

Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar
Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola

**A stroncium és az olvadékáramlás hatása
a Si morfológiájára, Al₇Si_{0,3}Mg ötvözet esetén**



PhD értekezés tézisei

Gergely Gréta

Okleveles anyagmérnök

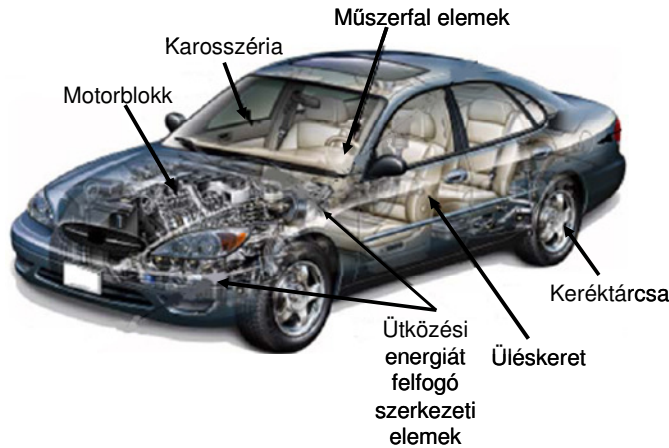
Tudományos témavezető: **Dr. Gácsi Zoltán**, egyetemi tanár

Miskolc

2008.

1. Bevezetés, célkitűzés

Napjaink közkedvelt szerkezeti anyagai az Al-Si ötvözetek. Felhasználásuk leginkább az autópárhban terjedt el és széles palettán mozog. Hétköznapi példákat felsorolva elég csak az alu-



1.1. ábra. Példák az Al-Si ötvözetek járműipari felhasználásaira

mínium keréktárcsára, a motorblokkra, a hengerfejre, a műszerfal különböző elemeire vagy a karosszéria egyes részére gondolni, melyek mind-mind Al-Si ötvözetből készülnek (1.1. ábra), sőt vannak már olyan autók is, melyek karosszériájának teljes egésze alumínium ötvözetből készül, mert alkalmazása rendkívül nagy előnyökkel jár mind gazdasági, mind

környezetvédelmi szempontból. Ezalatt a gépkocsik esetében a súlycsökkenés, s ennek következtében kevesebb üzemanyag fogyasztás, ezáltal kisebb CO₂ kibocsátás értendő. Mindezek mellett azt is meg kell jegyezni, hogy az alumínium–szilícium ötvözetek energiacnyelő képessége kiemelkedő, így biztonságtechnikai szempontból is előnyös az alkalmazásuk.

A legfontosabb Al-Si ötvözetek hipoeutektikus típusúak, melyekben a szilícium 7 és 11% között változik. Az Al-Si ötvözetek népszerűsége kis sűrűségükkel és megfelelő mechanikai szilárdságukkal van kapcsolatban. A tipikus Al-Si ötvözeteknek két fontos mikroszerkezeti eleme van: a primer Al és az eutektikum. Amíg a primer Al keletkezése és növekedése, azaz a dendrites kristályosodás széleskörű vizsgálatok tárgya a szakirodalomban, addig az Al-Si eutektikum kialakulása máig számos kérdést vet fel, különös tekintettel a szilícium szemcsék kialakulására. A mechanikai tulajdonságok szempontjából előnyös mikroszerkezet elérésének érdekében különböző eljárások ismeretesek. A dendrites szerkezet finomítását a hűtési sebesség megfelelő megválasztásával, szemcsefinomító anyagok hozzáadásával, valamint újabban forgó mágneses térben történő kristályosítással valósítják meg, míg az eutektikus Si kialakulásának érdekében módosító anyagokat adnak az ötvözethez, melyek egyike a stroncium, minek hatására az egyébként nagy kiterjedésű lapok formájában kialakuló Si jóval apróbb, az ideális gömbhöz közelítő morfológia kialakítására törekszik. A stronciumnak erre az eutektikus Si-ra gyakorolt hatásával kapcsolatosan, amit módosításnak neveznek, szintén nincs egységes álláspont. A Si szemcsék kialakulásával kapcsolatosan sok teória látott már napvilágot, de ezek egymással sok esetben ellentétesek, így általánosan elfogadott elmélet nincs. Disszertációmban arra vállalkoztam, hogy kísérletileg igazolt tudomá-

nyos alapokon nyugvó magyarázatot adjak arra, hogyan hat a keletkező szilícium morfológiájára a stroncium.

