

ÁTTEKINTÉS A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA- MISKOLCI EGYETEM KÖZÖS ANYAGTUDOMÁNYI KUTATÓCSOPORTJÁNAK KUTATÁSAIRÓL

AN OVERVIEW ABOUT THE SCIENTIFIC WORK OF THE HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES - MISKOLC UNIVERSITY JOINT MATERIALS SCIENCE RESEARCH GROUP

Roósz András

*Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Fémteni, Képlékenyalakítási és
Nanotechnológiai Intézet, 3515 Miskolc, Egyetemváros),*

Telefon / Fax: +36 46 565 111/1543, femrooszvuni-miskolc.hu

Abstract

The Hungarian Academy of Sciences and Miskolc University joint Materials Science Research group founded in 1996 dealt with many different interesting materials science problems. In this paper some most interesting of these are shown shortly.

Keywords: *laser surface treating, amorphous alloys, nanocomposite, unidirectional solidification, melt stirring, phase transformation simulation, equilibrium phase diagram*

Összefoglalás

Az 1996-ban alakult Magyar Tudományos Akadémia és a Miskolci Egyetem közös Anyagtudományi kutatócsoport számos érdekes anyagtudományi problémával foglalkozott az elmúlt 20 során. A cikkben ezek közül mutatunk be néhányat a legérdekesebbek közül röviden.

Kulcsszavak: *Lézeres felületkezelés, amorf ötvözetek, nano kompozitok, irányított kristályosítás, olvadékok keverés, fázis átalakulások szimulációja, egyensúlyi fázis diagramok*

1. Az Anyagtudományi Kutatócsoportról

A Kutatócsoport 1996-ban alakult a Miskolci Egyetemen (ME) az Magyar Tudományos Akadémia (MTA) támogatásával pályázat útján. A kezdetben 3 főből álló Kutatócsoport jelenleg 10 kutatót és egy technikust foglalkoztat. A Kutatócsoport működését (bérek anyagok, kisebb eszközök) az MTA biztosítja, az infrastruktúrát (kutató eszközök nagy része, hely, fűtés, világítás, informatika) az ME bocsájta ren-

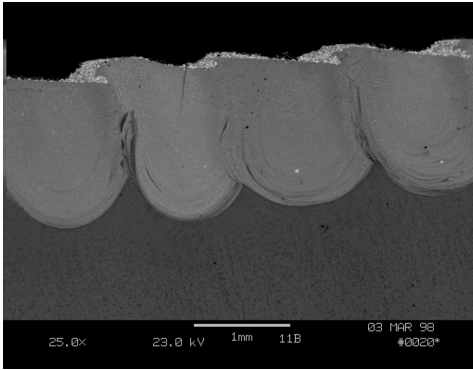
delkezésre térítésmentesen. A pályázatot kezdetben 3, majd öt évenként újra be kellett nyújtani. A Kutatócsoport most nyerte el a működéséhez szükséges összeget újabb 5 évre.

A Kutatócsoport kezdetben a lézeres felületkezeléssel foglalkozott. Később jelentősen bővült a kutatói létszám ezzel együtt a kutatási terület is szélesedett. A következőkben a különböző területeken elért eredményekről számolunk be röviden.

