

A

Al és Ti alapú tömbi amorf és nanoszerkezetű kompozitok előállítására és vizsgálatára

című,

OTKA 73451 számú kutatási téma zárójelentése.

1. Főbb adatok:

Tudományterület: 2105 Anyagtudomány és technológia, 2205 Metallurgia, 2105 Szilárdtestfizika

Témavezető: Varga Lajos Károly (a fizika tud. kandidátusa, csop.vez.) MTA-Wigner -SzFI

Kutatási időszak: 2008. március 20. - 2012. március 31.

Az OTKA támogatás összege: tervezett: 23 720 eFt

Összefoglaló:

A Ti-Al alapú ötvözetek magas hőmérsékleten is nagy szilárdágú és kis sűrűségű szerkezeti anyagok. A nagy fajlagos szilárdság (σ/ρ , ami duplája a Ni alapú szuperötvözetekre jellemző értékekhez képest) a finom szemcseszerkezetnek köszönhető. Az eddig használatos technológiák helyett (vákuum-ívolvasztás, extrudálás, magas hőmérsékletű hőkezelések), mi két új technológiát alkalmaztunk: az olvadékból való gyorshűtést és a mechanikai ötvözést. Sajnálatos módon Al-Ti alapú fémüveget nem sikerült előállítani, mert hiányzik a mély eutektikum a fázisdiagramban. Ezért csak a mechanikai ötvözés maradt és ezzel a módszerrel állítottunk elő egy sor amorf ötvözetet: $Al_{50}Ti_{50}$, $Al_{50}Ti_{45}Ni_5$, $Al_{50}Ti_{40}Ni_{10}$, $Al_{55}Ti_{35}Cr_{15}$ és $Al_{45}Ti_{40}Cr_{15}$. Ezeket az amorf porokat kompaktáltuk és különböző vizsgálatoknak vetettük alá. Kísérletek vannak folyamatban, hogy az amorf porokat magas hőmérsékletű védőbevonatként alkalmazzuk.

Külön – külön, mind Al, mind Ti alapon lehet fémüveg szalagokat előállítani gyorshűtéssel. Mi az Al alapú fémüvegekre koncentráltunk. Az irodalomból ismert volt az általában ternér összetételű ($Al_{85-92}RE_{2-12}Ni_{0-12}$) fémüveg, ahol a ritkaföldfém az amorfizáló ötvöző elem. Kísérletileg bizonyítottuk, hogy vannak más amorfizáló elemek is melyek a RE elemektől balra (Ca és Sr), jobbra (Nb és Ta) valamint alatta (Urán) helyezkednek el. Egy fontos, elektronszámhoz kötődő szabályt állapítottunk meg, miszerint a maximális szilárdságot $e/a = 6,5$ értéknél érjük el az egyfázisú amorf ötvözetek esetében. A kísérletek folytatódnak, hogy ezt a szabályt igazoljuk az egyfázisú, nagyentrópiás ötvözetek esetében is.

Megvizsgáltuk a nagyentrópiás ötvözetek készítésének lehetőségét Al-Ti alapon és azt találtuk, hogy ez csupán a 3d elemek kombinációjának közel 50 at% -os hozzáadásával érhető el. Megállapítottuk, hogy egyfázisú nagyentrópiás ötvözet akkor keletkezik, ha az összetevő elemek keveredési hője kicsi (kisebb, mint 10 kJ/mol) és atomátmérőjük is csak néhány százalékban különbözik. Ugyanakkor feltétel, hogy az ötvözet fázisdiagramjában minél kevesebb intermetallikus vegyület forduljon elő. 3 diplomamunka és egy PhD dolgozat készült el.

Summary:

Titanium aluminide alloys offer higher temperature capability along with low density and high stiffness. The necessary fine grained microstructure offers a specific strength which would be double that of Ni based super-alloys. Instead of the usual technology (vacuum arc melting, extrusion and high temperature heat treatment), we have proposed two different routes based on melt spinning and mechanical alloying.

For the Al-Ti based alloys no amorphous phase can be obtained by rapid quenching from the melt due to the high melting temperature (lack of deep eutectic), which prevent the sufficient under-cooling by melt spinning technique. This is why mechanical alloying has been used to prepare a series of Al-Ti based amorphous compositions: $\text{Al}_{50}\text{Ti}_{50}$, $\text{Al}_{50}\text{Ti}_{45}\text{Ni}_5$, $\text{Al}_{50}\text{Ti}_{40}\text{Ni}_{10}$, $\text{Al}_{55}\text{Ti}_{35}\text{Cr}_{15}$ and $\text{Al}_{45}\text{Ti}_{40}\text{Cr}_{15}$. This amorphous powder have been compacted and investigated. Experiments are continuing to use this powder as wear and high temperature resistant coating material.

Separately, both Ti and Al based amorphous ribbons can be obtained by melt spinning supposing that appropriate amorphous forming element are added. We have focused on Al based amorphous alloys extending the compositional area known in the literature and based on RE amorphizing elements ($\text{Al}_{85-92}\text{RE}_{2-12}\text{Ni}_{0-12}$). We have proved that elements situated in the periodic table at the left (Ca and Sr), at the right (Nb and Ta) and below (U) to the RE elements are also amorphizing elements. An important electronic rule was established concerning the maximal strength as a function of the kind and amount of alloying elements: for one phase amorphous alloys the maximal strength is achieved around $e/a = 6.5$. Experiments are continuing to check this relationship for one-phase high entropy alloys.

The formation capability of Al-Ti based high entropy alloys have been examinee and we have found that only with high TM content (above 50 at %) could be prepared HEA alloys. One-phase HEA would form from elements showing the smallest heat of mixing, the smallest atomic size mismatch and the smallest number of possible intermetallic compound in the phase diagram.

3 diploma work and 1 PhD dissertations have been prepared.

