

A STRONCIUM HATÁSA AZ AL-SI ÖNTÉSZETI ÖTVÖZETEK SZÖVETSZERKEZETÉRE

Kósa Anett¹, Dúl Jenő², Gácsi Zoltán³

¹junior kutató, ²Dr., egyetemi docens, ³Prof., Dr., egyetemi tanár

¹Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Anyagtudományi Intézet

²Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Öntészeti Intézet Tanszék

³Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Anyagtudományi Intézet

ABSZTRAKT

Az Al-Si öntészeti ötvözetek eutektikumának módosítása általánosan elfogadott és használt eljárás, elsősorban a mechanikai tulajdonságok javítása érdekében, azáltal, hogy elősegíti az eredendően durva, lemezes Si fázis finomodását. Kutatómunkánk során kétféle alacsony stroncium tartalmú öntészeti Al-Si (AlSi9Cu1 és AlSi9Cu3Fe) ötvözetet alkalmaztunk, melyekhez fokozatosan adagoltuk a módosító elemet, illetve vizsgáltuk annak a szövetszerkezetre gyakorolt hatását. Vizsgálataink során a következő méréseket alkalmaztuk: mikroszkópi szövetvizsgálat, szekunder dendritág távolság mérés, számítógépes képelemzés, pásztázó elektronmikroszkópi vizsgálat és mikroszondás analízis.

1. BEVEZETÉS

Az alumínium öntészeti ötvözetek fontos csoportját alkotják az Al-Si ötvözetek, melyek széleskörű felhasználással rendelkeznek, legfőképp az autóiparban, de akár az űrhajózás területén is találkozhatunk velük. Egy adott ötvözet felhasználási területét a belőle készült öntvény fizikai és mechanikai tulajdonságai határozzák meg, melyet kémiai összetételük és szövetszerkezetük befolyásol. A hipoeutektikus Al-Si öntészeti ötvözetek esetén a szövetszerkezet két fő szöveteleme a primér α -Al szilárdoldat dendritok és az Al-Si eutektikum, így a mechanikai tulajdonságok leginkább ezek tulajdonságaitól függnék. [1,2]

Az eutektikum képződésekor a szilícium durva, lemezes formában kristályosodik, mely mechanikai szempontból előnytelen az öntvényre nézve, hiszen az éles sarkok feszültséggyűjtő helyek, így a használat során törést eredményezhetnek. Ezen morfológia megváltoztatására az Al-Si öntészeti ötvözetekhez módosító anyagként stronciumot adagolnak, melynek hatására az eutektikus Si gömbszerű alakban kristályosodik, javítva ezzel az adott öntvény mechanikai tulajdonságait. [3-7]

A finomabb, szálás eutektikus szerkezet kétféle módon is elérhető. Egyrészt módosító elemek adagolásával, úgymint Na, Sr, Sb; másrészt a hűlési sebesség növelésével, viszont ebben az esetben teljes módosítás nem hozható létre, így nélkülözhetetlenek a módosító elemek. [3,5]

2. KÍSÉRLETI KÖRÜLMÉNYEK

A stroncium szövetszerkezetre gyakorolt hatásának kimutatására AlSi9Cu1 és AlSi9Cu3Fe alacsony Sr tartalmú ötvözetből kiindulva, folyamatosan növelve annak mennyiségét került sor a próbadarabok leöntésére (1. táblázat).

1. táblázat
Az öntés során alkalmazott stroncium tartalmak

Öntési sorozat	Ötvözet	Minta száma	Számított Sr, ppm	Elemzett Sr, ppm
1.	AlSi9Cu1	1/1	20	11
		1/2	50	41
		1/3	100	115
		1/4	150	152
2.	AlSi9Cu3Fe	2/1	20	17
		2/2	50	45
		2/3	100	105
		2/4	150	171
		2/5	200	222
		2/6	250	326

A vizsgálatok tárgyát képező minták termikus analízis méréséből, illetve szakítópálcákból származnak, így a hűlési sebesség különbség hatása is vizsgálható. Az olvadék hőmérsékletét az ipari gyakorlatnak megfelelően ~ 750°C-on tartottuk. A módosításhoz AlSr10 mesterötvözetet használtunk.

