

Jövők anyagai, technológiái

Rovatvezetők:
dr. Buzáné dr. Dénes Margit,
dr. Klug Ottó

GULYÁS CSABA – LOVAS ANTAL – BUZA GÁBOR

Fe–Ni-alapú ötvözetek néhány új alkalmazása

Írásunkban Fe–Ni-alapú amorf ötvözetek új alkalmazásairól számolunk be. Az üvegfémeknek ez a családja figyelemreméltó tulajdonságváltozást mutat a termikus előélet függvényében mind mechanikai, mind elektromos tulajdonságok vonatkozásában. Ezek a jelenségek azonban nem gátolják a $Fe_{40}Ni_{40}B_{14}Si_6$ amorf ötvözet fűtőszálként való alkalmazhatóságát, amelyet sikeresen meg is valósítottunk.

Bevezető

A legtöbb műszaki tudomány fontos célkitűzése az új eredmények mielőbbi átültetése a gyakorlatba. Ennek az írásnak is ez a célja. A fémötvözetek kutatásának az utóbbi 30 évben elért egyik legjelentősebb eredménye az üvegfémek felfedezése. Lágymágneses felhasználásuk napjainkra általánossá vált. Jelen közleményben egy új alkalmazási lehetőségre hívjuk fel a figyelmet. Az amorf ötvözet elektromos ellenállására alapozva és fű-

tőszálként alkalmazva síkosságmentesítő rendszer fejlesztését kezdtük el. Az elektromos energiával történő, fűtésen alapuló síkosságmentesítés ugyan drágább, mint a hagyományos, pl.: szószasos eljárás, de nagyobb hatékonysága, automatizálhatósága fokozza a közlekedés biztonságosságát és nem fejt ki környezetkárosító hatást. Ellenállásanyagként üvegállapotú $Fe_{40}Ni_{40}B_{14}Si_6$ összetételű ötvözetet használtunk. Ez az ötvözetcsalád kevésbé ismert; mágneses tulajdon-

ságai nem kiemelkedően jók, ezért a kutatások periferiájára került. Így a kísérletek során több olyan tulajdonságot kellett vizsgálni, melyek mind az adott alkalmazás, mind az anyagtudomány szempontjából fontosak.

A következőkben ismertetjük a kísérleteinkben használt üvegfém jelen alkalmazás szempontjából fontos jellemzőit, majd röviden beszámolunk az elektromos fűtés fejlesztésének eddig elért eredményeiről.

FeNiBSi-üvegfém, mint a fűtőrendszer alapötvözete

Az üvegállapotú $Fe_{40}Ni_{40}B_{14}Si_6$ összetételű ötvözet egyik legjelentősebb tulajdonsága a nagy fajlagos ellenállás. Ez csak részben magyarázható az üvegállapotra általában jellemző atomi rendezetlenséggel. Bizonyosan a bonyolult vegyi összetétel is meghatározó szerepet játszik. Az ötvözet nagy Ni-tartalma növeli az üvegeképző hajlamot, ezért a szokásosnál vastagabb szalagok készíthetők belőle. A Ni hatására nő az üvegállapot termikus stabilitása, amely nem csak a feldolgozást elősegítő forrasztathatóságot és ponthegeszthetőséget eredményezi, hanem a nagy fűtőszál-hőmérséklettel rövidebb felfűtési időt is lehetővé tesz. A Ni biztosítja a korrózióállóságot, a jó mechanikai tulajdonságokat és a rugalmasságot, melyek a jelen, gyakorlati felhasználás szempontjából fontos anyagjellemzők. A gyártásból eredő geometria, a vékony, széles szalag, a körszelvényű fűtőszálhoz képest fajlagosan kedvezőbb

Gulyás Csaba okl. gépészmérnök. Diplomáját 2001-ben a BME Közlekedésmérnöki Karán szerezte. 2001-től doktorandusz a BME Közlekedésmérnöki Kar Járműgyártás és -javítás Tanszékén

Dr. Lovas Antal a kémiai tudományok kandidátusa. 1967-ben vegyészként végzett az ELTE Természettudományi Karán. 1967-től 1997-ig kutatóként dolgozott az MTA Központi Fizikai Kutató Intézetében. 1997-től egyetemi docens a BME Közlekedésmérnöki Kar Járműgyártás és -javítás Tanszékén.

Dr. Buza Gábor 1975-ben szerzett kohómérnöki oklevelet az NME-n. 1975-től

1988-ig a Vaskut, 1988-tól a BME dolgozója. Jelenleg a BME Közlekedésmérnöki Kar Járműgyártás és -javítás Tanszékének docense és a Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológiai Intézet igazgatóhelyettese. Két évig a Max-Planck Institut für Eisenforschung, Düsseldorf vendégkutatója volt. 1986-ban egyetemi doktori, 1990-ben műszaki tudomány kandidátusa címet szerzett. Fő érdeklődési területe: acélok fázisátalakulásának vizsgálata, nagy energiasűrűségű eljárások. Több mint 10 éve intenzíven foglalkozik a nagy teljesítményű lézerek anyagmegmunkálási lehetőségeinek kutatásával. 1972-óta OMBKE-tag.



anyagfelhasználást és nagyobb hőleadó felületet biztosít, kisebb helyigény mellett.