A szilícium részecskék mérete és alakja döntő hatással van az öntvény tulajdonságaira, így az ipari gyakorlatban az öntvényeket a szilícium morfológiája, azaz módosíthatósága alapján minősítik. A módosíthatóságot lehülési görbékből, illetve a szövetszerkezet vizsgálatából állapítják meg. A gyakorlatban etalonképekkel történő összehasonlítással valamint lehülési görbe felvételével, a szakirodalomban különböző morfológiai paraméterek meghatározásával. A választható paraméterek skálája széles, ezért fontos a megfelelő jellemzők kiválasztása. Munkám fontos célkitűzése az etalonnal történő és a morfológiai paraméterek vizsgálatával kapcsolatos módszerek integrálása.

A kialakuló szövetszerkezetet a kristályosítás során alkalmazott forgó mágneses tér is nagymértékben befolyásolja. Mágneses keverés hatására elsősorban a primer fázis szerkezete változik meg, de emellett makrodúsulás is kialakul. Kutatómunkám egyik céljának tekintem, hogy kimutassam a mágneses keverés hatását a szövetszerkezetre. Lényegesnek érzem kiemelni, hogy a forgó mágneses térnek a kialakuló szilícium morfológiájára gyakorolt hatása kevésbé vizsgált tény a szakirodalomban.

Ez alapján vizsgálataim újszerűségét azzal indoklom, hogy mint a szövetszerkezet kialakulását befolyásoló tényezőket, azaz a mágneses keverést és a stronciummal történő módosítást nem külön-külön, hanem ezek együttes hatásait vizsgálom, mellyel ilyen összefüggésben a szakirodalomban még nem találkoztam.

Mind ezek alapján disszertációm célkitűzése az alábbiakban fogalmazható meg:

- 1. kristályosítás közben alkalmazott forgó mágneses tér hatásának vizsgálata az eutektikus szilícium morfológiájára, valamint a mágneses keverés ismert hatásának, a makrodúsulásnak a kvantitatív jellemzése.*
- 2. a módosított szövetszerkezet létrehozásának érdekében alkalmazott stroncium szerepének tisztázása, valamint a forgó mágneses térben történő kristályosításnak a módosításra gyakorolt hatásának vizsgálata.*
- 3. egy olyan, a módosíthatóságot egyértelműen jellemző eljárás kialakítása, amely pontos és reprodukálható eredményt ad.*

2. Az elvégzett kutatás rövid összefoglalása

Az Al7Si0,3Mg ötvözetek közkedvelt szerkezeti anyagok, ami előnyös tulajdonságaiknak köszönhető. Ezen jellemzők egyértelműen az ötvözetek szövetszerkezetétől függenek. Stronciummal történő módosítás és a kristályosítás során alkalmazott forgó mágneses tér alkalmazása nagymértékben befolyásolja a kialakuló mikro-és makroszerkezetet. Munkám célja e két befolyásoló tényezőnek külön-külön, illetve az együttes hatásának vizsgálata volt.

Kísérleteim két csoportra oszthatóak. Egyik esetben $v=0,01$, $v=0,05$ és $v=0,2$ mm/s mozgási sebességgel ($G=6$ K/mm) irányítottan próbatestpárokat kristályosítottunk a MICAST projekt keretén belül kifejlesztett kristályosító berendezésben. A minták egyik tagja forgó mágneses térben ($B=19$ mT, $f=150$ Hz), míg a másik anélkül szilárdult meg. A próbatesteken történő mérések egy része képelemzővel történt. A mérések szisztematikussá tétele miatt egy célszerűen meghatározott $0,8 \times 1$ mm-es rácsot helyeztünk a próbatestek felületére, mely rács minden egyes téglalapja egy különálló látómezőnek felelt meg. A mérések ezeken belül különböző szisztémáknak megfelelően történtek.

