

terötvözetekben, sem az ékmintákban az alap $Ti_{60}(Ni_xCu_{40-x})_{40}$ ötvözetekhez képest. Az eutektikus összetételű gyorsan hűtött ötvözetben sem mértünk amorf hányadot.

1 at% Sn-ötvözés hatására megváltozott a Ni5(+Sn1) összetétel szerkezete mesterötvetként is és ékmintaként is. Egy Ti-ban gazdag új fázis jelent meg az ötvözetben. A teljesen eutektikus összetétel az Sn hatására eltolódott az alapötvetekhez képest kisebb Ni-tartalom irányába. Az ékminták minden összetételénél kristályos szerkezetűek, bár a Ni10 és Ni15(+Sn1) minták csúcsa nagyon finom szerkezetű.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki a Debreceni Egyetem Szilárdtest Fizika Tanszékének az ívfényes olvasztó használatáért és a segítségért.

A cikkben ismertetett kutatómunka

a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

- [1] Park, J. M. – Kim, Y. C. – Kim, W. T. – Kim, D. H.: 2004 Materials Transactions, 45, 595
- [2] Wu, X. F. – Suo, Z. Y. – Si, Y. – Meng, L. K. – Qiu, K. Q.: 2008 Journal of Alloys and Compounds 452, 268
- [3] Ristic, R. – Babic, E. – Stubicar, M. – Kursumovic, A. – Cooper, J. R. – Figueroa, I. A. – Davies, H. A. – Todd, I. – Varga, L. K. – Bakonyi, I.: 2011 Journal of Non-Crystalline Solids 357, 2949
- [4] Inoue, A. – Nishiyama, N. – Amiya,

K. – Zhang, T. – Masumoto, T.: 2007 Materials Letters 61, 2851

- [5] Louzguine, D. V. – Inoue A.: 2000 Scripta Mater. 43, 371
- [6] Zhang, T. – Inoue A.: 2001 Materials Science and Engineering A 304-306, 771
- [7] He, G. – Eckert, J. – Löser W.: 2003 Acta Materialia 51, 1621
- [8] Ochin, P. – Kolomytsev, V. – Pasko, A. – Vermaut, P. – Prima, F. – Portier R.: 2006 Materials Science and Engineering A 438-440, 630
- [9] Xie, K. F. – Yao, K. F. – Huang, T. Y.: 2010 Journal of Alloys and Compounds 504S, S22
- [10] Rontó, V. – Sycheva, A. – Svéda, M. – Benke, M. – Pekker, P. – Cora, I. – Fazakas É.: 2014 Materials Science Forum 790-791, 491
- [11] Schuster, Julius C. – Cacciamani, Gabriele: Copper-Nickel-Titanium, Landolt-Börnstein New Series IV/11A4, 266-283.

Kaptay György akadémiai székfoglalója

Kaptay György, az MTA levelező tagjának összefoglalása tudományos eredményeiről

2016. október 5-én került sor az MTA Miskolci székházában (ifj.) Kaptay György tagtársunk levelező akadémiai székfoglalójára, az MTA Műszaki Osztálya kihelyezett nyílt ülésén. Az időpont nem véletlen: ezen a napon lett volna 83 éves id. Kaptay György tagtársunk, aki ezt a napot nem élhette meg.

A székfoglaló címe: Fémes (nano-)anyagok modellezése és fejlesztése

Szerkesztőségünk kérésére Kaptay György összefoglalta akadémiai székfoglalójának főbb téziseit, amelyet az alábbiakban teszünk közzé.

Tisztelt Hölgyeim és Uraim, tisztelt Akadémikus Társaim, Nagy megtiszteltetés számomra, hogy az Akadémia Műszaki Osztálya a 2016-os akadémikusválasztás során engem is a levelező tagok sorába emelt, 28 évvel kandidátusi (1988) és 11 évvel MTA doktori (2005) címem megszerzése után. Ezzel a székfoglala-

lól a szélesebb szakmai közösségnek szeretném bemutatni azokat az eredményeket, melyek e megtiszteltetés objektív alapjául szolgálnak.