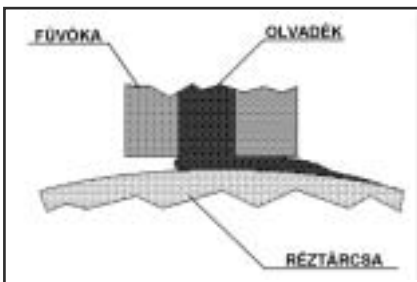
Az amorf anyagcsalád

Olyan ötvözeteket nevezünk amorfoknak, amelyekben nincs hosszútávú kristályos rend. Az amorf ötvözetek egy szűkebb csoportját üvegfémnek hívjuk, ha az amorf állapot olvadékból, annak gyors hűtésével jön létre. Ötvözetek esetén az üvegállapot kialakulásához szükséges kritikus hűtési sebesség 10^2 – 10^{11} K/s között változik [1]. A lehűtési sebesség ilyen mértékű különbözősége az egyes összetételekre jellemző eltérő üvegeképzési hajlamot mutatja, amely csak két vagy többkomponensű ötvözeteknél, határozott összetételi tartományban jelentős [2].

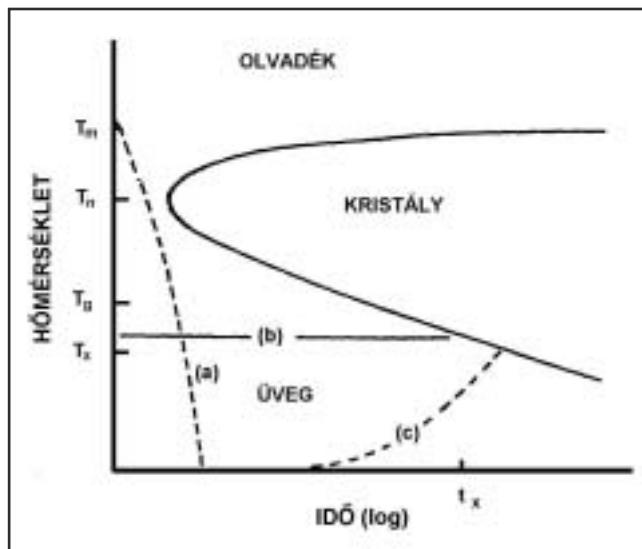
Az általunk használt üvegfémzalag ebbe a kategóriába tartozik és az ún. planar flow casting, azaz folyamatos síköntéses technológiával készült, melynek elvi vázlata az 1. ábrán látható. Az indukciós hevítéssel létrehozott olvadékot profilfűvőkán keresztül túlnyomás segítségével forgó réztárcsa palástjára fecskendezzük [2].

Az érintkezés pillanatában azonnal megkezdődik a nagy intenzitású hőelvonás. Így a rendezetlen olvadékállapot befagyásával létrejön az üvegállapot. A keletkező szalag szélessége szabadon, vastagsága azonban viszonylag korlátozott mértékben változtatható. A forgó réztárcsával csak az olvadék egyik fele érintkezik.

Ahhoz hogy vastag amorf ötvözet keletkezhesen, az ellenkező oldalon is biztosítani kell az ún. kritikus hűtési sebességnek megfelelő nagy hőelvonást, amely – ennél az eljárásnál – hővezetéssel történik. Ez, az anyagra jellemző fizikai paraméterként behatárolja az elérhető maximális lehűtési sebességet, illetve



1. ábra. Folyamatos síköntés elvének sematikus rajza [2]



2. ábra. TTT ábra a lehűtési sebesség és a kialakuló fázisviszonyok bemutatására (a) üvegeképződést eredményező gyors hűtés, (b) izoterm fűtés, mely t_x -nél átkristályosodást eredményez, (c) az üvegállapot lassú melegítése, mely T_x -nél átkristályosodást okoz

a tárcsáról lefutó üvegállapotú szalag vastagságának maximumát.

Az általunk használt $Fe_{40}Ni_{40}B_{14}Si_6$ -szalag szélessége 12 mm, vastagsága 30 mm.

A $Fe_{40}Ni_{40}B_{14}Si_6$ -üvegfém alkalmazását lehetővé tevő legfontosabb tulajdonságok

A termikus stabilitás – alkalmazhatósági határok

A fűtőszál tervezett üzemi hőmérséklete 150–200 °C. Ennek kapcsán merül fel a kérdés, hogy a tartós üzemi hőmérsékleten való működés miként befolyásolja a fűtőszál élettartamát és fizikai tulajdonságait. Mivel a fűtőszál állapota termodinamikai értelemben metastabil, energiafelvétel (melegítés-hőkezelés) hatására ún. szerkezeti relaxáció, rendeződés kezdődik meg, melynek során az ötvözet számos tulajdonsága (keménység, szakítószilárdság, Curie-hőmérséklet, elektromos ellenállás stb.) megváltozik. Nagyobb hőmérsékleten, a hosszútávú diffúziós folyamatok elindulásával megkezdődik az átkristályosodás is. Ennek a folyamatnak – akár az üvegeképződés, akár az üvegállapotban lejátszódó átalakulások – idő és hőmérsékletfüggése a TTT (Time Temperature Transformation, azaz idő-hőmérséklet-átalakulás) diagramban jól nyomon követhető (2. ábra). Ha az olvadék nagy sebességű hűtése során vizsgáljuk az elsőrendű fázisátalakulások

idő és hőmérsékletfüggését, ugyanolyan átalakulási görbéhez jutunk, mint amit az acélok szilárd állapotára vonatkozó nem egyensúlyi fázisátalakulási diagramjából ismerünk. Ha a hűtési sebesség meghaladja az ún. kritikus hűtési sebességet, amorf fázis jön létre, ellenkező esetben kristályos, vagy vegyes, vagyis részben kristályos, részben amorf anyag keletkezik. A TTT diag-

ram olvasásakor ugyanazok a szabályok érvényesek, mint a nem egyensúlyi fázisátalakulásokra vonatkozó diagramoknál.