A mágneses térben kristályosított próbatestekben tengelyirányban, azaz a kristályosodási front mozgási irányában jelentős makrodúsulás alakult ki, ami a szakirodalomból közismert hatása a forgó mágneses tér alkalmazásának. Ennek a kvalitatívan megfigyelhető szegregációnak a kvantitatív jellemzését az eutektikus szilícium területarányának képelemzéses technikával történő mérésével végeztük el. A makrodúsulás számszerű jellemzéséhez bevezettük az „m” paramétert, mely a Si térfogatarányának hely szerinti átlagos változása, mértékegysége: %/mm. Ez alapján megállapítottuk, hogy $v=0,2$ mm/s mozgási sebességet alkalmazva 0,050%-kal nő meg átlagosan a Si térfogataránya mm-enként, mind az ipari (A-K-2), mind a nagy tisztaságú (4N-K-2) ötvözetben. Megállapítottuk továbbá, hogy az alapanyagtól függetlenül a $v=0,01$ mm/s (A-K-01, 4N-K-01) valamint a $v=0,05$ mm/s (A-K-05, 4N-K-05) mozgási sebességgel előállított próbatestek esetében az „m” paraméter csak a Si átlagos változásának becslésére használható, tekintettel arra, hogy a változás jellege a lineáristól eltér.

Annak érdekében, hogy a kristályosodás eleje és vége között kialakuló makrodúsulási különbségeket jellemezzük, bevezettük a „D” paramétert, mely azt mutatja, hogy mennyi a Si területaránya a próbatest egyes részein az átlaghoz viszonyítva. Abban az esetben, ha az olvadékot mágnesesen nem keverjük, a kristályosodás elején ($\overline{D_e}$), közepén ($\overline{D_k}$) és végén ($\overline{D_v}$) a „D” paraméter minden próbatest esetében közel azonos volt: megközelítőleg 1, azaz jelentős makrodúsulás nem alakult ki.

A forgó mágneses térben kristályosított próbatesteknél (4N, illetve A sorozat) a kristályosodás elején negatív dúsulás alakult ki ($\overline{D_e} \sim 0,5$), a kristályosodás közepén a „D” paraméter megközelít

tette az 1-et ($\overline{D_k} \sim 0,5-1$) és a végén az átlagos koncentrációhoz képest 1,5-2,5-szeres érték adódott ($\overline{D_v} \sim 1,5-2,5$), ami pozitív dúsulást jelez. A „D” paraméter jól szemlélteti, hogy a makrodúsulás a mozgatási sebességtől függ: kisebb mozgatási sebességek esetében ($v=0,01$ és $v=0,05$ mm/s) erőteljesebb: a „D” értéke 0,5-ről 2,5-re változik, míg a nagyobb mozgatási sebességgel kristályosított próbatesteknél ($v=0,2$ mm/s) kisebb méretű: a „D” paraméter 0,3-1,5 tartományba esik.

Vizsgálataim során megállapítottam, hogy a Si morfológiája a különböző mozgatási sebességek és a mágneses keverés alkalmazásának függvényében eltérő volt. Képelemzővel meghatároztam a Si szemcsék S_v/V_v arányát, mely a morfológiával kapcsolatos paraméter. A vizsgálat során megállapítottam, hogy a $v=0,01$ mm/s-os minták esetében attól függetlenül, hogy mágneses keverést alkalmaztunk-e vagy sem, valamint a forgó mágneses térben kristályosított $v=0,05$ mm/s-os mintánál az S_v/V_v értéke kicsi (1000-1300 1/mm) volt, ami kevesebb számú, inkább nagyobb térfogatú, míg a $v=0,2$ mm/s-os próbatestek esetében a kristályosítás során alkalmazott mágneses tértől függetlenül, valamint a keverés nélkül előállított $v=0,05$ mm/s mozgatási sebességű mintában a 6000-7000 1/mm érték több, apróbb méretű objektumra, azaz Si szemcsére utalt.