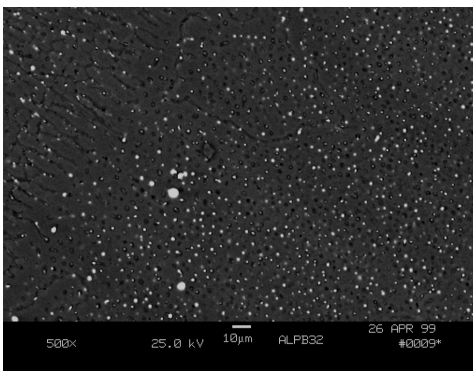
2. Kutatási eredmények

2.1. Lézeres felületkezelés

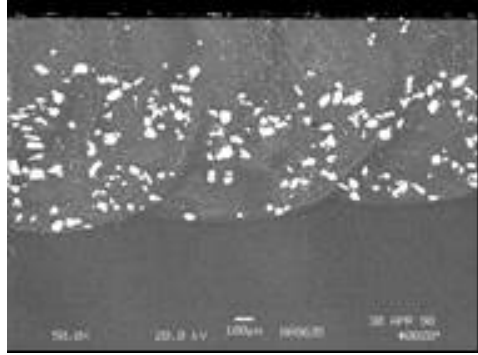
Lézeres felületkezelés során a néhány mm mély felületi réteget lehet hőkezelné, de elé nagy energia sűrűség esetén meg is lehet olvasztani. Az **1. ábra** mutatja az átolvasztott zóna geometriáját. CO₂ lézerrel végeztünk felületi hőkezeléseket, átolvasztást (**1. ábra**), valamint porbefúvásos technológiával a megolvasztott rétegbe különböző anyagokat vittünk be. Ólom hozzáadásával jó siklási tulajdonsággal bíró kítűnő siklócsapágy felületet (**2. ábra**), különböző oxidok befújásával kopásálló réteget hoztunk létre (**3. ábra**).



1. ábra. Melegalakító szerszámacél átolvasztott felületi rétege



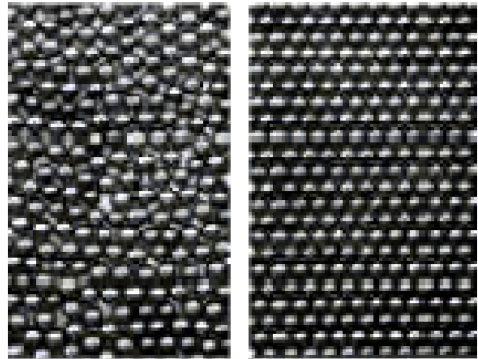
2. ábra. Ólomcseppek az alumínium



3. ábra. WC részecskék az átolvasztott rétegben

2.2. Amorf ötvözetek

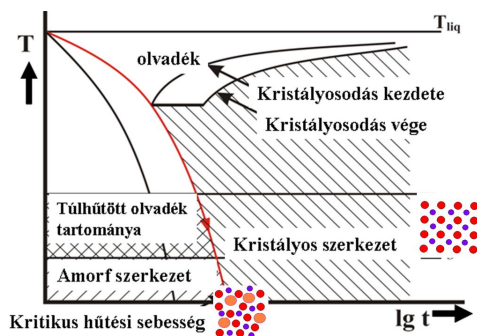
A szilárd állapotú anyagaink két formában fordulnak elő. Lehetnek kristályosak és amorfok (**4. ábra**). Az amorf állapotú anyagokban az atomok között csak igen rövidtávú rend van, tulajdonképpen nagyon sok rácshibát (diszlokációt) tartalmazó kristály rácsként értelmezhető. Ennek következtében különleges tulajdonságokkal bírnak (nagy szakító szilárdság, keménység stb).



4. ábra. Amorf (a) és kristályos (b) szerkezet

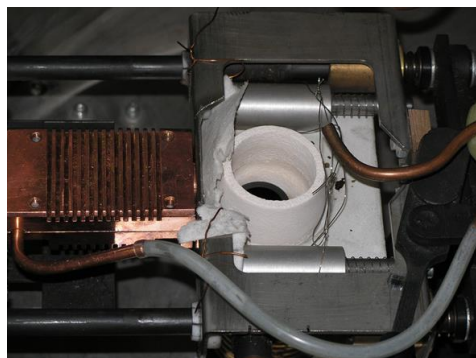
Vékony (néhányszor 10 µm) vastag amorf ötvözetet már igen régen elő tudunk állítani különböző gyorsítési technikákkal, ezek a szalagok, bár sok mindenre használhatók, szerkezeti anyagként nem jönnek szóba. A Kutatócsoport célja u.n. tömbi

(bulk) amorf ötvözet előállítása, melynek vastagsága akár több tíz mm is lehet. Tömbi amorf ötvözetet két módon lehet előállítani, gyors hűtéssel (5. ábra) vagy őrléssel és az őrlemény kompaktálásával (6. ábra). A gyors hűtés során el kell kerülni az átalakulásra (kristályosodásra) jellemző C görbe orrpontját. Ekkor túlhűlt olvadék jön létre.



5. ábra. A túlhűlt olvadék keletkezése

A kristályosítási kísérleteket egy centrifugál öntő berendezésben, argon atmoszféra alatt végeztük. Ék alakú próbákat készítettünk különböző réz alapú ötvözetekből (Cu-Zr-Ag, Cu-Zr-Al, Cu-Zr-Ag-Al, Cu-Hf-Al, Cu-Hf-Ti).