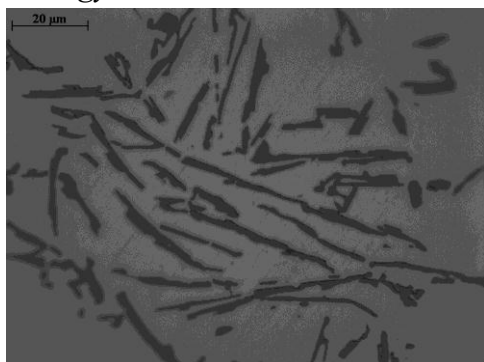
3. EREDMÉNYEK

3.1. A stroncium és a hűlési sebesség szövetszerkezetre gyakorolt hatása

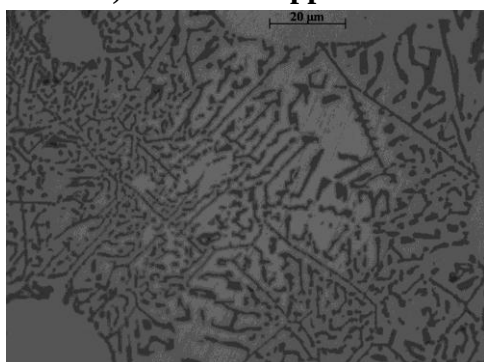
Az 1. ábrán összevetettük a gyorsabban hűlt, szakítópálcákból kimunkált és a lassabban hűlt, termikus analízisből származó AlSi9Cu1 ötvözetből öntött minták mikroszkópi felvételeit.

Mind a két esetben jól látható a stroncium adagolás hatására bekövetkező eutektikus szilícium finomodása, azonban a szakítópálcák esetén az is megfigyelhető, hogy a gyorsabb hűlési sebesség hatására az eutektikum sokkal finomabb szerkezetű ugyanolyan Sr tartalom mellett. A felvételekből az is látható, hogy a 41 ppm stronciumot tartalmazó minták - 1. c) és d) ábra - esetén a hűlési sebesség növelése jelentősen módosította az eutektikum szerkezetét, jóval kisebb és finomabb, gömbszerű fázisok jelentek meg. Mind a termikus analízis mintái, mind szakítópálcák esetén megfigyelhető, hogy a 115 és 152 ppm stronciumot tartalmazó minták esetén már jelentős különbségek nem tapasztalhatók a módosítás mértékében.

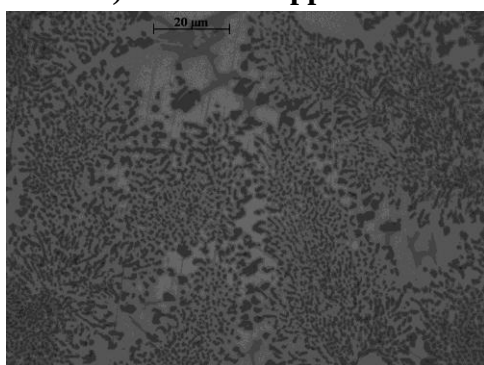
Szakítópálcákból kimunkált
- *gyorsabban hűlt* - minták



