MISKOLCI EGYETEM, ANYAG- ÉS KOHÓMÉRNÖKI KAR,
KÉMIAI INTÉZET, FIZIKAI KÉMIAI TANSZÉK

BÁDER ENIKŐ

HATÁRFELÜLETI ENERGIÁK VIZSGÁLATA A FÉM- ÉS KOMPOZITÖNTÉSZET EGYES TERÜLETEIN

Ph.D értekezés tézisei

Metallurgia doktori program (programvezető: Dr. Voith Márton)
Fémtan alprogram (alprogramvezető: Dr. Roósz András)

Tudományos vezető: Dr. Kaptay György
egyetemi tanár

Miskolc
2000.

1. Bevezetés, célkitűzés

A fémek kristályosításakor és az öntött kompozitanyagok gyártásakor többfázisú rendszerekben játszódó folyamatok sora zajlik, így meghatározó szerep jut a határfelületeknek. A kristályszemcsék, a kristályrészek, a zárványok, a kompozitban lévő erősítőszemcsék, stb. mikro- és nanoméretű részecskékből állnak, amelyeknél már döntő jelentőségűek a felületek minőségével, a felületek nagyságával és tulajdonságaival kapcsolatos kérdések. A határfelületi energiák befolyásolják például a fémek kristályosításakor az olvadékban képződő kristálycsíra kritikus méretét, a penetrációs folyamatokat, a felületi hibák kialakulását, vagy a kompozitgyártás során a mátrix és az erősítőanyag között kialakuló kötés erősségét, valamint a kompozit homogenitását, azaz a végtermékek minőségét, mikrostuktúráját. Emiatt a fém- és kompozitöntészet területén figyelmet kell fordítani a határfelületi jelenségekre. Másfelől a szilárd fázisok nedvesíthetősége olvadékok által és a szilárd - olvadék fázisok közötti adhéziós energia nagysága óriási szerepet játszik a fém- és a kompozitöntészeti folyamatok irányításában és a struktúra kialakításában.

Az öntészetben és kompozitanyag-gyártásban kulcsszerepet játszó jelenségek jelentős része a határfelületi energiák függvényében különböző mértékben és irányban játszódik le. Bizonyos esetekben az irodalomban még ma is élénk vita folyik az adekvát egyenletekről, az azonban egyértelmű, hogy a határfelületi energiáknak kulcs-szerep jut a következő esetekben:

a. A szilárd fém / fémolvadék határfelületi energiának elsősorban a kristálycsíra kialakulására, ezen keresztül a szemcseméret alakulására, illetve a kristályfront - kerámia szemcse kölcsönhatásra van befolyása.
b. A fémolvadékok felületi feszültsége a határfelületi erők többségének nagyságát erősen meghatározza, azonban azok előjelét nem.
c. Fontos szerep jut a kerámiák felületi energiájának, amely mennyiség a peremszögmérésen keresztül (lásd Young-Dupré egyenlet) általában, de nem minden esetben kiváltható.

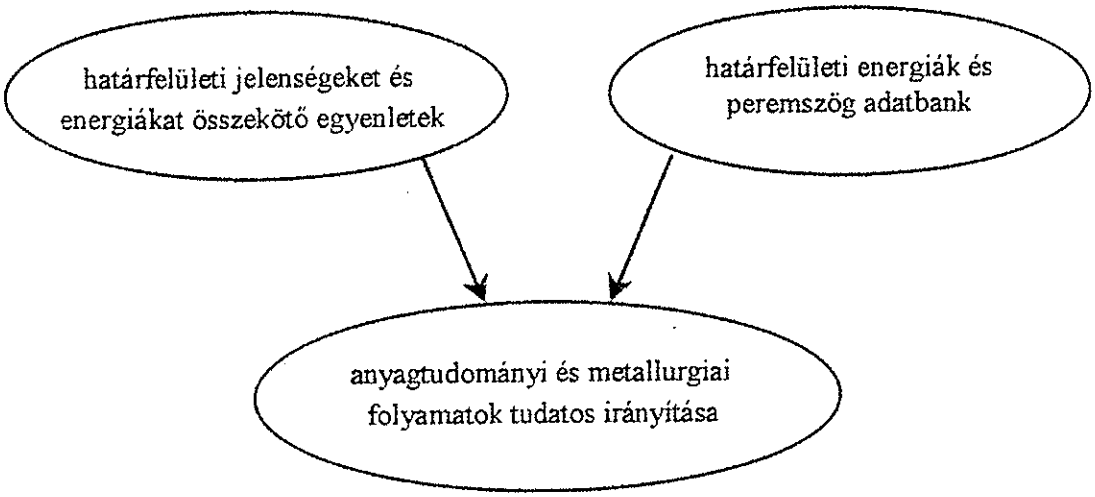
d. A heterogén csíraképződésben és a kristályfront - részecske kölcsönhatásban meghatározó szerepe van a szilárd fém / szilárd kerámia határfelületi energiának, amely nagy hatással van az öntött kompozitok szemcseméretére, az erősítő szemcsék eloszlására, a mátrix és az erősítő fázis közötti kötés erősségére, ily módon a kompozitok mechanikai tulajdonságaira. A szilárd fém / szilárd kerámia határfelületi energia többek között a kerámia / fémolvadék rendszerben érvényes peremszög függvénye.