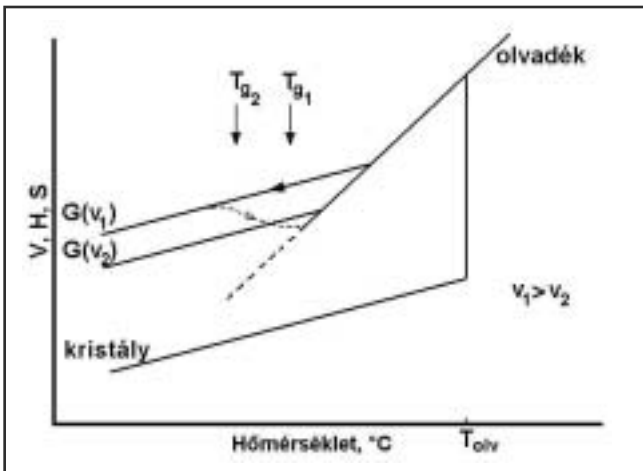
Ha egy amorf ötvözetet izoterm módon t_x ideig hőkezelünk (2. ábra, b görbe), vagy T_x hőmérsékletre melegítünk (2. ábra, c görbe), bekövetkezik az átkristályosodás, amely az amorf állapotra jellemző különleges, a jelen alkalmazást is lehetővé tevő tulajdonságok eltűnésével jár.

Az átkristályosodás hőmérséklete, valamint egy adott hőmérsékleten az átkristályosodáshoz szükséges idő az üvegfémek termikus stabilitásának mérőszámaként értelmezhetők. Ezek szabnak határt az amorf ötvözetek alkalmazhatóságának.

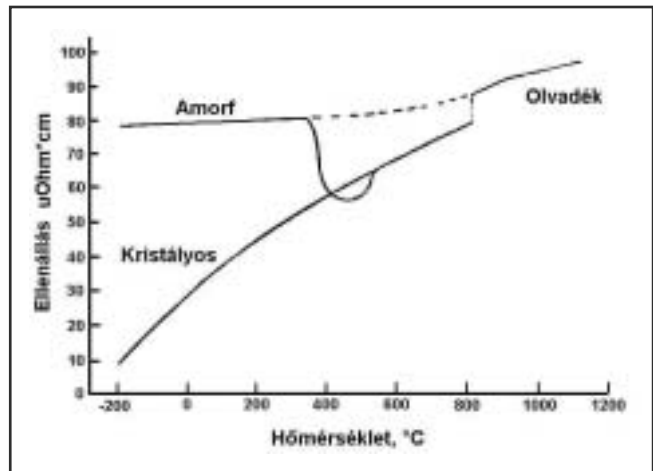
Az általunk használt üvegfém átkristályosodási hőmérséklete 475 °C.

Amorf szerkezeti relaxáció

Egy amorf ötvözet mindaddig termikusan stabilnak tekinthető, amíg az átkristályosodás meg nem kezdődik. Ez azonban nem jelenti azt, hogy az anyagtulajdonságok ennél kisebb hőmérsékletű hőkezelés során változatlanok maradnának, hiszen a lehűtési sebesség és az anyagot ért hőhatások függvényében számos, különböző struktúrájú amorf szerkezet alakulhat ki. Ezeket a folyamatokat összefoglaló néven szerkezeti relaxációnak nevezzük. Fizikai lényegük legkönnyebben a termodinamikai folyamatok vizsgálatával, a 3. ábra alapján érthető meg. Ha az



3. ábra. A fajtérfoogat, az entalpia és entrópia alakulása a hőmérséklet függvényében, lehülő üvegeképző olvadéknál



4. ábra. Adott összetételű ötvözet ellenállása amorf, kristályos és olvadék állapotban [3]

olvadékat lassan hűtjük, akkor az olvadáspont (3. ábra T_{olv}) hőmérsékletén elsőrendű fázisátalakulás zajlik le, amelyet a fajtérfoogatban, valamint az entrópiában és az entalpiában látható ugrásszerű változás mutat. Ha a hűtési sebességet az üvegállapotot eredményező kritikus hűtési sebesség fölé emeljük (3. ábra v_2), nem tapasztaljuk a termodinamikai állapotjelzők ugrásszerű változását. A v_2 sebességű hűtés esetén a rendszer $G(v_2)$ szabadentalpiával rendelkezik. A hűtési sebesség növelésével (v_1) az olvadék gyorsabban dermed és nagyobb fajtérfoogatú, nagyobb entrópiájú, $G(v_1)$ szabadentalpiával jellemezhető állapot jön létre. Egy rendszer termodinamikai stabilitása a G szabadentalpia értékével is jellemezhető. A stabilitás annál nagyobb, minél kisebb a rendszer G értéke.