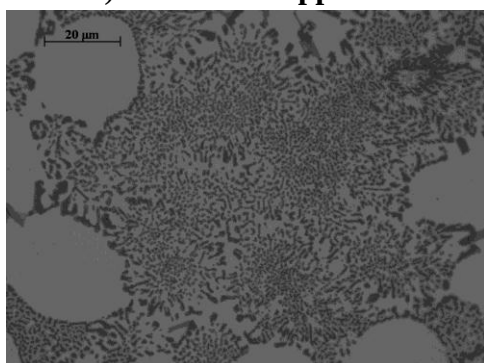
a) 1/1-SzP: **11 ppm Sr**



c) 1/2-SzP: **41 ppm Sr**

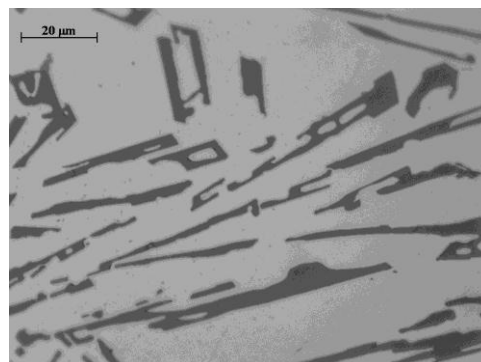


e) 1/3-SzP: **115 ppm Sr**

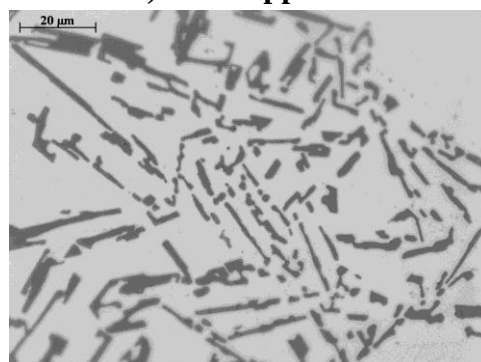


g) 1/4-SzP: **152 ppm Sr**

Termikus analízisből származó
- *lassabban hűlt* - minták



b) 1/1: **11 ppm Sr**



d) 1/2: **41 ppm Sr**



f) 1/3: **115 ppm Sr**



h) 1/4: **152 ppm Sr**

1. ábra

A szakítópálcák és a termikus analízisből származó minták szövetszerkezetei
AlSi9Cu1 ötvözet esetén (1000 X nagyítás)

A hűlési viszonyok pontosabb meghatározására szekunder dendritág távolságot mértünk a Fémteni Tanszéken fejlesztett számítógépes képelemző program segítségével. A 2. táblázat ezen eredményeket mutatja, melyből látható, hogy körülbelül kétszeres az eltérés a termikus analízisből származó és a szakítópálcákból kivett minták szekunder dendritág távolsága között. A 1. képlet alapján ez az eltérés nyolcszoros hűlési sebesség különbségre utal.

2. táblázat

A vizsgált minták szekunder dendritág távolságai

	SDAS átlag, μm
Termikus analízisből származó minták	47
Szakítópálcákból származó minták	23

$$SDAS = konst \left(\frac{dT}{dt} \right)^{-\frac{1}{3}} \quad (1.)$$

3.2. Az eutektikus Si részecskék kvantitatív metallográfiai jellemzése számítógépes képelemzés alkalmazásával

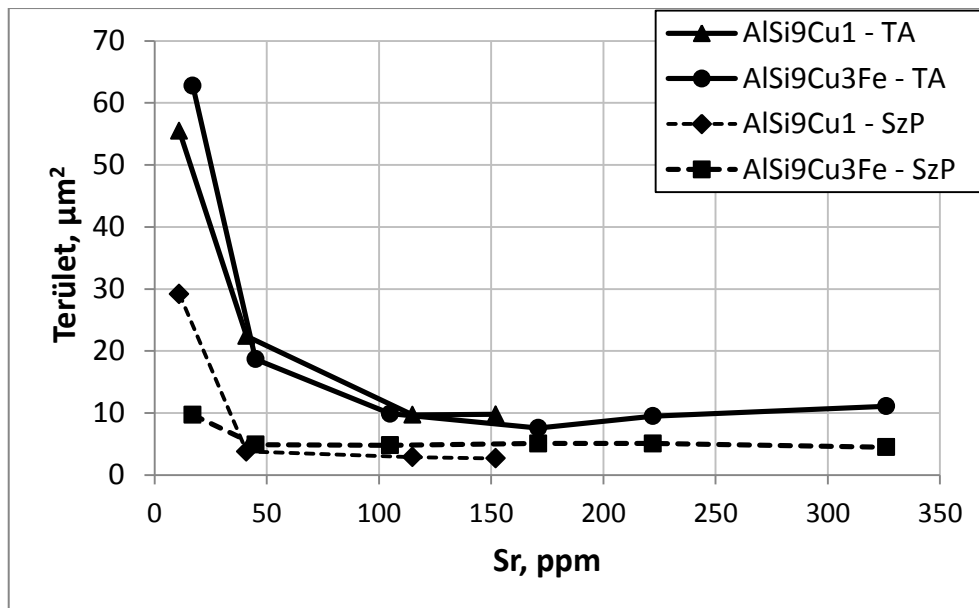
Az egyes minták módosítottságának számszerűsítését három paraméter – a terület, a körszerűség és a szemcseszám – meghatározásával végeztük el Leica képelemző program segítségével. A diagramokon folytonos vonal jelzi a termikus analízisből származó - lassabban hűlt - minták értékeinek változását, míg a szakítópálcákból származó - gyorsabban hűlt - mintákét szaggatott.