Gyakorlatilag ennél a pontnál kapcsolódott össze a mágneses keverés alkalmazásának és a stronciummal történő módosítás vizsgálatának kérdése. Tanulmányoztam a Si morfológiáját befolyásoló Sr tartalom változását. Kétféle oldási eljárást alkalmazva a mágneses keveréssel előállított próbatestekben eltérést mutattunk ki ugyanazon minta stroncium tartalmában.

A tapasztalt nagymértékű Sr koncentráció különbségek részben az általunk alkalmazott mágneses keverés hatása, részben pedig az alkalmazott oldatbaviteli eljárás különbözőségére vezethető vissza. A kísérletek során megállapítottuk, hogy a teljes Sr tartalom kétféle formában található meg a próbatestekben. Egy könnyebben oldható, kémiai módszerekkel egyszerűbben támadható (híg sósavas eljárással) atomosan oldott és egy kötöttebb, kevésbé oldható vegyület formában, amelyik csak erőteljes, salétromsav-hidrogénfluoridos oldási eljárás hatására vihető oldatba. A módosított szövetszerkezet létrejöttéért az atomosan oldott stroncium a felelős, míg a nehezebben oldható, valamilyen Si_xSr_y vegyület formájában kialakuló fázis nem segíti elő a módosítást. A mágneses keverés a stroncium állapotára hat; elősegíti a vegyületfázis képződését, ezáltal negatívan befolyásolja a módosítást, de csak egy bizonyos határig, ugyanis adott mozgatási sebességnél nagyobb „v” esetén a stroncium tartalomtól függetlenül már szálas, illetve finomszemcsés morfológiájú a szilícium.

Röntgendiffrakciós vizsgálatokkal egyértelműen sikerült bebizonyítani, hogy a módosítás folyamatában részt nem vevő stroncium a szilíciummal Sr_2Si vegyületeket képez.

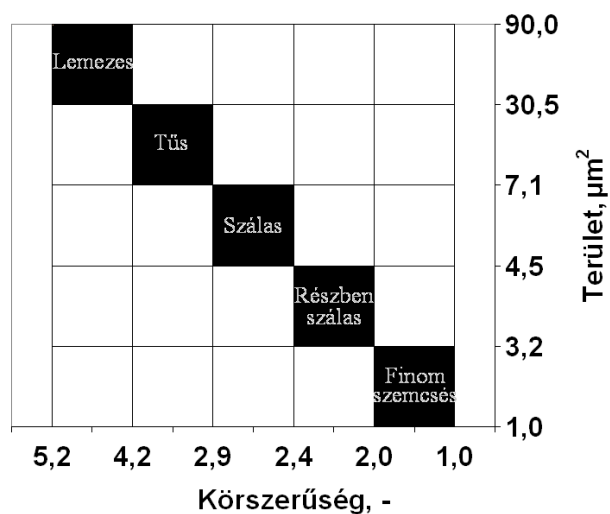
A szakirodalom alapján a stronciummal módosított (50-200 ppm) szilíciumban az ikersíkok száma jóval több, mint a kevés vagy nulla stroncium tartalommal rendelkező, jellemzően nem

módosított ötvözetben. A $v=0,05$ mm/s mozgatósi sebességű próbadarabok vizsgálati eredményei ezzel összhangot mutattak azzal a különbséggel, hogy mindkét próbadarab Sr koncentrációja gyakorlatilag elegendő volt a módosítottág eléréséhez, ami ettől függetlenül kevert esetben mégsem történt meg. Ez a tény is alátámasztja azt, hogy a stroncium jelentős része a mágneses keveréssel előállított próbatestekben nem vett részt a módosítás folyamatában.

A TEM vizsgálatok eredményei azonban arra is lehetőséget adtak, hogy a szilícium kristályok növekedési mechanizmusait is tanulmányozzam. Gyakorlatilag mind az ismétlődő éllel történő ikersíki növekedésre („TPRE”), mind a réteges növekedési mechanizmusra sikerült megfigyelnem példát.

