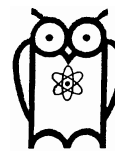




MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT
3515 MISKOLC Egyetemváros



**Alumínium-karbon rendszer nedvesítésének
vizsgálata, valamint kompozit készítés $\text{KCl-K}_2\text{TiF}_6$
és $\text{KI-KCl-K}_2\text{TiF}_6$ összetételű sóolvadékok alatt**

Készítette:

Juhász Koppány Levente

Konzulensek:

Dr. Baumli Péter

Dr. Kaptay György

Anyagtudományi Intézet
BZAKK – Nanotechnológiai Kutatóintézet

2011. november

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Irodalmi áttekintés.....	3
3. Karbon nedvesítése alumínium által, sóolvadék alatt	5
3.1. Kísérleti körülmények.....	5
3.2. Grafit/alumínium/KI-KCl-10 m/m % K_2TiF_6 rendszer vizsgálata	7
3.2. Grafit/alumínium/KCl-10 m/m % K_2TiF_6 rendszer vizsgálata.....	12
3.3 . A KI-KCl-os és a KCl-os rendszer összehasonlítása.....	14
4. Szénszál/alumínium/KI-KCl-10 m/m % K_2TiF_6 rendszer vizsgálata.....	16
5. Összegzés.....	19
6. Felhasznált irodalom	20

1. Bevezetés

Kutatásom témája szénszál erősítésű alumínium mátrixú kompozit anyagok létrehozása. Ezen anyagok létrehozásánál alapvető nehézséget jelent, hogy az alumínium olvadék nem nedvesíti a karbon felületeket. A két fázis között a nedvesítés javítására az ipar számos lehetőséget ismer, mint például túlhevítés, nagyvákuum alkalmazása, ötvözők használata, sóolvadékok alkalmazása. Munkám során a sóolvadékokat mint segédfázist használtam kompozit létrehozására, ezzel biztosítva egyrészt az olvadék felületén lévő oxidhártya feloldását, illetve a további oxidáció megakadályozását. A sóolvadékok segítségével valós alumínium-karbon határfelület hozható létre, ezzel javul a két fázis között a nedvesítés mértéke.

Munkám során több, különböző összetételű sóolvadékot alkalmaztam, korábbi TDK-munkám során a $\text{KI-K}_2\text{TiF}_6$, jelenleg pedig a $\text{KCl-K}_2\text{TiF}_6$ és $\text{KI-KCl-K}_2\text{TiF}_6$ rendszereket vizsgáltam, ahol a sókeverék minden esetben 10 m/m% K_2TiF_6 -t tartalmazott, ilyen rendszerekben ugyanis bizonyos esetekben jelentősen megnőtt a nedvesítés mértéke már alacsony só/Al tömegarány esetén is.

Első lépésben azt vizsgáltam, hogy az előbb említett összetételű sóolvadékok alatt az alumínium olvadék hogyan nedvesíti szénüveg, valamint grafit felületét. Ezen előkísérletek során meghatároztam, hogy milyen só/Al tömegarány mellett éri el az alumínium a szénüveg illetve grafit felületén a tökéletes nedvesítésnek megfelelő 0° -os peremszög értéket. További kutatásaimban az előkísérletek során meghatározott só/Al tömegarányt figyelembe véve készítettem alumínium mátrixú szénszál erősítésű kompozitot.

2. Irodalmi áttekintés

A szén - köszönhetően a kis sűrűségének és jó szilárdsági jellemzőinek - különböző formáiban (szemcsék, szálak, nanocsövek, stb.) értékes erősítő fázis lehet kompozitoknál, különösen ha egy viszonylag alacsony sűrűségű fém mátrixba ágyazzuk, mint például a korrózióálló alumínium. Így kaphatunk karbon erősítésű alumínium (C/Al) kompozitokat [1-5].

Az Al/C kompozitok gyártása során a legfőbb probléma a rossz nedvesíthetőség a karbon és az alumínium között. A grafit/alumínium olvadék rendszer egyensúlyi peremszöge

700°C-on 120° és 160° között van, főleg az oxidhártya miatt, amely az Al-olvadékokat és az Al-olvadék - karbon határfelületet borítja [6-10]. Magas hőmérséklet (körülbelül 1000°C) és nagyvákuum egyidejű alkalmazásával az oxidréteg eltávolítható, és az egyensúlyi peremszög 50°-70° közötti értékű lesz a rendszerben [7-12].

Az Al/C rendszerben a fentebb bemutatott feltételek mellett egy 1-20 mikrométer vastagságú alumínium-karbid (Al_4C_3) réteg alakul ki az Al/C határfelületen. Az irodalomban található adatok alapján megállapítható, hogy a megnövekedett nedvesíthetőség az újonnan kialakult Al/ Al_4C_3 határfelületnek az eredménye [24]. Az Al_4C_3 kompozit készítés szempontjából nem kívánatos, mivel rideg, ezen kívül vízzoldékony, így a kész kompozit mechanikai tulajdonságait nagymértékben rontja ennek az anyagnak a jelenléte. Az Al_4C_3 keletkezését vissza lehet szorítani vagy teljesen ki is lehet küszöbölni, ha az alumíniumot olyan elemekkel ötvözzük, amelyek stabilabb karbidokat képeznek, mint az alumínium. Az irodalomban bemutatott kutatásokban sikeresen próbálkoztak szilícium [9] és titán [9] alkalmazásával. Azonban tökéletes nedvesítést, vagyis a 0°-os peremszöget nem sikerült elérni ezen kísérletek során [9,10].

Az alumínium olvadék a karbon felületeket jól nedvesíti, ha a karbon felületet fém, vagy fémszerű kerámia bevonatot hozunk létre [25]. Egyes fémeket, mint pl. nikkelt [13], rezet [14] és titánt [8], és egyes kerámiákat, mint pl. titán-diborid [8] már sikeresen alkalmaztak ilyen téren. Ezen bevonatok előállításánál során, technológiai szempontból az a probléma, hogy egy plusz lépést kell beiktatni, mivel a bevonatokat általában vizes közegben hozzák létre. A bevonattal ellátott szemcséket, szálakat a bevonás után szűrni, majd szárítani kell. Viszont a probléma, hogy az alumínium olvadék felületét oxidhártya fedi még mindig fenn áll. Vagyis, amikor a szemcséket, vagy szálakat a fémolvadékba juttatják, az erősítő fázisnak szánt anyag és az olvadék között nem jön létre valós határfelület mivel közöttük jelen lesz az alumínium oxid réteg. Bevonat kialakítására ezért olyan technológiát kell választani, amelyben in-situ tudjuk létrehozni a bevonatot, majd rögtön az adott rendszerben a kompozitot is létre tudjuk hozni. Ilyen technológiai rendszer lehet, ha sóolvadékokat használunk a kompozit gyártás során.