2. A kutatási eredmények ismertetése.

A kutatási eredmények ismertetése előtt röviden visszautalunk a kutatási szerződésünkben vállalt feladatokra:

- egy porlasztó berendezés üzembeállítása, és különböző méretű porok szétválasztása szitálással,
- sajtoló és mikroextruder szerszámok tervezése és készítése amorf és nanokristályos porok kompaktálása céljából,
- extrém gyorsfűtésű DTA berendezés tervezése és kivitelezése
- kémiai összetételfüggése az amorf képző hajlammak a következő ötvözetcsaládon:

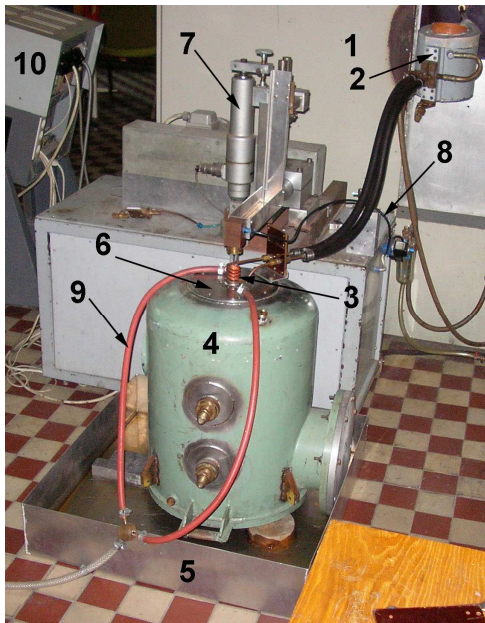
$\text{Al}_{70-92}\text{RE}_{0-14}\text{TM}_{2-10}$ típus, ahol TM = Ni, Co és Fe és RE = Sc, Y, Lantanidák
Különös tekintettel az olcsó mischmetalra mint ritkaföldfém keverékre.

$\text{Al}_{55-60}\text{Ti}_{35-50}\text{TM}_{0-50}$ típus, ahol TM = Cu, Ni, Co, Fe keveréke

- Az amorfképződés elméleti modelljeinek ellenőrzése új Al-alapú összetételű anyagok tulajdonságainak tanulmányozása által.
- Az amorf ötvözetek nanokristályosítása az amorf szerkezet részleges kristályosításával, valamint egy lépésben gyorshűtéssel vagy mechanikai ötvözéssel és az így kapott anyagok mechanikai tulajdonságainak tanulmányozása.

Vizsgálatainkban nemcsak a kutatásban felsorolt kutatók vettek részt, hanem egy-egy részterületen újabb külföldi (bolgár, szlovák, lengyel és német) és hazai (ELTE) kutatócsoportokkal alakítottunk ki együttműködést. 1 PhD hallgató és 3 diplomamunkás segítette munkánkat. Általánosságban megállapíthatjuk, hogy kutatási tevékenységünkben nagyobb rész jutott a szerkezeti mint a mechanikai tulajdonságok vizsgálatának. Többetként elkezdtük az eredeti tervben nem szereplő igen ígéretes Al és Ti alapú nagyentrópiás rendszerek vizsgálatát, keresve azt a közöset, ami a képződési hajlamot illeti. Megemlíthetjük még, hogy több közleményünk és szabadalmunk van még előkészületi állapotban, az itt született eredmények gyakorlatba ültetésére felvettük a kapcsolatot a MAL Zrt-vel és a Magyarmet Finomöntőde Bt-vel.

2.1. Porlasztó berendezés és a kritikus porméret vizsgálata (Dipl.Munka [3], PhD.[1])



Porlasztó berendezés

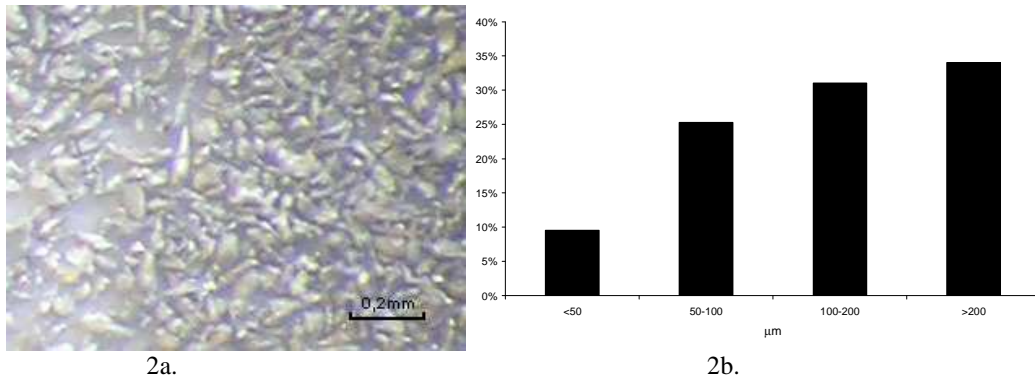


Porlasztó berendezés közléről

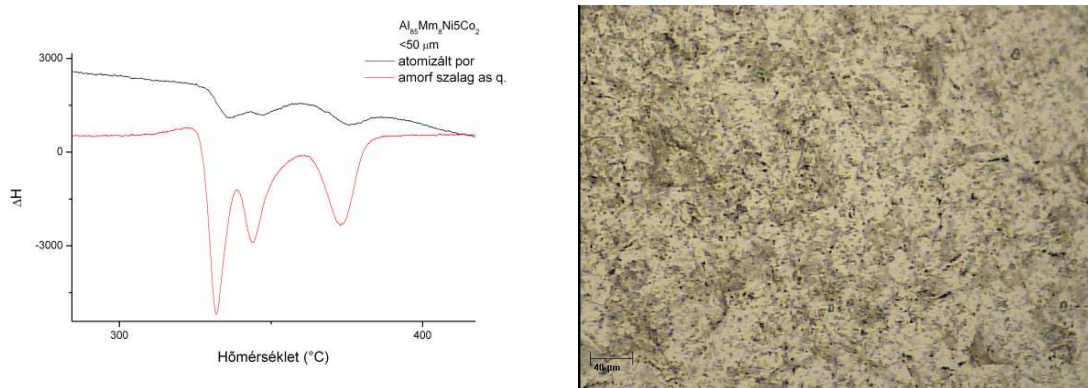
1. ábra. A porlasztó berendezés kivitelezése: nagyfrekvenciás generátor (1), légmagos illesztő transzformátor (2) induktortekercs (3), porlasztó harang (4) víztálca (5) porlasztófej (6) liftező berendezés (7), olvadék kilövő gázvezeték (8) porlasztó nagynyomású gázvezetékek (9).

