

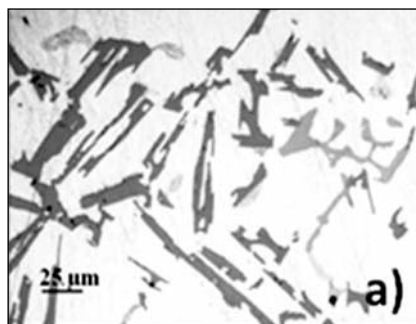
A stroncium módosító hatása az AlSi8Cu3 öntészeti ötvözet tulajdonságaira

Üzemi körülmények között vizsgáltuk a stronciumnak az eutektikum szilíciumára gyakorolt módosító hatását AlSi8Cu3 öntészeti ötvözetnél az üzemi gyakorlatban alkalmazott, nagyobb (>100 ppm) és a gyakorlattól eltérően, kisebb (~100 ppm) stronciumtartalom esetén. A módosítottság mértékét lehülési görbék alapján és etalonképekkel történő összehasonlítással határoztuk meg a termikus elemzés során öntött próbatesteken és készre öntött ötvények esetén. Vizsgáltuk az adott hűlési körülmények között öntött ötvények mechanikai tulajdonságait.

Bevezetés

A könnyűfémöntészet alapanyagainak nagy részét az eutektikus közeli (12% Si-tartalmú) Al–Si alapú ötvözetcsalád teszi ki. Felhasználása széleskörű, jelentős mértékben alkalmazzák járműipari ötvények gyártása során. A felhasználási feltételektől függően az ötvényekre egyre szigorodó követelmények vonatkoznak, melyek szerint közel azonos szilárdsági és szívóssági feltételekkel kell rendelkezniük az ötvényen belül. Az öntészeti ötvözetek esetén számos paraméter befolyásolja a kialakuló szövetszerkezetet és annak szilárdsági tulajdonságait, mint például az eutektikum szilíciumának módosítottsági foka, a dendritágtávolság, a porozitás mértéke és az intermetallikus vegyületek megjelenési formái [1].

Jelentős minőségjavító hatással van a szilárdsági tulajdonságokra az ún. „módosítás”. Az Al–Si olvadékok módosításának célja, hogy előötvözet hozzáadásával a kristályosodás során megakadályozzuk a durva szilíciumkristályok megjelenését, elősegítve ezzel a finomszemcsés szövetszerkezet kialakulását. Abban az esetben, ha az eutektikum kristályosodásakor lemezes szilícium válik ki, akkor az véletlenszerűen kisebb-nagyobb kolóniákba összeállva megnehezíti az olvadéknak az ötvény anyaghiányos helyeire való jutását, azaz fogyási üregek képződhetnek. Az üzemi gyakorlatban az eutektikum szilíciumának módosítására megfelelő mennyiségben, előötvözetek formájában ún. módosító anyagokat al-



■ 1a-b. ábrák. Az Al–Si ötvözet eutektikumának kristályosodásakor kiváló szilícium morfológiája a) módosítatlan és b) módosított esetben, N = 500 ×

kalmaznak, jellemzően nátriumot, stronciumot és antimont [2, 3, 4].

A nem módosított Al–Si ötvözetekben az eutektikum szilíciuma lemezes, míg a módosított ötvözetekben finom, gömbszerű, szemcsés a morfológiája (1a-b. ábrák). További paraméter, amellyel hozzájárulhatunk a szilíciumszemcsék finomításához, az a hűtési sebesség. Teljes módosítás azonban nem hozható létre csak a hűtési sebesség növelésével, szűkség van módosító anyagok hozzáadására is [5].

Mende-Tokár Monika 2011-ben végzett okl. kohómérnökként a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán öntész–anyagvizsgálat szakirányon. 2014 óta az Öntészeti Intézet tanársegédje, a Könnyűfém ötvözetek metallurgiája és az Öntészeti technológiák II. tantárgyak oktatója. Apáczai Csere János doktoranduszi ösztöndíjas (2013–2014), Kiváló fiatal öntész MÖSZ-díjas (2015) és Kiváló konzulens díjas (2017). Kutatási területe az Al–Si öntészeti ötvözetek esetében alkalmazott módosító elemek hatásának vizsgálata.

Dr. Fegyverneki György szakmai életrajza a 15. oldalon olvasható.

Boros Viktória 2016-ban fejezte be ta-

nulmányait a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán öntész–fémelő-állító szakirányon. A NEMAK Győr Alumíniumöntöde Kft. folyamatmérnöke. NEMAK-ösztöndíjas hallgató (2014–2016), Műszaki Anyagtudományi Kar TDK II. helyezett (2014, 2015), kiváló szakmai munkájáért NEMAK-díjas (2015). Kutatási területe: az Al–Si öntészeti ötvözetek eutektikumának stronciummal történő módosítása, hatásának vizsgálata.