A kis hőmérsékleten végzett ($T \ll T_g$) hőkezelés hatására az üvegállapot szabadentalpiája csökken, benne szerkezeti relaxáció megy végbe. A szerkezeti relaxáció diffúziómentes folyamatként az olvadékállapotban befagyott atomok rövidtávú átrendeződésével jár [10]. Ennek során csaknem minden fizikai tulajdonság megváltozik: a mechanikai tulajdonságok irreverzibilis, a mágneses és elektromos tulajdonságok egy része, pl.: Curie-hőmérséklet, reverzibilis módon. Az irreverzibilis változások során az ötvözet egyre jobban közelíti a kristályos – termodinamikailag stabil – állapotra jellemző tulajdonságokat (3. ábra, $G(v_1)$, $G(v_2)$ közötti a görbe). A keménység, a ridegség, a sűrűség növekszik, a szabadentalpia, a fajtérfoogat és az entrópia csökken.

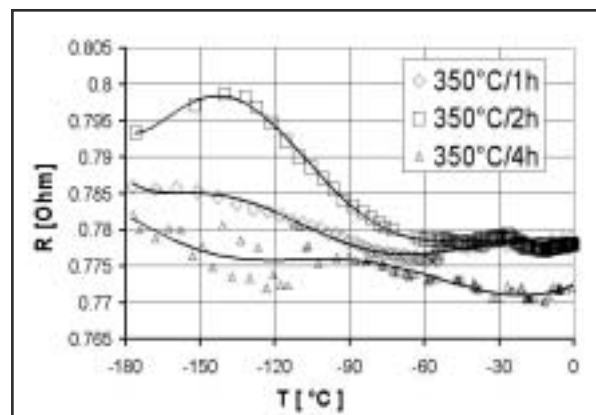
Elektromos ellenállás

Az üvegfémekre jellemző atomi rendezetlenség és a különböző oldott alkotók jelenléte a tiszta fémekhez képest jelentős ellenállás-növekedéshez vezet. Ennek megfelelően az amorf ötvözetek fajlagos ellenállása szobahőmérsékleten általában 100–300 $\mu\Omega\text{cm}$, ez 2-3-szor nagyobb a kristályos állapotban mérhető értéknél. Az ellenállás a hőmérséklet csökkenésével – a kristályos állapothoz hasonlóan – általában csökken. Az ellenállás hőmérsékletfüggése azonban igen csekély. Az olvadékállapotban mérhető ellenállás-hőmérséklet közötti összefüggést extrapolálva az átkristályosodási hőmérséklet alatti értéket kapjuk. Ez alátámasztja az üvegfémek atomi szerkezetét és a folyadékállapotra jellemző atomi rendezetlenséggel kapcsolatos hasonlóságot, amely megkönnyíti az amorf struktúra megértését. Az átkristályosodási hőmérsékleten az ellenállás hirtelen

lecsökken, majd belesimul a kristályos állapotra jellemző görbébe (4. ábra) [3].

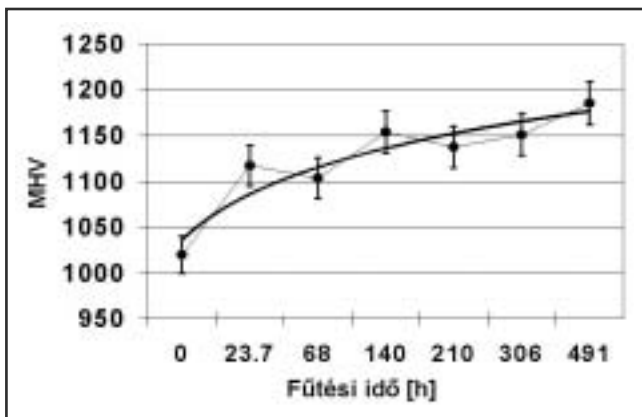
Az általunk használt amorf ötvözet fajlagos ellenállása 145 $\mu\Omega\text{cm}$.

Mivel a síkosságmentesítő fűtés 0 °C alatti hőmérsékleten kezd működni, megmértük különböző termikus előéletű FeNi-alapú amorf mintáknak az ellenállás-hőmérséklet függését (TCR) folyékony N_2 -hőmérséklet és szobahőmérséklet között. Az 5. ábrán, a közel azonos geometriájú minták abszolút ellenállása látható a hőmérséklet függvényében. Az elektromos ellenállás hőmérsékletfüggésével kis hőmérséklet-tartományban számos szerző foglalkozott az elmúlt két évtized során [4, 11]. A hőmérsékletfüggés elméleti kutatása máig sem hozott egyértelmű eredményt. Az általában elfogadott vélemény szerint az ellenállás-minimum (vagy maximum) valamilyen mágneses tulajdonság megváltozására vezethető vissza. Ezt a jelenséget korábban