A minták szövetszerkezetének vizsgálata alapján megállapítottam, hogy a kristályosítás során alkalmazott forgó mágneses keverés csökkenti a porozitás kialakulását. $V=0,05$ mm/s mozgatósi sebesség esetében $\sim 70\%$ -kal, míg $v=0,2$ mm/s sebesség esetében $\sim 74\%$ -kal. A kialakult pórusokat vizsgálva elmondható, hogy a porozitás kialakulásában szerepet játszó oxid hártva vastagsága néhány μm mindössze az irodalomban bemutatott $10 \mu\text{m}$ -es réteggel szemben.

Kísérleteim másik csoportja a módosítottág egyértelmű kategorizálhatósága köré csoportosult. Ennek megfelelően az etalon képekkel történő szubjektív összehasonlítás és a morfológiai paraméterek alapján meghatározható objektív módosítottág meghatározás relációjában javaslatot tettem egy pontos módosítottág kategorizálási eljárásra. Ennek első lépésében a szakirodalomban felellhető etalonoknak minősített szövetképeket dolgoztam fel. Megállapítottam, hogy az eutektikus Si szemcsék módosítottágának megállapításához a terület, mint méretre és a körszerűség, mint alakra jellemző paraméterekkel történő jellemzés tökéletesen elegendő a kialakuló Si morfológia leírásához. Azaz a célként megfogalmazottaknak megfelelően kialakítottam egy olyan paraméter együttest a hozzá tartozó érvényességi intervallumokkal



2.1. ábra. A módosítottág kategorizálása: paraméter együttes a hozzá tartozó intervallumokkal







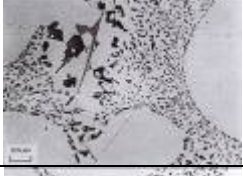
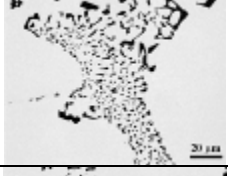


(2.1. ábra), mely alkalmazásával egy bármely próbatesten történő mérés alapján egyszerűen és látványosan – az „etalonképekkel” segítve – végrehajtható a módosítottág meghatározása és kategorizálhatósága. Az általam tett javaslat viszonylag egyszerű, nem igényel sok látómezős mérést és pontos, megbízható eredményt ad.