Dr. Mertinger Valéria 1990-ben a Miskolci Egyetem Kohómérnöki Karán fémalakító szakon, fémtani ágazaton, 1994-ben pedig a Kossuth Lajos Tudományegyetemen mérnök-fizikus szakon szerzett okle-

velet. PhD-fokozatát 1994-ben szerezte a Miskolci Egyetemen. A Műszaki Anyagtudományi Kar egyetemi tanára, a Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet igazgatója, a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola tisztagja. Témavezetésével eddig négy hallgató szerzett PhD-fokozatot. Jelenleg öt fő, köztük Majtényi József témavezetője. Főbb kutatási területei: kristályosodás, martenzites átalakulások alaklélek-ötözetekben és TWIP/TRIP acélokban, maradó feszültség meghatározása röntgendiffrakciós módszerrel, textúravizsgálatok, alumíniumötvözetek fémtani folyamatainak vizsgálata.

1. táblázat. Az AlSi8Cu3 kísérleti ötvözet kémiai összetétele

| Elemek | Si | Cu | Mg | Ti | Sb | Fe | Mn | Pb | Sn | Ni | Zn |
|--------|------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|------|
| % | 9,06 | 2,45 | 0,31 | 0,11 | 0,0011 | 0,49 | 0,45 | 0,03 | 0,0009 | 0,03 | 0,54 |

2. táblázat. A kísérleti olvadék kiinduló stronciumtartalma és a gáztalanító kezelés során beadagolt stroncium mennyisége

| Kísérletek | AlSi8Cu3 ötvözet | Az olvadék kiinduló Sr-tartalma, ppm | AlSr10 előötözet adagolás rotoros gáztalanító N ₂ -kezelés közben, ppm |
|------------|-----------------------|--------------------------------------|---|
| 1. | Növelt Sr-tartalommal | 168 | 40 |
| 2. | Csökkentett | 94 | – |
| 3. | Sr-tartalommal | 106 | – |



2. ábra. Üzemi technológiai folyamat

2. Kísérleti körülmények

A kísérleti öntések során ötvözetgyártói tisztaságú AlSi8Cu3 (226.10) ötvözetet vizsgáltunk, a kémiai összetétel az 1. táblázatban olvasható. Az olvadék stronciumtartalmának változtatásához 10% Sr-tartalmú, huzal alakban forgalmazott előötözetet használtunk.

A 2. táblázatban láthatóak a kísérletek esetében alkalmazott kiinduló stronciumtartalmak és a gáztalanító kezelés során változtatott (pótlólagosan beadagolt) stronciummértékek. Kísérleteink során változtattuk az olvadék kiinduló stronciumtartalmát, az 1. kísérlet esetében a stroncium előötözetet az üzemi gyakorlatnak megfelelően, N₂-gázzal történő rotoros gáztalanító kezelés közben adagoltuk az olvadékba.

A kísérleteket üzemi körülmények között végeztük el, mely a 2. ábrán látható technológiai folyamatokból állt. Az olvasztókemencében előkészített olvadékat első lépésben a kihordó üstbe csapoltuk, majd a hőntartó kemencébe töltöttük át. Ezt követően adagoltuk be az AlSr10 előötözetet. A stroncium adagolásával egyidejűleg történt a rotoros nitrogénes gáztalanító kezelés is, amelynek egyrészt a fémolvadék tisztaságának a javítása volt a célja, másrészt a stroncium egyenletes oldódását segítette elő. Ezután öntöttük le a kísérleti öntőformákba az öntvényeket. A kísérletek során minden technológiai

