

Az összetétel és az előállítási technológia hatása az Al-SiCp kompozitok szövetszerkezetére, valamint mechanikai tulajdonságaira



PhD értekezés tézisei

Simon Andrea

Tudományos témavezető: Dr. Gácsi Zoltán

Miskolc, 2010.

Bevezetés

Az Al számos kedvező tulajdonsággal rendelkezik (jó korrózióállóság, kiváló elektromos vezetőképesség, jó alakíthatóság, kis sűrűség), viszont rugalmassági modulusa, folyáshatára, keménysége meglehetősen alacsony. A különböző ötvöző elemeket széles körben használják az Al egyes tulajdonságainak javítására, fokozására, a szerint csoportosítva őket, hogy mely tulajdonságot befolyásolják. A SiC-ot az alumínium folyáshatárának, rugalmassági modulusának, keménységének megnövelése érdekében alkalmazzák. A kompozit tulajdonságait számos tényező befolyásolja, többek között a kerámia szemcsék mennyisége, mérete, eloszlása. A SiC szemcsék csoportosulása esetén a termék porozitása megnő, illetve mechanikai tulajdonságai romlanak, mivel az ilyen csoportosulás növeli a repedési hajlamot. Ezért fontos, hogy megbízható, esetleg számszerűsíthető paraméterekkel tudjuk leírni a kompozit második fázisának eloszlását. A SiC eloszlás egyenletességének jellemzésére a szakirodalomban számos elterjedt módszer létezik, azonban a kutatók folyamatosan törekednek ezek fejlesztésére, újabbak megalkotására, nincs egységes álláspont arra vonatkozóan, hogy mely módszereket érdemes alkalmazni.

A kompozitok esetében számos publikációban vizsgálják a fémötvözetek kompozitok gyártására való alkalmasságát, továbbá az Al-ötvözetek az iparban is kedvelt mátrixanyagok. Ugyanakkor a szakirodalomban azonos körülmények között előállított, de eltérő mátrixszal rendelkező kompozitok vizsgálatáról, összehasonlításáról jelenleg nincs információ. Az ipari méretekben gyártott kompozit termékek jelentős része készül porkohászati módszerrel. A kompozitok végső tulajdonságait a mátrix és a kerámia között kialakuló határfelületi kötés, az esetlegesen végbemenő határfelületi reakciók és a keletkező reakciótermékek, illetve a mátrix szövetében létrejövő fázisok együttesen határozzák meg. Azonban az előállítás során lejátszódó folyamatok, az eltérő módszerekkel készített termékek mechanikai tulajdonságai, szövetszerkezete közti különbségeket még nem ismerjük teljes mértékben. Szintén minimális az azonos alapanyagokból, de különböző porkohászati módszerrel előállított kompozitok összehasonlító vizsgálata. Ezek alapján annak eldöntése sem egyszerű, hogy adott alapanyag esetén milyen technológiát válasszunk a kívánt tulajdonságú termék gyártásához, egyáltalán melyik alkalmas az elvárt feladatra.

A kompozitok szövetszerkezeti jellemzői közül az egyik legfontosabb a porozitás. Ennek mennyisége befolyásolja a termék mechanikai tulajdonságait. A pórusok nem vesznek részt a terhelés átadásában, annak elviselésében, így ilyen szempontból jelenlétük nem kívánatos a kompozitban. Ezzel ellentétes esetet jelent, mikor a pórusok egyenletes eloszlásával fémhab létrehozására törekszünk, ekkor alapvető kritérium a pórusok jelenléte. A technológiai fejlesztés része, hogy az előállított termék tulajdonságait szabályozni, befolyásolni tudjuk. A porkohászati kompozitok esetében a porozitás a technológia velejárója, ezért fontos, hogy a pórusok mennyiségét, típusait meghatározzuk, ezeket számszerű paraméterekkel jellemezni tudjuk, az egyes típusokat befolyásoló technológiai lépéseket ismerjük.

A fenti problémák megoldása érdekében a porkohászatban gyakran alkalmazott Al-Cu, Al-Si és Al-Zn ötvözeteket használtam a fémhátrixú, SiC szemcseerősítésű kompozitok készítéséhez. Az előállításhoz kétféle, meglehetősen elterjedt porkohászati módszert választottam 1) hidegsajtolás, majd azt követően szinterelés 2) melegsajtolás. A sajtolás-szinterelési paraméterek meghatározásánál fontos szempont volt, hogy az lehetőleg kis mennyiségű folyadék fázis jelenlétében menjen végbe, ugyanakkor a kompozitot rideggé tevő Al_4C_3 képződésére ne kerüljön sor.