3. Új tudományos eredmények

1. Al₇Si_{0,3}Mg ötvözet $v=0,01$; $v=0,05$ és $v=0,2$ mm/s mozgató sebességgel ($G=6$ K/mm) forgó mágneses térben ($B=19$ mT, $f=150$ Hz) végzett irányított kristályosítása során, az olvadékmozgás hatására a kristályosodási front mozgási irányában jelentős, a szakirodalomból közismert makrodúsulás alakul ki.
 - 1.1. A Si átlagos területarányának változása a kristályosodási fronttal párhuzamos tengely mentén lineáris: $v=0,2$ mm/s mozgató sebességnél, míg $v=0,01$ mm/s és $v=0,05$ mm/s esetben a lineáristól eltér. A jelenség valószínű oka, hogy a front mozgási sebességének a mágneses keverés hatására kialakuló olvadékaramláshoz viszonyított értékétől függően a folyamatosan csökkenő olvadéktérfogatban eltérő áramlási viszonyok alakulnak ki.
 - 1.2. Definiáltam a „D” paramétert, ami azt mutatja, hogy mennyi a Si területaránya a próbatest egyes részein az átlaghoz viszonyítva (az 1 mm vastagságú hengergyűrűben mért átlagos Si területarány és a próbatestre számolt átlagos Si területarány hányadosa). Ennek segítségével bemutattam, hogy a kristályosodás irányára merőlegesen, annak kezdetekor negatív, a végén pozitív dúsulás a jellemző. A „D” paraméter jól szemlélteti, hogy a makrodúsulás a mozgató sebességtől függ: kisebb mozgató sebességek esetében ($v=0,01$ és $v=0,05$ mm/s) erőteljesebb: a „D” értéke 0,5-ről 2,5-re változik, míg a nagyobb mozgató sebességgel kristályosított próbatesteknél ($v=0,2$ mm/s) kevésbé intenzív: a „D” paraméter 0,3-1,5 tartományba esik.
2. Vizsgálataim során megállapítottam, hogy a Si morfológiáját adott hőmérséklet gradiense esetén a mozgató sebesség és a stroncium kémiai kötöttség vagy kevésbé kötöttség állapota befolyásolja.
 - 2.1. Bizonyítottam, hogy a módosításért felelős Sr tartalom kétféle formában fordul elő. Egy könnyebben oldható, kémiai módszerekkel egyszerűbben támadható (híg sósavas eljárással) atomosan oldott és egy kötöttebb, kevésbé oldható vegyület, amelyik csak erőteljes, salétromsav – hidrogénfluoridos oldási eljárás hatására vihető oldatba. Ebben a kevésbé oldható formában a stroncium vegyületet képez a szilíciummal, mely a Sr₂Si képlettel írható le. A módosításban a kémiai kötöttség, atomosan oldott Sr vesz részt, míg a vegyületet képező stroncium nem játszik szerepet.
 - 2.2. Igazoltam, hogy a stronciumos módosítás következtében a Si szemcsék ismétlődő élel történő ikersíkú növekedéssel, és réteges növekedési mechanizmussal növekednek úgy, hogy a kétféle mechanizmus egymás mellett fordul elő.
3. Megállapítottam, hogy a forgó mágneses tér hatására bekövetkező olvadékaramlás kedvezően befolyásolja a porozitás területarányát, de kedvezőtlenül a Si módosítottságát.

- 3.1. Megállapítottam, hogy a porozitás területaránya $v=0,05$ mm/s mozgató sebesség esetében $\sim 70\%$ -kal, míg $v=0,2$ mm/s sebesség esetében $\sim 74\%$ -kal csökken le.
- 3.2. A keverés nélkül kialakuló szálas Si morfológia a forgó mágneses térben történő kristályosítás során $v=0,05$ mm/s mozgató sebesség esetén tűssé válik, ennek oka, hogy az olvadákáramlás elősegíti a Sr_2Si vegyület fázis képződését és így nem marad atomosan oldott Sr.
4. Bizonyítottam, hogy a Si szemcsék módosíthatóságának jellemzéséhez mind a termikus analízisből nyert módosítási hatástényezőre, mind a szövetszerkezet alapján történő kategorizálásra szükség van.
- 4.1. Megállapítottam, hogy a termikus analízisből nyert, az öntészeti gyakorlatban alkalmazott módosítási hatástényező elégséges a módosíthatóság megállapításához, de nem elegendő a módosíthatóság pontos jellemzéséhez.
- 4.2. Bizonyítottam, hogy az eutektikus Si szemcsék módosíthatóságának kategorizálása a Si szemcsék átlagos területe és körszerűsége alapján lehetséges. A szakirodalomban és az amerikai szabványban használatos szövetsképeket, mint etalonképeket használva meghatároztam az egyes kategóriákra jellemző paraméter intervallumokat. Ennek alkalmazásával egyszerűen végrehajtható a módosíthatóság kategorizálása.

Módosíthatóság kategorizálási táblázat

<i>Szövetkép</i> [AFS]	<i>Szövetkép</i> [Djurdjevic et al.]	<i>Módosítás</i> <i>kategóriája</i>	Javasolt intervallum	
			<i>Terület</i> (μm^2)	<i>Körszerűség</i> (-)
		Lemezes	>30,5	>4,2
		Tűs	30,4-7,1	4,1-2,9
		Szálas	7,0-4,5	2,8-2,4
		Részbenszálas	4,4-3,2	2,3-2,0
		Finomszemcsés	3,1>	1,9-1,0

4. A tudományos eredmények gyakorlati alkalmazásának lehetőségei

Az öntészeti Al-Si ötvözetek alkalmazása jelentős szerepet tölt be napjainkban, főleg az autóiparban. Sok esetben az öntvények biztonságtechnikai alkatrészeknek minősülnek, azaz szigorú előírásoknak megfelelő mechanikai tulajdonságokkal kell rendelkezniük. A mechanikai tulajdonságok a szövetszerkezettől függenek, így annak kialakítása és minősítése rendkívül fontos.