e. Végül szinte minden határfelületi egyenletben szerepel a kerámia / fémolvadék rendszerben kialakuló peremszög, amelynek értéke nemcsak a határfelületi erők nagyságát, hanem azok előjelét is meghatározza, ezért mind közül ennek - az egyébként önmagában is komplex paraméternek - van a legnagyobb hatása az öntvények és fémmátrixú kompozitok szerkezetére és tulajdonságaira. Ez indokolja, hogy jelen disszertációban ismertetett mérései eredmények és modellek mind ezzel a mennyiséggel, illetve az ebből származtatott adhéziós energiával kapcsolatosak.

Munkám során a határfelületi jelenségek jobb megértését tűztem ki célul, hogy egyes metallurgiai - anyagtudományi feladatok megoldásához segítséget nyújtsak. Dolgozatom elején egy irodalmi összefoglaló található a határfelületi energiákról és jelenségekről. Az irodalmi összefoglalóból kitűnik, hogy a határfelületi adatbank korántsem teljes, ezért elhatároztam az adatbank bővítését a következők szerint:

1. kísérleti úton, illetve modellezés segítségével;
2. konkrét gyakorlati problémák megoldásához kötődő mérésekkel, úgymint:
   a., acél folyamatos öntésének vizsgálata határfelületi szempontból,
   b., határfelületi reakciók vizsgálata nikkel-szuperötvözet irányított kristályosítás során,
   c., határfelületi energiák vizsgálata WC/Cu-Sn ötvözetrendszerben a kompozitgyártás szempontjából.

A határfelületi jelenségeket és energiákat összekötő egyenletek, modellek és az adatbank együttes használata lehetővé teszi az anyagtudományi és metallurgiai folyamatok tudatos irányítását (*1. ábra*).

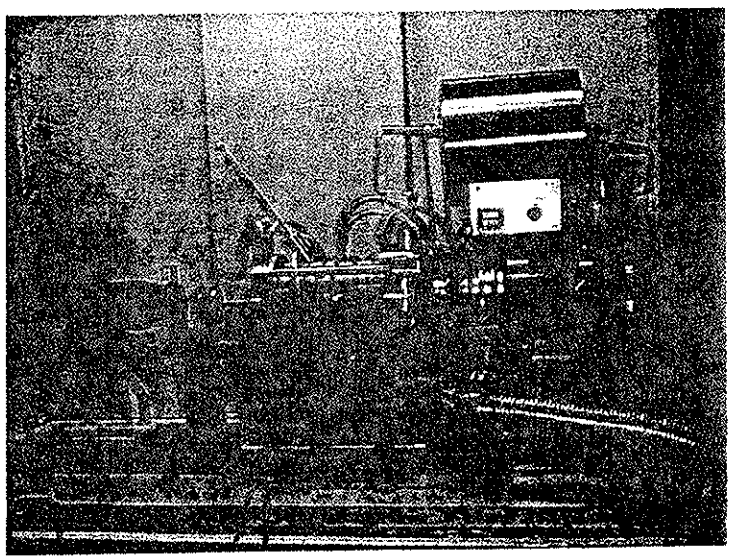


1. ábra

A folyamatok tervezési algoritmusa határfelületi szempontból

2. A kísérleti módszer ismertetése

Az olvadékok és a szilárd anyagok közötti peremszögek meghatározását a Miskolci Egyetem Fizikai Kémiai Tanszékén található átépített Leitz-féle hevítőmikroszkóppal végeztem. A nyugvócsepp módszer megvalósításához szükséges berendezés (*2. ábra)* egy 1500 °C-ig fűthető, vákuumozható vízszintes csőkemencéből áll, amelyben egy vízszintes mintatartón elhelyezhető a vizsgálandó szilárd lapka, rajta a vizsgálandó mintadarabbal.