A kutatás céljai a következők voltak:

- ❖ különböző, a porkohászati gyakorlatban alkalmazott Al-Cu, Al-Si, Al-Zn ötvözetek összehasonlítása Al mátrixú, SiC szemcseerősítésű kompozit alapanyagaként,
- ❖ Al-SiC kompozit előállítására alkalmazott hidegsajtolás-szinterelés, illetve melegsajtolás összehasonlító elemzése,
- ❖ a második fázis eloszlásának jellemzésére kifejlesztett módszerek elemzése, számszerűsíthető paraméterek létrehozása,
- ❖ a pórusok mennyiségének és típusainak meghatározása, az elhelyezkedésüket befolyásoló technológiai lépések azonosítása,
- ❖ az Al és kompozit termékek szövetszerkezetének, mechanikai tulajdonságainak jellemzése révén összefüggések keresése az alkalmazott alapanyag, az előállítás módja, illetve a termékek vizsgált tulajdonságai között.

Kísérletek

A kompozit minták készítéséhez háromféle Al-ötvözet port használtam, melyeket az ECKA Granulate GmbH&Co. bocsátott rendelkezésemre. A SiC port a Norton AS szolgáltatta.

A kompozitok összeállításakor valamennyi Al ötvözethez 10-20-30 m/m% SiC-ot adtam, majd a porkeverékeket 35°C-on 1 órán keresztül ultrahangos keverőben homogenizáltam. A kompozit minták előállítása két porkohászati módszerrel ment végbe 1) hidegsajtolás és azt követő szinterelés 2) melegsajtolás. A homogenizált porkeverékekből a hidegsajtolt – szinterelt minták a krakkói AGH Science and Technology University-n készültek. Az egytengelyű hidegsajtolás során 15x4x4 mm³ méretű, négyzetes keresztmetszetű próbadarabok készültek. Ezt a darabok hőntartása (400 °C, 20 perc) követte, melynek célja a kenőanyag eltávolítása volt. Ezt követően a mintákat tovább hevítették a szinterelési hőmérsékletre, és ott 20, ill. 60 percig hőntartották. A szinterelés során a felfűtési sebesség 10 °C/perc, a hűtési sebesség 20 °C/perc volt, és nitrogén jelenlétében ment végbe. A melegsajtolt darabok az ankarai Middle East Technical University kutatóinak közreműködésével készültek, egy 50 mm x 50 mm négyzetes keresztmetszetű, fűthető szerszámban. A sajtolást megelőzően a szerszám belső felületét kenőanyaggal vonták be, hogy a sajtolást követően a termék eltávolítását megkönnyítsék. Az előállítás a porok golyósmalomban történő keverésével kezdődött (a keverés időtartama 1 óra volt). A melegsajtolási hőmérséklet elérése megközelítően 2 órát vett igénybe, a szerszámot eközben 25 MPa nyomás alatt tartották. A mintákat minden esetben 10 percig tartották ezen a hőmérsékleten. A kísérleti minták előállítási paramétereit az 1. Táblázatban foglaltam össze.

A szinterelés közben lejátszódó folyamatokat dilatométeres, illetve DSC mérésekkel követtem nyomon. A dilatométeres mérésekhez szükséges sajtoló darabokat a krakkói AGH Science and Technology University-n készítették, továbbá a dilatométeres adatokat is ők rögzítették számomra. A szinterelés során végbemenő méretváltozásokat Netzsch Dil 402E dilatométerrel vizsgálták. A DSC mérésekhez a minták a hidegsajtolásnál ismertett módon készültek, azonban szinterelve nem voltak. A méréseket Netzsch DSC 204 berendezéssel végeztem, nitrogén védőgázban, Al₂O₃ mintatartóban.

Az elkészült próbadarabok szövetszerkezetét optikai, pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkóppal, továbbá röntgen diffrakciós berendezéssel vizsgáltam meg. A SiC

Az összetétel és az előállítási technológia hatása az Al-SiCp kompozitok
szövetszerkezetére, valamint mechanikai tulajdonságaira

eloszlás egyenletességének jellemzésére a Miskolci Egyetem Fémteni és Képlékenyalakítástani Tanszékén kifejlesztett CProb¹ (Cluster Probability) programot alkalmaztam. Elsőként a szakirodalomból átvett, számítógéppel generált és a továbbiakban „etalonnak” nevezett szövetképeket jellemeztem, majd a saját mintákat.