Sóolvadék segédfazist alkalmazása általános alumíniumötvözetek készítésénél, leggyakrabban azért, hogy eltávolítsák az oxidhárttyát az alumínium felületéről, valamint hogy eltávolítsák az oxidos zárványokat az alumíniumból [26]. Ezen kívül találhatóak az irodalomban olyan cikkek, melyekben vizsgálták a karbon különböző alumíniumötvözetek általi nedvesíthetőségét védősók alatt [15].

Egyik alkalmazott sókeverék a $\text{KAlF}_4\text{-K}_3\text{AlF}_6$ volt, melyet tiszta alumíniumolvadék

felett, eutektikus összetételben használtak. Ennek a sóolvadéknak a hatására az alumínium kevésbé nedvesíti a grafit szemcséket 800°C-on [15]. Abban az esetben, ha az alumíniumolvadékokat 5 tömegszázalékban ötvözték Ti, Hf, V, Nb, Ta vagy Mg-mal, akkor tökéletesen nedvesít grafitfelületeket NaCl-KCl védősó alatt, 900°C-on [27]. Más kutatók Al-Ti és Al-Ti-B ötvözetek viselkedését vizsgálták. Azt tapasztalták, hogy KF-AlF₃ és kriolit-alumínium-oxid olvadék alatt az Al-ötvözet tökéletesen nedvesíti a grafit olvasztótégely falát [28]. Azonban ezek az eredmények ezekben a vizsgálatokban [28] a nedvesítést csak nemkívánatos mellékfolyamatként vizsgálták, de nem tárgyalták részletesen.

Az utóbbi időben abban a kutatócsoportban, amelyben TDK munkámat is készítettem, sikerült elérni, hogy az alumíniumolvadék tökéletesen nedvesítse a karbon különböző alkál-klorid olvadékok (LiCl, NaCl-KCl, CsCl) alatt, mely fedősók kálium-hexafluorotitanátot is tartalmaztak (K₂TiF₆) [5, 16]. Ezek a sóolvadékok több funkciót töltenek be: az alumínium-karbon határfelületről az oxidréteg eltávolításán kívül biztosítják az alumínium in-situ ötvöztetését titánnal, valamint egy fémes jellegű TiC bevonat létrejöttét a C/Al határfelületen, amely biztosítja a tökéletes nedvesítést a rendszerben. A TiC alumíniumolvadék általi tökéletes nedvesítése védősó alatt már ismert tény [17, 18-21].

Ahogy a fentiekben tárgyaltam, különböző olvadt, kálium-hexafluorotitanátot tartalmazó alkál-klorid olvadékok alatt vizsgáltam az alumínium nedvesítését karbon felületen. A kutatás célja az volt, hogy tanulmányozzuk a só anionjának hatását az alumínium/karbon rendszer nedvesítési tulajdonságára, miközben a titánionok forrását meg hagyjuk (K₂TiF₆). Mivel ez utóbbi só káliumot is tartalmaz, úgy döntöttünk, kálium-halogenidek anionjainak hatását vizsgáljuk a későbbiekben. A rendszer tehát minden esetben úgy írható fel, hogy KX-10 w%K₂TiF₆ /Al/C, ahol X lehet Cl, I, Cl-I, mint kálium-jodid, kálium-klorid, valamint a kettő ekvimoláris keveréke.

3. Karbon nedvesítése alumínium által, sóolvadék alatt

3.1. Kísérleti körülmények

Kísérleteimhez kohóalumíniumot használtam, 99,7 tömegszázalék tisztaságú volt. A felhasznált sók (KI, KCl, és K₂TiF₆) 99,5%-os tisztaságúak voltak. A minta megolvasztásához kis, henger alakú, felül nyitott grafit olvasztótégelyeket használtam,

melyek belső átmérője 13,7 mm, külső átmérője 30 mm, magassága szintén 30 mm volt. Porozitása 15% alatti. A kísérletek során továbbá argon gázt használtam, mely 99,998% tisztaságú volt.

A kísérletek során először egy kb. 0,3 g tömegű alumíniumot NaOH oldatban megtisztítottam, zsírtalanítottam, majd desztillált vízzel, valamint alkohollal leöblítettem. A mintadarabot ezután megszáritottam, majd a grafit olvasztótégely aljába helyeztem. A sókeveréket úgy készítettem, hogy 10 m/m% kálium-hexafluorotitanátot, és 90 m/m% kálium-halogenidet tartalmazzon (KI, KCl, vagy ekvimoláris mennyiségű KI-KCl). Kísérleteim során az egyik fő paraméter a só/alumínium tömegarány volt, melyet a nedvesítési kísérletek során 1-10 között választottam, a kompozit készítési kísérletekhez pedig a nedvesítési kísérletek alapján választottam ki a megfelelő tömegarányt. A sókeverék komponenseit lemértem, megőröltem, majd az Al-darab felületére szórtam az olvasztótégelybe. Az olvasztótégelyt egy nagyobb, rozsdamentes acél cellába helyeztem. A cellát függőleges helyzetben egy ellenállásfűtésű kemencébe helyeztem.

Az olvasztás előtt minden esetben egy szárítási periódus volt, mely során 24 órán keresztül 120°C hőmérsékleten tartottam a cellát, mialatt többször levákuumoztam azt, majd kiöblítettem argonnal, hogy az oxigéntől lehetőleg minél jobban megszabaduljunk. Ezután a cellát 300°C-ra fűtöttem, ahol egy órás hőntartás közben ismét átöblítettem argonnal, majd argon alatt felfűtöttem a kemencét a 800°C-os kísérleti hőmérsékletre. Ezt a hőmérsékletet egy órán keresztül tartottam, majd a kemencét kikapcsoltam, és hagytam kihűlni a rendszert. Miután a rendszer szobahőmérsékletűre hűlt, az olvasztótégelyt kivettem a cellából, majd desztillált vízzel megtisztítottam a sótól. Ezután a tégelyt a benne lévő Al-mintával megszáritottam, félbevágtam és lefényképeztem. Az egyensúlyi peremszöget a megszilárdult Al csepp alakjából, szoftveres úton állapítottam meg, feltételezve, hogy a csepp alakja jellemzően nem változik a hűlés és megszilárdulás közben. Ezekből kiindulva rossz, jó és tökéletes nedvesítést különböztethetünk meg. Az így meghatározott peremszög értékek ± 5 fok pontosságúak.

3.2. Grafit/alumínium/KI-KCl-10 m/m % K_2TiF_6 rendszer vizsgálata

Ennek a kísérletnek a kísérlet célja annak a vizsgálata volt, hogy KI-KCl-10 m/m % K_2TiF_6 összetételű sókeverék alatt az alumínium hogyan nedvesíti a grafittegely falát. A só/alumínium tömegarányt úgy állítottam be, hogy egytől kilencig egész számonként változzon.