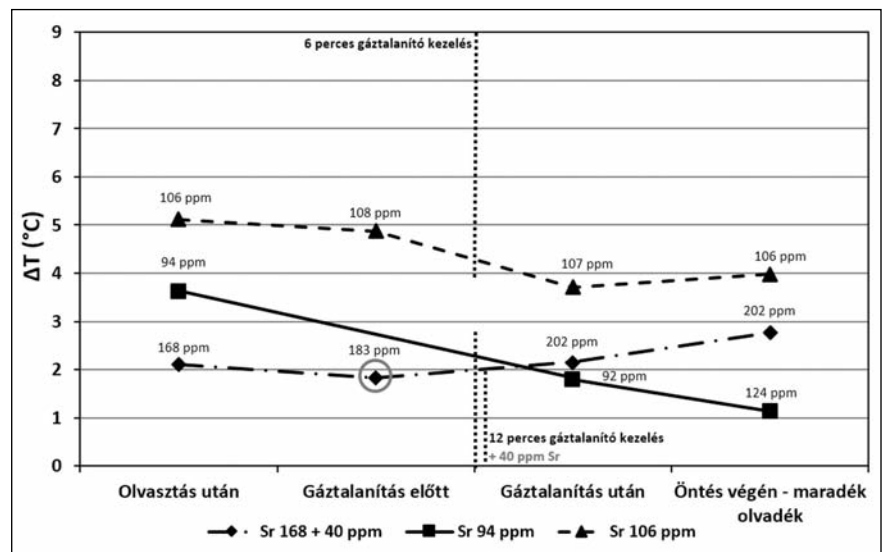
lépésben öntöttünk érempróbát is a pontos stronciumtartalom nyomon követése céljából, végeztünk termikus elemzést és sűrűségindex mérést. A 3. táblázatban láthatóak a kísérleti paraméterek.

3. Kísérleti eredmények

3.1. A módosítottság mértékének meghatározása termikus elemzéssel a lehülési görbék alapján és etalonképekkel történő összehasonlítással

– Termikus elemzés

A lehülési görbékét MK-típusú adat-



3. ábra. Az (1) egyenlet alapján számított ΔT túlhűlés mértékének ábrázolása technológiai lépésenként a tényleges stronciumtartalom ábrázolásával

3. táblázat. Kísérleti paraméterek

| | |
|---|------------|
| Olvasztási hőmérséklet | 775 ± 5 °C |
| Öntési és ötvözési hőmérséklet | 755 ± 5 °C |
| Termikus elemző és sűrűségindex téglék hőmérséklete | 200 ± 5 °C |

gyűjtő rendszer segítségével rögzítettük. Az adatokat egy táblázatban összegeztük, és ezek alapján ábrázoltuk a hőmérséklet és idő függvényében a lehülési görbéket.

A módosítottság mértékét a lehülési görbékből számolható ΔT túlhűlés alapján határoztuk meg a következő összefüggés szerint [6]:

$$\Delta T = 577 - [11,0 \cdot (\text{Mg } \%) + 1,8 \cdot (\text{Fe } \%) + 2,5 \cdot (\text{Cu } \%)] \quad (1)$$

A ΔT túlhűlés értékét a szakirodalomban található, az ötvözőelem-tartalomtól függő eutektikus hőmérséklet számítására alkalmas egyenlettel meghatározott érték és a lehülési görbékből származtatott eutektikus hőmérsékletérték különbségeként határoztuk meg.

A szakirodalomban a ΔT értéke alapján kétféle csoportot különböztetnek meg, amennyiben 9 °C-nál kisebb a különbség, akkor nem módosítottak, amennyiben nagyobb, akkor módosítottak állapíthatjuk meg az eutektikum szilíciumának módosítottsági mértékét [7].

A 168 + 40 ppm Sr-tartalmú ötvözet esetében gáztalanítás előtt (körrel jelölve az ábrán), stroncium hozzáadása nélkül azért lett nagyobb a stronciumtartalom, mert az üzemi technológiában a hőntartó kemencébe történő átöntés során a kemence alján közel 200 kg, esetünkben nem meghatározott stronciumtartalmú olvadék volt jelen. Az olvadék stronciumtartalma gáztalanítás előtt (a hőntartó kemencébe történő átöntés után), pótlólagos stroncium hozzáadása nélkül 183 ppm. Az üzemszerű eljárásnak megfelelően a 183 ppm stronciumtartalmú olvadékhoz gáztalanítás után 40 ppm stronciumot adagoltunk, amely csak részben oldódott be a rendszerbe, az olvadék stronciumtartalma 202 ppm lett. A ΔT értéke alapján megállapítható, hogy a gáztalanítás után a beadagolt pótlólagos