Mind a két ötvözetből, illetve kétféle hűlési körülményekből származó minták eutektikus Si részecskéit jellemző adatok görbéiből jól látható, hogy a Sr tartalom növekedésével az eutektikus Si részecskék területe és körszerűség értéke csökken, szemcseszám pedig nő, tehát finomodik az eutektikum szerkezete. Továbbá az is megfigyelhető, hogy már nagyon alacsony Sr tartalom mellett is jelentős mértékű a módosító hatás, viszont ez a csökkenés fokozatosan lassul, végül pedig beáll egy adott értékre.

A terület és a szemcseszám esetén a hűlési viszonyok eltérése miatt a termikus analízisből származó és a szakítópálcákból kimunkált minták Si részecskéinek átlagos terület és körszerűség értékeiből adódó görbepárok jól elkülönülnek egymástól. Természetesen a gyorsabban hűlt minták eutektikumának Si részecskéinek területe kisebb, mely növekvő szemcseszámot eredményez. A körszerűség értékében a hűlési viszonyok eltérése nem okoz ilyen nagy különbségeket.

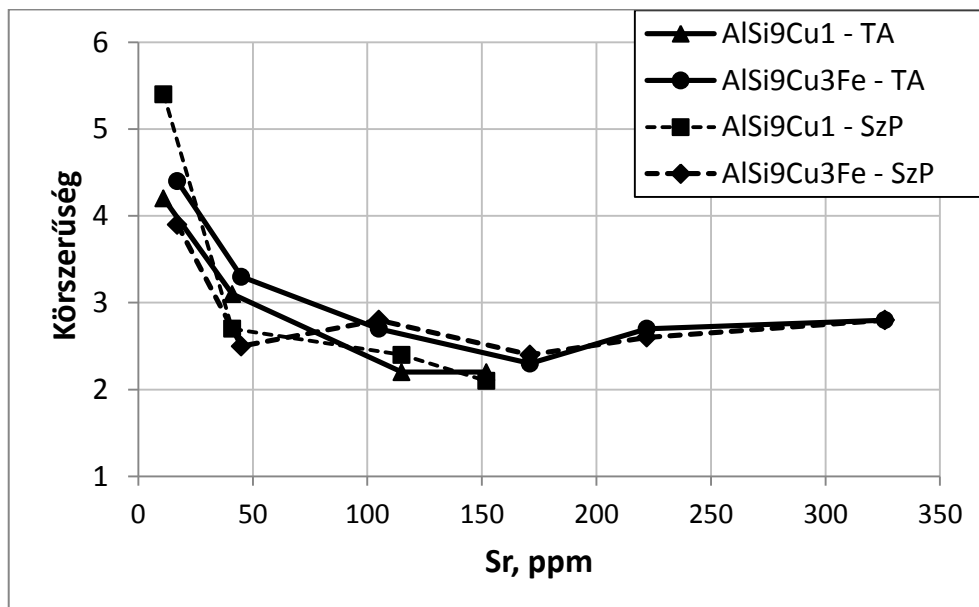
A Si részecskék területének változásából jól látható, hogy a lassabban hűlt minták esetén ~100 ppm Sr tartalom felett már nincs változás az értékekben, a területük ~10 μm^2 értékben állandósul. A gyorsabban hűlt minták esetén már ~50 ppm Sr tartalomnál állandósul a Si részecskék területe, melynek értéke ~5 μm^2 . A körszerűség ~2,5 értékben állandósul mind a két – 50 és 100 ppm – Sr tartalom esetén.