A következő 5 felvételen bemutatom, hogy az egyes alumínium/só tömegarányok mellett hogyan változik az alumínium olvadék alakja a grafiton, azaz hogyan változik a nedvesítés.

Az 1. ábrán látható, hogy az alumínium a kísérlet alatt nem folyt szét, olyan, mintha nem olvadt volna meg. Ennek oka, hogy a sóolvadék mennyisége nem elégséges ahhoz, hogy az oxidhártya feloldódjon, így az, az olvadt fém nem engedi szétterülni.



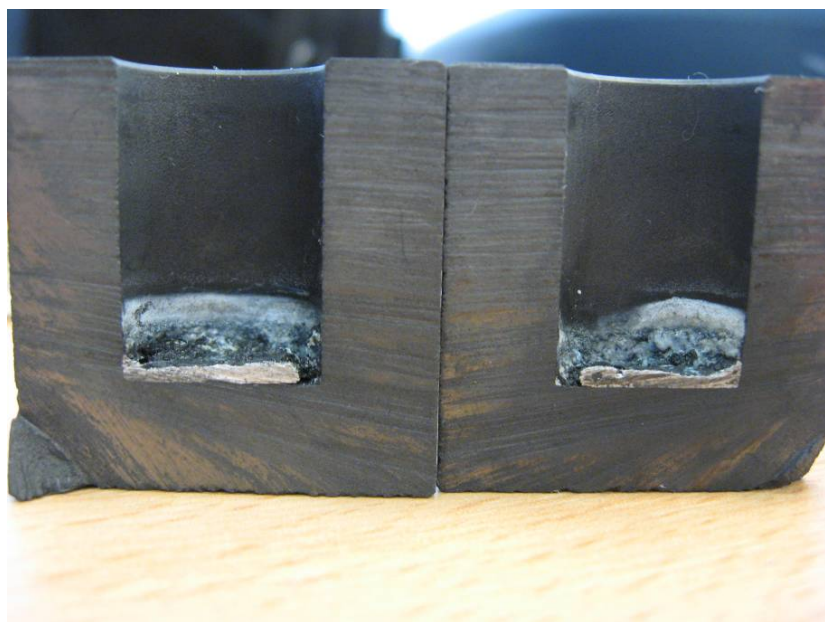
1. ábra: Ekvimoláris KI-KCl – 10% K_2TiF_6 alatt kezelt alumínium a grafittegelyen, tömegarány: 1



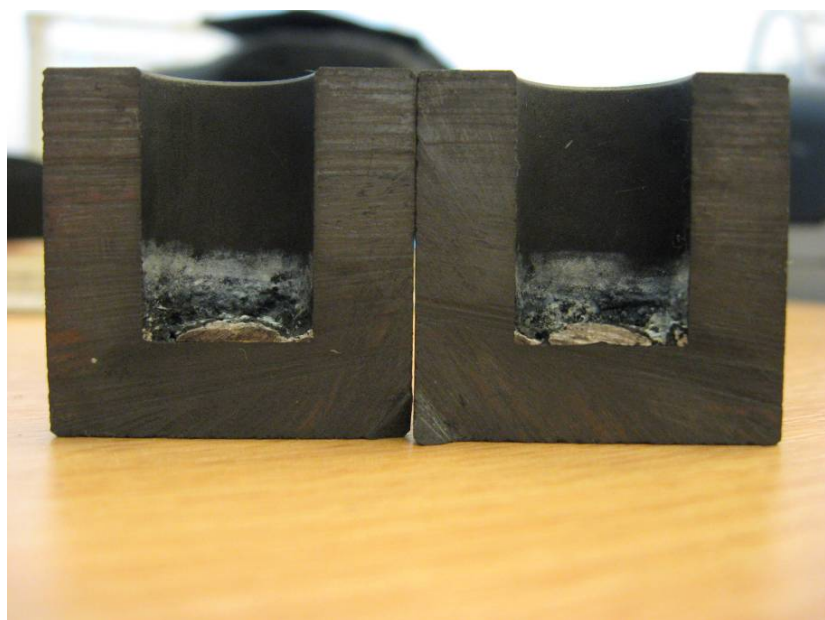
2. ábra: Ekvimoláris KI-KCl – 10% K_2TiF_6 alatt kezelt alumínium a grafittégelyen, tömegarány: 2



3. ábra: Ekvimoláris KI-KCl – 10% K_2TiF_6 alatt kezelt alumínium a grafittégelyen, tömegarány: 3

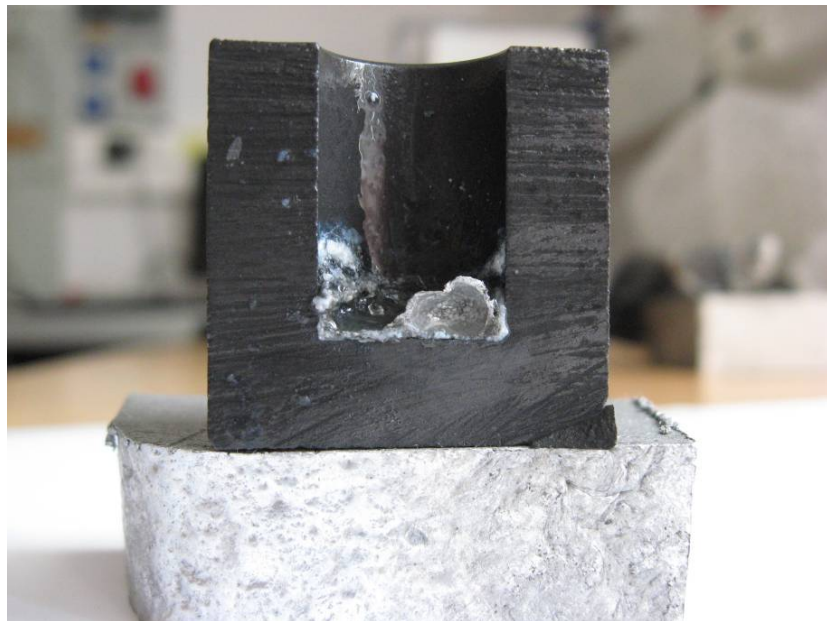


4. ábra: Ekvimoláris KI-KCl – 10% K_2TiF_6 alatt kezelt alumínium a grafittegelyben,
tömegarány: 4