2. ábra

A nyugvócsepp módszer megvalósításához szükséges berendezés

A műszer optikai rendszerrel, hőmérsékletmérésre szolgáló termoelemmel, vákuumrendszerrel, oxigénszondával, argongáz tisztító berendezéssel és a folyadékcsepp alakjának rögzítésére szolgáló digitális fényképezőgéppel van ellátva. A cserélhető kemencebelsőnek köszönhetően az egyensúlyi peremszög értékét rendszertől függően mérhetjük nagy vákuumban (10^{-8} bar nyomáson) vagy 99,999 %-os tisztaságú, 1 bar nyomású argon atmoszférában is.

Tudományos munkám során a nyugvócsepp módszer megvalósításához szolgáló berendezést az alábbiak szerint fejlesztettük tovább:

- határfelületi jellemzők mérésére alkalmas számítógéppel támogatott rendszer bevezetése (digitális képfeldolgozás), amelynek segítségével az eddigi peremszögmérések ± 8° - os eltérése ± 3°- ra csökkent. További fejlesztésekkel a berendezés alkalmas lesz olvadékok felületi feszültségének mérésére is.
- titánszivaccsal töltött, 900 °C-ra hevíthető kemence beépítése (Dr. Czél György mérnöki segítségével) az argonpalack és a kemence közé, amelyen az argongázt átvezetve annak vízgőz és oxigéntartalma jelentősen lecsökkent, miáltal a kemencetér oxigénmentesebbé, az eredmények pedig pontosabbá váltak;
- cirkónium-dioxid szilárd elektrolitból készült oxigénszonda beépítése a vizsgálandó minta közvetlen közelébe (Dr. Báder Imre és Dr. Czél György mérnöki segítségével) a kemencetérben lévő oxigén parciális nyomásának mérésére, amely jelenleg tesztelés alatt áll.

3. A tudományos eredmények összefoglalása

A kutatásaim során elért tudományos eredményeimet a következő tézisek szerint foglalom össze:

1. Peremszög-adatbankot hoztam létre több száz irodalmi forrás feldolgozásával. Az irodalmi peremszög-adatbank ellenőrzése és bővítése céljából szilícium-nitrid, alumínium-oxid, szilícium-dioxid és volfrám-karbid kerámiák nedvesíthetőségét vizsgáltam fémolvadékok által:
   1.1. Összesen 11 rendszerben új, eddig az irodalomban más által még nem publikált kísérleti eredményt értem el (*1. táblázat*), 7 esetben megfelelő pontossággal (± 10°) megerősítettem az irodalomban talált peremszög értékeket, 4 esetben sikerült feloldanom az ~~ellentmondásos~~ irodalmi adatokat kisebb ellentmondást (*2. táblázat*), és ugyancsak 4 esetben ± 10°-nál nagyobb mértékben tértek el az általam mért peremszögek az irodalmi adatoktól.

1. táblázat

Új, eddig az irodalomban más által még nem publikált kísérleti eredményeim

kerámia	fém	T, °C	Θ, °, ± 3 °
Si_3N_4	Ga	29 - 950	157
		1050	142
Al_2O_3	Ga	400	118
	Ge	940	111
	Sn	400	134
	Bi	400	149
SiO_2	Ga	400	127
	Ge	940	133
	Pb	400	153
	Sb	640	119
	Sn	400	145
	Bi	400	130

2. táblázat

Az irodalomban lévő ellentmondásokat feloldó kísérleti eredményeim

kerámia	**fém**	*T*, °C	**Ellentmondásos irodalmi Θ adatok**	Θ, °, ± 3 °
Si_3N_4	Sn	232 - 900	126 - 169 °	159
	Pb	500	105 - 159 °	161
	Cu	1100	60 - 150 °	160
Al_2O_3	Cu	1100	130 - 170 °	129