1. Táblázat. Kísérleti paraméterek

Darab jele	SiC, m/m%	D _{Al} , μm	D _{SiC} , μm	RPS = D _{Al} /D _{SiC}	Hidegsajtolás, szinterelés (→H)		Melegsajtolás (→M)
					Szinterelési hőmérséklet, °C	Hőntartási idő, perc	Hőmérséklet, °C (10 perc hőntartás)
AlCu	0	25	-	-	580	20	527
AlCu-10	10	25	15	1,67	580	20	527
AlCu-20	20	25	15	1,67	580	20	527
AlCu-30	30	25	15	1,67	580	20	527
AlSi	0	15	-	-	540	60	565
AlSi-10	10	15	15	1,0	540	60	535
AlSi-20	20	15	15	1,0	540	60	525
AlSi-30	30	15	15	1,0	540	60	525
AlZn	0	25	-	-	580	20	550
AlZn-10	10	25	15	1,67	580	20	544
AlZn-20	20	25	15	1,67	580	20	544
AlZn-30	30	25	15	1,67	580	20	544

Mivel a kompozitok létrehozásának, fejlesztésének egyik fő irányvonala az Al, illetve az Al-ötvözetek mechanikai tulajdonságainak, ezen belül elsősorban a keménység és a kopásállóság javítása, így ezek a vizsgálatokat döntő szerepet játszottak kísérleti anyagaim jellemzésekor. A makrokeménység meghatározásához szükséges méréseket a Miskolci Egyetem Mechanikai-Technológiai Tanszéken található Otto-Wolpert Werke-type (Dia Testor 2Rc) keménységmérővel hajtottam végre. A terhelés 294 N, a hatásidő 10s volt. A

¹ A program elméleti alapjait Gácsi Zoltán dolgozta ki, míg a C nyelvű program Barkóczy Péter munkája.

mikrokeménység meghatározásához szükséges méréseket a Mechanikai-Technológiai Tanszéken található Mitutoyo MVK-H1 típusú Vickers mikrokeménységmérő berendezéssel végeztem el. A terhelés 0,245 N, a hatásideő 10s volt.

A kopásállósági vizsgálatok végrehajtása két különböző berendezést igényelt. A melegsajtolt próbatestek vizsgálatát a Polimermérnöki Tanszék RADOM T - 07, ún. pin-on-disc típusú abrazív koptató berendezésén végeztem. A mérés közben a mintát egy állandó nagyságú erővel nyomjuk egy forgó korongnak, miközben az érintkező felületekre folyamatosan adagoljuk az abrazív koptató szemcséket. A koptatásokat követő tömegmérések előtt a minták felületét ultrahangos tisztítóval készítettem elő. A darabokon háromszor végeztem el a koptatást, majd ezekből meghatároztam a kapott tömegveszteségek átlagát. Mivel az előbb bemutatott berendezésen a hidegsajtoltszinterelt próbatestek vizsgálata méretük miatt nem volt lehetséges (nem lehetséges őket a koptató szerszámba befogni), ezért ezek vizsgálatára az AGH University of Science and Technology T-05 block-on-ring típusú berendezésével került sor.

Új tudományos eredmények ismertetése

1. Kísérleteimben Al és különböző ötvözőtartalmú (Me) szemcsékből álló, a porkohászati gyakorlatban használt porkeverékeket (Me=Cu, Si, Zn) alkalmaztam fémmátrixú kompozitok alapanyagaként. A szinterelés során végzett dilatációs vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a próbatestek zsugorodása jelentős mértékben függ a fémmátrix komponensei között végbemenő folyamatoktól, illetve a SiC mennyiségétől. A zsugorodás mértékét az eutektikum képződése növeli.
 - 1.1. Az Al-Cu és az Al-Zn rendszerben szilárd fázisú diffúzió révén szilárd oldat képződése megy végbe, az Al-Si esetén ez nem tapasztalható.
 - 1.2. Az Al-Cu(-Si-Mg) rendszerben Al-Si binér eutektikum képződik, melynek olvadási hőmérséklete 575 °C-on kezdődik. Az Al-Si(-Cu-Mg) rendszerben Al-Al₂Cu-Mg₂Si, illetve Al-Al₂Cu-Si ternér eutektikum képződik, melyek 509, illetve 522 °C-nál kezdenek olvadni.
 - 1.3. A szinterelés során a zsugorodás az alapanyagoktól függően változik (2. Táblázat). Az Al-Cu esetén a zsugorodást a szilárd oldat és az eutektikum képződése, az Al-Si esetében csak az eutektikum képződése növeli. Az AlZn

esetében eutektikum képződése nem megy végbe, így a zsugorodás is kisebb. A SiC mennyiségének növelésével, alapanyagtól függetlenül, a kompozit zsugorodása csökken.