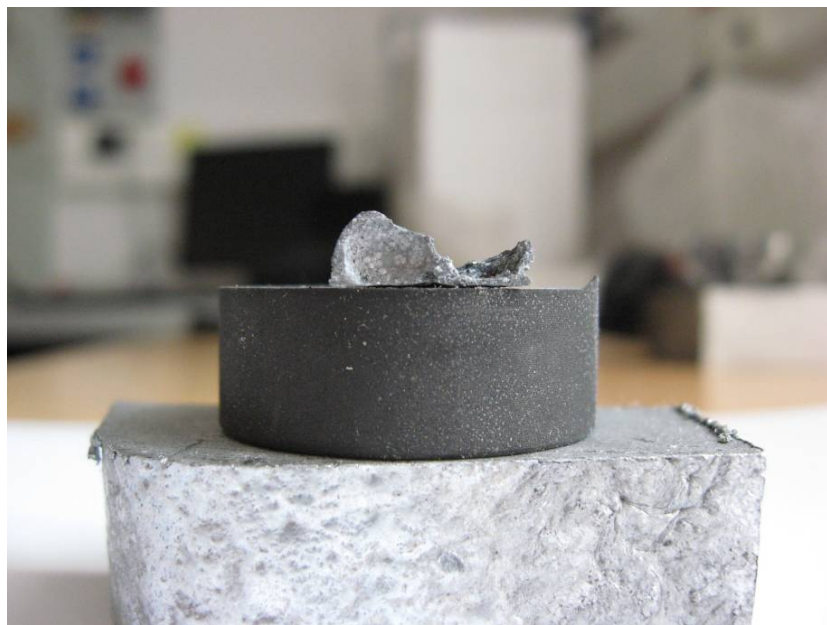


5. ábra: Ekvimoláris KI-KCl – 10% K_2TiF_6 alatt kezelt alumínium a grafittegelyben,
tömegarány: 5

A 2-3. ábrákon szintén azt látjuk, hogy a fémolvadék az oxidhártya miatt nem nedvesíti a grafit felületét. Azonban a 4. és az 5. ábrán már jól látható, hogy a fémolvadék elterül a grafit felületén, és nedvesíti azt.



6. ábra: Ekvimoláris KI-KCl – 10% K_2TiF_6 alatt kezelt alumínium a grafittegelyben, tömegarány: 6



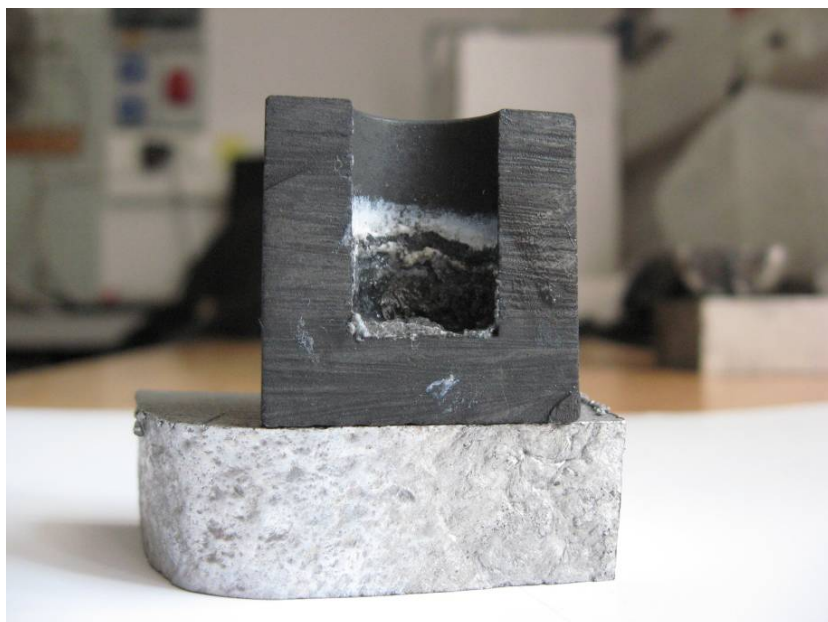
7. ábra: Ekvimoláris KI-KCl – 10% K_2TiF_6 alatt kezelt alumínium, tömegarány: 6



8. ábra: Ekvimoláris KI-KCl – 10% K_2TiF_6 alatt kezelt alumínium a grafittegelyben, tömegarány: 8

A hatos tömegarányú mintában rendkívüli méretű zárványt figyelhetünk meg (7. és 8. ábra), nagy méretű zárványt legközelebb a 8-as tömegarányúnál láthatunk. Egyéb érdekesség még, hogy a 8-as tömegarányú mintánál a zárvány nem sózárvány volt, hanem az üreg teljesen üres volt, nem volt belezáródva só. Azonban megfigyelhető az üreg falán egy kisebb méretű lyuk, lehetséges hogy a buborék eredetileg sózárvány volt, a só azonban a lyukon keresztül a vizes tisztítás során eltávozott.

Hasonló módon hatos tömegaránytól felfelé szintén nem találtunk sót a zárványokban. A nedvesítési vizsgálatok eredménye, hogy a továbbiakban kompozitgyártáshoz maximum az ötös só/alumínium tömegarány lesz megfelelő.



9. ábra: Ekvimoláris KI-KCl – 10% K_2TiF_6 alatt kezelt alumínium a grafittegelyben, tömegarány: 9

3.2. Grafit/alumínium/KCl-10 m/m % K_2TiF_6 rendszer vizsgálata

Az előzőekben bemutatott kísérletsorozatot megismételtük, úgy, hogy KI-KCl ekvimoláris keveréke helyett tisztán KCl-t használtunk, 10m/m% K_2TiF_6 mellett. A só/alumínium tömegarányt ezen kísérleteknél 1-től 11-ig változtattam, egész számonként.

A kísérlet eredménye, hogy KCl-t használva szemmel láthatóan még ötös só/alumínium tömegarány esetén sem nedvesíti az alumínium a grafit olvasztótégely falát (10.ábra).