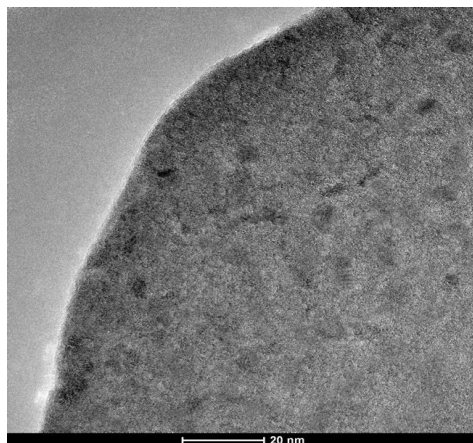


6. ábra. Centrifugál öntő berendezés

Az ékpróba csúcsa $\sim 20\,000$ K/s, a töve 1000 K/s sebességgel hűlt, így tanulmányozható volt a lehülési sebesség hatása egy próbán belül.



7. ábra. Az ékpróba



8. ábra. Az ékpróba nagy felbontású képe, a sötét foltok kristályos szerkezetűek

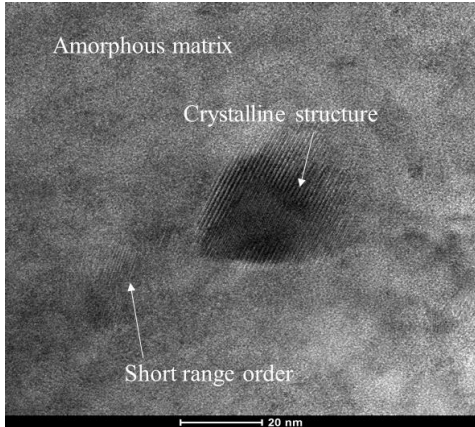
Ezzel a technológiával sikerült előállítanunk több mm vastag amorf ötvözetet. Az amorf ötvözet hőkezelésével amorf/nano-kristályos kompozitot készítettünk.



9. ábra. Az őrlésnél használt golyósmalom

A másik lehetséges technológia során először golyós malomban (9. ábra) őrlöttük az amorfizálendő ötvözetet (10. ábra), majd sajtolás után az üvegesedési hőmér-

séklet és a kristályosodási hőmérséklet közötti hőmérsékleten szintereltük. Így réz alapú nanokompozitot lehetett előállítani, amelynek a folyáshatára elérte az ötvözött acélét (2000 MPa).



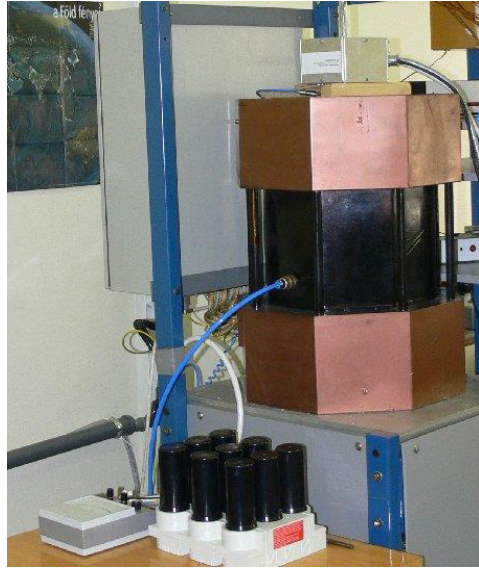
10. ábra. Amorf, rövid és hosszú távú rendet mutató rész az örleményben

2.3. Az olvadék áramlás hatása a kristályos szerkezetre

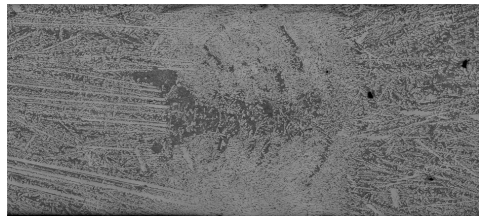
Az ipari kristályosítási technológiák során (formaöntés, acél folyamatos öntése, egykristály gyártás stb.) az olvadék mozog, áramlik kristályosodás közben. Az áramlást kiválthatja a folyékony fém beáramlása a formaüregbe, valamint a hőmérséklet és koncentráció különbségek miatt kialakuló sűrűség különbség. Az olvadékáramlásnak lehet a gyártmány tulajdonsága szempontjából negatív hatása (makrodúsulás), de lehet pozitív hatása is, amikor az u.n. oszlopos mikroszerkezet az áramlás hatására u.n. ekvixiális szerkezetté alakul. A Kutatócsoport 2000-ban csatlakozott egy az ESA által finanszírozott nemzetközi kutatási programhoz (MICAST), majd 2014-ben egy másikhoz (CETSOL), melyekben 8 különböző országból ~50 kutató dolgozik. A két projekt az áramlás kizárásával (a Nemzetközi Űrállomáson) és mágneses térrel forszírozott áramlás mellett vizsgálja