2. Táblázat. A szinterelés közbeni %-os zsugorodás

Mátrix anyaga	Szilárd oldat	Eutektikum	SiC tartalom, m/m%			
			0	10	20	30
Al-Cu	+	+	23	16	6	4
Al-Si	-	+	17	15	8	5
Al-Zn	+	-	10	11	11	8

2. A kompozitokban a pórusok átlagos mérete, illetve a SiC eloszlásának egyenletessége az előállítás módjától (hidegsajtolás-szinterelés vagy melegsajtolás), illetve a SiC mennyiségétől függ. A pórusok (alapanyagtól és technológiától függetlenül) megjelennek az Al mátrixban, az Al-SiC határfelületen és a SiC szemcsék között. A fémmátrix összetétele nem befolyásolja a pórusok megjelenési helyeit, csupán a SiC mennyisége.
 - 2.1. A kerámia szemcsék által elfoglalt területarányok átlaga és szórása alapján az erősítő szemcsék eloszlása a hidegsajtolt darabokban - mennyiségüktől függetlenül - egyenletesebb, míg a melegsajtolt mintákban a SiC eloszlása kevésbé egyenletes, és az eloszlás inhomogenitása a második fázis mennyiségének növelésével fokozódik.
 - 2.2. Mindkét alkalmazott előállítási módszer esetén a pórusok megjelenési helye 10 és 20 m/m% SiC esetén véletlenszerű, a mátrixban, a mátrix - kerámia határfelületen és a SiC szemcsék között egyaránt megjelenhetnek. Ugyanakkor a 30 m/m% SiC tartalmú darabokban jellemzően a SiC szemcsék/csoportok között vannak leginkább pórusok.
 - 2.3. A pórusok átlagos mérete a hidegsajtolás-szinterelés esetén az Al-Cu, Al-Si mátrix esetén a SiC tartalom növelésével általában nő, az Al-Zn sorozat esetében minimumos görbe szerint változik. A melegsajtolás esetén alapanyagtól függetlenül 20 m/m% SiC esetén minimális a pórusméret.

3. Bizonyítottam, hogy többfázisú szövetszerkezet esetén a második fázis eloszlásának jellemzésére több paraméter együttes alkalmazása, továbbá az eredmények átfogó elemzése és összehasonlítása szükséges. A véletlen és a csoportosult eloszlás

megkülönböztetésére generált szövetképeket használtam, ezekkel hasonlítottam az Al-SiC kompozitok szövetszerkezetét.

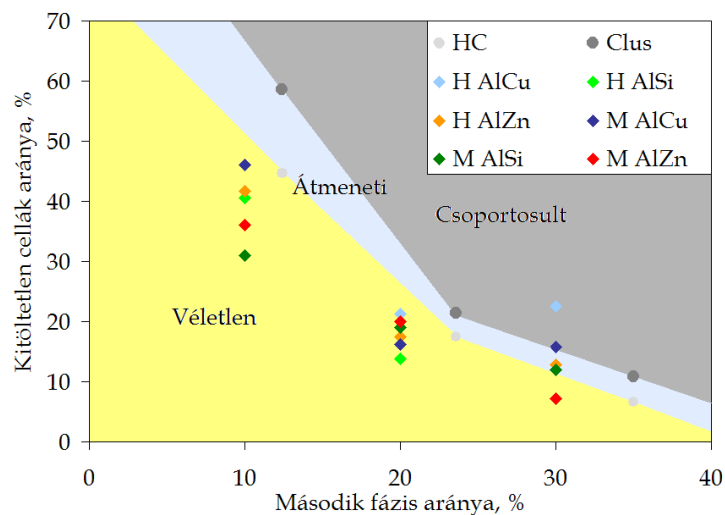
- 3.1. A négyzetes cellákba eső részecsketerületek eloszlása mind az etalonok, mind a kompozitok esetében a 10, 20% második fázist tartalmazó mintáknál 95%-os megbízhatósági szinten exponenciális típusú. A ferdeség (ξ) minden esetben pozitív lett, ami azt jelzi, hogy az átlagtól nagyobb értékek a jellemzők.
- 3.2. A szövetszerkezetek jellemzésére a négyzetes cellák alapján a véletlen és a csoportosult eloszlás megkülönböztetésére az alábbi paramétert definiáltam: kitöltetlen cellák aránya (E_C , %)

$$E_C = \frac{n}{N} \cdot 100$$

Ahol n : kitöltetlen cellák száma

N : összes cellák száma

Megállapítottam, hogy a kitöltetlen cellák aránya véletlen eloszlás esetén minden térfogatarány mellett kisebb, mint a csoportosult eloszlásé. A második fázis arányának függvényében három területet határoztam meg: véletlen eloszlás – átmeneti tartomány – csoportosult eloszlás (1. ábra). A kompozit minták esetében a csoportosulás mértéke a második fázis arányának függvényében fokozódik.