10. ábra: $KCl - 10\% K_2TiF_6$ alatt kezelt alumínium a tégelyen, tömegarány: 5

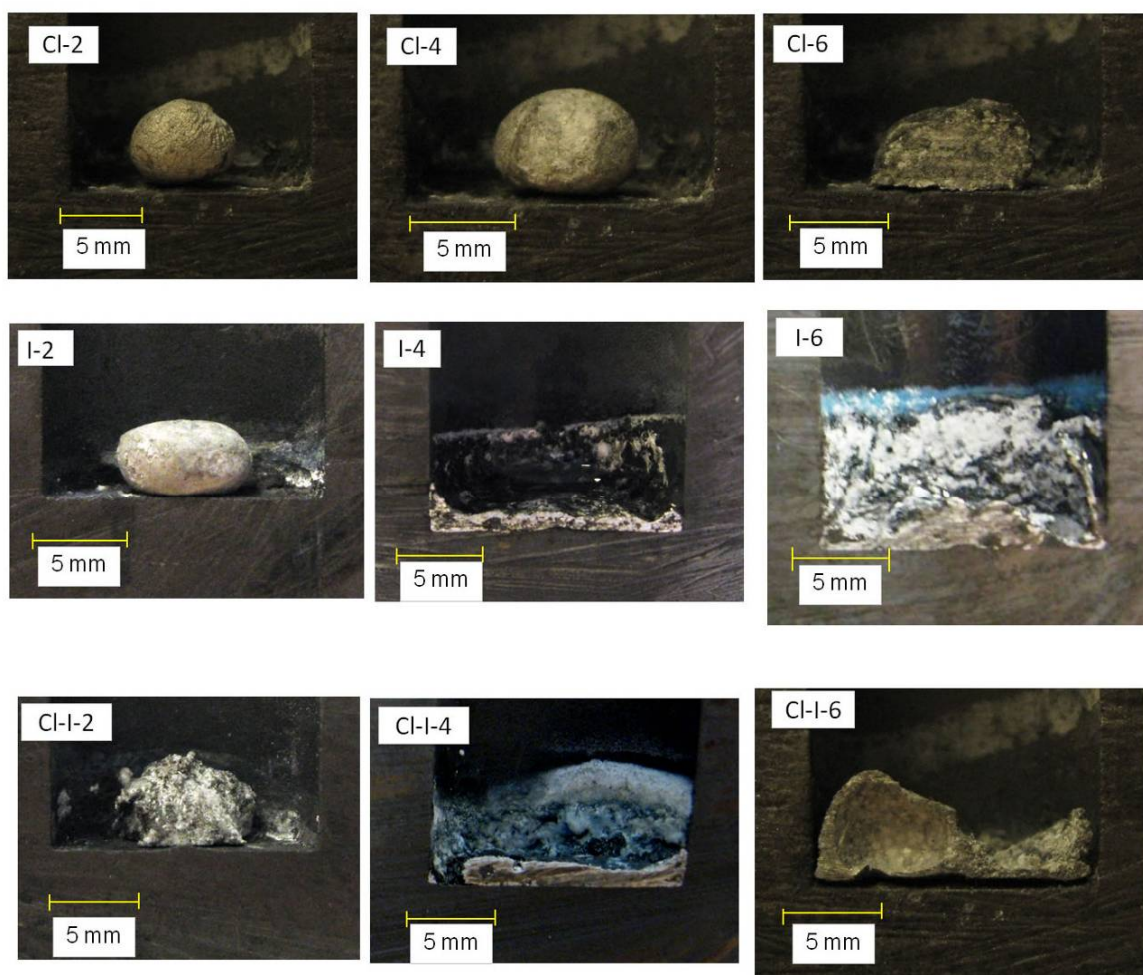
Továbbá megfigyelhető, hogy hatos tömegarány környékén az alumínium még éppen nem nedvesít, ettől nagyobb tömegarány esetén viszont, amikor az alumínium a grafit tégelyt tökéletesen nedvesítené. A minta azonban ilyen tömegarányok mellett könnyen forgácsolódik, darabjaira hullik, a mechanikai tulajdonságai leromlanak.



11. ábra: $KCl - 10\% K_2TiF_6$ alatt kezelt alumínium a tégelyben, tömegarány: 9,37

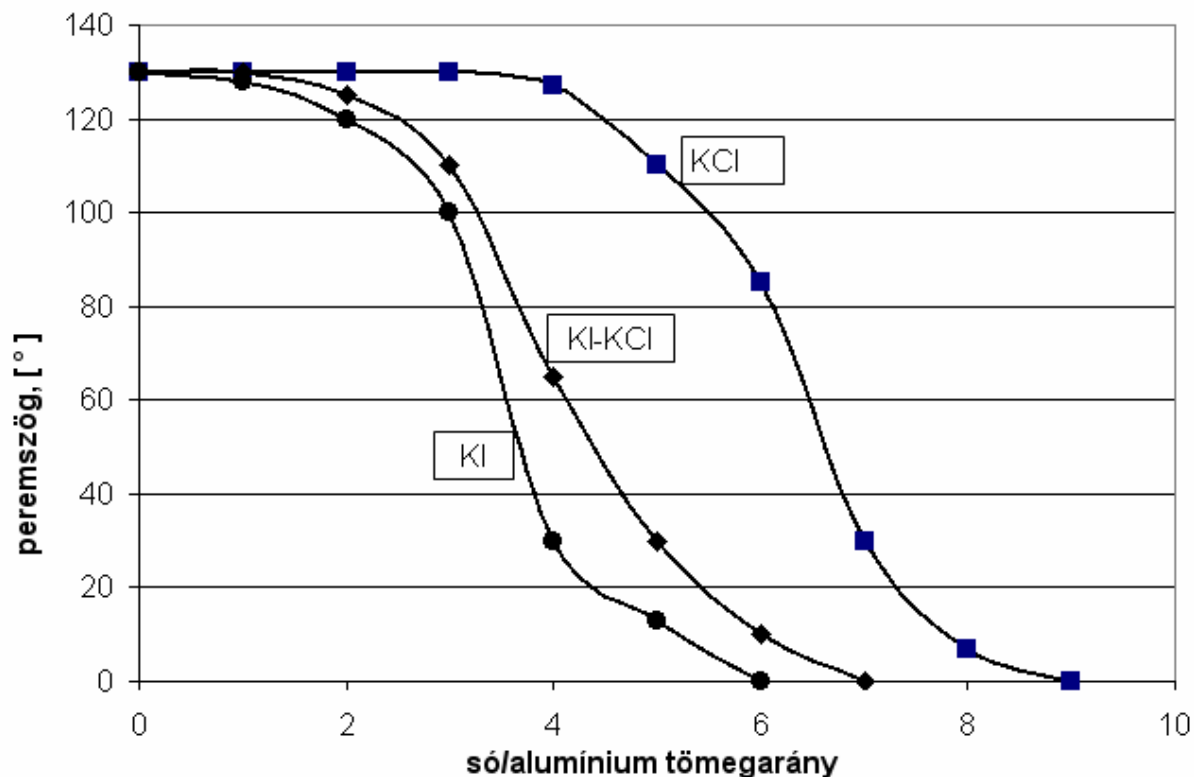
3.3 . A KI-KCl-os és a KCl-os rendszer összehasonlítása

- Az Al/C rendszer egyensúlyi peremszöge alapállapotban (sóolvadék alkalmazása nélkül) kb. 130° , amely egyezik az irodalmi adatokkal **6-10**].
- Ha a só/alumínium tömegarány értéke három alatti, az Al/C peremszög 90° felett van.
- A só/alumínium tömegarány további növelése a peremszöget csökkenti, amely egy kritikus só/alumínium tömegarányál el is éri a 0 fokot, azaz tökéletes nedvesítés történik.
- A kritikus só/alumínium tömegarány a KCl-10% K_2TiF_6 esetén a nagyobb, mint KI-KCl-10% K_2TiF_6 esetén.



