

Short thesis for the degree of doctor of philosophy
(PhD)

**Investigation of Noisy Character of Phase
Transformations in Ferromagnetic Shape
Memory Materials**

Nora Samy Sdky Mohareb

Supervisor
Prof. Dr. Dezső L. Beke



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Physics

Debrecen, 2021

Introduction

Shape memory alloys (SMAs) attracted much attention in recent years since they are a group of smart (or intelligent) metallic materials, as well as functional materials. The functionalities arise from their underlying microstructural changes when subjected to external stimuli like temperature, mechanical stress, or magnetic field changes.

The key characteristic of all shape memory alloys is the occurrence of a martensitic phase transformation, which is a phase change between two solid phases (austenite and martensite) and involves diffusionless rearrangement of atoms within the crystal lattice. SMAs demonstrate unique properties like shape memory effect (SME) and superelasticity (SE). The so-called two-way shape memory effect is a cyclic shape change upon heating and cooling, while the superelasticity (or pseudoelasticity) is a reversible shape change during martensitic transformation caused by the application of unidirectional stress at a constant temperature. In addition, these materials can show large superelastic deformation or rubber-like behaviour (up to about 10-14%) in a martensitic state under the application of unidirectional stress or magnetic field. These unique characteristics of SMAs have made them popular for a lot of applications like sensing, actuation, medical implants, impact absorption, and vibration damping.

Recently, the metamagnetic SMAs, in which the ferromagnetic austenite transforms to paramagnetic or antiferromagnetic martensite, can improve the actuation stress levels in the applications of actuators switched by the magnetic field. Moreover, the huge difference between the magnetization of austenite and martensite produces a significant latent heat during phase transformation, which is beneficial for achieving large magnetic entropy change or adiabatic temperature change upon the application of a magnetic field. Thus these materials are very promising for magnetic refrigeration applications, at room temperature, based on the magnetocaloric effect.

Significant improvement of the shape memory functional properties can be achieved by martensite aging. It was shown that stress-induced martensite stabilization (SIM-aging: stabilization of a given martensite variant produced by uniaxial stress at higher temperatures) can result in a large reversible two-way shape memory at higher temperatures. Besides the shift of transformation temperatures to higher values, the transitions also become sharper: frequently burst-like sharp transitions occur. This should have important effects on the details of the martensite/austenite transformation.

Crackling noise is a response of systems to a slow external driving force, characterized by the emission of pulses or their avalanches of corresponding signals in a broad range of sizes. There is a wide range of phenomena

showing such behaviour, like the crumpling of papers, earthquakes, Barkhausen noise, acoustic signals during plastic deformation and fracture, etc. Quantitative understanding of crackling noise is of fundamental importance in different applications. Thus, investigation of the nature of the jerky character during structural transformations (martensitic transformation or rearrangement of martensite twin variants by twin boundary motions) in shape memory materials is currently an active area: the motion of the interfaces is usually not smooth but has intermittent (stop-and-go) character. This intermittent process is characterized by the emission of avalanches of noise signals, which can be thermal, acoustic, or magnetic signals if one of the phases/structural modifications is ferromagnetic. These avalanches can be described by power law distribution with cut-off; $(P(X) = X^{-\rho}e^{(-X/X_c)})$, where $P(X)$ the probability density functions of X , X represents the amplitude, size, energy, or duration of the jerks, ρ is the corresponding exponent, and X_c is the cutoff value). The exponents are universal for a broad range of materials, structural changes, and type of noises, forming a so-called universality class. Noise measurements are relatively new and good methods to study the phase transformations of SMAs. The details of the characteristics of noises can be very important in the understanding of high performance magnetic SME.

Aims

In my research, the basic aim was to investigate and analyze different (thermal, acoustic, and magnetic) noises emitted during martensitic transformations in ferromagnetic shape memory alloys. I performed noise measurements on two different SMAs, which are recently very promising in applications:

- $\text{Ni}_{45}\text{Co}_5\text{Mn}_{36.6}\text{In}_{13.4}$ meta-magnetic single crystal:

Investigation of different noises emitted during the meta-magnetic transition between very weakly magnetic (martensite) and ferromagnetic (austenite) phases at different values of a constant external magnetic field.