A porlasztási folyamatot Ar védőgáz alatt és Ar gázugárral végezzük. A porlasztást a vezérlőpulttól (10) indítjuk. A liftező berendezéssel (7) a kapillárist rázárjuk a porlasztófej (6) adagoló nyílására. Az olvadék fölötti térben a gázvezetéken (8) keresztül 25-30 kPa túlnyomást létesítünk, amelynek hatására az olvadék a kapilláris alján levő 1

mm átmérőjű nyíláson keresztül, vékony sugárban kiáramlik a porlasztófej és a porlasztó harang (4) tengely vonalában. Ezután nyitjuk a nagy nyomású argongáz-palack nyomáscsökkentő szelepét, amely a nagy nyomású gázvezetéseken (9) keresztül, két irányból, 700 kPa nyomású gázzal látja el a porlasztó fejet. A porlasztó fejbe egy kétrészből álló kerámiabetét készült (a külső rész sztearitból, a belső boronitridből) megakadályozandó hogy az olvadék befagyjon. $Al_{85}Mm_8Ni_5Co_2$ összetételű porszemcsék optikai mikroszkópos képe a 2a. ábrán, szítással meghatározott méreteloszlása pedig a 2.b. ábrán látható:



2. ábra. Gázporlasztással előállított $Al_{85}Mm_8Ni_5Co_2$ porok eloszlása.



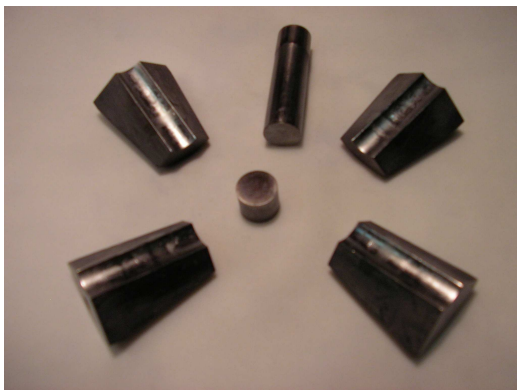
3. ábra DSC felvételek atomizált poron és gyorsított szalagon

4. ábra. $Al_{85}Mm_8Ni_5Co_2$ 50-100 μm közötti porból 225 $^{\circ}C$ -on, 10 percig sajtolt minta 500-szoros nagyításban

Az $Al_{85}Mm_8Ni_5Co_2$ összetételű gázatomizációval előállított porok csak részben amorfok, a nanokristályos fázis 70 %-os részarányát a gyorsított szalag DSC spektruma alatti területtel való összehasonlítás útján határoztuk meg (3. ábra). A csupán 98 %-os sűrűsége kompaktált minta optikai mikroszkópos felvétele a 4. ábrán látható. 40 grammal mért Vickers keménység értéke 570, így a $H_v = 3\sigma$ összefüggés alapján becsült szilárdság értéke 1860 MPa.

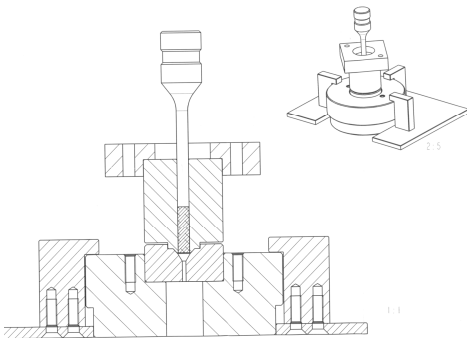
2.2. Sajtoló és mikroextruder szerszámok tervezése és készítése amorf és nanokristályos porok kompaktálása céljából (Dipl. munka [2] és [3], PhD dolg.[1])

Különböző sajtoló szerszámok készültek. Az 5. ábrán az elősajtoló mintát a szerszámmal együtt melegítjük fel a kristályosodás hőmérséklet alá ($T_x - 50\text{ °C}$), majd a kemencéből kivett szerszámot a présgép alá helyezve nyomás alá helyezzük (1 GPa) miközben a minta lassan kihűl. A szerszám nagy hőkapacitása miatt az első 5-10 perc alatt nem hűl többet 50 K-nél. A 6. ábrán bemutatott mikroextrudert szintén fel tudtuk melegíteni $T_x - 50\text{ °C}$ ra az 6 mm-es átmérőre előprésselt mintával és az extrudálást ugyanazzal a présgéppel hajtottuk végre. Sokkal jobb eredményeket értünk el a elektromos kisülés alatt végzett kompaktálással amit a 7. ábrán mutatunk be.



5. ábra. Osztott üregű sajtolószerszám belső, részei alsó záróbetét, és a sajtoló rúd(Ø12mm).

A sajtolószerszám összeszerelt állapotban.

