

Válaszok Kaptay György professzor úr opponensi véleményére

Tisztelt Professzor Úr! Köszönöm a pozitív és konstruktív bírálatát, amit tisztelettel elfogadok. A bírálatból átemelt konkrét észrevételekre és kérdésekre a következő válaszokat adom.

„A Jelölésjegyzékben sajnos kétszer szerepel a fémolvadék felületi feszültsége, két különböző jellel jelölve (gammával és szigmával). Ugyan mindkét jelölésmódra találunk példát az irodalomban, ez a kettős jelölés nem segíti a megértést, különösen kereszthivatkozás nélkül nem.”

Valóban, köszönöm az észrevételt.

„A 4-5 oldalakon van egy táblázat, aminek az eleje 1.1, míg a vége 1.2 számozást kapott, gondolom ez a szövegszerkesztő szoftver automatikus számozásának köszönhető.”

Igen, automatikus számozás, köszönöm az észrevételt.

„A 7. oldalon azt írja, hogy a gömbhéjakat „mindig 65 tf%-os térkitöltéssel” használta, de ez sajnos (szerencsére) nem igaz, mint ahogy a későbbi fejezetekből kiderül.”

Valóban, eltérő térkitöltésű darabok is előfordultak.

„A 8. oldalon lefordítja az elég szerencsétlen angol (Random Close Packing = RCP) elnevezést „véletlenszerű legsűrűbb illeszkedésű elrendezés”-re. Az elnevezés mindkét nyelven félrevezető, helyette „az egyforma gömbök halmazsűrűsége” a helyes, ami valóban kb. 65 tf%.”

Köszönöm, a továbbiakban ezt a megfogalmazást fogom alkalmazni.

„A 9. oldalon foglalkozik a jelölésekkel, de sajnos nem eléggé, az 58. oldalon például megjelenik egy kiegészítő „O” jel, amiről a bíráló csak sejti, hogy ez az oldó hőkezelésre utalhat.”

Igen, az „O” jelzet az oldó hőkezelt állapotot takarja.

„A 14. oldalon felír egy kémiai reakcióegyenletet (3.2) sorszámmal, amiben szerintem 700°C-on szilárd Si keletkezik a tiszta Al-ból, vagy az eutektikus Al-Si ötvözetből. A valóságban (véleményem szerint) a reakciótermék olvadt Al-ban oldott Si. A szövegből nem derül ki, hogy a -310 kJ/mol DeltaG standard érték-e (valószínűleg az), illetve az sem, hogy a reakcióegyenletben szereplő négy komponens közül melyik 1 móljára vonatkozik ez az érték.”

Valóban, a Si megjelenésének módja a fent leírt, az Al_2O_3 egy móljára vonatkoztatott standard ΔG értékkel. A ΔG értéke pontosítható a SiO_2 megjelenési formájára (amorf vagy kristályos) való tekintettel, értéke -309 kJ/mol és -390 kJ/mol között változhat [17] nyomán (p. 37.).

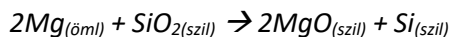
„A 15. oldalon leírja, hogy az AlSi12-SL esetben a (3.2) reakció a „nagy Si-tartalom miatt ... erősen gátolt volt” (kvázi termodinamikailag gátolt, bár ezt a kifejezést nem használja). Véleményem szerint a reakció főleg nem ezért gátolt, hanem azért, mert az oxid/fém határfelületen Al_2O_3 réteg alakul ki, amin át a Si ionok kifelé és az Al ionok befelé való diffúziója kinetikailag gátolt.”

Köszönöm az észrevételt. A megfogalmazáskor arra próbáltam utalni, hogy az ötvözet nagy Si tartalma miatt a diffúziós hajtóerő kisebb volt. Ez a megközelítés azonban valóban nem teljesen korrekt (lásd alább). Ugyanakkor az infiltrálás szempontjából (amely a vizsgálatok fő célja volt) a reaktivitás / nemreaktivitás a döntő és nem annak a termodinamikai vagy kinetikai oka.