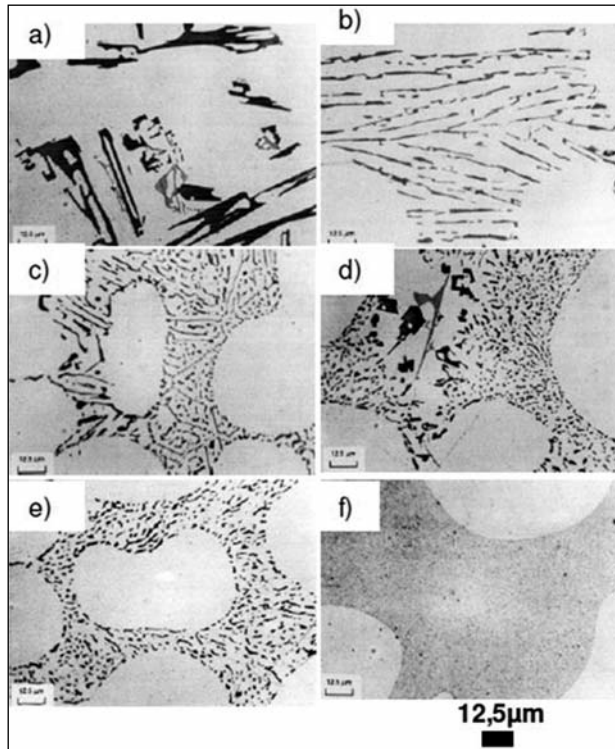
40 ppm stroncium azonnal nem fejti ki hatását, viszont az idő elteltével a görbe a magasabb ΔT irányába mozdul el, azaz a beadagolt stroncium később fejti ki hatását (a termikus elemző próbatest szövetszerkezeti vizsgálata alapján az eutektikum szilíciuma lemezes).

A kevesebb stronciummal (94 ppm, 106 ppm) ötvözött olvadék esetén megfigyelhető, hogy a különböző technológiai lépésekben a ΔT túlhűlési hőmérsékletek folyamatosan csökkennek. Megállapítható, hogy az olvadékban lévő stroncium bár benne van az olvadékban, de a ΔT értékek alapján hatását veszíti.

– AFS etalonképek alapján végzett elemzés

A gyakorlatban a módosítottság mértéke meghatározható az Amerikai Öntészeti Szövetség (AFS – American Foundry Society) által 2006-ban kiadott [8], az Al–Si ötvözetek szilíciumának módosítottságát minősítő táblázat (4. ábra) segítségével.

A termikus elemzés során öntött próbatestekből csiszolatokat készítettünk. A maratlan csiszolatokról



4. ábra. AFS-etalonok szövetekepei (A356-ALSi7Mg ötvözet) [8] a) nem módosított; b) lemezes; c) részben módosított; d) nem lemezes; e) módosított; f) túlmódosított, N = 800 ×

N = 500 × nagyításban Zeiss optikai fénymikroszkóp segítségével egyenként 15 szövetszerkezeti felvételt készítettünk, majd szubjektív összehasonlítással összevetettük az AFS minősítő táblázatának szövetekepeivel, ez alapján adtuk meg a módosítottság mértékét. Végül a 15 szövetszerkezeti felvétel módosítottsági szintjét átlagolva megkaptuk az adott stronciumtartalmú termikus elemző próbatest módosítottsági szintjét.

A 4. táblázatban a technológiai lépésenként meghatározott stronciumértékeket és a módosítottsági szinteket összesítettük.

A 168+40 ppm Sr-tartalmú ötvözet esetében, ahol pótlólagos stronciumadagolás is történt, a gáztalanító ke-

zelés előtt és után is lemezes, azaz nem megfelelő módosítottsági szint érhető el. Az öntés végére részben módosított szint figyelhető meg.

Azon esetekben, ahol nem történt pótlólagos stronciumadagolás, a gáztalanítást követően nem lemezes, illetve részben módosított szövetszerkezet alakul ki, a módosítottsághoz legközelebbi szint érhető el. A kiinduláskor 106 ppm stronciumtartalmú ötvözet már a technológiai folyamat elején is részben módosított.

3.2. Mechanikai tulajdonságok vizsgálata

Elvégeztük az adott hűlési viszonyok között öntött kísérleti ötvények mechanikai tulajdonságainak vizsgálatát az ötvényekből

kimunkált 6 mm átmérőjű hengeres szakítópálcákkal.

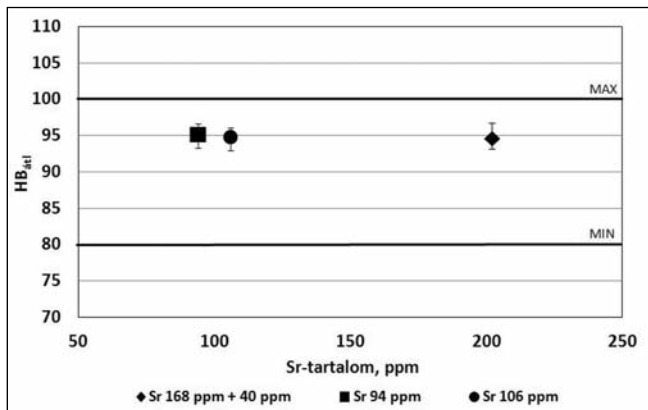
A Brinell-keménységmérést 5 mm átmérőjű golyóval végeztük és 250 kp (2451,66 N) terheléssel. A kiértékeléseket ötvényenként a három mért érték átlagával végeztük és ábrázoltuk azokat a stronciumtartalmak függvényében (5. ábra).