Ezen eredmények két csoportra bonthatóak. Téziseim első fele alapkutatói jellegű, melyeket elsősorban a Miskolci Egyetemen töltött évek során (1987-) értem el, és amelyek értékét a vonatkozó – jellemzően egyszemélyes elméleti – cikkeket megjelentető folyóiratok impakt faktora (összesítve 155 felett), a rájuk kapott független és túlnyomó többségükben pozitív hivatkozások száma (1.900 felett) és az innen számított h-index (22) fémjelez (lásd 1. ábra). A tézisek második fele alkalmazott kutatás/fejlesztés jellegű, melyeket főleg a Bay Zoltán Kft.-ben (2006-) értem el munkatársaimmal együtt, és amelyeket magyar és külföldre kiterjesztett szabadalmaink fémjeleznek. Bár egy életpályát általában a véletlenek is irányítanak, a fenti bontásban van némi tudatosság is. Új műszaki alkotást ugyan létre lehet

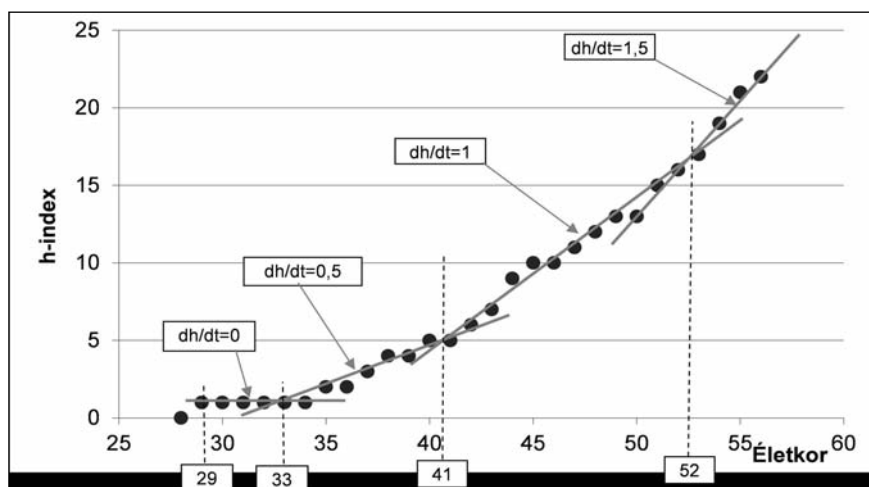
hozni „véletlenül” is (a „vak tyúk is talál szemet” alapon, a pályatársakkal azonos tudásra alapozva), de erre szakmát alapozni nem szerencsés. Sokkal biztosabb, ha a szabadalmak új, saját magunk által kreált elméleti tudáson alapulnak: ekkor válhat az új műszaki alkotások létrehozása biztos „szakmává”. Ebből a szempontból épül időben egymásra az alaptudás megszerzése és új elemekkel való bővítése, majd a műszaki alkotások létrehozása.

Nekem a hobbim a tudománytörténet és szeretek alapkérdéseket feszegetni, illetve azokat megválaszolni. Egy természettudós attitűddel rendelkező mérnök szempontjából logikus azt firtatni, hogy vajon hány dimenziós a természet, azaz vajon hány fizikai mennyiségből rakható össze bármi, ami a természetben fellelhető és amit egy kohómérnök meg tud alkotni. Azt gondolhatnánk, hogy a választ az SI mértékegységrendszer adja meg, amiben a 7 alapegységhez 7 alapvető fizikai mennyiséghez tartozik

(hossz, idő, tömeg, hőmérséklet, elektromos áram, anyagmennyiség és fényerősség). Szerintem azonban a természetben nem 7, hanem csak 5 alapvető fizikai mennyiség van [1-2]: a hossz, az idő, a tömeg, a hőmérséklet és az elektromos töltés. A fényerősség ugyanis képzett fizikai mennyiség, míg az anyagmennyiség egy tetszőlegesen megválasztott számértéken (az Avogadro-számon) alapul, ráadásul annak definíciójában még számmisztikai elemek is vannak (ezek szerint 1 mol-ban annyi atom van, amennyi 12 g C-12-es izotópban – miért 12 g és miért a C-12-es izotóp?). Az elektromos áram az elektromos töltések áramlási sebessége, ezért az elektromágneses jelenségek jellemzésére érdemesebb a töltést, és nem annak áramlási sebességét alkalmazni. Ezen tudás birtokában tisztább fogalmakkal dolgozik mindenki, aki ezeket elfogadja, így hatékonyabban képes bármi újat kifejleszteni, legyen az természettudományi modell, vagy műszaki alkotás.

