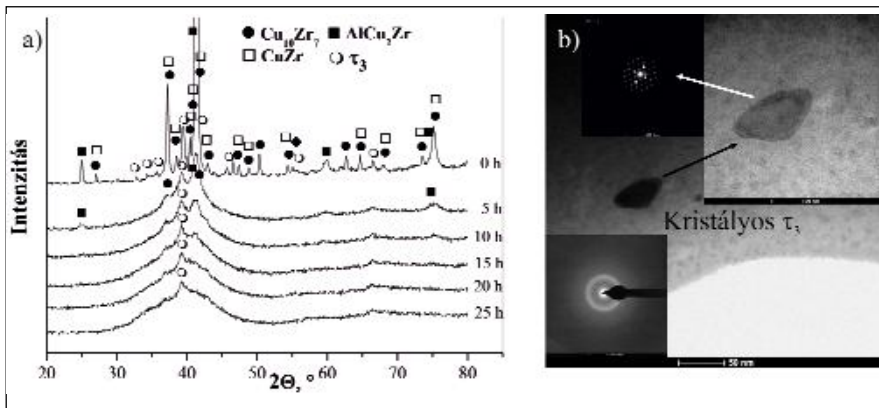
ívfényes olvasztásnál ~100 K/s-mal hűlték az ötvözetek, ami azt jelenti, hogy nem egyensúlyi körülmények között kristályosodott a szerkezet.

A 4. ábra a különböző összetételű kristályos ötvözetek szerkezetét mutatja be. A pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) készült felvételek és a hozzá kapcsolt energiadiszperzív mikroszkop (EDS) segítségével előzetes képet kaptunk a darabok szövetszerkezetéről.

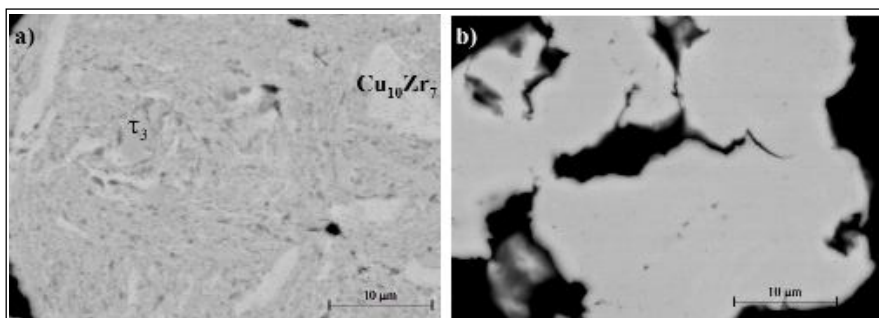
Röntgendiffrakciós elemzéssel, illetve transzmissziós elektronmikroszkóppal is vizsgáltuk az előforduló fázisokat. A röntgendiffrakciós elemzést nehezítette, hogy a kristályos fázisok csúcsai átfedték egymást, de az elektrondiffrakciós elemzés alátámasztotta a pásztázó elektronmikroszkópos és a röntgenes eredményeket. A szerkezetvizsgálat eredményeit az 1. ötvözetten keresztül mutatjuk be, kitérve a többi ötvözet eredményeire is. Az 5. ábrán az 1. ötvözet röntgendiffraktogramja és nagy felbontású transzmissziós elektronmikroszkópos (HRTEM) képe látható. Az első két összetétel (1. és 2. ötvözet)  $T_3$  ( $Al_{21}Cu_{28}Zr_{51}$ ),  $T_4$  ( $AlCu_2Zr$ ) és CuZr fázisokat tartalmaz, illetve nyomokban  $Cu_{10}Zr_7$  fázis is található. Növelve a Zr mennyiségét az ötvözetekben (2. ötvözet), a  $T_4$  mennyisége nem változik jelentősen, a CuZr mennyisége növekszik, a  $T_3$  mennyisége pedig csökken. A további összetételek (3. és 4. ötvözet) ugyanazokat a fázisokat tartalmazzák, azonban más szerkezettel rendelkeznek, eutektikum található bennük. A 3. ötvözetben két eutektikum van jelen a  $T_4$ - és  $T_3$ -fázisok mellett. Az eutektikumokat  $T_3 + CuZr$  és  $T_4 + T_3$  fázisok alkotják. A 4. ötvözetben  $T_3$ -t és CuZr-t sikerült azonosítani.

#### 4. Kristályos ötvözetporok őrlése

Valamennyi ötvözet hasonlóan viselkedik az őrlés során. A 6a ábra a különböző ideig őrlött porok (1. ötvözet) röntgendiffrakciós felvételeit mutatja. A kristályos fázisokhoz tartozó csúcsok magassága és a csúcsok alatti terület az őrlési idő növekedésével csökken. A diffrakciós csúcsokat felváltja az amorf szerkezetre jellemző ún. amorf domb a  $2\theta = 27-51^\circ$  közötti tartományban, ezzel is bizo-



■ **6. ábra.** Az 1. ötvözet a) röntgendiffrakciós felvételei az őrlési idő függvényében, b) a 25 órát őrlött por HRTEM képe



■ **7. ábra.** Az 1. ötvözet összetételű por SEM képe a) 5 órás őrlés után, b) 25 órás őrlés után

nyitva, hogy őrlés során a szerkezet amorfizálódik. Megfigyelhető, hogy az amorfizálás folyamata az első 15 órában végbemegy, ezt követően nincs további szignifikáns változás. Az első 5 órában a szerkezet jelentős része átalakul, ~60% amorf hányadot mértünk, amely 15 órás őrlést követően már 80-90 térfogatszázalékra növekedett.