12. ábra: Összefoglaló táblázat; Az alumínium minták a grafittégelyben a kísérletek után, különböző kálium-halogenidek alkalmazásánál. Felső sor: KCl-10% K_2TiF_6 , középső sor: KI-10% K_2TiF_6 , alsó sor: KCl-KI- K_2TiF_6 . A tömegarányok: bal szélső oszlop: 2, középső oszlop: 4, jobb szélső oszlop: 6

Végkövetkeztetésként elmondható, hogy a tiszta KI-ot használva az ekvimoláris KI-KCl keverék helyett, valamivel alacsonyabb tömegarányal alakíthatunk ki kompozitot. Az előző TDK-dolgozatomban ismertetett KI-os összetételű sókeverékkel összevetve ezeket az értékeket, azt kapjuk, hogy mint az ekvimoláris KI-KCl-os keverék, mind a KCl-os keverék magasabb tömegarányoknál mutatja ugyanazt a nedvesítési értéket, mint a KI-os keverék esetén (13. ábra).



13. ábra: A peremszög változása só/alumínium tömegarány függvényében, különböző kálium-halogenides sókeverékek esetén

Jelen dolgozatomban vizsgált két rendszer közül az ekvimoláris KI-KCl bizonyult nedvesítés szempontjából jobbnak, továbbiakban ezt a sóolvadékot használok kompozit készítési kísérletekhez, figyelembe véve, hogy az ötös tömegaránytól nagyon értéken az alumíniumban sózárvány jelenik meg.

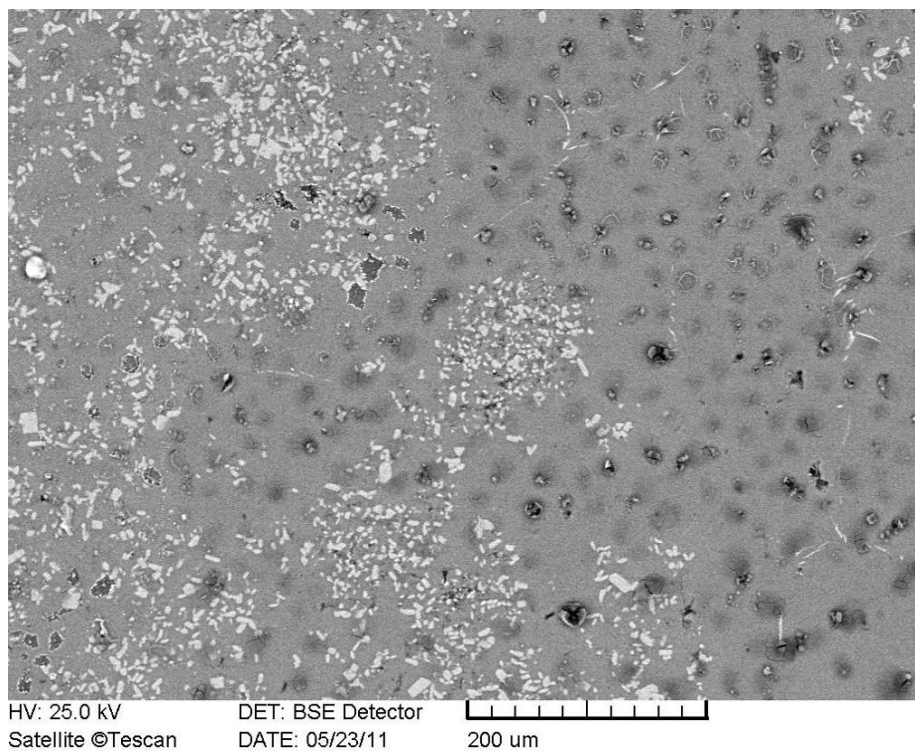
4. Szénszál/alumínium/KI-KCl-10 m/m % K_2TiF_6 rendszer vizsgálata

Következőekben kompozitkészítési kísérleteimet foglalom össze. Ezen kísérletekhez 6 g alumíniumot használtam, a felhasznált sókeverék ekvimoláris KI-KCl keverékből, és 10 tömegszázalék K_2TiF_6 -ból állt, a tömegarányt az előző nedvesítési kísérletek alapján választottam meg hármas, ötös, valamint hetes értéknek. A kísérlethez szénüveg tégelyt használtam. A kísérlet során kezeletlen gyártásközi karbonszálból tincseket vágtam, majd azt a tégelybe, az alumínium alá helyeztem. Az előre összeállított sókeveréket ezután öntöttem az alumíniumra. A kísérlet minden más tekintetben megegyezik az előzőekben tárgyaltakkal.

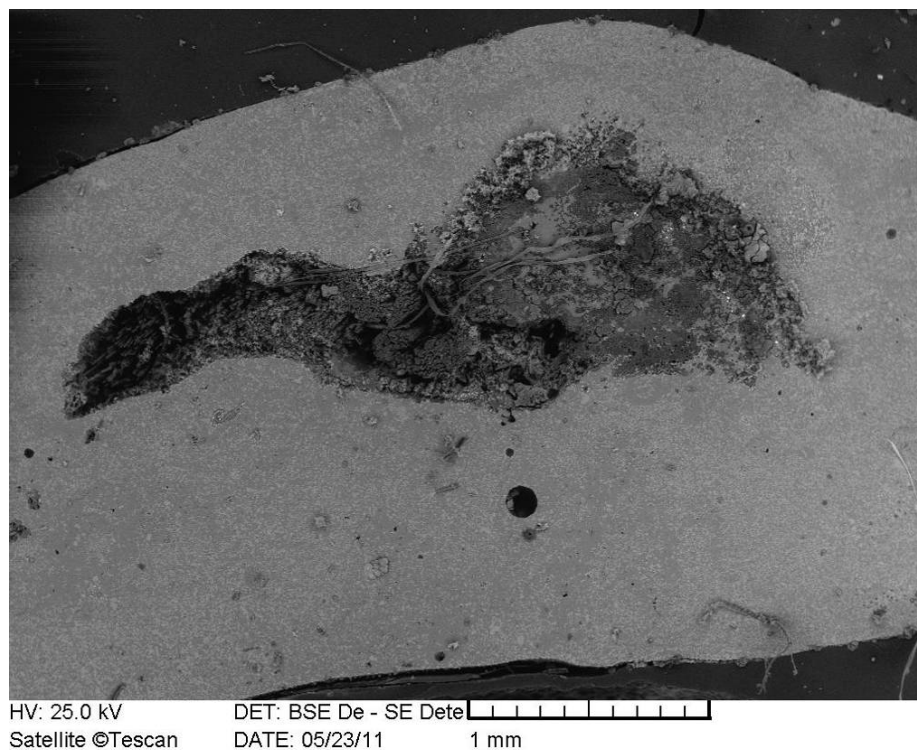
A vártaknak megfelelően a hármas tömegarányúnál már jó, a hetesnél már tökéletes nedvesítés alakult ki az alumínium és a karbon között. Azonban míg a hármas tömegarányú egy tömb maradt a kísérlet után is, a nagyobb tömegarányúak egyre inkább elvékonyodtak, „pókhálós” szerkezetűvé, ezáltal törékenyebbé váltak, fűrészelés hatására apró darabokra törtek szét.