Nagyhőmérsékletű anyagokkal foglalkozó kohómérnöként szinte kínálta magát az a kérdés, hogy vajon megfogalmazható-e bármilyen új és hasznos szabály (törvény) a végtelen hőmérséklet határértéken? Ez a költői kérdés kapcsolódott össze kedvenc kutatási területemmel, a fémolvadékok/sóolvadékok termodinamikai leírásával, ahol az oldatok többlet Gibbs-energiájának hőmérsékletfüggése az egyik örökzöld alapkérdés. Nagyszámú kísérleti adat analíziséből szűrtem le azt a tézist, miszerint a reális oldatok a hőmérséklet növelésével az ideális oldat állapot felé tartanak [3]. Ha ez így van, akkor az olvadékok többlet Gibbs-energiájának hőmérsékletfüggését csak olyan egyenlettel illik leírni, ami megfelel ennek a peremfeltételnek. Erre vezettem be egy új, exponenciális függvényt [4], amit a pályatársak eddig 15 binér és ternér rendszeren teszteltek és találtak megfelelőnek. Ezzel a nagy hőmérsékletű olvadékok termodinamikai leírása pontosabbá vált, mint eddig. Ezzel tehát lépéselőnybe került a többiekhez képest mindenki, aki ezt elfogadja és használja.

Miután 2006-ban vezetésemmel



■ 1. ábra. H-indexem alakulása életkorom függvényében. A h-index azon cikkek száma, melyekre legalább ugyanennyi független hivatkozás érkezett. Az én h-indexem tehát azért 22, mert van 22 olyan cikkem, melyek mindegyikére 22, vagy több független hivatkozás érkezett. Statisztikailag a h-index a független hivatkozások négyzetgyökének fele, tehát a 22-es h-indexhez statisztikailag $(22 \cdot 2)^2 = 1936$ független hivatkozás tartozik, ami nagyon közel van a jelenlegi valós értékhez. Mint az ábráról látjuk, 28 és 56 éves korom között a h-indexem növekedése az idő függvényében gyorsuló ütemet mutat. Ez természetesen nem marad örökre így: a függvény idővel telítésbe fog fordulni, különösen azután, hogy az örök vadászmezőkre költözöm, ahonnan nem tudok majd már újabb és újabb cikkeket írni. Jó hír azonban, hogy a h-indexem ekkor is majd csak telítésbe fordul, de csökkenni már nem fog.

megalakult a BAY-NANO Kutatóintézet, majd 2007-ben a Miskolci Egyetemen a Nanotechnológiai Tanszék is, figyelmem a nano-termodinamika felé fordult. Szembesülni voltam kénytelen ugyanis azzal a ténnyel, hogy míg új ötvözetek tervezésénél, vagy akár csak a technológiai folyamatok értelmezésénél rutinszerűen használok én is, kollégáim is az egyensúlyi fázisdiagramokat, addig ezek a nanoméretű rendszerekre hiányoznak. Magyarul nem lehet tudni, hogy a 10 nm-es szemcsékből álló ötvözetnek mennyi az olvadáspontja, csak azt lehet tudni, hogy mennyi az ugyanilyen összetételű, makroszemcsékből álló ötvözet olvadáspontja. A feladat lényegesen komplexebbnek bizonyult, mint azt első ránézésre gondoltam. Végeredményben a következő eredményeket értem el ezen a területen:

1. A Gibbs-energia méretfüggésének leírására a kémia, és a belőle kinőtt kohászat, anyagtudomány és biológia egységesen a Kelvin-egyenletet használja, aminek alapállítása, hogy a nanojelenségek oka a nanoméretű fázisok nagy görbülete (ezen alapul a kohászatban/fémes anyagtudomány-

ban is elterjedten használt Gibbs–Thomson-egyenlet is). Én bebizonyítottam, hogy a Kelvin-egyenlet, és emiatt a Gibbs–Thomson-egyenlet is hibás: a valóságban a nanohatást nem a nanofázisok nagy görbülete, hanem azok nagy fajlagos felülete okozza [5-7]. Ez különösen a görbülettel nem rendelkező kristályok és vékony filmek esetére minőségileg új eredmény.