- $\text{Ni}_{51}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_4$ single crystals:

Comparative investigation of the change of acoustic emissions characteristics and transformation temperatures as well as the transformation entropy for three states of this alloy: quenched, austenite stabilized, and martensite stabilized by SIM-aging.

Experimental Methods

Differential scanning calorimeter (a Perkin Elmer DSC 7) was used to measure the released and absorbed heat during martensitic transformations at different rates. At low rates (below about 1 K/min) the usual averaged envelop curve split into individual peaks allowed the statistical analysis of thermal noise. Thermal hysteresis loops, as well as the entropy of the transformation, were calculated from the DSC curves.

Simultaneous DSC and acoustic emissions (AE) measurements were carried out in a modified DSC device with the help of a Sensophone AED-404 Acoustic Emission Diagnostic Equipment (Geréb and Co., Ltd., Budapest, Hungary). Piezoelectric sensor was coupled to the sample surface via a steel waveguide for the detection of the acoustic activity during the transformation. Simultaneous AE and magnetic emission (ME) were measured using National Instruments PCI-6111 multifunction data acquisition board in two-channel mode, under different constant values of an external magnetic field (0-230 mT). The magnetic signals were detected by two symmetrical detector coils around the sample. The acoustic and magnetic data was gathered during the measurements, and a computer program was used, from which I could plot the probability density functions and could calculate the characteristic exponents.

Results

A) Ni₄₅Co₅Mn_{36.6}In_{13.4} single crystals:

A1) The energy exponents, calculated from the DSC, acoustic emission, and magnetic emission measurements, were the same within the experimental errors. This indicates that all the above noises originate from displacement discontinuities of the moving interfaces during martensitic transformation [P1, C1, C2].

A2) The exponents of the energy and amplitude distributions of the acoustic and magnetic signals were independent of the external magnetic field (between $B=20$ and 230 mT), indicating that the character of the martensitic transformation is independent of B at these values of magnetic field [P1, C1, C2].

A3) The magnetic noise packets contained voltage peaks in both (up and down) directions in a zero magnetic field. Application of a small external magnetic field (up to 230 mT), besides the increased activity of magnetic signals, caused a gradual change: the peaks became more and more unidirectional (during both heating and cooling) with increasing field. This was explained by the increasing magnetization of the austenite [P1, C1, C2].

A4) The exponents during heating and cooling were the same in contrast to the expected asymmetry observed by our group in other ferromagnetic SMAs. This indicates that the main discontinuous events (energy dissipation as well as elastic energy accumulation/release), leading to noise emissions, should be the same in both directions [P1, C1, C2].

B) Ni₅₁Fe₁₈Ga₂₇Co₄ single crystals:

B1) Martensite stabilization by SIM-aging resulted in an expected shift of transformation temperatures to higher values, as well as the forward and reverse transitions became sharper, while the width of the hysteresis increased [P3, P4].

B2) There was no change in the acoustic energy exponents characterizing the power law behavior due to the SIM-aging effect [P3].

B3) Few high amplitude/energy solitary events appeared in the SIM-aged sample during heating, which were above the values corresponding to the extrapolated energy distribution curve, fitted at smaller energies. These high energy events were rationalized as high sudden jumps with large interface velocity during the phase transition. This velocity can be orders of magnitude larger than the other velocities with which the interfaces move in the not SIM-aged sample [P3].

B4) The transformation entropy was about 36% smaller after SIM-aging and was practically unchanged after austenite stabilization. These are in qualitative agreement with literature results in non-magnetic SMAs, although the decrease in the entropy after martensite stabilization is about three times larger for our alloy, which can be related to the change of the magnetic contribution [P3].

Publications

1- Publications related to the dissertation:

P1. N.M. Samy, M.K. Bolgar, N. Barta, L. Daroczi, L.Z. Toth, Y. Chumlyakov, I. Karaman, D.L. Beke: *Thermal, acoustic and magnetic noises emitted during martensitic transformation in single crystalline $Ni_{45}Co_5Mn_{36.6}In_{13.4}$ meta-magnetic shape memory alloy*, Journal of Alloys and Compounds **778** (2019) 669-680.