az áramlás hatását a kialakuló mikroszerkezetre.

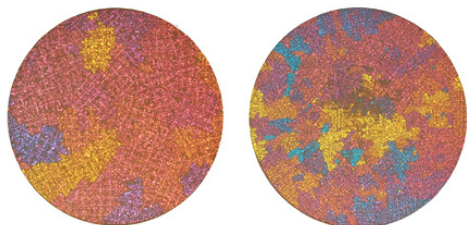
A Kutatócsoport saját tervek alapján épített két egyedülálló berendezést a vizsgálatokhoz. Mindkét berendezésben egyirányú hőelvonással kristályosítjuk a próbákat. Az egyik berendezésben forgó mágneses térrel (Rotation Magnetic Field, RMF, 11. ábra), a másikban vándorló mágneses térrel (Traveling Magnetic Field, TMF, 14. ábra) áramoltatjuk az olvadékot.



11. ábra. Kristályosító berendezés RMF indukcióval

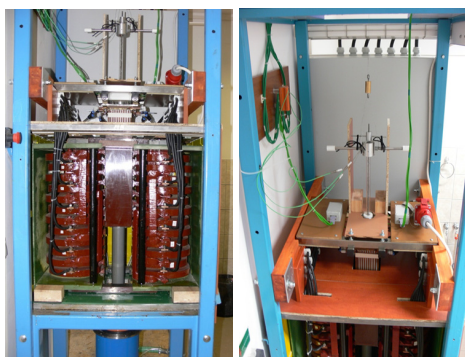


12. ábra. Átmenet a nem kevert (oszlopos) és kevert (ekvixiális) rész között (RMF)



13. ábra. Az olvadék áramoltatása nélkül (a) és áramoltatásával kristályosított Al-1%Fe-7%Si ötvözet szövete képe

A 8 mm átmérőjű és 100 mm hosszú próbák felét az olvadék áramoltatása nélkül, majd másik felét az olvadék áramoltatása közben kristályosítottuk. Ennek eredményeként az oszlopos dendrites szerkezet ekvixiálissá vált nagy mágneses tér esetében a próba közepén dúsult az Si és az Fe, kialakult az u.n. karácsonyfa szerkezet (12. ábra). A szemcseszerkezet jelentősen finomodott (13. ábra).



14. ábra. Kristályosító berendezés TMF induktorral

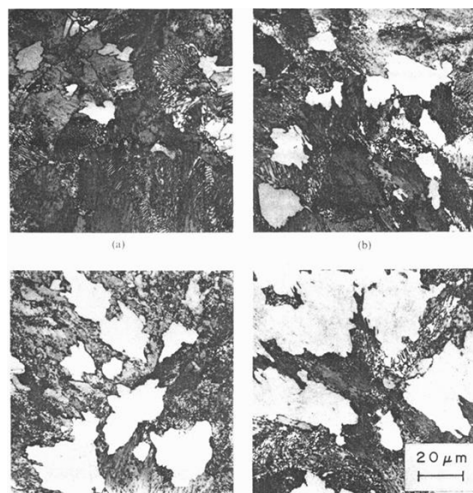


15. ábra. Átmenet a nem kevert (oszlopos) és kevert (ekvixiális) rész között (TMF)

A TMF-el (14. ábra) kevert próbák szövetszerkezete a keverés bekapcsolását követően az RMF-es keveréshez hasonlóan oszlopos szerkezetből ekvixiálissá vált, a dendrites szerkezet nagymértékben finomodott. Ez esetben jelentős makrodúsulás nem alakult ki (15. ábra). A gyakorlatban ezzel a keverési móddal lehet finomítani a szövetszerkezetet.