A görbék lefutásából megjegyzendő, hogy ~50 ppm Sr tartalomig nagyon meredeken csökken a Si részecskék területe, melyet a hűlési sebesség növekedése még meredekebbé tesz. Ez abból látható, hogy a 11 és 17 ppm stronciumot tartalmazó szakítópálcákból származó minták Si részecskéinek területe között jelentős eltérés figyelhető meg. A mindössze 6 ppm különbség harmadára csökkentette a Si részecskék területét, és ebből következően a szemcseszámot is jelentős mértékben megnövelte. A két minta közötti eltérés a körszerűség értékében is megmutatkozik, bár nem ilyen jelentős mértékben.



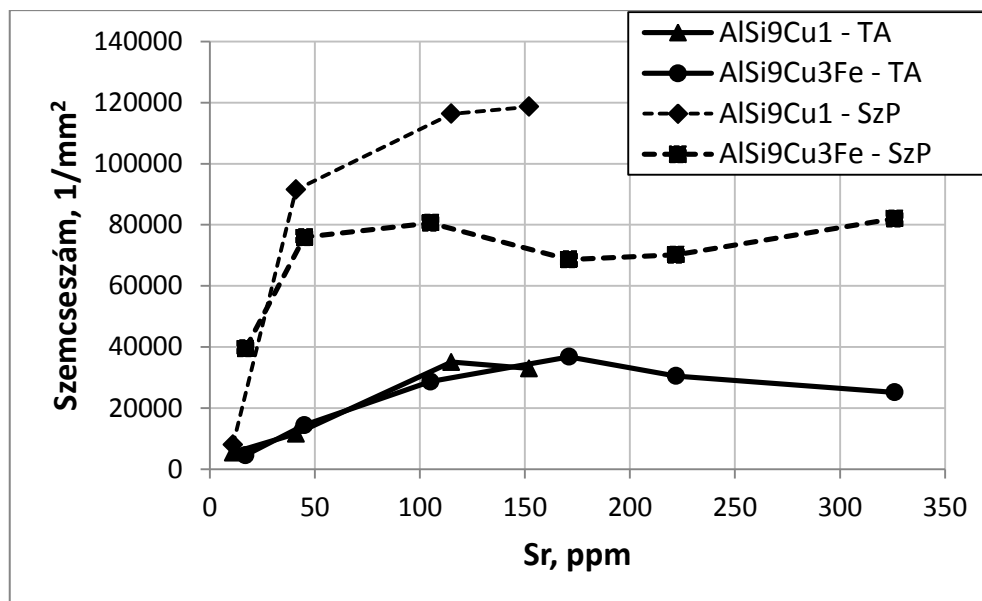
2. ábra

Az eutektikus Si részecskék átlagos területének változása a Sr tartalom függvényében



3. ábra

Az eutektikus Si részecskék átlagos körszerűségének változása a Sr tartalom függvényében

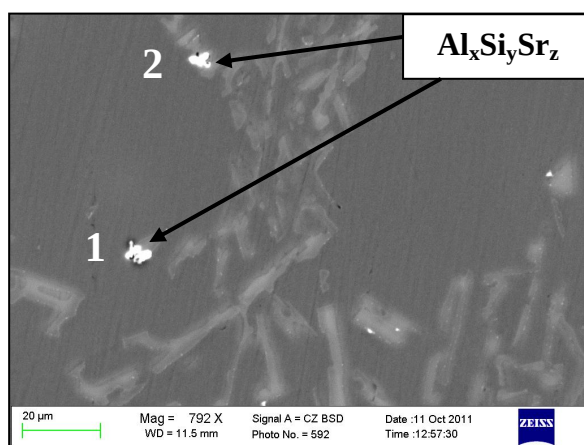


4. ábra

Az eutektikus Si részecskék területegységre vonatkoztatott szemcseszámának változása a Sr tartalom függvényében