Cited by (3)

IF: 4.65

P2. D.L. Beke, L. Daroczi, L.Z. Toth, M.K. Bolgar, **N.M. Samy**, Anikó Hudák: *Acoustic Emissions during Structural Changes in Shape Memory Alloys*, Metals **9** (2019) 58.

Cited by (6)

IF: 2.117

P3. N.M. Samy, L. Daroczi, L.Z. Toth, Elena Panchenko, Y. Chumlyakov, N. Surikov, D.L. Beke: *Effect of Stress-Induced Martensite Stabilization on Acoustic Emission Characteristics and the Entropy of Martensitic Transformation in Shape Memory $Ni_{51}Fe_{18}Ga_{27}Co_4$ Single Crystal*, *Metals* **10** (2020) 534.

Cited by (3)

IF: 2.117

P4. D.L. Beke, L. Daróczi, **N.M. Samy**, L.Z. Tóth, M.K. Bolgár: *On the thermodynamic analysis of martensite stabilization treatments*, *Acta Materialia* **200** (2020) 490–501.

Cited by (2)

IF: 7.656

2- Other Publications:

P5. N. M. Samy, S.S. Shenouda, M. Fadel, H. Talaat, G.L. Katona, G.A. Langer, A. Csik & D.L. Beke: *Investigation of solid-state reaction in Ag/Sn nanostructured thin films at room temperature*, *Philosophical Magazine* **95** (2015) 2990-3001.

Cited by (5)

IF: 1.632

Conferences

Presentation:

C1. N.M. Samy, M.K. Bolgar, N. Barta, L. Daroczi, L.Z. Toth, Y. Chumlyakov, I. Karaman, D.L. Beke, *Noisy Character of Phase Transformations in $Ni_{45}Co_5Mn_{36.6}In_{13.4}$ Single Crystal*, DOFFI, Balatonfenyves, Magyarország, 2018.06.15-18.

Posters:

C2. N.M. Samy, M.K. Bolgar, N. Barta, L. Daroczi, L.Z. Toth, Y. Chumlyakov, I. Karaman, D.L. Beke, *Thermal, acoustic and magnetic noises emitted during martensitic transformation in $Ni_{45}Co_5Mn_{36.6}In_{13.4}$ meta-magnetic shape memory alloy single crystals*, European Symposium on Martensitic Transformations (ESOMAT 2018), Metz, France, 2018.08.27-31.



Registry number: DEENK/354/2021.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Nora Samy Mohareb
Doctoral School: Doctoral School of Physics
MTMT ID: 10078768

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (4)

1. **Mohareb, N. S.**, Daróczy, L., Tóth, L. Z., Panchenko, E., Chumlyakov, Y., Surikov, N., Beke, D. L.:
Effect of Stress-Induced Martensite Stabilization on Acoustic Emission Characteristics and the Entropy of Martensitic Transformation in Shape Memory Ni51Fe18Ga27Co4 Single Crystal.
Metals. 10 (4), 1-14, 2020. EISSN: 2075-4701.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/met10040534>
IF: 2.117 (2019)
2. Beke, D. L., Daróczy, L., **Mohareb, N. S.**, Tóth, L. Z., Bolgár, M.: On the thermodynamic analysis of martensite stabilization treatments.
Acta Mater. 200, 490-501, 2020. ISSN: 1359-6454.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2020.09.026>
IF: 7.656 (2019)
3. Beke, D. L., Daróczy, L., Tóth, L. Z., Bolgár, M., **Mohareb, N. S.**, Hudák, A.: Acoustic Emissions during Structural Changes in Shape Memory Alloys.
Metals. 9 (58), 1-23, 2019. EISSN: 2075-4701.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/met9010058>
IF: 2.117
4. **Mohareb, N. S.**, Bolgár, M., Barta, N., Daróczy, L., Tóth, L. Z., Chumlyakov, Y., Karaman, I., Beke, D. L.: Thermal, acoustic and magnetic noises emitted during martensitic transformation in single crystalline Ni45Co5Mn36.6In13.4 meta-magnetic shape memory alloy.
J. Alloy. Compd. 778, 669-680, 2019. ISSN: 0925-8388.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.11.149>
IF: 4.65





List of other publications

Foreign language scientific articles in international journals (1)