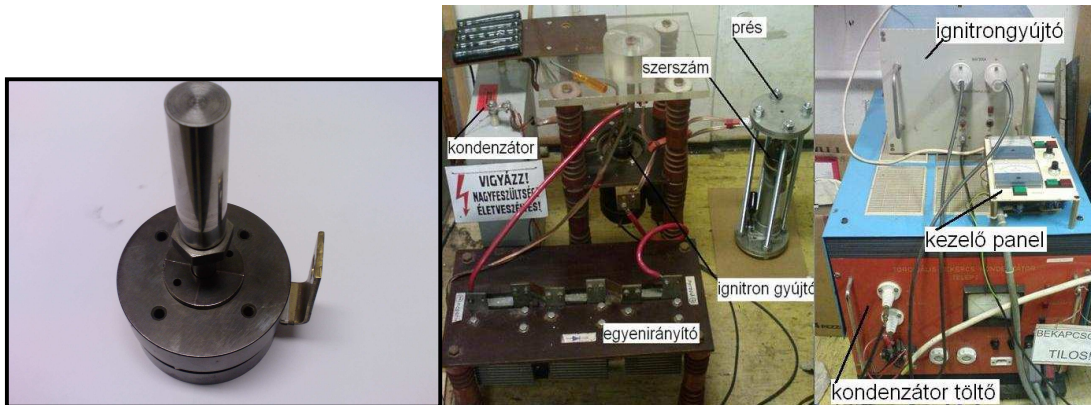


6. ábra. Mikro-extruder szerszám.
Kezdeti átmérő 6 mm végső átmérő 2 mm

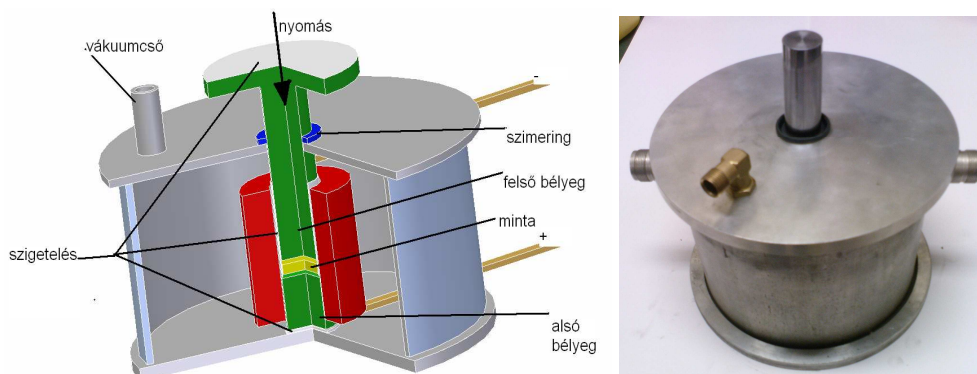
7. ábra. Szuperkapacitásra alapozott nagyáram impulzust előállító berendezés.

Két különböző tápegységet fejlesztettünk ki az elektromos kisülés létrehozására: (i) egy alacsony feszültségű (16V), de ultra-nagy kapacitású (16 F) készüléket (7. ábra) és (ii) egy nagyfeszültségű (2000-3000 V) és viszonylag kis kapacitású (90 μF)-os, 1000 A-es impulzust leadó berendezést (lásd 8a. ábrát).

A kompaktálás elősegítésére kifejlesztettünk egy vákuumkamrába helyezhető présszerszámot a megfelelő árambevezetésekkel (8b. ábra).



7a. ábra. Sajtolás nagy elektromos áram impulzus (EDS) alatt

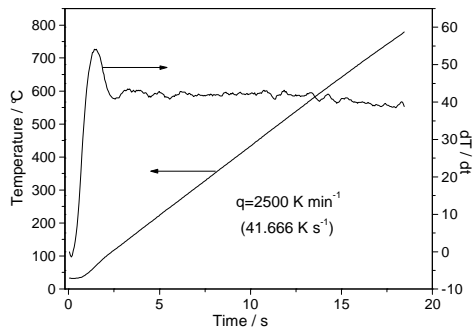


7b. Ábra. A vákuumkamrás présszerszám elvi elrendezése és kivitelezési képe

2.3. Extrém gyorsfűtésű DTA berendezés tervezése és kivitelezése (beküldött [3],[4]).

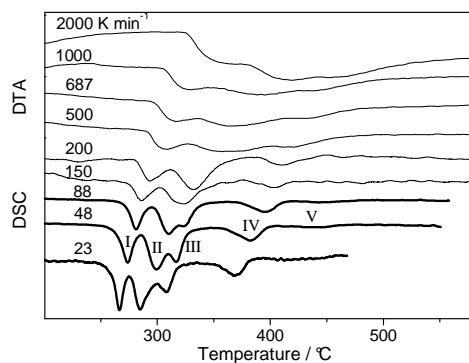
A házilagosan kivitelezett eszköz alapja egy elektromos árammal fűtött platina lemezből hajlított csónak alakú mintatartó. A csónak egyik végében helyezkedik el a minta és a mérő termopár, a másik végéhez van forrasztva a referencia hőmérséklet mérő termopár. A szerkezetváltozást jelző hőeffektus a két termopár által mért hőmérséklet különbséggel arányos. A fűtőáramot visszacsatolt üzemmódban szabályozzuk, úgy, hogy a fűtési sebesség állandó marad (8. ábra). A fűtési sebességet széles tartományban, 2500 K/min-g, tudjuk változtatni, ami sokkal nagyobb, mint a kereskedelmi készülékek maximális felfűtési sebessége (500 K/min). Az eszköz hátránya, hogy esetleges a hőkontaktus a minta szalagdarabka és a platina csónak között, ami megnehezíti a jelintenzitás kalliibrálását és ez által az átalakulás hő meghatározását. Mindazonáltal, az átalakulást jelző hőmérsékleti csúcsok eltolódása a felfűtési sebesség függvényében reprodukálhatóan meghatározható. A mérés érzékenységét mutatja, hogy a szükséges mintamennyiség csupán 1 mg. A mintatartót körülvevő gerjesztő és mérőtekerccsekkel termomágneses (TM) méréseket is tudunk végezni egyidejűleg a DTA

mérésekkel. A szimultán TM és DTA mérések mágneses minták esetében lehetővé teszi az átalakulási hőmérsékletek pontosabb beazonosítását és értelmezését.

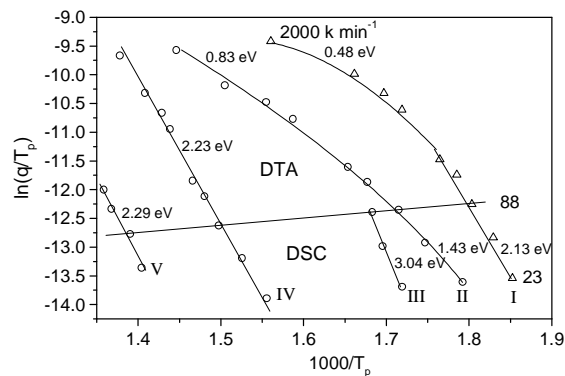


8. ábra. A hőmérséklet-idő diagram és annak deriváltja 2500 K/min felfűtési sebesség estében.