3.3. Pásztázó elektronmikroszkópi vizsgálat és mikroszondás analízis

A 152 ppm stronciumot tartalmazó (1/4) mintában (5. ábra) sikerült azonosítani stronciumot tartalmazó – feltehetően $Al_xSi_ySr_z$ - vegyületfázist, melynek azért van jelentőse, mert az ilyen vegyületben kötött Sr nem tudja kifejteni az eutektikus szilíciumra gyakorolt jótékony, módosító hatását. Mivel oxigént is mértünk a mintában, így valószínűleg oxidos formában jelent meg a vegyületfázis.



Kémiai összetétel				
Elem	Wt%		At%	
	1.	2.	1.	2.
Al	36,3	53,06	41,17	57,29
Si	29,61	17,03	32,27	17,66
Sr	23,09	17,39	8,06	5,78
O	8,23	7,94	15,73	14,46

5. ábra

A 152 ppm stronciumot tartalmazó mintáról készült SEM felvétel, illetve a számokkal jelölt fázisokhoz tartozó kémiai összetétel

Az AlSi9Cu3Fe ötvözetből származó 326 ppm stronciumot tartalmazó (2/6) mintát is vizsgáltuk, azonban a nagyobb koncentráció ellenére sem sikerült stronciumot tartalmazó vegyületfázist azonosítanunk benne. Ennek oka, hogy az

AlSi9Cu3Fe ötvözet jóval több szennyezőt, így több ólmot is tartalmazott, mely az elektronmikroszkópi felvételeken még fehérebben világít, mint a stronciumos vegyületfázis, így nehezíti annak megtalálását.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

1. A hűlési sebesség növelése jelentősen befolyásolja az eutektikum szerkezetét, minél gyorsabb a hűlés, annál finomabb az eutektikum, ugyanolyan stroncium tartalom mellett.

2. A stroncium módosító hatása egy adott értékig intenzív, melyet elérve állandósul ez a hatás. A lassabban hűlt - termikus analízis méréséből származó - minták esetén ez az érték 100 ppm, míg a gyorsabban hűlt – szakítópálcákból kimunkált - minták esetén már 50 ppm Sr tartalom mellett elérhető a módosított szerkezet. Ezen értékek felett történő további Sr adagolás már gyakorlatilag nem finomítja tovább az eutektikum szerkezetét.

3. A 152 ppm stronciumot tartalmazó mintában azonosítottunk stronciumot tartalmazó vegyületfázist, mely nem vesz részt az eutektikum módosításában.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Małgorzata Warmuzek: Aluminum-Silicon Casting Alloys; Atlas of Microfractographs, ASM International, (2004) p. 1-9.
- [2] J. Gilbert Kaufman, Elwin L. Rooy: Aluminum Alloy Castings; Properties, Processes, and Applications; ASM International, (2004)
- [3] A.K. Dahle, K. Nogita, S.D. McDonald, C. Dinnis, L. Lu: Eutectic modification and microstructure development in Al-Si Alloys, Materials Science and Engineering A 413-414, (2005) p. 243-248.
- [4] Gergely Gréta: A stroncium és az olvadékáramlás hatása a Si morfológiájára, Al7Si0,3Mg ötvözet esetén, PhD értekezés, ME (2008)
- [5] X. Chen, H. Geng, Y. Li: Study on the eutectic modification level of Al-7Si Alloy by computer aided recognition of thermal analysis cooling curves, Materials Science and Engineering A 419, (2006), p. 283-289.
- [6] L. Liu, A. M. Samuel, F. H. Samuel, H. W. Doty, S. Valtierra: Characteristics of α -dendritic and eutectic structures in Sr-treated Al-Si casting alloys, Journal of Materials Science 39, (2004), p 215-224.
- [7] M. Zafir, B. McKay and P. Schumacher: Study of Heterogeneous Nucleation of Eutectic Si in High-Purity Al-Si Alloys with Sr Addition, Metallurgical and Materials Transactions, (2011), p. 1684-1688.