2.4. Az acél ausztenitesezésének numerikus szimulációja

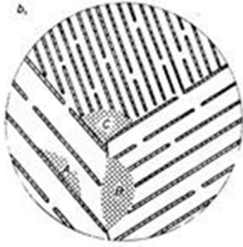
Az acélokban lezajló átalakulási folyamatok szimulációja jelentős segítséget nyújthat a hőkezelési folyamatok tervezéséhez. A folyamatokat lehet analitikus formában (egyenletekkel) szimulálni (pl. az átalakult térfogathányadot a jól ismert Avrami egyenlettel), vagy látványosan, filmszerűen numerikus eljárásokkal.



16. ábra. Perlites acél ausztenitesezése

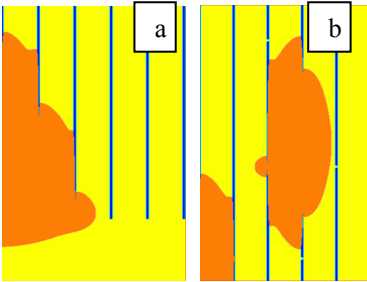
A 16. ábrán egy tisztán perlitet (ferrit+cementit) tartalmazó acél ausztenitesezését mutatjuk be négy köztes állapotban. A világos területek a hőkezelés hőmérsékletén ausztenit szemcsék voltak, az edzés során természetesen martenzitté alakultak.

A csírák a perlit kolóniák határán keletkeztek (17. ábra), majd növekedtek.

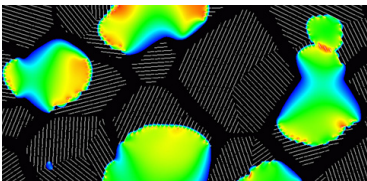


17. ábra. Csíráképződés a perlit-kolóniák határán

A szimuláció numerikus eljárásokkal, összekapcsolva a diffúzió számítására használt Véges Differencia (VD) módszert a Cella Automata (CA) eljárással, az átalakulási folyamat filmszerűen is bemutatható. A 18.a. ábra egy perlit/ferrites acél, a 18.b. ábra egy tisztán perlites acél egy kolóniájának auszteniteseését szemlélteti. Ez utóbbi esetben az ausztenit át tud nőni a cementit lemezek között azok töredezettsége miatt.



18. ábra. Perlit/ferrites és tisztán perlites acél egy kolóniájának auszteniteseése VD+CA módszerrel számítva.



19. ábra. Perlit/ferrites acél auszteniteseése

A 19. ábrán egy perlit/ferrites acél kis részletének (több kolóniának) az auszteniteseése látható az említett VD+CA módszerrel számítva.

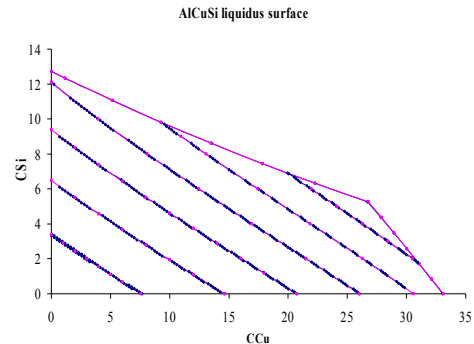
2.5. Egyensúlyi fázisdiagram vonalainak (felületeinek) számítása (ESTPHAD módszer)

Az egyensúlyi-fázisdiagramok vonalainak (felületeinek) számszerű ismerete alapvető feltétele bármely átalakulási szimulációnak. A Kutatócsoport egy, termodinamikai alapokra támaszkodó, egyszerű számítási eljárást dolgozott ki ennek a feladatnak a megoldására.

Bármely vonalat vagy felületet egy egyszerű hatványfüggvénnyel lehet megadni. Alábbiakban egy likvidusz felület egyenlete, látható (T_L : likvidusz hőmérséklet, X_B a koncentráció):

$$T_L = T_A / (1 + \sum_{i=0}^l A_{i,AB} (X_B^L)^i) = T_A / (1 + F_{i,AB} (X_B^L))$$

A 20. ábrán az Al-Cu-Si ötvözetrendszernek az ESTPHAD rendszerrel számított (pontok) és mért (folytonos vonal) izotermái láthatók.



20. ábra. Az Al-Cu-Si ötvözetrendszer likvidusz felülete alumínium sarkának mért és számított izotermái