5. **Mohareb, N. S.**, Shenouda, S. S., Fadel, M., Talaat, H., Katona, G., Langer, G. A., Csik, A., Beke, D. L.: Investigation of solid-state reaction in Ag/Sn nanostructured thin films at room temperature.
Philos. Mag. 95 (27), 2990-3001, 2015. ISSN: 1478-6435.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/14786435.2015.1083135>
IF: 1.632

Total IF of journals (all publications): 18,172

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 16,54

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

07 June, 2021



Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Fázisátalakulások zajos jellegének
vizsgálata ferromágneses alakemlékező
ötvözetekben**

Nora Samy Sdky Mohareb

Témavezető
Prof. Dr. Dezső L. Beke



DEBRECENI EGYETEM
Fizikai Tudományok Doktori Iskolája

Debrecen, 2021

Bevezetés

Az alakemlékező ötvözetek (shape memory alloys, SMA) jelenleg nagy érdeklődést váltanak ki, mert ezek az okos (intelligens) fémes anyagok, valamint a funkcionális anyagok egy csoportját alkotják. A funkcionalitás ezen anyagok mikro-szerkezeti változásain alapul, amikor külső hatásnak, például hőmérséklet változásnak, mechanikai feszültség vagy mágneses tér hatásainak, tesszük ki őket.

Az alakemlékező anyagok kulcsfontosságú jellemzője a martenzites fázisváltozás, amely két szilárd fázis (az ausztenit és martenzit) közötti átalakulás, melynek során a kristály rács atomjai diffúziómentesen rendeződnek át. A SMA-k olyan különleges tulajdonságokkal rendelkeznek, mint az alakemlékező effektus (shape memory effect, SME) és a szuper-rugalmasság (superelasticity, SE). Az ún. két-utas alakemlékező hatás egy ciklikus alakváltozás melegítési/hűtési ciklusok során, míg a SE (vagy pszeudo-plasztikusság) egy egyirányú feszültség által kiváltott martenzites átalakulás, mely reverzibilis alakváltozást eredményez állandó hőmérsékleten. Továbbá, ezek az anyagok nagy szuper-rugalmas vagy ún. gumi-szerű viselkedést is mutathatnak (akár 10-14%-ig) martenzites állapotban egyirányú feszültség vagy mágneses tér hatására. Az SMA-k ezen különleges jellemzői népszerűvé tették ezen anyagokat egy sor olyan alkalmazásra, mint például érzékelők, aktuátorok

(mozgás átalakítók), orvosi implantátumok, lökéshullám vagy rezgési energia elnyelők.

Újabban azt találták, hogy az un. meta-mágneses alakemlékező anyagok, amelyekben a ferromágneses ausztenit para- vagy antiferromágneses martenzitbe alakul át, meg tudják emelni a mágneses térrel kapcsolt aktuátorok erőhatását. Ezen túlmenően az ausztenit és a martenzit fázis nagy mágnesezettség különbsége jelentős hőfelszabadulást eredményezhet a mágneses térrel kapcsolt fázisátalakulás során, amely előnyösen nagy mágneses entrópia változást, illetve adiabatikus hőmérsékletváltozást jelent. Ezek a magneto-kalorikus anyagok nagyon ígéretesek szobahőmérséklet környezetében működő mágneses hűtőgépek előállítására.

Az alakemlékező anyagok funkcionális tulajdonságainak jelentős javulása érhető el martenzit stabilizációval. Megmutatták, hogy az un. feszültség-indukált martenzit stabilizáció (SIM-aging: egyirányú feszültséggel létrehozott martenzit variáns stabilizálása hőkezeléssel) nagy reverzibilis két-utas alakemlékező viselkedést eredményez magasabb hőmérsékleteken. A mellett, hogy ez a kezelés az átalakulási hőmérsékleteket magasabbra tolja, az átmenetek is kiélesednek: gyakran ugrás-szerű átmenetek figyelhetők meg. A martenzit/ausztenit transzformációk részletei a fenti átalakulás során jelentősen megváltozhatnak.