2. Nem reaktív fémolvadék - kerámia rendszerekben végzett mérések és adhéziós energia számítások alapján a következőket állapítottam meg:
   2.1. Az általam vizsgált rendszerek közül a szilícium-nitrid kovalens kerámia / fémolvadék rendszerben mértem a leggyengébb adhéziós energiát, amely a London-féle (diszperziós) kölcsönhatásokra utal. Az indukált dipólus - indukált dipólus modell ebben a rendszerben alkalmas az adhéziós energia becslésére.
   2.2. Oxidkerámia / nem reaktív fémolvadék rendszerben egy nagyságrenddel nagyobb adhéziós energiát mértem, amely ion - indukált dipólus kölcsönhatásokra utal. Bebizonyítottam, hogy az irodalomban az oxidkerámia / fémolvadék rendszerekre legelterjedtebben használt indukált dipólus - indukált dipólus modell a helyes adatokkal számítva egy nagyságrenddel kisebb eredményt ad az adhéziós energiára, mint a kísérleti értékek.
   2.3. Oxidkerámia / nem reaktív fémolvadék rendszerben az adhéziós energia meghatározására kidolgoztam egy ion - indukált dipólus modellt, amellyel jól sikerült reprodukálni a kísérleti értékeket:

$$W = W_{d-d} + 7{,}14 \cdot 10^{-29} \cdot \sqrt{c_{Me} \cdot c_o} \cdot \left(\frac{a}{3}\right)^2 \frac{\alpha_{Me}}{(R_{Me} + R_o)^4} \qquad (1)$$

ahol:

W_{d-d} - az indukált dipólus - indukált dipólus modellel számolt adhéziós energia (J/m^2),

c - a felületi atom- vagy ionkoncentráció (db/m^2),

a - anyagminőségtől függő Madelung állandó,

α - polarizálhatósági térfogat (m^3),

R - atom, illetve ionsugár (m),

Me és O indexek a fématomra és az oxidionra vonatkoznak.

2.4. Megállapítottam, hogy rendszertől függően ~~a~~ főként következő kölcsönhatások határozzák meg az adhéziós energiát:

- London-féle (diszperziós) kölcsönhatás (kovalens kerámia / fémolvadék rendszerben);
- Ion - indukált dipólus kölcsönhatás (ionos kerámia / nem reaktív fémolvadék rendszerben);
- Ion-ion kölcsönhatás (ionos kerámia / sóolvadék rendszerben, vagy ionos kerámia / fémolvadék rendszerben, amennyiben a fémolvadék az oldhatósági értékhez közeli mennyiségben tartalmaz oldott oxigént);
- Fémes-fémes kölcsönhatás (fémes kerámia / fémolvadék rendszerben);
- Kémiai kölcsönhatás (kerámia / reaktív fémolvadék rendszerben).

3. Acél folyamatos öntéséhez kapcsolódóan a kristályosító fala - acélolvadék - olvadt öntőpor - gáz 4 fázisú rendszerben kialakuló határfelületi viszonyokat vizsgálva a következő megállapításokat teszem:

3.1. Határfelületi modell segítségével bebizonyítottam, hogy az acél folyamatos öntésekor az acélkéreg kristályosodása az acélfürdő / öntőporolvadék / kristályosító határfelületen indul meg. ~~Hibás tehát Laraudogoitia és szerzőtársai (1998) által ismertetett elképzelés, amely szerint az acélfürdő felszíne és az acélkéreg kristályosodásának kezdete között egy acélolvadék zóna található, melynek hossza megegyezik a kristályosító falára dermedt szilárd öntőpor-kéreg magasságával.~~

3.2. Az általam vizsgált öntőporok és a kristályosító falának anyaga tökéletesen nedvesíti a különböző minőségű acélokat, míg a kristályosító falának megolvasztott anyaga nem nedvesíti a préselt öntőporlapkákat.

3.3. Az öntőporolvadék acélfelületen történő szétterülésének sebessége az acél minőségétől független, az öntőpor viszkozitásától pedig alapvetően nem függ. A szétterülés sebességét elsősorban az öntőpor és az acéllapka között fellépő adhéziós energia határozza meg.