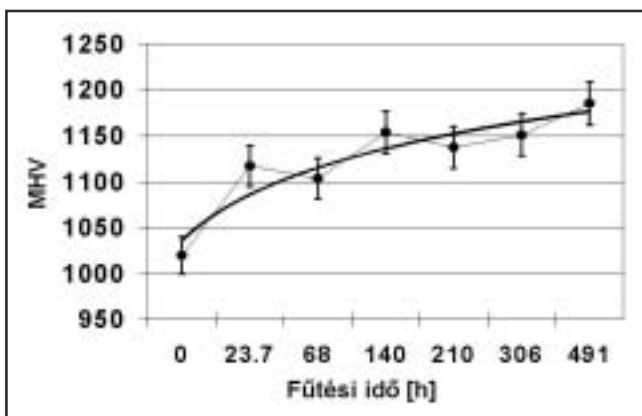


5. ábra. $Fe_{35}Ni_{35}Cr_{10}Si_6B_{14}$ összetételű amorf ötvözet ellenállás-hőmérséklet közötti összefüggése alacsony hőmérsékleten, különböző szerkezeti relaxációt eredményező hőkezelések után

csak összetételfüggőnek tételezték fel. Az újabb vizsgálati eredmények viszont mellett szólnak, hogy az $R=f(T)$ összefüggésnek szerkezeti okai is lehetnek, hiszen a vizsgált mintákban a hőkezeléskor kizárólag rövidtávú atomi átrendeződés, szerkezeti relaxáció játszódik le. A jelenség átfogó értelmezése azonban még várat magára. Az ábrán látható jelenségek csak kis hő-



6. ábra. 200°C-on hőkezelt amorf $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{Si}_6\text{B}_{14}$ keménysége a hőkezelési idő függvényében [5]



7. ábra. 200°C-on hőkezelt amorf $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{Si}_6\text{B}_{14}$ szakitószilárdsága a hőkezelési idő függvényében [5]

mérsékleten mutathatók ki, így a gyakorlati alkalmazást nem befolyásolják. A vizsgált ötvözet $R=f(T)$ függése -60°C -ig elhanyagolhatóan kicsi.

Mechanikai tulajdonságok

A síkosságmentesítő fűtőrendszer gyártása során, a beépítéskor, pl. a beton megkötésekor és a későbbi üzemelés során húzó-nyíró feszültség ébredhet. Ezért fontos a üvegfémek megfelelő mechanikai tulajdonságainak ismerete, amelyek szerkezeti anyagainktól különbözőek, jellegzetesek. Egyszerre mutatkozik nagy flexibilitás, nagy folyáshatár, nagy keménység és $E/50$ környéki szakitószilárdság, amely megközelíti az elméleti felső határt (E : Young modulus, mely egytengelyű húzás esetén a feszültség és az általa okozott rugalmas deformáció hányadosa) [1]. Ezek a tulajdonságok éles ellentétben állnak az oxidüvegek ridegsgével és az azonos flexibilitás mellett a kristályos fémekben mérhető kis teherbíró képességgel.

Az elektromos fűtés működése során a

fűtőszál hosszú ideig nagy hőmérsékleten üzemel, ami a fűtőszál mechanikai tulajdonságainak megváltozásához vezethet. Ezt méréseink is igazolták. A 200°C-on különböző ideig hőkezelt minták keménysége és szakitószilárdsága növekvő, a flexibilitás (hajlítós szám) csökkenő tendenciát mutat (6., 7., 8. ábra). Az átmenetifém-metalloid rendszerekben lejátszódó szerkezeti relaxáció során a keménységnövekedés tipikus jelenség. A növekedés nem szüregszerűen monoton, de növekvő hőkezelési idővel a hőkezelés hőmérsékletétől függő határérték-

hez tart [12]. A keménységnövekedés azal függ össze, hogy az alapfémen kívül az üvegeképzők is részt vesznek a rövidtávú kémiai rend kialakításában. Az üvegeképzők (főként a B) kovalens jellegű intermetallikus vegyületet képeznek az alapfémmel, melyekre egyensúlyi állapotban irányított kémiai kötés jellemző. Az irányítottság a szerkezeti relaxáció során növekszik, határozottabb rendező-

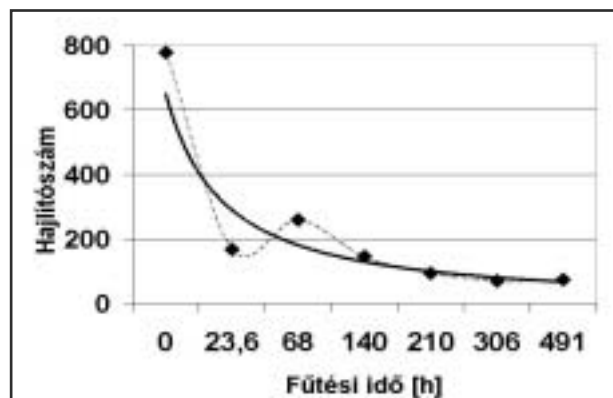
dés jelenik meg az ötvözet komponensei között. Így kémiailag közelebb kerülnek az egyensúlyi állapotot jelentő vegyülethez, ami keménységnövekedéssel és ridegedéssel jár. Ez utóbbi nyilvánul meg a hajlítós szám csökkenésében, amint azt a 8. ábra is mutatja. Az eredmények együttes vizsgálata során kitűnik, hogy a 23,6 órát hőkezelt minták esetén a keménységben lokális maximum, a szakitószilárdságban és a flexibilitásban lokális minimum mutatkozik. Mivel három egymástól független mérésnél is megfigyelhető a szélsőérték helye, a mérési hiba elegendően nagy biztonsággal kizárható. A jelenség pl. a mintában felgyülemelő belső feszültséggel és ezek leépülésével magyarázható, amelynek hátterében valamilyen amorf szerkezetváltozás húzóhat. A jelenség megértéséhez további mérésekre van szükség [5].