Az un. recsegő zajok egy kívülről finoman (lassan) vezérelt rendszer válaszát jelentik több nagyságrendbe eső hasonló jelek, illetve ezek lavináinak kibocsátása során. Jelenségek széles skálája mutat ilyen viselkedést: papír összegyűrése, földrengések, Barkhausen-zaj, képlékeny alakváltozás során kibocsátott akusztikus emisszió és törés, stb. Az ilyen zajok kvantitatív megértése alapvető jelentőségű a különféle alkalmazásokban. Tehát, a szerkezeti átalakulások (martenzites átalakulás vagy a különböző martezeit variánsok átrendezése ikerhatár mozgásokkal) szakaszos jellegének vizsgálata SMA-okban jelenleg is aktív terület: a határfelületek mozgása nem egyenletes, hanem szakaszos (megáll-megindul) jellegű. Az ilyen szakaszos mozgás zaj-jelek lavináinak kibocsátásával jár, melyek lehetnek termikus, akusztikus jelek vagy mágneses jelek, ha legalább az egyik fázis/szerkezeti módosulat ferromágneses. A lavinákat csillapított hatványfüggvény eloszlások jellemzik: $P(X) = X^{-\rho} e^{(-X/X_c)}$, ahol $P(X)$ az X mennyiség valószínűségi sűrűség eloszlása, az exponenciális tényező pedig az un. levágási faktor, X lehet a jel amplitúdója, területe, energiája vagy időtartama, ρ a megfelelő kitevő és X_c az un. levágási érték. A kitevők univerzálisak anyagok és szerkezetváltozások egy-egy széles csoportját tekintve, amelyek un. hasonlósági osztályokat alkotnak. A zajvizsgálatok viszonylag új és hasznos módszerek a SMA-k fázisátalakulásainak vizsgálatában. A zajok jellemzőinek részletei nagyon fontosak lehetnek a nagy teljesítményű mágneses alakemlékező effektusok megértésében.

Célkitűzések

Vizsgálataimban a fő célkitűzés az volt, hogy ferromágneses alakemlékező ötvözetek martenzites átalakulásai során kibocsátott különböző (termikus, akusztikus és mágneses) zajokat vizsgáljam és elemezzem. Két különböző, a legújabb alkalmazásokban ígéretes, alakemlékező ötvözetet vizsgáltam:

- $\text{Ni}_{45}\text{Co}_5\text{Mn}_{36.6}\text{In}_{13.4}$ meta-mágneses egykristály:

Gyengén mágneses (martenzit) és ferromágneses (ausztenit) fázisok közötti átmenetek során kibocsátott különféle zajok vizsgálata különböző, rögzített külső mágneses tér értékeknél.

- $\text{Ni}_{51}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_4$ egykristály:

Akusztikus emissziós jellemzők, átalakulási hőmérsékletek valamint átalakulási entrópiák összehasonlító vizsgálata az ötvözet gyorsított, ausztenit stabilizált és martenzit stabilizált (SIM-aged) állapotában.

Kísérleti Módszerek

Perkin Elmer DSC-7 differenciális pásztázó kalorimétert használtam a martenzites átalakulások során leadott, illetve elnyelt hő mérésére különböző hőmérséklet-változási sebességeknél. Kis sebességeknél (1K/min alatt) a szokásos, átlagolt burkoló görbe felhasadt különálló csúcsokra, ami lehetővé tette a termikus zaj elemzését. A DSC görbékből a termikus hiszterézis görbéket és az átalakulási entrópiát is meghatároztam.

DSC és akusztikus emissziós (AE) méréseket végeztem a a Sensophone AED-404 Akusztikus Emissziós Diagnosztikai berendezéssel (Geréb and Co., Ltd., Budapest, Hungary) módosított DSC-ben. Az akusztikus aktivitás detektálásához a piezo-elektromos érzékelőt egy acél hullámvezető segítségével csatoltam a mintához. Az AE és mágneses emissziós (ME) jeleket egyidejűleg mértem különböző állandó külső mágneses tér értékek mellett (0-230 mT) a National Instruments PCI-6111 multifunkciós adatgyűjtő kártya segítségével kétcsatornás üzemmódban. A mágneses jeleket a minta tekercselt két szimmetrikus tekercssel detektáltam. Az akusztikus és mágneses adatokat egy számítógépes program segítségével folyamatosan gyűjtöttem, amelyből a valószínűségi sűrűség függvényeket és az azokat jellemző kitevőket meg tudtam határozni.