3.4. A sokfajta lehetséges mérés közül kiválasztottam azt, ami a folyamatos öntés szempontjából szignifikáns információval szolgál: azt kell vizsgálni, hogy milyen sebességgel terülnek szét azonos acéllapkákon különböző öntőporolvadékok. A folyamatos öntés céljaira határfelületi szempontból az az öntőpor tekinthető optimálisnak, amelyikre ez a sebesség a lehető legnagyobb.

~~3.5. A felületi hibák leginkább akkor kerülhetők el, ha az acélolvadék hullámzását csökkentjük.~~

4. Egykristály nikkel-szuperötvözet kristályosításakor fellépő határfelületi reakciók vizsgálata során az alábbi következtetéseket vontam le:

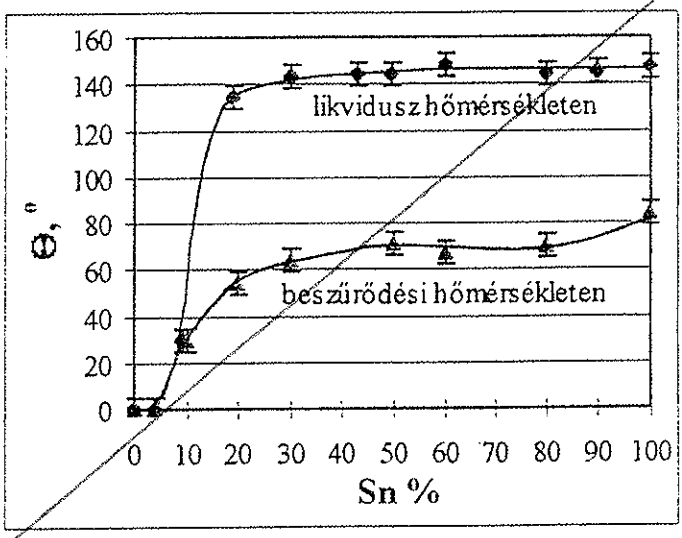
4.1. ~~Nikkel alapú szuperötvözet öntéséhez az ónfürdő, mint hűtőközeg nem~~ alkalmas. Kísérleti eredményeim bebizonyították, hogy az öntvényen kialakuló felületi hibák oka az, hogy amikor a kerámia öntőforma az öntés során megreped, az ón (mivel nagy hőmérsékleten nedvesíti az öntőformát) a repedésen beszivárog és reakcióba lép a nikkel-ötvözettel (többek között Ni-Sn ~~intermetallikus vegyületek sora keletkezik~~).

4.1 Dr Gácsi Zoltán bírálatában adott válaszban megfogalmazott növelnem

4.2. Komplex termodinamikai számítások és határfelületi reakciók vizsgálata alapján a felületi hibák kiküszöbölésére egy új, kétrétegű hűtőfürdőt javaslok: a hűtőfürdő lényegében ólomolvadék, amelynek tetején vékony réteg (kb. 0,01 m vastagságú) $CaCl_2$-$BaCl_2$ eutektikum~~i~~s összetételű sóolvadék akadályozza meg az ólom párolgását. Az ólom a nikkellel monotektikumot alkot, és az ólom a nikkel ötvözőivel sem lép reakcióba. Az ólom és a $CaCl_2$-$BaCl_2$ sóolvadék nem oldja egymást, nem játszódik le reakció közöttük és a kellően nagy sűrűségkülönbség miatt a kloridolvadék a fürdő tetején marad.

5. WC/Cu-Sn rendszerben meghatároztam a határfelületi jellemzőket és az alábbiakat állapítottam meg:

5.1. A kísérleteim során mért peremszögeket a *2. ábrán* tüntettem fel a hőmérséklet függvényében.



1. ábra

A WC/Cu-Sn rendszerben a peremszögértékek a különböző ötvözetek likvidusz hőmérsékletén, illetve a beszűrődési hőmérsékleten az összetétel függvényében

5.2. A porózus volfrám-karbid kerámiát egy T_{krit} hőmérséklet felett az összes Cu-Sn ötvözet (a tiszta komponensek is) nedvesíti. A 840 °C-nál nagyobb likvidusz hőmérsékletű ötvözetek esetén T_{krit} egyenlő a likvidusz hőmérséklettel, míg a 840 °C-nál kisebb likvidusz hőmérsékletű ötvözetek esetén T_{krit} = 840 °C.