„A 3.15d-e ábrákon kimutatja, hogy a határfelület környezetében Mg és Si dúsulás van, ennek okát azonban félreérti. Az ok valójában egy általa fel nem írt kémiai reakció, amiben az AlMgSi1 ötvözet Mg-

tartalma redukálja az oxid SiO_2 -jét, a felületen MgO keletkezik és a rövid kezelési idő miatt a kioldódott Si diffúzióval nem jut messze. Oldó hőkezeléssel maximum a Si-dúsulást tudja homogenizálni, a MgO dúsulást nem. Hasonló Al-dúsulás a határfelületen azért nincs (vagy az azért nem feltűnő), mert mindkét fázis sok Al-ot tartalmaz.”

Köszönöm szépen a megjegyzést, a hiányzó egyenlet az alábbi:



A reakció a 3.2 sorszámú egyenlethez hasonlóan exoterm, a ΔG érték a SiO_2 formájától függően -293 kJ/mol és -347 kJ/mol (a MgO egy móljára vonatkoztatva) között változhat [17] nyomán (p. 37.).

„Az ötvözet Al, Mg és Cu tartalmát érdemes lett volna összehasonlítani és megállapítani, hogy az Al és Mg termodinamikailag reaktív, de a Cu nem az, mint ahogy ezt a 3.16 ábra bizonyítja is (nem látszik Cu dúsulás a határfelületen).”

Igen, a megállapítás kimaradt, köszönöm szépen az észrevételt.

„A 22. oldalon azt írja, hogy a 90 fokos peremszög alatt az infiltráció spontán megtörténik. Ez akkor lenne igaz, ha hengeres pórusokba infiltrálna. Azonban egyforma gömbök közé való infiltráció esetén a határérték más (lásd a bíráló hivatkozott cikkei).”

Igen, a határérték helyesen 50,72°.

„A 25. oldalon leírja, hogy a kémiai reakció hajtóereje a Si tartalom különbsége a mátrixanyag és az erősítőanyag között, ezért az Al-Si eutektikus / alumíniumszilikát rendszer „nemreaktív” tekinthető. Ez sajnos termodinamikailag helytelen. A reakció hajtóereje a valóságban a Si (és az Al) kémiai potenciáljainak a különbsége a két fázis között, ami azért különbözik sok száz kJ/mol-lal, mert az egyik fázis telített oxid, míg a másik fázis fémolvadék. Ezért a rendszer csak kinetikai okokból tekinthető nemreaktív (lásd fent).”

Köszönöm szépen az észrevételt. A megállapításom valóban helytelen az okot tekintve, ugyanakkor, ahogyan korábban jeleztem, az infiltrálás szempontjából a reaktivitás / nemreaktivitás ténye a fontos, amely az infiltrálási időt limitálja (reakció idő).

„A 25. és 27. oldalakon kétszer is leírja, hogy a hőmérsékletet az olvadáspont „felé” emelte. Feltételezem, hogy nem „felé”, hanem „fölé” (tehát nem az olvadáspont közelébe, hanem az olvadáspontnál nagyobb értékre).”

Köszönöm szépen, valóban a „fölé” kifejezés a helyes.

„A disszertáció nagyon értékes része, hogy 50 ms reakcióidejű infiltráló berendezést épített, és így már az 1 s alatt lejátszódó folyamatokat is korrekten tudta vizsgálni, illetve a 4.6 ábrán nagy felbontásban be tudta mutatni, hogy hogyan változik az infiltrációs út a nyomás növelésével 5 s-os kísérlet esetén. Ehhez képest a 27-30 oldalakon bemutatott diszkusszió túlságosan elnagyolt. A 4.1 egyenletben, a szövegben, majd az 1. tézispontban is leírja, hogy az infiltrált úthossz egyenesen arányos az infiltrációhoz használt nyomással (azonos infiltrációs idő, hőmérséklet és minden egyéb feltétel mellett). Ez azonban nem így van. A valóságban az infiltrált úthossz – infiltrációs nyomás diagramon három szakasz különböztethető meg. A küszöbnyomás alatt függetlenül az infiltrációs nyomás értékétől infiltráció nincs (az úthossz zérus), aztán a küszöbnyomás és annak kb. a duplája között az infiltrált úthossz erősen megnő, végül a küszöbnyomás duplája felett az összefüggés valóban lineárisrá válik, ráadásul a három mérési pont extrapolációja valóban kb. a (0, 0) pontba mutat. A (4.1) egyenlet és az 1. tézis tehát csak a küszöbnyomás duplája felett igaz.”