A legkisebb felfűtési sebesség a minta alakjától és méretétől függően 20-50 K/min közötti értékre korlátozott. De ez éppen elegendő, ahhoz hogy a mérések átlapolódjanak a kereskedelmi DSC készülékek 2-5 K/min felfűtési sebességgel kezdődő intervallumával (9a. ábra). A DSC méréseket egy házilag kivitelezésű elektronikával ellátott TA - 2910 típusú DSC mérőfejjel végeztük.



9a. ábra. DSC spektrum 88 K/min-g és DTA spektrum 150-2000 K/min tartományban $\text{Al}_{85}\text{Mn}_8\text{Ni}_2\text{Co}_5$ amorf minta esetében.



9b. ábra. Kissinger diagrammok a különböző csúcsokra.

Méréseink alapján először mutattuk ki az irodalomban, hogy a Kissinger diagram linearitása, csak az amorf-kristályos átalakulásra érvényes 2000 K/min-g (9b. ábra). Primér kristályosodással kiváló Al nanoszemcsék esetén csak a viszonylag kis felfűtési sebesség tartományra (100 K/min alatt) korlátozódik a lineáris Kissinger diagram.

2.4. Kémiai összetétel függése az amorf képző hajlamnak.

2.4.1. $\text{Al}_{70-92}\text{RE}_{0-14}\text{TM}_{2-10}$ típus, ahol TM = Ni, Co és Fe és RE = Sc, Y és Lantanidák, különös tekintettel az olcsó mischmetalra (Mm) mint ritkaföldfém keverékre.

Kezdetként új típusú amorf összetételeket kísérleteztünk ki a hagyományos forgó korongos (melt spinning) gyors hűtéses technikával vékony (20-25 μm -es) szalag

formájában. Az Al- alapú fémüvegek összetételének megválasztása során megpróbáltunk túllépni az egyszerű „Edison” (próba-szerencse) módszerrel azzal, hogy egy „feltérképeztük” az eddig ismert Al-alapú ötvözeteket. Egy diagramot készítettünk ahol a vízszintes tengelyre kerültek az átlagolt atomi átmérő különbözőségei (δ) és a függőleges tengelyre vittük a a képződési hő (ΔH) Miedema módszerrel számolt átlagolt értékét. Azt találtuk, hogy gyorsítással akkor keletkezik amorf ötvözet, ha δ meghaladja a 10 %-ot, a képződési hő (ΔH) értéke pedig -25 és -40 kJ/mol közé esik. Ha $|\Delta H|$ ennél kisebb, akkor szilárd oldatként kiválik a többségi elem (nano-Al formájában), ha ennél nagyobb, akkor intermetallikus vegyület kiválása várható. Ezt a módszert több mint 30 különböző összetételű Al-alapú fémüveg szalag előállításával teszteltük.

Meghatároztuk az üvegesedési (T_g) és kristályosodási (T_x) $T = T_x - T_g$ hőmérsékletet DSC módszerrel, hogy kiválasszuk a legmegfelelőbb ötvözetet a tömbi amorf kompaktálásához.

Megmértük az amorf szalagok keménységét az előállítás után és közös diagramon ábrázoltuk az irodalomból kivett – Al, Fe, Pd, Ni, Zr Mg és RE alapú - amorf ötvözetek keménységadataival együtt az átlagos egy atomra jutó elektronszám (e/a) függvényében. Arra a fontos összefüggésre jutottunk, hogy a maximális keménység (és a $H_v \sim 3\sigma$ alapján, a szakító szilárdság) $e/a \sim 6.5$ értéknél várható [Subm.6]. Természetesen ez csak egyfázisú ötvözetekre (amorf és szilárd oldat) érvényes. Az összefüggés ellenőrzése egyfázisú nagyentrópiás ötvözetekre még az adatgyűjtés állapotában van.

Megállapítottuk továbbá, hogy az Al-alapú amorf ötvözeteken lineáris összefüggés van a keménység és a kristályosodási hőmérséklet között. Ezért tudatosan kerestünk és találtunk amorfképző elemeket a nagyolvadáspontú elemek között (Nb és Ta, az irodalomban használt RE elemektől jobbra a periódusos táblázatban). Az $Al_{85}Ni_9Ta_6$ összetétel esetén szokatlanul nagy, 400 °C-os, kristályosodási csúcs hőmérsékletet tapasztaltunk, ami különösen alkalmassá teszi ezt az ötvözetet porkohászati alkalmazásokhoz [5].

További amorfképző elemeket találtunk a RE elemek oszlopa alatt elhelyezkedő aktinidák között, az uránt. Sajnos, thóriumot nem sikerült beszerezni, pedig várakozásunk szerint az még inkább amorfképző elemnek bizonyulna.

Az irodalomban általunk elsőnek előállított Al-U binér, Al-U-Ni ternér és Al-U-Ni-Co kvaternér amorf ötvözetek részletes XRD, DSC és viszkozitás méréseket végeztünk [3, S5]. Nemzetközi kooperációban és neutrondiffrakciós méréseket is végeztünk és számítógépes szimulációval értékeltük a szerkezeti modellt. Megállapítottuk, hogy a kemény gömbök véletlenszerű eloszlásának modellje alkalmas a szerkezet leírására [13].

Ipari Al-alapú ötvözetek amorfizálását is célul tűztük ki és megállapítottuk, hogy Al-12Si ötvözet gyorsítással amorfizálható az Al részleges lecserélésével 7,5 at% Ni-re és 2,5 at% Ti-ra. Lángszórással nanokristályos szerkezetű, kopásálló bevonat alakítható ki az Al-Si öntvények felületén. Tanulmányoztuk továbbá a binér Al-Si öntecsek esetében az oldatban maradt Si mennyiségét az alkalmazott kokillák (homok, grafit, acél) függvényében. Olvadékból való gyorsítással a Si oldódási határát 20 at. % fölé terjesztettük ki. Megállapítottuk, hogy a Si kiválásának aktiválási energiája függ az alkalmazott öntési technológiától és legnagyobb értékét a gyorsított szalag esetében éri el [3,14]. Gyorsított Al-Si szalagok porításával kapott szilárd oldatú porok kompaktálásával finomszemcséjű Si kiválások érhetőek el, ami nagyban javítja az ötvözet alkalmazási értékét.