Mágneses tulajdonságok

A beágyazó közeg (pl.: beton) és a fűtőszál tönkremenetelének megakadályozására (az átkristályosodás elkerülése érdekében) célszerű egy túlmelegedést gátló biztonsági kapcsoló beépítése. A hőmérsékletmérés megbízhatósága javítható, ha a fűtőszál hőmérsékletével arányos valamilyen stabil fizikai vagy mágneses tulajdonságot mérünk. Mivel amorf állapotban az ellenállás hőmérsékletfüggése minimális, ezért a mágneses tulajdonságváltozáson alapuló hőmérsékletmérés tűnt sikerrel kecsegtető megoldásnak.

Az üvegfémek mágneses tulajdonságainak irodalma kiterjedt. Itt csak a hőmérsékletmérés szempontjából fontos Curie-hőmérséklettel kapcsolatos jelenségre térünk ki. Azt a hőmérsékletet nevezzük Curie-hőmérsékletnek, amely felett az

anyag elveszíti a ferromágneses állapotát (ferromágneses – paramágneses átmenet). A vasalapú ferromágneses üvegfémek Curie-hőmérséklete $500\text{--}800\text{ K}$ közé esik, és növekvő Ni-tartalommal valamint a nem-ferromágneses komponensek koncentrációjának növekedésével csökken. A Curie-hőmérséklet és a mágneses átmenet



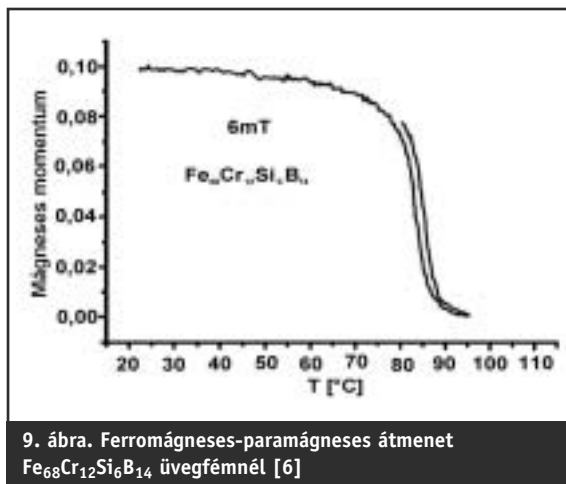
8. ábra. 200°C-on hőkezelt amorf $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{Si}_6\text{B}_{14}$ flexibilitása a hőkezelési idő függvényében [5]



meredeksége összetételtől és termikus előletről (gyártási körülmények, hőkezelés) függő tulajdonságok. A ferromágneses – paramágneses átmenet (9. ábra) reverzibilis folyamat, melynek során semmilyen egyéb anyagtulajdonság nem változik meg, ha a Curie-hőmérséklet jóval a kristályosodási hőmérséklet alatt van és nem játszódik le jelentős szerkezeti relaxáció [6]. A hőmérsékletmérő szenzorunk alapanyagaként a fűtőszálával közel azonos összetételű ötvözetet használtunk. A fűtőszál ötvözetéhez Cr-ot adagolva a kísérleti minta Curie-hőmérsékletét 100 °C-ra sikerült csökkentenünk.

A fűtőrendszer megvalósítása és rendszerszintű vizsgálata

A fűtőszál alkalmazhatóságának vizsgálatához modell betonlépcsőt készítettünk, amelybe a üvegfém-ből készített elektromos fűtőhálózatot ágyasztunk be (10. ábra). Arra a kérdésre kerestük a választ, hogy adott fűtőtulajdonsággal a betonlépcső felületén mekkora hőmérsékletet lehet elérni. Az elektromos fűtőtestet a 12 mm széles és 30 mm vastag szalagtekercsből forrasztással készítettük el, kihasználva az alapötvözet magas hőmérsékleti stabilitását. Annak érdekében, hogy a képződő Joule-hő minél nagyobb hányada a lépcső felülete felé áramoljon, szigetelőréteget helyeztünk a fűtőszál alá. A lépcső elektromos adatai a következők: $U=36,4$ V, $R_{\text{fűtőszál}}=14,56$ W, $I_{\text{fűtőáram}}=2,5$ A, $P=273$ W/m²-es fűtő-

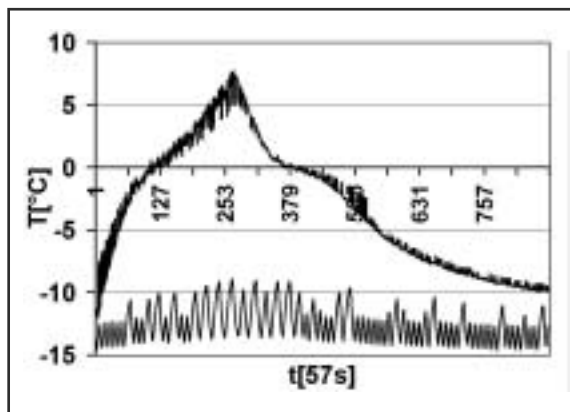


9. ábra. Ferromágneses-paramágneses átmenet $\text{Fe}_{68}\text{Cr}_{12}\text{Si}_6\text{B}_{14}$ üvegfémnél [6]

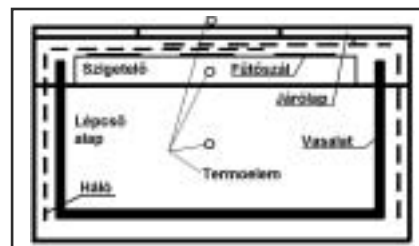
teljesítmény adódik. Törpefeszültség alkalmazásával nincs szükség elektromos szigetelésre, amely a hőátadást rontaná. A mérést mélyhűtő gépben végeztük el, ahol a hőmérséklet -18 °C és -12 °C között változott. A mérési eredményekből (11. ábra) látható, hogy -14 °C-os környezeti hőmérsékleten 7 °C feletti felületi hőmérséklet érhető el, amely elsősorban a fűtőttest alá helyezett polystyrol szigetelőanyagnak köszönhető.