Köszönöm az észrevételt, valóban, ebben az értelemben az infiltrált hossz – infiltrálási nyomás összefüggés három szakaszra bontható. A tézisemben szereplő lineáris összefüggést az általam vizsgált szakaszra gondoltam megfogalmazni, így helyes lett volna az infiltrálási idő tartomány mellett egy infiltrálási nyomás tartományt is kiszabni a tézisben.

„A 4.1 táblázatban szerepeltet egy „a” dimenziómentes paramétert, de annak valójában mm/kPa a mértékegysége.”

Valóban az „a” paraméter mértékegysége mm/kPa, míg a 4.2. táblázatban szereplő „b” paraméter mértékegysége helyesen mm/s^c.

„A 30. oldalon és a 4.7. ábrán bemutatja, hogy az infiltrált úthossz négyzetgyökösen függ az időtől, de ez az összefüggés megint csak akkor igaz, ha a nyomás a küszöbnyomás (vagy annak duplája ?) felett van, ez a kitétel azonban kifelejtődött.”

Valóban, itt is meg kellett volna szabni a nyomástartományt, amire a mérési eredmények (és így esetünkben a belőlük levont következtetések) vonatkoznak.

„A 4.7 egyenletben szerepeltet egy V_{mg} mennyiséget, amiről leírja, hogy értéke 65 tf%. A 4.7 egyenlet azonban csak akkor működik, ha nem 65 tf%-ot, hanem 0,65 térfogatarányt használok.”

Igen, a térfogatarány értékét direkt módon (nem százalékos formában) kell a 4.7. egyenletbe helyettesíteni.

„A 32. oldalon helyesen kiszámítja, hogy az „ideális sűrűség” 1,388 g/cm³, de a 4.9. ábra analízise során nem veszi észre, hogy (különösen nagy nyomások mellett) a valóságban ennél nagyobb sűrűség értékek is adódnak, ami valószínűleg azt jelenti, hogy a gömbhéjakba fém hatolt. Ezt pedig fontos lett volna észlelnie, hiszen ha ez így van, ez a megfigyelés felülről limitálhatná a felhasznált nyomástartományt, amit az 1. tézispontban megadott küszöbnyomás alulról limitál.”

Valóban, az infiltrálás felső nyomáshatára a gömbhéjak törési szilárdságával van összefüggésben (alapvetően sérülésmentes gömbhéjakat feltételezve). Ez a dolgozatból sajnos valóban kimaradt, a dolgozatban leírtakat megalapozó publikációban (a dolgozatomban [44]-es hivatkozás) azonban szerepel (a cikk „Conclusions” szakaszából idézve):

„The infiltration method has an upper and a lower pressure value as process limits. The upper limit connects to the crush strength of the hollow spheres. The lower limit is the threshold pressure, for this best estimation was given by Kaptay and confirmed by the measurements.”