1. ábra. Kitöltetlen cellák aránya a szemcsék területarányának függvényében

- 3.3. A szemcsék köré morfológiai mozaikokat rajzolva, a második fázis mennyiségének növelésével a nagyobb területű morfológiai mozaikok gyakorisága nő, ami a csoportosulást jelzi.

- 3.4. Bináris morfológia alkalmazásakor megállapítottam, hogy a szemcseszám-csökkenést a dilatációs lépések számának függvényében megadva, a véletlen és a csoportosult eloszlás a görbék alakja szerint különböztethető meg. A véletlen eloszlást a néhány (4-10) dilatációs lépés után megjelenő jellegzetes csúcs jelzi, ami a szemcsék területarányának növelésével egyre kevesebb dilatációs lépés után jelentkezik. Csoportosult eloszlás esetében az első dilatációs lépések (1-6) alatt a szemcsék jelentős része (40-80%) olvad egybe. Ez a módszer egyaránt alkalmas a klaszterek, illetve a különálló szemcsék kimutatására.
4. A próbadarabok vizsgált mechanikai tulajdonságait (keménység, kopásállóság) az előállítási technológia (hidegsajtolás-szinterelés vagy melegsajtolás), a hozzáadott SiC mennyisége, illetve a fémmátrix összetétele határozzák meg.
- 4.1. Az Al ötvözetek esetében a hidegsajtolt-szinterelt darabok, míg a kompozitok esetében a melegsajtolt minták makro- és mikrokeménysége nagyobb. A SiC mennyiségének növelésével a melegsajtolt minták keménysége nő, míg a hidegsajtoltak közül az AlCu és AlSi mátrixú daraboknál csökken.
- 4.2. A második fázist nem tartalmazó darabok esetében a hidegsajtolt-szinterelt mintáknál figyelhető meg kisebb kopási veszteség. A 10 és 20 m/m % SiC erősítésű kompozitok kopásának mértékében nincs jelentős különbség; ugyanakkor a 30% SiC tartalmú kompozitoknál a hidegsajtolt-szinterelt darabok kopása már meghaladja a melegsajtolt darabokét.
- 4.3. A domináns kopási mechanizmusok a melegsajtolt Al-Cu és AlZn esetében az abrazív kopás és a réteges leválás, míg az Al-Si minta esetében csak az intenzívebb réteges leválás. A 30 m/m% SiC erősítésű daraboknál, alapanyagtól függetlenül, inkább az abrazív kopás a jellemző.
5. Megállapítottam, hogy mind a hidegsajtolás-szinterelés, mind a melegsajtolás alkalmazásával előállítható kompozit termék. A megfelelő módszer kiválasztásához figyelembe kell venni a termék elvárt tulajdonságait, illetve a második fázis térfogatarányát: 0% SiC esetében a hidegsajtolás – szinterelés a kedvezőbb, 10-20% SiC esetén nincs jelentős különbség a kompozit keménységét és kopásállóságát tekintve, míg 30% SiC esetén a melegsajtolás jobb.

- 5.1. A melegsajtolás a tömörebb, kevesebb porozitást tartalmazó szövetszerkezet elérésére alkalmas. A SiC hozzáadása esetén már a keménység, kopásállóság szempontjából is a melegsajtolás az előnyösebb.
- 5.2. A hidegsajtolással az Al-Cu, Al-Si, Al-Zn daraboknál nagyobb keménység, jobb kopásállóság érhető el. A SiC szemcsék területarányának eloszlása a hidegsajtolt darabok esetében egyenletesebb.
6. Az elvégzett vizsgálatok alapján meghatároztam olyan paramétereket (terület, konvex terület, körszerűség, nyújtottság), melyek alapján a pórusok beazonosíthatók. A porozitás keletkezéséhez vezető technológiai lépések meghatározásával megállapítható (2. ábra), hogyan keletkezett a porozitás, hogyan kategorizálható, és milyen módon lehet befolyásolni mennyiségét.
- 6.1. Az alapanyagtól és technológiától függetlenül megjelenő pórustípusok (az Al mátrixban, az Al-SiC határfelületen és a SiC szemcsék között) a 1. Táblázat alkalmazásával méret és alak szerint kategorizálhatók, és számszerűen jellemezhetők.