Eredmények

A) $\text{Ni}_{45}\text{Co}_5\text{Mn}_{36.6}\text{In}_{13.4}$ egykristály:

A1) A DSC valamint akusztikus és mágneses emissziós mérésekből kapott energia kitevők mérési hibahatáron belül megegyeztek. Ez azt jelzi, hogy a martenzites átalakulás során detektált valamennyi zaj eredete közös: az előrehaladó határfelület diszkrét elmozdulásaihoz köthető [P1, C1, C2].

A2) Az akusztikus és mágneses jelek energia és amplitúdó eloszlásainak kitevői függetlenek a külső mágneses tértől ($B=20$ és 230 mT közötti tartományban) jelezve, hogy a martenzites átalakulás jellege független B -től ilyen tér értékeknél [P1, C1, C2].

A3) Nulla külső mágneses térben a mágneses zaj-csomagok bipoláris (fel és le irányú) jeleket tartalmaztak. Kis mágneses tér alkalmazásával a mágneses jel aktivitása megnőtt és a jelek egyre inkább unipolárisokká váltak (mind fűtés és hűtés során), amit az ausztenit növekvő mágnesezettségével magyaráztunk [P1, C1, C2].

A4) Érdekes módon a fűtéshez, illetve hűtéshez tartozó kitevők megegyeztek, szemben a csoport más ferromágneses SMA-kban kapott eredményeivel. Ez jelzi, hogy a zaj kibocsátást eredményező fő diszkrét események (energia felhalmozódás/relaxáció) mindkét irányban azonosak [P1, C1, C2].

B) $\text{Ni}_{51}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_4$ egykristály:

B1) A martenzites stabilizáció (SIM-aging), ahogy az várható volt, az átalakulási hőmérsékleteket felfelé tolta és az előre, illetve visszafelé történő átmenetek kiélesedtek, míg a hiszterézis szélessége megnőtt [P3, P4].

B2) Az akusztikus energia kitevők nem változtak a martenzit öregítés (SIM-aging) hatására [P3].

B3) Martenzit öregítés (SIM-aging) után néhány nagy amplitúdójú/energiájú egyedülálló eseményt figyeltem meg fűtés során és ezek a pontok a kisebb energiákhoz tartozó csúcsokra illesztett eloszlás függvény fölé estek. Ezeket a nagyenergiájú eseményeket a fűtés közbeni fázisátalakuláshoz lehetett rendelni és nagysebességű határfelület mozgásokkal lehetett azonosítani: ez a sebesség nagyságrendekkel nagyobb lehet, mint a tipikus határfelület sebességek a martenzit öregítés előtt [P3].

B4) Az átalakulási entrópia 35%-al kisebb lett martenzit stabilizáció után és gyakorlatilag nem változott ausztenites stabilizációt követően. Ezek kvalitatív egyezésben vannak az irodalomban nem ferromágneses SMA-kban kapott eredményekkel, bár a martenzit stabilizáció után kapott csökkenés mintegy háromszor nagyobb a mi ötvözetünkben, ami kapcsolatban lehet az entrópiához adódó mágneses járulékkal [P3].

Közlemények

1- Az értekezéshez kapcsolódó publikációk

P1. N.M. Samy, M.K. Bolgar, N. Barta, L. Daroczi, L.Z. Toth, Y. Chumlyakov, I. Karaman, D.L. Beke: *Thermal, acoustic and magnetic noises emitted during martensitic transformation in single crystalline $Ni_{45}Co_5Mn_{36.6}In_{13.4}$ meta-magnetic shape memory alloy*, Journal of Alloys and Compounds **778** (2019) 669-680.

Cited by (3)

IF: 4.65

P2. D.L. Beke, L. Daroczi, L.Z. Toth, M.K. Bolgar, **N.M. Samy**, Anikó Hudák: *Acoustic Emissions during Structural Changes in Shape Memory Alloys*, Metals **9** (2019) 58.