5.3. A rendszerben kémiai reakció nem játszódott le. A nedvesítés a fémes tulajdonsággal rendelkező WC kerámia és a fémolvadékok között létrejövő fémes kölcsönhatásnak köszönhető.

5.4. A peremszög értékei nagyban függnek a hőmérséklettől és kevésbé az ötvözet összetételétől. Mindezek alapján várható, hogy 1050 °C (Cu-4Sn likvidusz hőmérséklete) felett az összes Cu-Sn ötvözet tökéletesen nedvesíti a WC kerámiát.

5.5. A WC szemcsékkel erősített Cu-Sn mátrixú kompozit csak akkor lesz megfelelő tulajdonságú, ha a kompozitot a 4 % vagy annál kisebb óntartalmú rézötvözetből gyártjuk.

4. A tudományos eredmények hasznosításának lehetőségei

A tézisekben ismertetett kutatási eredmények új ismeretekkel gazdagítják a metallurgia és az anyagtudomány, ezeken belül pedig a fém- és kompozitgyártás területeit. Az öntvények minőségi mutatói javíthatók és hatékonyan befolyásolhatók az általam bemutatott elméleti háttérrel, amelynek ismeretében jobb minőséget, kisebb önköltséget, kevesebb gyártási selejtet és kisebb környezeti terhelést érhetünk el, növelve az öntvényt előállító üzem termelékenységét, gazdaságosságát és versenyképességét.

A továbbfejlesztett berendezés segítségével a peremszög értéke sokkal nagyobb megbízhatósággal mérhető és kis változtatásokkal az olvadékok felületi feszültségének mérésére is alkalmassá tehető. A továbbfejlesztett peremszögmérő berendezés jól hasznosítható az oktatásban is: a peremszög mérése szerepel a nappali tagozatos mérnökhallgatók fizikai kémiai laboratóriumi gyakorlatai között.

A peremszög-adatbankot, amelyet a metallurgiával és az anyagtudománnyal foglalkozó szakemberek is felhasználhatnak mérnöki munkájuk során saját méréseimmel bővítettem. A fémek öntésével foglalkozó szakemberek számára a bemutatott eredményeim megkönnyítik a folyamatos öntéshez alkalmas öntőpor és az egykristály gyártáshoz megfelelő hűtőközeg kiválasztását, a kompozitöntészeti szakemberek számára pedig egy új anyagpárt javaslok kompozitgyártás céljára.

5. Az értekezés témakörében megjelent publikációk és előadások

Folyóiratban megjelent cikkek

3. G.Kaptay, E.Báder, L.Bolyán: Interfacial Forces and Energies Relevant to Production of Metal Matrix Composites – Materials Science Forum, vols. 329-330 (2000) 151-156.

2. Báder E., Bolyán L., Kaptay Gy., Báder I.: Határfelületi energiák vizsgálata kerámia-fémolvadék rendszerek korróziója szempontjából - Korróziós Figyelő, 1999. 39. évf.. 5. szám, 144-146.

1. Báder E., Kaptay Gy.: Az öntőporok szerepe az acél folyamatos öntésekor - BKL Kohászat, 1999. 132. évf. 6-7. szám, 250-254 o.

Publikációra leadott kéziratok

1. Báder E., Kaptay Gy.: Határfelületi energiák vizsgálata volfrám-karbid / réz-ón rendszerekben a kompozitgyártás szempontjából, BKL Kohászat, elfogadva 2000. május

Konferenciákon elhangzott előadások publikált anyagai

7. E.Báder, G.Kaptay, L.Zoltai: Wettability Studies for the Production of Cu-Sn / WC Composites - Proceedings of International Scientific Conference on Competitive Materials, Technologies and Products (CMTP), 2000, pp. 39-45

6. Báder E., Kaptay Gy.: Volfrám-karbid nedvesíthetősége Cu-Sn olvadt ötvözetek által (Wettability of Tungsten Carbide by Cu-Sn alloys)- Ph.D. Forum (Miskolc, 5 Nov. 1999), Kohómérnöki Kar szekciókiadványa, University of Miskolc, 2000, pp 7-12