Mössbauer mérésekkel kimutattuk az Al_6Fe rövidtávú rend meglétét az Al-Y-Fe alapú fémüvegekben [4,6], ami azért fontos megállapítás, mert rámutat a kemény gömbök véletlenszerű eloszlásának modelljeének korlátaira.

Együtműködve az ELTE kutatóival részletesen tanulmányoztuk a mechanikai deformáció (HPT) hatására végbemenő kristályosodás jelenségét [7,11,12,16].

Módszert dolgoztunk ki az Al-alapú ötvözetek újrahasznosítására [Dipl.1, Szabadalom1.]. Az általunk kidolgozott eljárás, Ga alapú folyékony fémet használ, mint katalizáló aktivátort, és mechanikai őrlés segítségével aktivált alumínium port állít elő, ami korlátlan ideig tárolható zárt edényben és az elméletileg kiszámított mennyiségű hidrogént állítja elő a tetszőleges tisztaságú víz bontása útján: 1,38 liter H_2 (1 atm, szobahőmérséklet)/1 gramm Al, 50 s alatt desztillált víz esetében. A hidrolízis sebessége csökken a víz vezetőképességének növelésével (szennyeződéssel), tengervíznek megfelelő sós víz esetében a vízbontási reakció egy nagyságrenddel hosszabb, mint desztillált víz esetében. Melléktermékként nanoméretű $Al(OH)_3$ keletkezik, ami műanyagok adalék anyagként hasznosítható. Ez az újrahasznosítási eljárás egyaránt alkalmazható az amorf és kristályos Al alapú ötvözetekre. További előny, hogy az ötvöző elemek a zagyban gyűlnek össze és az ultracentrifugálással szétválasztható $Al(OH)_3$ mentes az ötvözőktől.

2.4.2. $Al_{55-60}Ti_{35-50}TM_{0-50}$ típus, ahol TM = Cu, Ni, Co és Fe keveréke

Kezdetnek $Al_{50}Ti_{50}$, $Al_{75}Ti_{25}$, $(AlTi)_{88}Si_{12}$ összetételű nanoszerkezetű porokat állítottunk elő SPEX malomban való őrléssel. Amorf szerkezet kialakulását nagyban elősegítette az átmeneti fémek adalékolása. Például az Al_3Ti intermetallikus vegyület esetében 20 at% késői átmeneti fém (Fe, Co vagy Ni vagy ezek keveréke) adalékolásával sikerült amorf szerkezetet előállítani $Al_{60}Ti_{20}TM_{20}$ összetételben, viszonylag rövid 60 órás őrléssel. $Al_{50}Ti_{50}$ vegyületfázis esetén már 20 órás őrlés is elegendő volt, ha a Ti-t 5-10 at% TM-re cseréltük le [18]. $Al_{50}Ti_{50}$, $Al_{50}Ti_{45}Ni_5$ and $Al_{50}Ti_{40}Ni_{10}$ összetételű ötvözetek esetében csak mechanikai őrléssel lehetett amorfizálni a szerkezetet, gyorsítással ez nem sikerült. A gyakorlatilag rövid őrlési időnek számító 20 órás őrlés után amorfizálódó szerkezet további őrlés hatására vissza kristályosodott [18]. További kísérletekre van szükség, hogy a Ni mellett további késői átmeneti fémötvözők esetében is megvizsgáljuk a kristályos-amorf-nanokristályos átmeneteket a mechanikai őrlés tartamának függvényében.

A melegsziárd Ti-Al ötvözetek oxidációval szembeni korróziós ellenállását tovább növeltük Cr hozzáadásával. Kimutattuk, hogy az $Al_{45}Ti_{40}Cr_{15}$, és $Al_{55}Ti_{30}Cr_{15}$ összetételű ötvözetek mechanikai őrléssel amorfizálhatók. Ugyanakkor az tapasztaltuk, hogy a Cr kidiffundál a felszínre és ott mágneses fázist hoz létre [15].

A továbbiakban tömbi amorfképződési hajlam megértése szükségessé teszi a nagyentrópiájú (HEA) egyfázisú kristályos Al-Ti alapú tömbi minták vizsgálatát is. Ezért vizsgálatainkat kiterjesztettük a gyakorlatban fontos, de az irodalomban még nem vizsgált Al-Ti alapú HEA ötvözetekre. Az irodalmi és saját adatok feldolgozása azt mutatja, hogy a képződési feltételek ellentétesek. Az amorf szerkezet kialakításához szükséges feltétel a nagy atomi átmérő különbség és a közepes képződési entalpia, míg az egyfázisú, nagyentrópiájú ötvözet esetében kis értékű mind az atomátmérők eltérése, mind a keveredési entalpia. Új összetételű ötvözeteket állítottunk elő a képződési entalpia

versus atomi méretkülönbség diagrammok alapján: mechanikai őrléssel amorf $\text{Al}_{25}\text{Ti}_{25}\text{Ni}_{25}\text{Cu}_{25}$ ötvözetet és további 3d, 4d és 5d átmeneti fémek beötvözésével az Al-Ti többségi mátrixba, növelve az összetevők számát [Subm. 1], szeretnénk vizsgálni az amorf - nagyentrópiájú ötvözet átmenetet a mechanikai ötvözéssel előállított ötvözetekben. Az első könnyű nagyentrópiás ötvözetünk $\text{Al}_{20}\text{Ti}_{20}\text{Zr}_{20}\text{Cu}_{20}\text{Be}_{20}$, összetételű, aminek a vizsgálata folyamatban van. Azt várjuk, hogy könnyű meleg-szilárd és képlékeny ötvözetet tudunk előállítani ilyen módon, ami hiányzik az irodalomban.