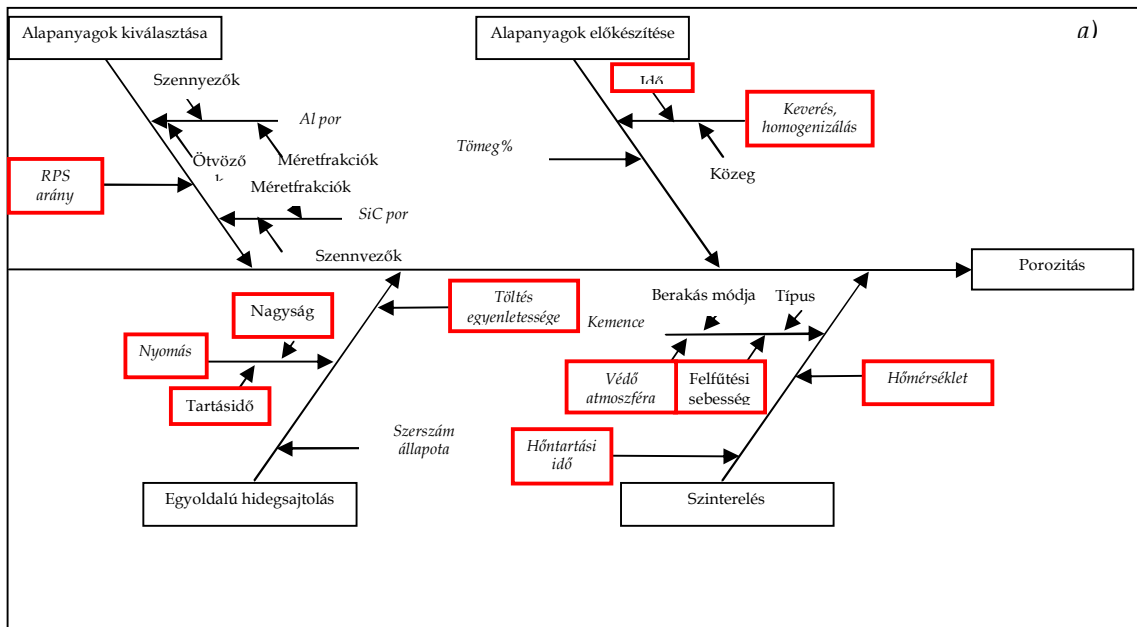
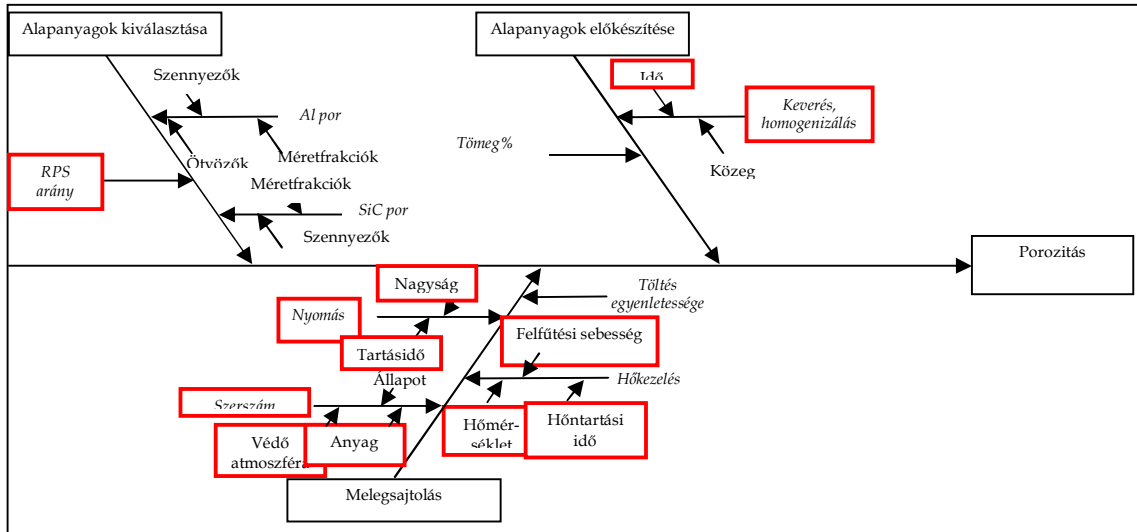
1. Táblázat. Pórusok tipizálása megjelenési hely, méret és alakjellemzők alapján

	Megjelenési hely	Terület (μm^2)	Körszerűség	Nyújtottság	Alak
Hidegsajtolt-szintere	Al	64-118	1-2	1-2	Gömbszerű
	Al/SiC	11-27	1-4	1-3	Nyújtott
	SiC	73-364	2-5	1-2	Szabálytalan
Melegsajtolt	Al	12-37	1-2	1-2	Gömbszerű
	Al/SiC	5-18	1-3	1-2	Nyújtott
	SiC	40-164	1-5	1-2	Szabálytalan

- 6.2. Az alumínium mátrixban megjelenő porozitást a nem megfelelő sajtolási (nyomás nagysága, hatásideje, egyenletlen betöltés) vagy szinterelési paraméterek (hőmérséklet, hőtartási idő, felfűtési sebesség) okozhatják.
- 6.3. A nem egyenletes betöltés következtében kialakuló pórusok eloszlása a darab keresztmetszetében nem egyenletes, így ezek mennyiségének mérésével megállapítható a probléma eredete.