A szövetszerkezetet befolyásoló eljárások egyik fajtája az olvadékkezelés, melynek egy részét az eutektikus szilícium módosítása teszi ki. A módosítás folyamatával kapcsolatban mai napig nincs egységes álláspont a szakirodalomban és számos nyitott kérdés is fennáll. Vizsgálataimmal kimutattam, hogy az olvadékba adagolt stroncium, mint módosító elem hatására, az eutektikus Si szemcsék ismétlődő éllel történő ikersíkú növekedéssel („TPRE”), és réteges növekedési mechanizmussal növekednek úgy, hogy a kétféle mechanizmus egymás mellett fordul elő. Továbbá bizonyítottam, hogy a módosítás céljából hozzáadott stroncium tartalom nem vesz részt teljes egészében a módosítás folyamatában. Egy része vegyületet képez a szilíciummal (Sr_2Si) és passzív résztvevője, míg az atomosan oldott stroncium tényleges, aktív résztvevője a módosításnak. Eredményeim segítenek megérteni a stronciummal történő módosítás folyamatát és bevezethetők a graduális képzésbe.

A módosítás hatékonyságának vizsgálatára több eljárás is ismert, azonban ezek nem adnak minden esetben objektív, pontos eredményt. A módosítottságot a gyakorlatban lehülési görbékből megállapított módosítási hatástényezővel illetve etalonképekkel történő összehasonlítással, a szakirodalomban különböző morfológiai paraméterek, mint például körszerűség, nyújtottság, ekvivalens körátmérő, kerület, terület, kitöltöttség meghatározásával állapítják meg. Az általam kidolgozott módosítottság kategorizálásra alkalmas módszert két eljárás, az etalonképekkel történő összehasonlítás és a morfológiai paraméterek mérésének integrálásával alakítottam ki, mely során létrehoztam egy olyan paraméter együttest a hozzátartozó érvényességi intervallumokkal, mely alkalmazásával egy próbatesten történő mérés alapján egyszerűen és látványosan – az „etalonképekkel” segítve – meghatározható a módosítottság kategóriája.

Az általam tett javaslat viszonylag egyszerű, nem igényel sok mérést és megbízható eredményt ad. Ez a módszer az öntészeti gyakorlatban jól használható kiegészítve a már alkalmazott eljárásokkal.

5. Publikációk

Folyóirat cikkek

Jenő Kovács, Gréta Gergely, Zoltán Gácsi, András Roósz, Arnold Rónaföldi: Quantitative characterisation of macrosegregation produced by forced melt flow, International conference on Solidification Science and Processing India, Jaipur, India, 19-26. November 2006. Trans Ind. Inst. Metals, 60 (2007). pp.149-154. [IF (2005)= 0,078]

Gréta Gergely, Zoltán Gácsi, Olivér Bánhidi, Jenő Kovács, Arnold Rónaföldi: The effect of rotating magnetic field on the solidification of A356 alloy modified by strontium, Materials Science Forum, Vol.589 (2008), pp.305-310.

Gergely Gréta, Gácsi Zoltán: A Si morfológiájának jellemzése a módosított Al-Si ötvözetekben, BKL Kohászat, közlése folyamatban

Konferencia kiadványokban publikált cikkek

Gergely Gréta, Gácsi Zoltán: Doktoranduszok Fóruma, Műszaki Anyagtudományi Kar szekció kiadványa, Miskolc, Miskolci Egyetem, 2005. november 9. pp. 14-19.

Gergely Gréta, Roósz András, Kovács Jenő, Rónaföldi Arnold, Gácsi Zoltán: Mágneses keverés hatása az irányítottan kristályosított ötvözetek szövetszerkezetére, Bányászati- Kohászati Földtani Konferencia, Sepsiszentgyörgy, Románia, Konferencia kiadvány 2006. április 6-9., pp.171-174.