Az általunk kidolgozott ötvözetek alkalmazását elősegítendő lángszóró berendezést állítottunk össze és ezzel Al-alapú amorf –nanokristályos kopásálló réteget vittünk fel Al-12Si valamint rozsdamentes acéllemezre [10, 17] és folyamatban van az Al-Ti alapú amorf-nanokristályos rétegek felvitele és vizsgálata.

Az OTKA pályázat pénzügyi támogatásával elkészült Fazakas Éva PhD disszertációja: "Új típusú Al-alapú amorf ötvözetek" címmel [PhD 1.] és sikeresen megvédte 2011. május 16-án az ELTE Fizika Doktori iskolájának keretén belül. Az angol nyelvű disszertáció alapján egy japán post doc ösztöndíjat nyert el Prof. A. Inoue mellé Sendai-ba. Ezen kívül 3 diplomamunka készült el [Dipl. m. 1, 2, 3], amelyek annyira alkalmazás orientáltak voltak, hogy lehetővé tették egy „spin off” cég alapítását „H –ion” néven, a KFKI telephelyén. Temesi Otto és Gulyás Gábor volt diplomamunkások ma már elnyert GOP 1.1.1. pályázat alapján folytatják a gyorsfűtéssel, mechanikai ötvözéssel és amorf porok kompaktálásával kapcsolatos alkalmazás orientált kutatásaikat.

List of publications for OTKA 73451

In international scientific journals:

1. Varga B*, Fazakas E, Varga LK; Preparation of nanocrystalline $\text{Al}_{100-x}\text{Si}_x$ ($6 < x < 40$) based alloys by rapid solidification methods; *Metallurgia International*; **13**, 41-44 (2008)
IF: 0.154
2. Fazakas É, Varga LK; Al-U based amorphous alloys obtained by melt spinning method; *Rev. Adv. Mater. Sci.* **18**, 494-496 (2008)
IF: 0.891
3. Varga* B, Fazakas É, Hargitai* H, Varga LK; Dilatometer study of rapidly solidified aluminium-silicon based alloys; *J. Phys.: Conf. Series*; **144**, 012105/1-4 (2009)
4. Fazakas É, Kane* SN, Lázár* K, Varga LK; Mössbauer study of rapidly solidified Al-Fe based amorphous alloys; *Hyperf. Int.*; **189**, 119-123 (2009)
IF: 0.31
5. Fazakas É, Russew* K, Stojanova* L, Csanády* Á, Varga LK; $\text{Al}_{85}\text{Ta}_6\text{Ni}_9$, a refractory Al-rich ternary alloy glass and its crystallization kinetics; *J. Phys.: Conf. Series*; **144**, 012100/1-4 (2009)

6. Fazakas É, Varga* B, Varga LK; Study of amorphous-crystalline phase transformations by dilatometer in the case of $\text{Al}_{88}\text{Y}_7\text{Fe}_5$ and $\text{Al}_{88}\text{Y}_7\text{Fe}_4\text{Sb}_1$ amorphous alloys; *Metalurgia (Romania)*; **61**(10), 5-7 (2009)
7. Henits* P, Kovács* Zs, Varga LK, Révész* Á; Nanocrystallization in $\text{Al}_{85}\text{Ce}_8\text{Ni}_5\text{Co}_2$ amorphous alloy induced by heat treatment and severe plastic deformation; *J. Phys.: Conf. Series*; **144**, 012095/1-4 (2009)
8. B. Varga*, E. Fazakas, L.K. Varga: Preparation and structural characterization of rapidly solidified Al-Si. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series I*, **2**(51), 223-230 (2009)
9. É. Fazakas, B. Varga, L.K. Varga; Bulk amorphous and nanocrystalline aluminium based alloys obtained by hot pressure consolidation; *J. Optoelect. Adv. Mater. – Symposia*; **1**, 983-985 (2009)
[IF (2009)= 0.433]
10. Fazakas É, Csanády* Á, Varga* B, Crisan* A, Varga LK; Aluminium based nanocrystalline alloy coatings by thermal spray processes; *Metalurgia International*, **15**(12) 19-23 (2010)
IF: 0.154
11. Henits* P, Révész* Á, Schafner* E, Szabó* PJ, Lábár* JL, Varga LK, Kovács* Zs; Correlation between microstructural evolution during high-pressure torsion and isothermal heat treatment of amorphous $\text{Al}_{85}\text{Gd}_8\text{Ni}_5\text{Co}_2$ alloy; *J. Mater. Res.*; **25**, 1388-1397 (2010)
IF: 1.395
12. Henits* P, Kovács* Zs, Schafner* E, Lábár* JL, Varga LK, Révész* Á; Nanocrystallization in $\text{Al}_{85}\text{Ce}_8\text{Ni}_5\text{Co}_2$ amorphous alloy obtained by different strain rate during high pressure torsion; *J. All. Comp.*; **504S**, S91-S94 (2010)
IF: 2.134
13. Michalik* S, Bednarcik* J, Jovári P, Honkimäki*, Webb* A, Franz* H, Fazakas É, Varga LK; Modelling the atomic structure of Al_{92}U_8 metallic glass; *J. Phys.: Cond. Matter* **22**, 404209/1-6 (2010)
IF: 2.332
14. Varga* B, Fazakas É, Varga LK; Dilatometer study of aluminium-silicon based alloys with metastable structures; *Materials Science Forum*; **649**, 529-532 (2010)
15. É. Fazakas, B. Varga, A. Erős, L. K. Varga: Structure of amorphous and nanocrystalline Al-based alloys obtained by mechanical alloying and high pressure compaction. *Metal. Internat.* **15**, 147-150 (2011)
[IF(2010)=0.154]

]

16. P. Henits, Á. Révész, L.K. Varga, Zs. Kovács: The evolution of the microstructure in amorphous $\text{Al}_{85}\text{Ce}_8\text{Ni}_5\text{Co}_2$ alloy during heat treatment and severe plastic deformation: A comparative study. *Intermetallics* **19**, 267-275 (2011)

F: 2.327

17. Á. Révész*, P. Szommer*, P.J. Szabó*, L.K. Varga: Microstructure and morphology of Cu-Zr-Ti coatings produced by thermal spray and treated by surface mechanical attrition. *J. All. Comp.* **509**, Suppl. 1, S482-S485 (2011)