2. Miután a nanoanyagok Gibbs-energiája méretfüggő, emiatt megváltozik a Gibbs-féle fázisszabály is. Gibbs szerint egy K komponenst tartalmazó rendszerben maximum $(K+2)$ fázis lehet egyszerre egymással egyensúlyban. Ezzel szemben a nanofázisokat (is) tartalmazó rendszerekben maximum $(K+3)$ fázis lehet egymással egyszerre egyensúlyban [8]. Emiatt megváltoznak a fázisdiagramok szerkesztésével és olvasásával kapcsolatos szabályok is.

3. Mivel a nanoanyagok főleg nagy fajlagos határfelületükkel különböznek a makroanyagoktól, a határfelületi energiák ismerete alapvetően szükséges. Ezért új, általános modellt dolgoztam ki minden határfelület típus többlet határfelületi energiájának modellezé-

¹ Nanoanyagnak az olyan anyagot nevezzük, amiben van legalább egy olyan fázis, aminek legalább egyik dimenziója 100 nm-nél kisebb. Ezen anyagok moláris Gibbs-energiája (és ezért összes fajlagos/moláris tulajdonsága) méretfüggő, ami új perspektívát nyit az ötvözet- és anyagfejlesztés előtt.

² Helyhiány miatt itt csak a 2010 eltelt időszak cikkeit adom meg.

sére [9-11]. Ezen túl új levezetését adtam meg a felületi feszültségre vonatkozó Butler-egyenletnek [12], kiterjesztve annak érvényességét a folyadék/gáz felületről minden egyéb határfelületre [13]. A Butler-egyenletet kiterjesztettem a felületi fázisátalakulások számítására is [14].

4. A nanorendszereknek nemcsak egyensúlyi fázisösszetételük, hanem egyensúlyi morfológiájuk (belső szerkezetük) is van, ami felé a kiindulási állapotból a nanofázisokat a határfelületi erők húzzák / vonják. Ezért megteremtettem a határfelületi erők átfogó termodinamikai elméletét, összekapcsolva ezzel Gibbs és Newton tanait [15-16] (lásd a BKL-Kohászatban is [17-21]). Ez az általános elmélet adja meg az alapját a kialakuló nanomorfológiák mérnöki tervezésének. Ez vezetett ahhoz is, hogy a nano- és mikro-szemcsékkel stabilizált habok [22] és emulziók [23] elméletét tisztázni tudtam (erre a két cikkemre kaptam eddig a legtöbb független hivatkozást, 163-at, illetve 123-at).

Fenti elméleti eredmények biztosították az elméleti alapot új típusú, nagy fajlagos felületű (részben nanoszerkezetű) anyagok fejlesztéséhez. Az szinte természetes, hogy az elméleti alapokat a saját kutatócsoportom részére én adom [24-32], az már talán ritkább, hogy több magyar [33-41] és külföldi [42-50], kutatócsoport kísérleti eredményeihez is én adom az elméleti háttérrel. Fenti alapvetési eredményekre alapozva a Bay Zoltán Kft. ma Anyagfejlesztési Osztálynak nevezett részlegének vezetőjeként az elmúlt évtizedben nyolc szabadalmat dolgoztam ki munkatársaimmal együtt, melyeket a Bay Kft. az itthoni bejelentés után egy évvel jellemzően kiterjeszt(ett) az EU-ra, az USA-ra, Kínára és Oroszországra is. Ezek lényege a társfeltalálók megadásával:

- szemcsékkel stabilizált fémemulziók (Kaptay Gy., Budai I., 2008),
- alakos, zárt cellás fémhabok (Bárczy T., Szőke J., Zai P., Zai G., Bárczy P., Kaptay Gy., Mekler Cs., Szirovicza P., Somosvári B., Pintér Z., Budai I., 2009),
- karbon szálakkal erősített, alumínium mátrixú kompozit (Kaptay Gy., Mekler Cs., Stomp D., Baumli P., Budai I., Juhász K. L., Szabó D., Szabó J., 2013),

- hőtároló és hőszállító fémemulziók (Kaptay Gy., Nagy O., 2015.),
 - implantátum célú nyílt cellás titánhab (Szabó D., Kaptay Gy., Szabó J., 2015)
 - katalizátor célú nyílt cellás fémhabok (Kaptay Gy., Szabó D., Szabó J., Petró J., Isaák Gy., 2015),
 - nagy hővezetésű hőtároló anyagcsalád (Baumli P., Kaptay Gy., Mátyás M. P., Vaskó G., Pálkovács J., 2015)
 - kohászati szilícium kristályok tisztítása (Kaptay Gy., Szabó J., Tóth G. B., 2015).
- Végül szeretnék köszönetet mondani a családomnak, szeretteimnek, kollégáimnak és az új akadémikus társaimnak (ezen belül különösen Roósz Andrásnak) a támogatásukért.

Irodalom

- [1] G. Kaptay: JMM B, 47 (2011) 241–246.
- [2] Kaptay Gy.: Magyar Tudomány, 7 (2012) 856–860.
- [3] G. Kaptay: Metall Mater Trans A, 43A (2012) 531–543.
- [4] G. Kaptay: Calphad, 28 (2004) 115–124.
- [5] G. Kaptay: J Mater Sci, 47 (2012) 8320–8335.
- [6] G. Kaptay: J Nanosci Nanotechnol, 12 (2012) 2625–2633.
- [7] G. Kaptay: Int. J. Pharmaceutics, 430 (2012) 253–257.
- [8] G. Kaptay: J. Nanosci. Nanotechnol., 10 (2010) 8164–8170.
- [9] G. Kaptay: Mater. Sci. Forum, 474-474 (2005) 1–10.
- [10] G. Kaptay: Mater Sci Eng A, 495 (2008) 19–26.
- [11] G. Kaptay: Acta Mater, 60 (2012) 6804–6813.
- [12] G. Kaptay: Langmuir, 31 (2015) 5796–5804.
- [13] G. Kaptay: J Mater Sci, 51 (2016) 1738–1755.
- [14] G. Kaptay: Calphad, 29 (2005) 56–67.
- [15] G. Kaptay: J Mater Sci, 40 (2005) 2125–2131.
- [16] G. Kaptay: J. Dispersion Sci Technol, 33 (2012) 130–140.
- [17] Kaptay Gy.: BKL Kohászat, 142 (2009) 3 / 39–46.
- [18] Kaptay Gy.: BKL Kohászat, 142 (2009) 6 / 37–46
- [19] Kaptay Gy.: BKL Kohászat, 142 (2009) 6 / 37–46.
- [20] Kaptay Gy.: BKL Kohászat, 143 (2010) 3 / 33–38.
- [21] Kaptay Gy.: BKL Kohászat, 144 (2011) 5 / 9–13.
- [22] G. Kaptay: Colloids Surfaces A, 230 (2004) 67–80.
- [23] G. Kaptay: Colloids Surfaces A, 282-283 (2006) 387–401.
- [24] G. Levai, M. Godzsák, T. I. Török, J. Hakl, V. Takáts, A. Csik, K. Vad, G. Kaptay: Metall. Mater. Trans. A., 47A (2016) 3580–3596.
- [25] K. L. Juhász, P. Baumli, J. Sytchev, G. Kaptay: J Mater Sci, 48 (2013) 7679–7685.
- [26] P. Baumli, J. Sychev, I. Budai, J. T.