Gréta Gergely, Zoltán Gácsi, Arnold Rónaföldi, Jenő Kovács: Effect of magnetic stirring on the microstructure of Al-Si alloys modified with strontium. microCAD 2007, International Scientific Conference, Section D: Material Science and Material Processing Technologies. University of Miskolc, 22-23 March 2007. pp.19-23.

Gergely Gréta, Rónaföldi Arnold, Kovács Jenő, Gácsi Zoltán: Mágneses mezőben irányítottan kristályosított Sr-mal módosított Al-Si ötvözetek szövetszerkezetének jellemzése, Bányászati- Kohászati Földtani Konferencia, Buziásfürdő, Románia, 2007. március 29- április 1. pp.66-70.

J. Kovács, A. Rónaföldi, G. Gergely, Z. Gácsi, A. Roósz: Characterisation of the structure of Al-7Si-0.6Mg alloys solidified unidirectionally under a rotating magnetic field. 5th Decennial International Conference on Solidification Processing, Sheffield, UK, 23-25 July 2007. pp.405-410.

Gréta Gergely, Zoltán Gácsi: Characterisation of the structure of A356 alloy produced by RMS, 44th foundry Days/ 4th International PhD Foundry Conference, 16-17 October 2007, Csehország, Brno. Konferencia kiadvány CD

Előadások

Gergely Gréta, Gácsi Zoltán: Öntött alumínium keréktárcsák szövetszerkezetének vizsgálata. Doktoranduszok Fóruma, Miskolc, Miskolci Egyetem, 2005. november 9.

Gergely Gréta, Roósz András, Kovács Jenő, Rónaföldi Arnold, Gácsi Zoltán: Mágneses keverés hatása az irányítottan kristályosított ötvözetek szövetszerkezetére, Bányászati- Kohászati Földtani Konferencia, Sepsiszentgyörgy, Románia, 2006. április 6-9.

Gergely Gréta, Gácsi Zoltán: A mágneses keverés hatása a stronciummal kezelt Al-7Si-0,6 Mg ötvözet szövetszerkezeti inhomogenitására, Doktoranduszok Fóruma, Miskolc, Miskolci Egyetem, 2006. november 9.

Gréta Gergely, Zoltán Gácsi, Arnold Rónaföldi, Jenő Kovács: Effect of magnetic stirring on the microstructure of Al-Si alloys modified with strontium. microCAD 2007, International Scientific Conference, Section D: Material Science and Material Processing Technologies. University of Miskolc, 22-23 March 2007.

Gergely Gréta, Rónaföldi Arnold, Kovács Jenő, Gácsi Zoltán: Mágneses mezőben irányítottan kristályosított Sr-mal módosított Al-Si ötvözetek szövetszerkezetének jellemzése, Bányászati-Kohászati Földtani Konferencia, Buziásfürdő 2007. március 29- április 1.

Gréta Gergely, Zoltán Gácsi: Characterisation of A356 alloy, 44th foundry Days/ 4th International PhD foundry conference, 16-17th October 2007, Csehország, Brno

Gréta Gergely, Zoltán Gácsi, Olivér Bánhidi, Jenő Kovács, Arnold Rónaföldi: Forgó mágneses tér hatása a stronciummal módosított A356 ötvözet kristályosodására, Országos Anyagtudományi konferencia/ Hungarian Materials Science Conference/, 2007. október 14-16, Siófok

Gréta Gergely, Zoltán Gácsi, Olivér Bánhidi, Jenő Kovács, Arnold Rónaföldi: Characterization of the structure of A356 alloy produced by rotating magnetic field, Junior Euromat, Lausanne, Switzerland, 14-18 July 2008.

Gréta Gergely, Zoltán Gácsi: Characterization of morphology of Si in the modified Al-Si alloys, 5th International Conference on Solidification and Gravity, Lillafüred, Hungary, 1-4 September 2008.