Túlmelegedést gátló hőmérséklet-kapcsoló szenzor

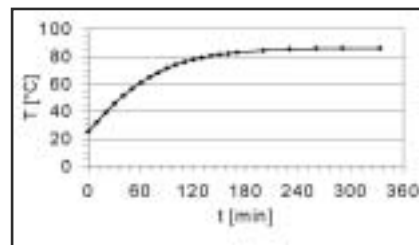
A síkosságmentesítő fűtés annál hatékonyabb, minél nagyobb a fűtőszál hőmérséklete, mert a felület és a fűtőszál között kialakuló nagy hőmérséklet-különbség gyorsabb hőterjedést eredményez. A fűtőszál üzemi hőmérsékletének növelését azonban a beépítési anyag valamint a fűtőszál termikus stabilitása korlátozza. A beton 250 °C feletti hőmérsékleten megrepedezik, az amorf fűtőszálnál pedig bekövetkezhet az átkristályosodás, amely a fűtőszálként való alkalmazást lehetővé tevő anyagtulajdonságok elvesztését eredményezi [8]. Ennek elkerülésére ferromágneses-paramágneses átmeneten alapuló túlmelegedés-gátló kapcsolót készítettünk, ahol a fűtőszál egy kis szakasza képezi a Curie-hőmérséklet alapú szenzor alapanyagát. Ha a fűtőszál a Curie-hőmérséklet fölé melegszik, megszakad a fűtőáramkör. 100 °C Curie-hőmérsékletű szenzoranyagot használva,



11. ábra. Felületi és környezeti hőmérséklet alakulása felfűtési és lehűtési ciklusnál [7]



10. ábra. Lépcsőmodell keresztmetszeti ábrája [7]



12. ábra. A fűtőszál hőmérsékletének időfüggése 100 °C-on kapcsoló túlmelegedés gátló szenzor használatával [9]

a fűtőrendszer hőmérséklete a 12. ábra szerint alakul. Látható, hogy a szenzor segítségével a hőmérséklet megfelelően stabilizálható [9].

Összefoglalás

A $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{Si}_6\text{B}_{14}$ összetételű amorf ötvözetcsalád az üvegfémkutatás periferiájára került, mert mágneses tulajdonságai nem kiemelkedően jók. A széleskörű anyagvizsgálatok mégis olyan mechanikai és elektromos jellemzőkre derítettek fényt, amelyek lehetővé teszik ennek az ötvözetnek a széleskörű, pl.: fűtőszálként való felhasználását kis hőmérsékletű környezetben. Az ötvözet keménysége, flexibilitása és szakítószilárdsága a hőkezelési idő függvényében az amorf állapotra jellemző tendencia szerint változik. Rövid idejű hőkezeléskor azonban szerkezeti relaxációval magyarázható anomália mutatkozik.

Az elektromos ellenállás hőmérsékletfüggése -60 °C alatti tartományban termikus előletről eltéréseket mutat, bár az idevonatkozó szakirodalom csak az $R=f(T)$ összetétel-függéséről beszél. A mechanikai és elektromos tulajdonságokban tapasztalt jelenségek a gyakorlati felhasználást nem befolyásolják. Kísérleteink során bebizonyosodott, hogy a $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{Si}_6\text{B}_{14}$ összetételű amorf ötvözetből készült fűtőszállal a túlmelegedés-gátló hőmérséklet-kapcsolóval hatékony síkosságmentesítő fűtés készíthető.