Az első ötórás őrlést követően CuZr és  $T_3$  azonosítható az ötvözetben, míg a 25 órás kísérlet végén  $T_3$ -fázis maradt az amorf mátrixban. Ezáltal amorf mátrixú nanokristályos kompozit porokat állítottunk elő. A 6b ábrán látható, hogy a kristályos fázis mérete néhány nanométertől néhány tíz nanométerig terjed. Az amorf mátrixot a diffrakciós gyűrű egyértelműen bizonyítja. A 25 óráig őrlött porokban már kis mennyiségben kimutathatók voltak olyan szennyezők, mint a vas, króm, szilícium és az oxigén. Ezek az őrlő golyókból és a tégelyből származtak.

A 7. ábrán pásztázó elektronmikroszkóppal készült felvételek láthatók, amelyek az 1. ötvözet különböző ideig őrlött porainak szerkezetét mutatják. Az őrlés során lejátszódó folyamatok eredményeképpen a nagyobb szemcséket összehegedt, apró kis szem-

csék alkotják, és lyukak, üregek, pórusok láthatók a szemcséken belül. Nyitott és zárt pórusok találhatóak a szemcsékben, amelyek befolyásolják a későbbi porkohászati feldolgozását. Ötórás őrlést követően (7a ábra) megfigyelhető, hogy a kiinduló szerkezet fázisai elkenődtek, a mátrixban csak helyenként azonosítható a CuZr- és  $T_3$ -fázis, egyértelműen felfedezhetők az alakváltozás nyomai. A kiinduló szerkezet 25 órás őrlés után (7b ábra) nem ismerhető fel, teljesen megváltozott, és a fázisok nem különíthetőek el egyértelműen a szemcsékben.

## 5. Összefoglalás

CuZr alapú ötvözetekből 15 órás őrlést követően amorf mátrixú nanokristályos kompozit porok állíthatók elő, amelyek amorf térfogathányada nagyobb, mint 80%. Őrlés hatására a kiinduló mesterötvözet  $T_3$  ( $Al_{21}Cu_{28}Zr_{51}$ ),  $T_4$  ( $AlCu_2Zr$ ), CuZr és  $Cu_{10}Zr_7$  fázisából előbb a  $T_4$  és a kis mennyiségű  $Cu_{10}Zr_7$  tűnik el (5 órás őrlést követően), majd további őrlés hatására a CuZr. Végül a  $T_3$  marad kristályos fázisként a rendszerben a 25 órás őrlés végére. A kísérletsorozat bizonyítja, hogy ezek

a CuZr alapú ötvözetek alkalmasak amorf/nanokristályos szerkezetű porok készítésére. A porok szerkezetéről elmondható, hogy a nagyobb szemcséket összehegedt, apró kis szemcsék alkotják, és lyukak, üregek, pórusok láthatók a szemcséken belül.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretei között valósul meg.

## Irodalom

- [1] Weibing, Liao – Yangyong, Zhao – Jianping, He – Yong Zhang: J. Alloys Compd. 555 (2013) 357–361
- [2] Wu, Y. – Wang, H. – Wu, H. H. – Zhang, Z. Y. et al.: Acta Mater. 59 (2011) 2928–2936
- [3] Sun, Y. F. – Shek, C. H. – Li, F. S. – Guan, S. K.: Mater. Sci. Eng. A 479 (2008) 31–36
- [4] Inoue, A. – Takeuchi, A.: Acta Mater. 59 (2011) 2243–2267
- [5] Kim, Y. C. – Lee, J. C. – Cha, P. R. – Ahn, J. P. – Fleury, E.: Mater. Sci. Eng. A 437 (2006) 248–253
- [6] Siegrist, M. E. – Siegfried, M. – Löffler, J. F.: Mater. Sci. Eng. A 418 (2006) 236–240
- [7] Bhatt, J. – Murty, B. S.: J. Alloys Compd. 459 (2008) 135–141
- [8] Turquier, F. – Cojocar, V. D. – Stir, M. – Nicula, R. – Burkel, E.: J. Non-Cryst. Solids 353 (2007) 3417–3420
- [9] Drozd, D. – Latuch, J. – Kulik, T.: J. Alloys Compd. 395 (2005) 59–62
- [10] Dutkiewicz, J. – Jaworska, L. – Maziarz, W. – Czeppe, T. et al.: J. Alloys Compd. 434–435 (2007) 333–335
- [11] Bian, Z. – Chen, G. L. – He, G. – Hui, X. D.: Mater. Sci. Eng. A 316 (2001) 135–144.
- [12] Tomolya, K. – Janovszky, D. – Janvari, T. – Sycheva, A. et al.: J. Alloys Compd. 536 (2012) S154–S158
- [13] Suryanarayana, C.: Prog. Mater. Sci. 46 (2001) 1–184
- [14] Bo, H. – Wang, J. – Jin, S. – Qi, H. Y. – Yuan, X. L. – Liu, L. B. – Jin, Z. P.: Intermetallics 18 (2010) 2322–2327