- [27] O. Z. Nagy, J. T. Szabo, G. Kaptay: Intermetallics 26 (2012) 26–30.
- [28] D. Madarasz, I. Budai, G. Kaptay: Metall Mater Trans A, 42A (2011) 1439–1443.
- [29] I. Budai, O. Z. Nagy, G. Kaptay: Coll Surf A, 377 (2011) 325–329.
- [30] I. Budai, G. Kaptay: Intermetallics, 19 (2011) 423–425.
- [31] P. Baumli, J. Sytchev, G. Kaptay: J Mater Sci, 45 (2010) 5177–5190.
- [32] I. Budai, G. Kaptay: J. Mater Sci, 45 (2010) 2090–2098.
- [33] N. Oláh, Zs. Fogarassy, A. Sulyok, M. Veres, G. Kaptay, K. Balácsi: Surf. Coatings Technol, 302 (2016) 410–419.
- [34] Zs. Baji, A. Szanyo, Gy. Molnár, A. L. Toth, G. Pető, K. Frey, E. Kotai, G. Kaptay: J Nanosci Nanotechnol, 12 (2012) 5009–5015
- [35] D. Janovszky, K. Tomolya, M. Sveda, A. Sycheva, G. Kaptay: J Alloys Comp, 615 (2014) S79–S84.
- [36] D. Janovszky, K. Tomolya, A. Sycheva, G. Kaptay: J Alloys Comp, 541 (2012) 353–358.
- [37] T. Sándor, C. Mekler, J. Dobránszky, G. Kaptay: Metall Mater Trans A, 44A (2013) 351–361.
- [38] Z. Weltsch, A. Lovas, J. Takács, Á. Cziráki, A. Tóth, G. Kaptay: Appl. Surf. Sci., 268 (2013) 52–60.
- [39] O. Verezub, Z. Kálazi, A. Sytcheva, L. Kuzsella, G. Buza, N. V. Verezub, A. Fedorov, G. Kaptay: J Mater Process Technol., 211 (2011) 750–758
- [40] M. Reger, B. Vero, I. Kardos, E. R. Fabian, G. Kaptay: Mater Sci Forum, 659 (2010) 44–446.
- [41] Á. E. Horváth, G. Járjai-Szabó, G. Kaptay, R. Vajtai, Z. Neda: Univ. Polit. Bucharest Sci. Bull. – Ser. A – Appl. Math. Phys., 72 (2010) 27–32.
- [42] G. Kaptay, J. Janczak-Rusch, L. P. H. Jeurgens: J. Mater Eng Perform, 25 (2016) 3275–3284.
- [43] G. Kaptay, J. Janczak-Rusch, G. Pigozzi, L. P. H. Jeurgens: J. Mater. Eng. Perform., 23 (2014) 1600–1607.
- [44] A. Yakymovych, G. Kaptay, A. Roshanghias, H. Falndorfer, H. Ipser: J. Phys. Chem. C, 120 (2016) 1881–1890.
- [45] W. Lu, S. Zhang, W. Zhang, G. Kaptay, J. Yu, Y. Fu, J. Li: Scr. Mater, 102 (2015) 19–22.
- [46] Y. Tang, Y. Du, L. Zhang, X. Yuan, G. Kaptay: Thermochim Acta, 527 (2012) 131-142.
- [47] Lekatou, A. E. Karantzalis, A. Evangelou, V. Gousia, G. Kaptay, Z. Gacsi, P. Baumli, A. Simon: Mater Design, 65 (2015) 1121–1135.
- [48] J. B. Ferguson, G. Kaptay, B. F. Schultz, P. K. Rohatgi, K. Cho, C. S. Kim: Metall. Mater Trans. A, 45A (2014) 4635–4645.
- [49] O. L. Galkina, A. Sycheva, I. Blagodatkiy, G. Kaptay, V. L. Katanaev, G. A. Seisenbaeva, V. G. Kessler, A. V. Agafonov: Surf. Coat. Technol. 253 (2014) 171–179.
- [50] A. A. Symonova, O. N. Verezub, A. A. Sycheva, N. V. Verezub, V. L. Havin, G. Kaptay: J. Min. Metall. Sect. B-Metall, 48 (2012) 449–459.