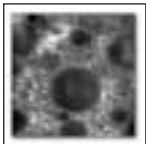
Irodalom

- [1] M. G. Scott, Crystallization, F. E. Luborsky, Amorphous Metallic Alloys, Butterworths Monographs in Materials / 144-149. o. /
- [2] Lovas A., – Kisdí-Koszó É., – Konczos G., – Potock L., – Vértési G.: Casting of ferromagnetic amorphous ribbons for electronic and electrotechnical applications, Philosophical Magazine B, 1990, Vol. 61, No. 4, 549-565. o.
- [3] Jones, H.: Rapid Solidification of Metals and Alloys, The Institution of Metallurgists, London, 1982, ISBN 0901 462 18 7
a) 57. o. 5, 5 Electrical Properties
- [4] Sas Bernadette: Elektronszórás mechanizmusok Fe- és Ni-alapú amorf ötvözetekben, Kandidátusi értekezés, KFKI, Szilárdtestfizikai Kutatóintézet, Budapest, 1988
- [5] Gulyás Cs., – Szabadits Ö., – Pál Z., – Lovas A.: Low temperature ageing process in $Fe_{40}Ni_{40}Si_6B_{14}$ glassy alloys, Advanced Manufacturing And Repair Technologies In Vehicle Industry, Pardubice, 2002, ISBN 80-7194-449-1 50. o.
- [6] Rempert G.: Diplomamunka Dm 8/00, BME, Közlekedésmérnöki Kar, Járműgyártás és -javítás Tanszék, Budapest, 2000
- [7] Gulyás Cs.: A közlekedésbiztonságot növelő, gyorsított ötvözet alapuló, automatizált kültéri fűtés, Diplomamunka 2/01, BME, Közlekedésmérnöki Kar, Járműgyártás és -javítás Tanszék, Budapest, 2001
- [8] Lutz/Jenisch/Klopfer/Frey-muth/Krampf/Petzold: Lehrbuch der Bauphysik, B. G. Teubner Stuttgart, 1994
- [9] Gulyás Cs.: Konstruktion eines Curiepunktschalters, mit Verwendung von Glasmaterialien, 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, 2002, ISSN-Nr. 0943-7207
- [10] Chen H. F.: Rep. Prog. Phys. 43, 355. o.
- [11] Varga Lajos: Vezetési s- és d-elektronok amorf fém-metalloid ötvözetben, Kandidátusi tézisek, MTA Szilárdtestfizikai Kutatóintézet, Budapest, 1994
- [12] Stubicar M. J. Mat. Sci. 14, 1979 / 7. ábra, 41. ábra /

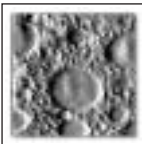
MŰSZAKI-GAZDASÁGI HÍREK

Érdekességek a Molecular Imaging Online-ről

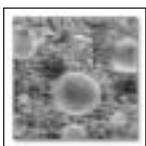
A Molecular Imaging az USA Arizona állambeli Tempe városában működik, és fő tevékenysége a pásztázó szondás mikroszkópia (SPM, scanning



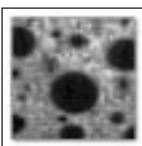
Topography



Deflection



Stiffness



Adhesion

probe microscopy) eszközeinek fejlesztése és gyártása. Internetes honlapjukon számos érdekesség található.

A fotókon az új autók karosszériájának szállítás közbeni védelmére használt, tapadó védőfólia 5x5 mikrométer nagyságú darabjának impulzuserő üzemmódú atomerő-mikroszkópos képe (AFM+

PFM, Atomic Force Microscopy + Pulsed Force Mode) látható. A sötétebb területek mutatják a kisebb tapadású és kisebb merevségű fázisokat. A négy felvétel az AFM+PFM különböző leképezési módjait illusztrálja: a) topography, b) deflection, c) stiffness, d) adhesion.

www.molec.com

Nanométeres multirétegek röntgenoptikai alkalmazása

A néhány nanométeres vastagságú rétegek jelentősége a beköszöntött „fotonika évszázadában” egyre nagyobb jelentőségűek.

Különösen érdekesek azok a lehetőségek, amelyeknél az alkalmazáshoz igazodó rétegvastagság-eloszlások valós háromdimenziós felületeken fény és röntgenoptikai alkalmazást tesznek lehetővé. Ennek feltétele a technológia kézben tarthatósága, amelyre nagy felületen extrém vékony rétegszerkezetet ultraprecíziós módszerrel lehet létrehozni. A drezdai anyag-

és sugártechnikai intézetben (Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik Dresden) ilyen nanométeres multirétegeket tudnak létrehozni akár 150 mm átmérőjű sík vagy görbült szuperpolírozott felületeken.

Jelenleg röntgenoptikai nyalábformálásra alkalmazzák a nanométeres multirétegeket a röntgenanalitikában, és az interferenciaoptikában a következő generációjú litográfiai eljárásokhoz (13,4 nm-es hullámhosszúság elérése a cél).

A nanométeres multirétegek röntgenoptikai alkalmazásával a laboratóriumi röntgenberendezések alkalmazhatóságát lényegesen ki lehet terjeszteni. Két gradiens multiréteggel bevont parabola segítségével egy minden eddiginél nagyobb hatékonyságú monokromátort sikerült létrehozni, amely szubmikroszkópos méretű, pontszerű sugárforrásként használható, amelyet a mikrodiffrakcióban, az egykristálydiffrakcióban, a mikrolitográfiában és a mik-

rotomográfiában egyaránt hatékonyan lehet alkalmazni.
<http://www.iws.fraunhofer.de>

Teljesítőképebb félvezető lézer 2 μm emissziós sáv szélességgel.

A Bell kutatói olyan félvezető lézert építettek, amely a fényt az infravörös tartományban 2 μm sáv szélességben folytonos és megbízható sugárzásként bocsátja ki. Az új optikai elemet a távközlésben vagy az érzékeny szenzorok területén lehet alkalmazni.

A félvezető lézerek általában megbízható fényforrások, kompaktak, robusztusak, többnyire hordozhatók és nagy teljesítőképeségűek. Az új kvantum-kaskád-lézer, a hagyományosokkal ellentétben, a fény impulzusokat 2 μm sáv szélességű folytonos spektrumként bocsátja ki. Ez különösen olyan alkalmazásoknál jelent előnyt, amelyeknél egyébként több, különböző hullámhosszúságú lézere lenne szükség.

<http://www.stp-gateway.de>