5. E.Báder, L.Bolyán, G.Kaptay, G.Zs.Hutkai: Measuring and Modelling of Adhesion Energy between non-reactive Liquid Metals and Oxide Ceramics - Proceedings of MICROCAD '99, Section C: Materials Science and Technology, 1999, pp. 175-179

4. Báder E., Kaptay Gy.: Acél folyamatos öntésekor fellépő határfelületi energiák vizsgálata - Doktoranduszok Fóruma (Miskolc, 1998. nov. 6.), Kohómérnöki Kar szekciókiadványa, Miskolci Egyetem, 1999. 1-6. old.

3.Báder E.: Adhéziós energia mérése és modellezése fémolvadék - oxidkerámia rendszerekben - XXI. Kémiai Előadói Napok Kiadványa, Szeged, 1998. 65-69. old.

2. R.Román, E.Báder, G.Kaptay: Penetration of Molten Calcium Chloride and Magnesium Chloride into Porous Oxide Ceramics and Pressed Fly-Ash Substrates - Proc. of MICROCAD '98 Int. Computer Science Conference, Section C: Materials Science and Technologies, Miskolci Egyetem, 1998, pp. 115-116

1. L.Bolyán, E.Báder, G.Kaptay: Wettability of Aluminium Oxide and Silicon Oxide Ceramics by Liquid Metals - Proc. of MICROCAD '98 Int. Computer Science Conference, Section C: Materials Science and Technologies, Miskolci Egyetem, 1998, pp. 105-106

Konferenciákon elhangzott előadások, poszterek

12. E.Báder, G.Kaptay, L.Zoltai: Wettability Studies for the Production of Cu-Sn / WC Composites - CMTP'2000 (International Scientific Conference on Competitive Materials, Technologies and Products), Miskolc, May 9-11 2000

11. L.Zoltai, E.Báder, G.Kaptay, P.Arató: Wettability of Si_3N_4 by liquid metals – microCAD '2000, Miskolc, February 23-24, 2000

10. Báder E., Kaptay Gy., Bolyán L., Borsik Á.: Határfelületi energiák adatbank az anyagmérnöki tervezéshez – II. Országos Anyagtudományi, Anyagvizsgálati és Anyaginformatikai Konferencia és Kiállítás – Balatonfüred, 1999. október 10 – 13.

9. Kaptay Gy., Báder E., Kelemen K.K., Borsik Á.: Határfelületi jelenségek szerepe a fém/kerámia kompozit és fémhab gyártásban – II. Országos Anyagtudományi, Anyagvizsgálati és Anyaginformatikai Konferencia és Kiállítás – Balatonfüred, 1999. október 10 – 13.

8. E.Bader, G.Kaptay, L.Bolyan, A.Borsik: Modelling of Adhesion Energy between non-reactive Liquid Metals and Oxide Ceramics - Gordon Research Conference on Molten Salts and Liquid Metals, New England College, Henniker, NH, USA, July 25 - 30, 1999.

7. E. Báder, L. Bolyán, P. Barkóczy, R. Gemela, L. Varga, A. Molnár, G. Zs. Hutkainé, Á. Borsik, Gy. Kaptay: Interfacial Criteria during Producing Cast Composites and Databank of Interfacial Energies. 3th International Conference on Solidification and Gravity, Hungary, 26-29 april, 1999.

6. Báder E., Bolyán L., Kaptay Gy., Báder I.: Határfelületi energiák vizsgálata kerámia-fémolvadék rendszerek korróziója szempontjából – VEKOR konferencia, Balatonfüred, 1999. április 13-15.

5. E.Báder, L. Bolyán, G.Kaptay, G.Zs. Hutkainé: Measuring and modelling of adhesion energy between non-reactive liquid metals and oxide ceramics. MICROCAD '99, Section C (Materials Science), held on 25th February 1999, Miskolc, Hungary

4. Báder E.: Adhéziós energia mérése és modellezése fémolvadék - oxidkerámia rendszerekben - XXI. Kémiai Előadói Napok, Fizikai Kémiai Szekció, Szeged, 1998. okt. 26-28.