- 6.4. A csoportosult szemcsék között megjelenő porozitást a nem megfelelő szemcseméretarány megválasztása, illetve az elégtelen keverés okozhatja.
- 6.5. A mátrix és a kerámia részecskék közötti határfelületen megjelenő porozitást előidézheti, ha a szemcséket a fémmátrix nem veszi teljesen körbe. Megfelelő szinterelési, melegsajtolási paraméterek esetén a képződő eutektikum a porózus részeket kitölti, és ezzel csökkentheti a kompozit porozitását.

Az összetétel és az előállítási technológia hatása az Al-SiCp kompozitok
szövetszerkezetére, valamint mechanikai tulajdonságaira



b)

2. ábra. A porozitás keletkezéséhez vezető okok feltárása Ishikawa-diagram alkalmazásával a hidegsajtolás-szinterelés, illetve a melegsajtolás esetében

Az új eredmények felhasználhatósága

A kompozitok korunk egyik legígéretesebb anyagai, számtalan lehetőséget kínálnak olyan egyedi tulajdonságkombinációk elérésére, melyekre eddig nem volt megoldás. Azonban épp a többféle anyag egyesítése miatt számos nyitott kérdés van még ezen a téren, többek között a kompozitok szövetstruktúrájának objektív jellemzése is ide tartozik.

Disszertációmiban többféle Al-ötvözetből készítettem fémmátrixú, SiC szemcseerősítésű kompozitokat, majd összehasonlítottam ezek szövetstruktúráját, illetve mechanikai tulajdonságait, az alapanyag (Al-Cu, Al-Si, Al-Zn) és az előállítási módszer (hidegsajtolás-szinterelés, melegsajtolás) szemszögéből. Méréseim útmutatót adnak annak kiválasztásához, hogy adott alapanyag esetén melyik technológiával érhető el a tervezett tulajdonságok, és fordítva, így azok előre tervezhető válnak a rendelkezésre álló technológia függvényében.

A szövetstruktúra jellemzésére a szakirodalom által elfogadott módszerek alkalmazása mellett újabb paramétert is bevezettem. Ezek együttes alkalmazásával objektív, átfogó elemzés készíthető a második fázis eloszlásának leírására. A bemutatott jellemzőkkel kvalitatív és kvantitatív jellemzés egyaránt megvalósítható.

A szemcseerősítésű kompozitokban pórusok megjelenhetnek a fémmátrixban, a fémmátrix-kerámia határfelületen, illetve a kerámia szemcsék között. Az így kategorizált pórusok alakja és mérete a képelemzésben használatos paraméterekkel (terület, konvex terület, körszerűség, nyújtottság) jól leírható. A porozitás keletkezéséhez vezető technológiai lépések meghatározásával megállapítható, hogyan keletkezett a porozitás, hogyan kategorizálható, és milyen módon lehet befolyásolni mennyiségét.

A disszertációban bemutatott ismeretek, eredmények beépíthetők a Műszaki Anyagtudományi Karon folyó oktatásba, többek között a Számítógépes képelemzés, Szerkezetvizsgálat illetve a Fémötvözetek hőkezelése tárgyak tananyagába.

Summary

Al alloys are popular matrix materials in the composite industry. However, there is not enough information about the composites having different matrices but produced in the same circumstances. Composites are often produced via powder metallurgical route. Their final properties are determined by the interfacial bonding between the matrix and the reinforcement, by the interfacial reactions and reaction products, and by phases occur in the matrix. Processes taking place during producing, differences between the mechanical properties and microstructure of the product made by different methods are not known well.

One of the most important from the microstructural features is the porosity. Its amount influences the mechanical properties of the product. They don't transfer or bear any load, from this point of view their presence is undesirable. It's very important to know that technological steps which affect the porosity.

The aims of this research were:

- ❖ comparing AlCu, AlSi, AlZn alloys as matrix materials for aluminium based SiC particle reinforced composites,
- ❖ analysing and comparing the cold pressing – sintering, and hot pressing methods,
- ❖ analysing methods describing the distribution of SiC,
- ❖ determining the quantity of pores, identification the technological steps affecting their placement,
- ❖ finding relationship between the base materials, the producing method and the properties of the product by characterizing the microstructure and mechanical properties of the Al and composite products.