F: 2.134

18. É. Fazakas, A. Erős*, Á. Csanády*, G. Gulyás, P. Kamasa, L. K. Varga: Formation and second recrystallization of Al–Ni–Ti amorphous alloys by mechanical alloying, *IOP. Conf. Ser. Mater. Sci. and Eng.* **27** (2011) 1-4

Submitted papers:

1. E. Fazakas, B. Varga and L.K. Varga, Processing and properties of nanocrystalline $\text{AlTiCuNiCoFeCrVMoX}$ ($X=\text{Zn},\text{Mn}$) high entropy alloys by mechanical alloying. Submitted to *JALCOM* (2012).
2. E. Fazakas, B. Varga and L.K. Varga, Study of amorphous-crystalline phase transformations by DSC and dilatometer in the case of Al-Based amorphous alloys.
Submitted to *JALCOM* (2011).
3. P. Kamasa, E. Fazakas and L.K. Varga, Thermal properties of amorphous Al-alloys by fast scanning rate DTA
Submitted to *JALCOM* (2012).
4. P. Kamasa and L.K. Varga, Changes in the Kissinger plot for high heating rate processes
Submitted to *Physica B* (2012).
5. L. Stojanova, K. Russew, E. Fazakas, L. K. Varga, Thermo-mechanical study of rapidly solidified amorphous alloys $\text{Al}_{85}\text{Ni}_5\text{Co}_2\text{RE}_8$, accepted for publication in *JALCOM* (2012)
6. L.K. Varga, “An electronic rule determining the maximal strength of one-phase amorphous alloys”, under preparation for *JALCOM* (2012).

In conference proceedings

1. Fazakas Éva, Varga Béla, és Varga Lajos Károly, Dilatométerrel és DSC-vel vizsgált amorf –kristályos átalakulások alumínium ötvözetekben” *XI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia*, (Máramarossziget, 2009. április 2-5).

Kiadvány: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság –EMT, ISSN 1842-9440, (2009), pp 190-194

2. Stojanova* L, Yankova* S, Fazakas É, Varga LK, Russew* K; Thermal stability and mechanical properties of Al-U based amorphous alloys (in Bulgarian); *In: Proc. 24th Natl. Conf. on Non-Destructive Testing* (Sozopol, Bulgaria, 2009). Nauchno-tekhnicheski Soyuz po Mashinostroeniya (Bulgaria); 16(1), pp. 260-266 (2009)
3. Stojanova* L, Yankova* S, Fazakas É, Varga LK, Russew* K; Thermal behaviour $Al_{100-x}Y_x$ amorphous alloys (in Bulgarian); *In: Proc. 24th Natl. Conf. on Non-Destructive Testing* (Sozopol, Bulgaria, 2009). Nauchno-tekhnicheski Soyuz po Mashinostroeniya (Bulgaria); 16(1), pp. 267-272 (2009)
4. Stojanova* L, Fazakas É, Varga LK, Yankova* S, Russew* K; Thermal stability and viscosity of rapidly solidified amorphous alloys $Al_{85}Ni_5Co_2RE_8$ (RE= Gd, Ce, U) (in Bulgarian); *In: Proc. 25th Natl. Conf. On Non-Destructive Testing*; Nauchno Izvestiya na HTCM (Bulgaria) ISSN 1310-3946; **27**, 179-185 (2010)

Diploma work:

1. Temesi Otto: Alumínium alapú ötvözetek aktiválása folyékony fémmel vízbontás útján történő hidrogén termelés céljából, Diplomamunka 2010- ELTE –TTK mérnök-fizikus szak.
2. Gulyás Gábor: Tömbi amorf és nanokristályos ötvözetek előállítása és vizsgálata, Diplomamunka 2010- ELTE –TTK mérnök- fizikus szak.
3. Tatár Ágoston: Al-alapú tömbi amorf és nanokristályos ötvözetek előállítása és vizsgálata,
Diplomamunka 2009 ELTE - TTK alkalmazott fizikus szak

PhD thesis:

1. Fazakas Éva: „Novel amorphous and nanostructured Al based alloys”, PhD thesis, ELTE -2011.

Patent: Varga L.K. és Temesi Otto, “Eljárás és kompozit-összetétel az Al tartós és tömbi aktiválására a hidrolízis útján történő hidrogén és mikron alatti $Al(OH)_3$ por előállításához”. Ügyiratszám P0900730/15

Book

1. Csanády* Á, Kálmán* E, Konczos G. (Eds.); *Bevezetés a nanoszerkezetű anyagok világába (Introduction into the world of nanostructured materials, in Hungarian)*; ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2009, pp. 1-313.

A kutató-fejlesztő munkára fordított idő arányában teljes munkaidejű dolgozókra átszámított létszám ráfordítás (full time equivalent, FTE).

Definíció:	óra/munkahét:	36	óra/év	1872
------------	---------------	-----------	--------	-------------

--	--	--	--	--

A halványzöld cellákba lehet írni a bemenő adatokat és a halvány vörös cellában olvasható a végeredmény

A projekt hossza munkahét

A hároméves projekt futamideje 156 munkahét, a négyéves futamideje 208 munkahét, általában ennyi a részvétel hosza.

Személyek neve	Százalékos részvétel (max 100 %)	A részvétel hossza (hét)	a projektre fordított heti átlagos munkaóra (kerekítve)	a projektre fordított összes munkaóra (kerekítve)
Hargitai Hajnalka	10.0	208	4	749
Csanády Ágnes	15.0	208	5	1123
Pawel Kamasa	40.0	208	14	2995
Pogány Lajos	10.0	208	4	749
Fazakas Éva PhD	100.0	208	36	7488
Temesi Otto diák	30.0	50	11	540
Tatár Ágoston diák	30.0	50	11	540
Gulyás Gábor diák	30.0	50	11	540
Varga Lajos Károly	60.0	208	22	4493
			Munkaóra összesen:	19217

FTE
(2 tizedesre kerekítve):

2.57