3. G. Kaptay, L. Bolyán, E. Báder, L. Varga, A.Molnár, P. Barkóczy, H.Z. Göndör: Role of Interfacial Energies During Producing Cast Composites - 63th World Foundry Congress, Hungary, 12-18 september, 1998

2. R.Román, E.Báder, G.Kaptay: Penetration of molten calcium chloride and magnesium chloride into porous oxide-ceramics and pressed fly-ash substrates. MICROCAD '98, Section C (Materials Science), held on 26th February 1998, Miskolc, Hungary

1. L.Bolyán, E.Báder, G.Kaptay: Wettability of aluminium oxide and silicon oxide ceramics by liquid metals. MICROCAD '98, Section C (Materials Science), held on 26th February 1998, Miskolc, Hungary

Tudományos szemináriumokon és üléseken elhangzott előadások, poszterek

8. Kaptay Gy., Báder E., Korposné Kelemen K., Borsik Á.: Határfelületi energiák - határfelülti erők - A Miskolci Egyetem Anyag- és Kohómérnöki Karának tudományos ülésszaka, Miskolc, 2000. aug. 30-31.

7. Báder E., Kaptay Gy.: Határfelületi energiák vizsgálata volfrám-karbid / réz-ón rendszerekben a kompozitgyártás szempontjából - A Miskolci Egyetem Anyag- és Kohómérnöki Karának tudományos ülésszaka, Miskolc, 2000. aug. 30-31.

6. Báder E., Zoltai L., Kaptay Gy., Arató P.: Szilícium-nitrid kerámiák nedvesíthetősége fémolvadékok által - A Miskolci Egyetem Anyag- és Kohómérnöki Karának tudományos ülésszaka, Miskolc, 2000. aug. 30-31.

5. Báder E.: Az adhéziós energia modellje nem-reaktív fémolvadék - oxidkerámia rendszerekben (Modelling of Adhesion Energy in the Systems Containing non-reactive liquid metals and oxide ceramics) - Ph.D. Forum, University of Miskolc, 29 June 2000

4. Báder E.: A szilícium-nitrid kerámia nedvesíthetősége fémek által (Wettability of Silicon Nitride Ceramics by metals) - Ph.D. Forum, University of Miskolc, 29 June 2000

3. Báder E., Gemela R., Kaptay Gy.: Határfelületi energiák vizsgálata WC/Cu-Sn ötvözet rendszerekben - A Miskolci Egyetem 50. Jubileumi Tudományos Ülésszaka, Kohómérnöki kar, MAB, Miskolc, 1999. szeptember 1-2.

2. Báder E., Kaptay Gy.: Az öntőporok szerepe acél folyamatos öntésekor - A Miskolci Egyetem 50. Jubileumi Tudományos Ülésszaka, Kohómérnöki kar, MAB, Miskolc, 1999. szeptember 1-2.

1. Kaptay Gy., Báder E., Molnár A., Hutkainé Göndör Zs.: Acél folyamatos öntésének vizsgálata határfelületi szempontból. 1. Részjelentés beszámoló előadása, Dunaújváros 1999. január. 21.

Kéziratok

2. Kaptay Gy., Báder E., Molnár A., Hutkainé Göndör Zs.: Acél folyamatos öntésének vizsgálata határfelületi szempontból. 1. Részjelentés a Dunaferr Rt részére (1998 ápr. - 1999. Január). 41 o.

1. Kaptay Gy., Bolyán L., Báder E., Hutkainé G.Zs.: Alumíniumoxid és szilíciumoxid kerámiák nedvesíthetősége fémolvadékok által. MKM pályázati jelentés, 10 oldal, 1998. február

Jegyzet

1. Fizikai-kémiai laboratóriumi gyakorlatok. Szerkesztette dr. Báder Imre. Szerző: dr Báder Imre, Báder Enikő, Bolyán László, Dr. Bedő Zsuzsa, Csoma Gáborné, dr. Emmer János, dr. Kaptay György, dr. Lakatos István, dr. Lengyel Attiláné, dr. Raisz Iván, dr. Török Tamás. Miskolci Egyetemi Kiadó, 1998. (saját fejezet: Fémolvadék korróziós hatásának vizsgálata határfelületi jellemzők alapján. 2.4. Laboratóriumi gyalkorlat, 16-20. old.)