Cited by (6)

IF: 2.117

P3. N.M. Samy, L. Daroczi, L.Z. Toth, E. Panchenko, Y. Chumlyakov, N. Surikov, D.L. Beke: *Effect of Stress-Induced Martensite Stabilization on Acoustic Emission Characteristics and the Entropy of Martensitic Transformation in Shape Memory $Ni_{51}Fe_{18}Ga_{27}Co_4$ Single Crystal*, Metals **10** (2020) 534.

Cited by (3)

IF: 2.117

P4. D.L. Beke, L. Daróczy, **N.M. Samy**, L.Z. Tóth, M.K. Bolgár: *On the thermodynamic analysis of martensite stabilization treatments*, Acta Materialia **200** (2020) 490–501.

Cited by (2)

IF: 7.656

2- Egyéb közlemények

P5. **N. M. Samy**, S.S. Shenouda, M. Fadel, H. Talaat, G.L. Katona, G.A. Langer, A. Csik & D.L. Beke: *Investigation of solid-state reaction in Ag/Sn nanostructured thin films at room temperature*, Philosophical Magazine **95** (2015) 2990-3001.

Cited by (5)

IF: 1.632

Konferenciák

Előadások:

C1. N.M. Samy, M.K. Bolgar, N. Barta, L. Daroczi, L.Z. Toth, Y. Chumlyakov, I. Karaman, D.L. Beke, *Noisy Character of Phase Transformations in $Ni_{45}Co_5Mn_{36.6}In_{13.4}$ Single Crystal*, DOFFI, Balatonfenyves, Magyarország, 2018.06.15-18.

Poszterek:

C2. N.M. Samy, M.K. Bolgar, N. Barta, L. Daroczi, L.Z. Toth, Y. Chumlyakov, I. Karaman, D.L. Beke, *Thermal, acoustic and magnetic noises emitted during martensitic transformation in $Ni_{45}Co_5Mn_{36.6}In_{13.4}$ meta-magnetic shape memory alloy single crystals*, European Symposium on Martensitic Transformations (ESOMAT 2018), Metz, France, 2018.08.27-31.



Nyilvántartási szám: DEENK/354/2021.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Mohareb, Nora Samy
Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10078768

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

1. **Mohareb, N. S.**, Daróczy, L., Tóth, L. Z., Panchenko, E., Chumlyakov, Y., Surikov, N., Beke, D. L.:
Effect of Stress-Induced Martensite Stabilization on Acoustic Emission Characteristics and the Entropy of Martensitic Transformation in Shape Memory Ni51Fe18Ga27Co4 Single Crystal.
Metals. 10 (4), 1-14, 2020. EISSN: 2075-4701.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/met10040534>
IF: 2.117 (2019)
2. Beke, D. L., Daróczy, L., **Mohareb, N. S.**, Tóth, L. Z., Bolgár, M.: On the thermodynamic analysis of martensite stabilization treatments.
Acta Mater. 200, 490-501, 2020. ISSN: 1359-6454.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2020.09.026>
IF: 7.656 (2019)
3. Beke, D. L., Daróczy, L., Tóth, L. Z., Bolgár, M., **Mohareb, N. S.**, Hudák, A.: Acoustic Emissions during Structural Changes in Shape Memory Alloys.
Metals. 9 (58), 1-23, 2019. EISSN: 2075-4701.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/met9010058>
IF: 2.117
4. **Mohareb, N. S.**, Bolgár, M., Barta, N., Daróczy, L., Tóth, L. Z., Chumlyakov, Y., Karaman, I., Beke, D. L.: Thermal, acoustic and magnetic noises emitted during martensitic transformation in single crystalline Ni45Co5Mn36.6In13.4 meta-magnetic shape memory alloy.
J. Alloy. Compd. 778, 669-680, 2019. ISSN: 0925-8388.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.11.149>
IF: 4.65





További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

5. **Mohareb, N. S.**, Shenouda, S. S., Fadel, M., Talaat, H., Katona, G., Langer, G. A., Csik, A., Beke, D. L.: Investigation of solid-state reaction in Ag/Sn nanostructured thin films at room temperature.
Philos. Mag. 95 (27), 2990-3001, 2015. ISSN: 1478-6435.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/14786435.2015.1083135>
IF: 1.632

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 18,172

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 16,54

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2021.06.07.