A SEM-EDS vizsgálatot követően több dologra derült fény:

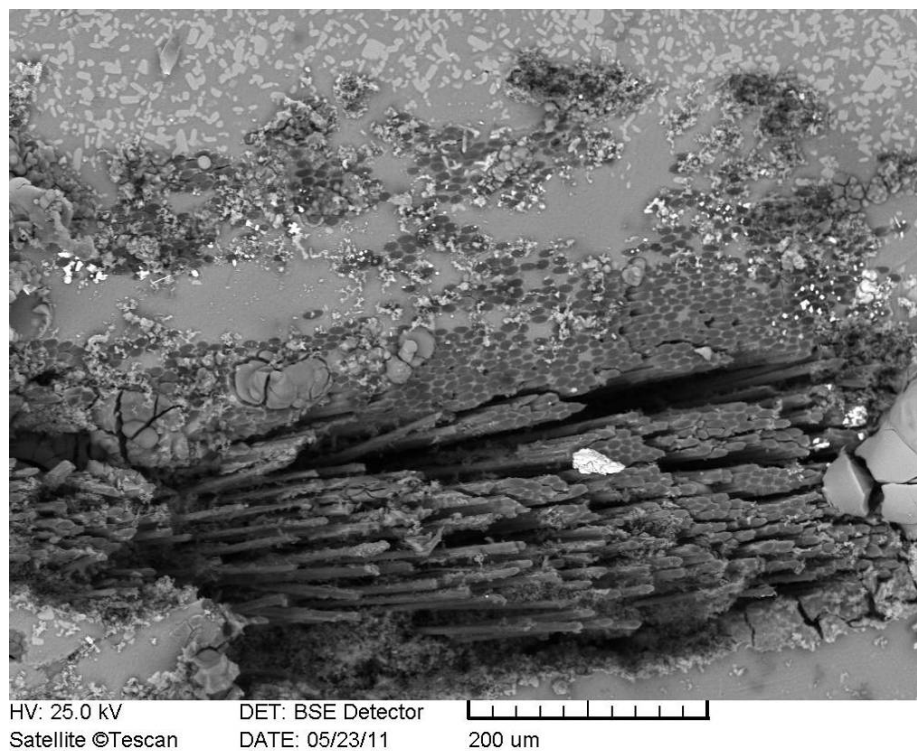
- Kialakult kompozit, szénszálak jutottak be az alumínium mátrixba.
- Az előző kompozitos kísérletekhez hasonlóan itt is kötegével rendeződnek el a szénszálak, nem különülnek el egymástól.
- Élesen különválnak egy karbonszálas, és egy (az előző kísérletek alapján) Al_3Ti intermetallikus fázisban gazdag rész (15-16-17. ábrák).
- A szénszálak nem minden esetben maradnak a minta alján, előfordul, hogy szendvicsszerű szerkezetben, két Al_3Ti fázis között helyezkedik el a karbonszálas fázis (15. és 17. ábrák).



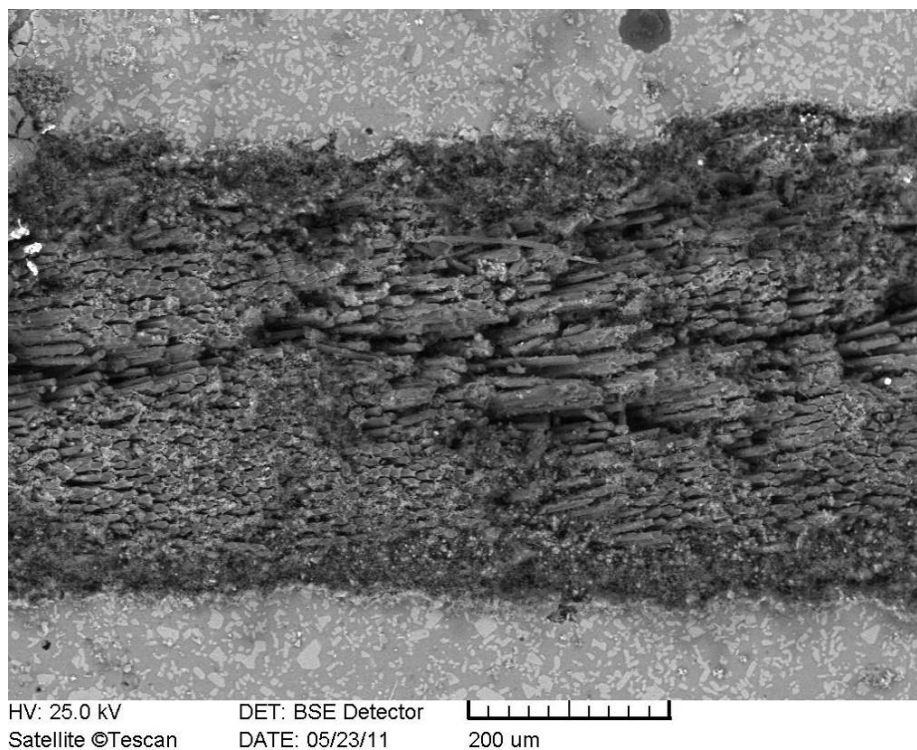
14. ábra: Ekvimoláris KI-KCl – 10% K_2TiF_6 alatt kezelt alumínium keresztmetszeti csiszolatának SEM képe, tömegarány: 2,95, m: 501x



15. ábra: Ekvimoláris KI-KCl – 10% K_2TiF_6 alatt kezelt alumínium keresztmetszeti csiszolatának SEM képe, tömegarány: 4,93, m: 101x



16. ábra: Ekvimoláris KI-KCl – 10% K_2TiF_6 alatt kezelt alumínium keresztmetszeti csiszolatának SEM képe, tömegarány: 6,96, m: 501x



17. ábra: Ekvimoláris KI-KCl – 10% K_2TiF_6 alatt kezelt alumínium keresztmetszeti csiszolatának SEM képe, tömegarány: 6,96, m: 421x

5. Összegzés

Az alumíniumolvadék alapesetben még olyan sóolvadék alatt sem nedvesíti a grafitot, amely képes az oxidréteget eltávolítani az Al/C határfelületről. Azonban a tárgyalt kálium-halogenid sókeverékek esetén egy kritikus só/alumínium tömegarányt lehet megállapítani, mely érték esetén az alumínium tökéletesen nedvesíti a karbonfelületeket. Ezek alapján egy megfelelő kálium-halogenid - 10%K₂TiF₆ sókeverék használatával tovább lehet optimalizálni a karbonerősítésű Al-mátrixú kompozitok gyártásának technológiáját.