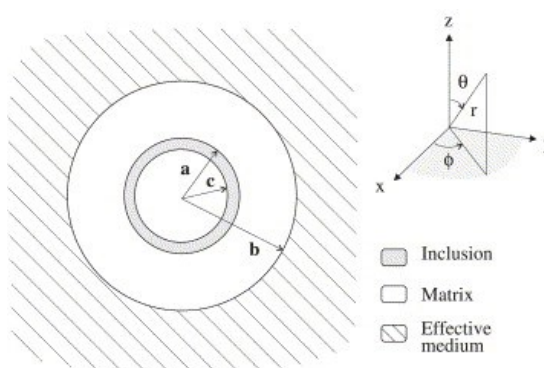
„A 4.9 ábrán a nyomás és a habsűrűség között erősen összevissza összefüggést kap, de a 4.10-12 ábrákon gyakorlatilag lineáris növekedést talál a nyomás és három mechanikai tulajdonság között. Ez utóbbi tehát nem magyarázható a nyomás – sűrűség lineáris összefüggéssel (mivel az nem lineáris). Hogyan magyarázza ezt, különösen annak tudatában, hogy az 1. hivatkozása (Ashby) szerint a fémhabok relatív sűrűségének függvénye? Ha a sűrűséggel nem, akkor mivel magyarázható az infiltrációs nyomás ilyen hatása? Különös tekintettel arra, hogy ez a hatás akkor sem fordul vissza / törik meg, miután a 4.9 ábra szerint a gömbhéjak összetörtek és fém hatolt beléjük (lásd fent).”

A 4.9. ábrát tekintve a $t=5$ s, illetve a $t=9$ s kivételével a nyomás – sűrűség kapcsolat lineárisnak tekinthető, szórássávon belül mindenképpen. A fenti kivételek esetében a hatás megjelenik a 4.10. ábrán bemutatott nyomószilárdságon is, ráadásul azonos előjellel, a középső nyomás értéket tekintve a nyomószilárdság kisebb, illetve nagyobb, mint az ideálisan várható lenne.

Ashby a fémhabok tulajdonságait tekintve valóban a relatív sűrűséget határozza meg a hivatkozott munkájában ([141] és hivatkozás a dolgozatban, „4.4 Scaling relations” fejezet, 4.2 táblázat), ugyanakkor fontos leszögezni, hogy ezek a megállapítások csak a klasszikus nyílt cellás és zártcellás fémhabokra vonatkoznak, a kerámia gömbhéjakat tartalmazó, szintaktikus fémhabokra nem. Pontosabban fogalmazva, tudomásom szerint nem vizsgálták a hivatkozott műben szereplő összefüggéseket erre az esetre.

„Mint fent írtam, az 5-8 fejezeteknek nem vagyok szakértője. Ezekkel kapcsolatban csak azon csodálkozom, hogy az 5.18 ábrán a vonalak miért nem a 74 %-os (és miért 100 %-os) térkitöltésnél adnak közel zérus effektív rugalmassági modulust arra az esetre, amikor rideg, azonos méretű, gömb alakú kerámiagömbök térkitöltéséről van szó. A lineáris összefüggést a perkolációs összetétel (kb. 18 tf %) és a szoros térkitöltés (74 tf%) között várom.”

A szakirodalomban szereplő mechanikai modellek úgynevezett egységcella modellek, amelyek tipikus megjelenési formáját mutatja be az alábbi ábra.



Szintaktikus fémhabok egységcella modellje [124]

Az ábrában látható, hogy az egységcella egy gömbhéjból („inclusion”) és a körkörös elhelyezkedő mátrixból („matrix”) épül fel és egy környező közegbe („effective medium”) helyezik el. Ilyen értelmezésben megvalósítható az egységcellán belüli 100%-os térkitöltés. Természetesen ilyen eset gömb alakú erősítőanyagot feltételezve fizikálisan nem állítható elő és az elméleti 74%-os térkitöltés felett mérés nem ellenőrizhető. Ugyanakkor, ahogyan azt a méréseink mutatják jó közelítést adnak a kísérletileg is előállítható és vizsgálható szintaktikus fémhabok esetére.

Remélem, hogy a fenti válaszok megfelelnek Professzor Úr észrevételeire és kérdéseire, továbbá köszönöm a téziséről alkotott véleményét.

Budapest, 2018. február 23.

Orbulov Imre Norbert