Three kind of Al alloy powder (given by ECKA) and SiC powder (from Norton AS, in 0-10-20-30 w/w%) were used for the experiments. Samples were made by cold pressing – sintering and hot pressing. Microstructure features and mechanical properties were examined from the aspect of the base material and producing method. So the properties become plannable based on a given technology. To characterize the microstructure, a new parameter was created beside the accepted methods. With these methods, qualitative and quantitative describing also can be realized.

Folyóiratcikkek

*Makszimus Andrea*² - Gácsi Zoltán - Tadeusz Pieczonka - C. Hakan Gür: A porkohászati gyártástechnológia hatása Al-SiC_p fémkompozit szövetszerkezetére, BKL Kohászat 139.évf. 2006/5. szám 41-45

Zoltan Gacsi - C. Hakan Gur - *Andrea Makszimus* - Tadeusz Pieczonka: Investigation of microstructure inhomogeneity in SiC_p-reinforced Aluminium matrix composites, Material Science Forum Vols. 534-536 (2007) pp 901-904

Andrea Makszimus - Zoltan Gacsi - C. Hakan Gür: Investigation of the microstructure and hardness of SiC_p reinforced Aluminum matrix composites, Material Science Forum Vol. 589 (2008) pp 239-244

Dr. Gergely Gréta - *Makszimus Andrea* - Pázmán Judit - Dr. Gácsi Zoltán: Különleges anyagok és korszerű technológiák, BKL Kohászat - Bányászat, közlésre elfogadva

Konferenciakiadványokban publikált cikkek

Makszimus Andrea: Porkohászati kompozitok szövetszerkezetének összehasonlító vizsgálata, Doktoranduszok Fóruma, Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar szekciókiadványa, 2005, 27-32.o.

Makszimus Andrea - Gácsi Zoltán: Gyártástechnológia hatása az Al-SiC_p kompozitok szövetszerkezetére, BKF Konferencia Kiadványa, Sepsiszentgyörgy 2006, 244-247.o.

Andrea Makszimus - Zoltan Gacsi - C. Hakan Gür: Investigation of the Porosity and Hardness of Al-SiC_p Composites, microCAD 2007 International Scientific Conference, 22-23 March 2007 p. 51-56.

Makszimus Andrea - Gácsi Zoltán - C. Hakan Gür: Al-SiC_p kompozitok porozitásának és keménységének vizsgálata, IX. BKF Konferencia Kiadványa, Buziásfürdő, 2007.

Andrea Makszimus, C. Hakan Gür, Tadeusz Pieczonka, Evren Tan, Zoltan Gacsi: Comparison of the microstructure and the mechanical properties of hot and cold pressed Al-SiC_p composites, 5th International Powder Metallurgy Conference, October 8-12, 2008, Ankara, CD kiadvány

² A szerző korábbi neve, 2010-től Makszimus Andrea helyett Simon Andrea.

Előadások

Makszimus Andrea - Gácsi Zoltán: Porkohászati kompozitok szövetszerkezetének összehasonlító vizsgálata, Doktoranduszok Fóruma, Miskolci Egyetem, 2005. november 9.

Makszimus Andrea - Gácsi Zoltán: Gyártástechnológia hatása az Al-SiCp kompozitok szövetszerkezetére, BKF Konferencia, Sepsiszentgyörgy 2006.04.08.

Zoltan Gacsi - C. Hakan Gur - *Andrea Makszimus* - Tadeusz Pieczonka: Investigation of microstructure inhomogeneity in SiCp-reinforced Aluminium matrix composites, Powder Metallurgy World Congress, Korea, September 24-28 2006

Makszimus Andrea - Gácsi Zoltán: Melegsajtolt Al-SiCp kompozitok szövetszerkezetének vizsgálata, Doktoranduszok Fóruma, Miskolci Egyetem 2006.11.09.

Andrea Makszimus - Zoltan Gacsi - C. Hakan Gür: Investigation of the Porosity and Hardness of Al-SiCp Composites, microCAD 2007 International Scientific Conference, 22-23 March 2007

Makszimus Andrea - Gácsi Zoltán - C. Hakan Gür: Al-SiCp kompozitok porozitásának és keménységének vizsgálata, IX. BKF Konferencia, Buziásfürdő, 2007. március 29-április 1.

Andrea Makszimus - Zoltan Gacsi - C. Hakan Gur - Tadeusz Pieczonka: Investigation of Microstructure Inhomogeneity and Hardness in Hot and Cold Pressed SiCp-reinforced Aluminum Matrix Composites, Junior Euromat 14-18 July 2008, Lausanne

Andrea Makszimus - C. Hakan Gür - Tadeusz Pieczonka - Evren Tan - Zoltan Gacsi: Comparison of the microstructure and the mechanical properties of hot and cold pressed Al-SiC_p composites, 5th International Powder Metallurgy Conference, October 8-12, 2008, Ankara