Köszönetnyilvánítás

A dolgozat a TAMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt keretében készült el. Köszönetemet szeretném kifejezni munkám elvégzése során nyújtott segítségéért Konzulenseimnek, valamint Kovács Árpádnak a SEM-EDS vizsgálatok elvégzéséért.

6. Felhasznált irodalom

- 1) A. Rodriguez-Guerrero, S.A. Sanchez, J. Narciso, E. Louis, F. Rodriguez-Reinoso, Pressure infiltration of Al-12 w% Si-X (X = Cu, Ti, Mg) alloys into graphite particles performs, *Acta Mater*, (54), 2006, p 1821-1831
- 2) M.I. Flores-Zamora, I. Estrada-Guel, J. Gonzalez-Hernandez, M. Miki-Yoshida, R. Amrtinez-Sanchez, Aluminum-graphite composite produced by mechanical milling and hot extrusion, *J Alloys Comps*, (434-435)2007, p 518-521
- 3) V. Bougiouri, R. Voytovych, N.R. Calderon, J. Narciso, N. Eustathopoulos, Reactive infiltration of porous graphite by NiSi alloys, *Acta mater*, (56), 2008, p 2237-2246
- 4) Z.K. Cao, B. Li, G.C. Yao, Y. Wang, Fabrication of Aluminum Foam Stabilized By Copper-Coated Carbon Fibers, *Mater. Sci. Eng. A*, (486), 2008, p 350-356
- 5) P. Baumli, J. Sytchev, I. Budai, G. Kaptay: Pressureless fabrication of carbon fiber reinforced aluminum matrix composites, submitted to *Mater Chem Phys*.
- 6) N. Eustathopoulos, J.C. Joud, P. Desre, The wetting of carbon by aluminium and aluminium alloys, *J Mater Sci*, (9), 1974, p 1233-1242
- 7) G. Kaptay, On surface properties of molten aluminum alloys of oxidized surface, *Mater Sci Forum*, (77), 1991, p 315-330
- 8) D.A. Weirauch, W.M. Balaba, A.J. Perrotta, Kinetics of the reactive spreading of molten aluminum on ceramic surfaces, *J Mater Res*, (10), 1995, p 640-650
- 9) K. Landry, S. Kalogeropoulou, N. Eustathopoulos, Wettability of carbon by aluminum and aluminum alloys, *Mater Sci Eng*, (254), 1998, p 99-111
- 10) N. Eustathopoulos, M.G. Nicholas, B. Drevet, *Wettability at High Temperatures*, Pergamon, 1999, p 420
- 11) J.P. Rocher, J.M. Quenisset, R. Naslan R, Wetting improvement of carbon or silicon carbide by aluminium alloys based on K₂ZrF₆ surface treatment: application to composite material casting, *J Mater Sci*, (24), 1989, p 2697-2703
- 12) G. Kaptay, E. Báder, L. Bolyán, Interfacial forces and energies relevant to production of metal matrix composites, *Mater Sci Forum*, (329-330), 2000, p 151-156
- 13) J. Rams, A Ureña, M.D. Escalera, M. Sánchez, Electroless nickel coated short carbon fibers in aluminum matrix composite, *Composites A*, (38), 2007, p 566-575
- 14) A. Ureña, J. Rams, M.D. Escalera, M. Sánchez, Effect of copper electroless coatings on the interaction between a molten Al-Si-Mg alloy and coated short carbon fibers, *Composites A*, (38), 2007, p 1947-1956
- 15) A.R. Kennedy, A.E. Karantzalis, The incorporation of ceramic particles in molten

- aluminum and the relationship to contact angle data, *Mater Sci Eng A*, (264), 1999, p 122-129
- 16) P. Baumli, J. Sytchev, G. Kaptay: Perfect wettability of carbon by liquid aluminum achieved by a multifunctional flux, *J Mater Sci*, 2010, vol.45, pp. 5177-5190
 - 17) V.H. Lopez, A.R. Kennedy, Flux-assisted wetting and spreading of Al on TiC, *J. Colloid Interface Sci.* 298(1), 2006, p 356-362
 - 18) N. Frumin, N. Frage, M. Polak, M.P. Dariel, Wettability and phase formation in the TiCx/Al system, *Scripta Mater*, (37), 1997, p 1263-1267
 - 19) A. Contreras, C.A. Leon, R.A.L. Drew, E. Bedolla, Wettability and spreading kinetics of Al and Mg on TiC, *Scripta Mater*, (48), 2003, p 1625-1630
 - 20) A. Contreras, E. Bedolla, R. Perez, Interfacial phenomena in wettability of TiC by Al-Mg alloys, *Acta Mater*, (52), 2004, p 985-994
 - 21) A.R. Kennedy, B. Brampton, The reactive wetting and incorporation of B4C particles into molten aluminium, *Scripta Mater*, 44(7), 2001, p 1077-1082
 - 22) P. Baumli, G. Kaptay, Wettability of carbon surfaces by pure molten alkali chlorides and their penetration into a porous graphite substrate, *Mater Sci Eng A*, (495), 2008, p 192-196
 - 23) 51. Juhász K. L.: Alumínium mátrixú, szénszállal erősített kompozit létrehozása sóolvadék segítségével, *TDK 2010*, Miskolc, 2010
 - 24) I.V. Naidich, I.N. Chuvashov, N.F. Ishuk, V.P. Krasovskii, Смачиваемость некоторых неметаллических материалов алюминием, (Wettability of some non-metallic materials by aluminum), *Poroshk metal*, (6), 1983, p 67-70
 - 25) T.P.D. Rajan, R.M. Pillai, B.C. Pai, Review. Reinforcement coatings and interfaces in aluminium metal matrix composites, *J Mater Sci*, (33), 1998, p 3491-3503
 - 26) B. Masson, M.M. Taghei, Interfacial reactions between aluminum alloys and salt flux during melting. *Mater Trans JIM*, (30), 1989, p 411-422
 - 27) T. Choh, R. Kammel, T. Oki, Wettability of graphite to liquid aluminium and the effect of alloying elements on it, *Z Metallkunde*, (78), 1987, p 286-290
 - 28) M.S. Lee, B.S. Terry, P. Grieveson, Interfacial phenomena in the reactions of Al and Al-Ti melts with KF-AlF₃ and NaF-AlF₃ melts, *Metall Trans B* (24), 1993, p 955-961