Az 5. ábra alapján kijelenthető, hogy a keménységmérés értékei az elvárásoknak megfelelően kis szórással a 80 és 100 HB közötti tartományban vannak.

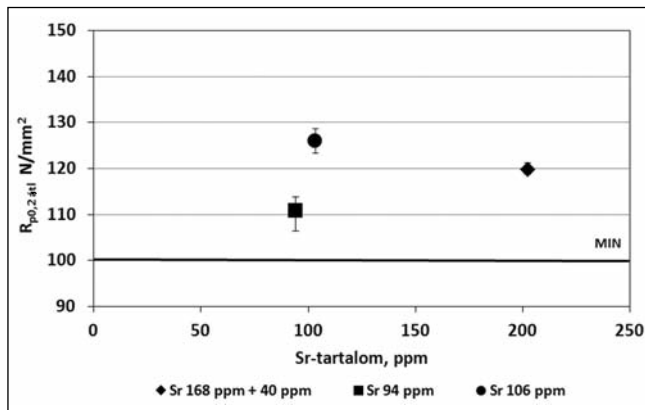
Az ötvényekből kimunkált szakítópálcákon meghatároztuk a szakítószilárdság, a folyáshatár és nyúlás értékeket. Ezek a meghatározott értékek szintén átlagolt értékek, kísér-

4. táblázat. A kísérleti adagok kiértékelése

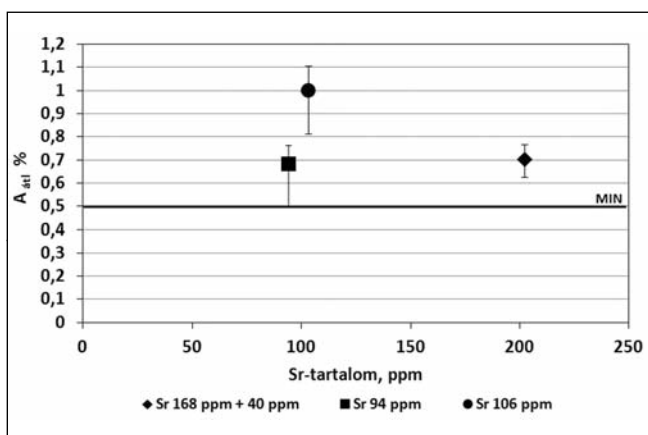
| Ötvözések | | Olvasztás után | Gáztalanítás előtt | Gáztalanítás után | Öntés vége – maradék olvadék |
|---|-----------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|
| Sr 168+40 ppm (Növelt Sr-tartalom) | Módosítottság mértéke | Részben módosított | Lemezes | Lemezes | Részben módosított |
| | Sr (ppm) | 168 | 183 | 202 | 202 |
| Sr 94 ppm (Csökkentett Sr-tartalom) | Módosítottság mértéke | Lemezes | Nem történt mintavétel | Részben módosított | Nem lemezes |
| | Sr (ppm) | 94 | - | 92 | 124 |
| Sr 106 ppm (Csökkentett Sr-tartalom) | Módosítottság mértéke | Részben módosított | Nem lemezes | Nem lemezes | Részben módosított |
| | Sr (ppm) | 106 | 108 | 107 | 106 |



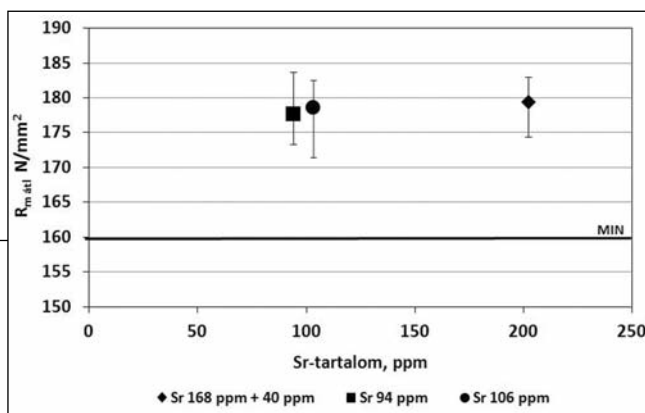
■ 5. ábra. Az átlagos Brinell-keménység a stronciumtartalom függvényében



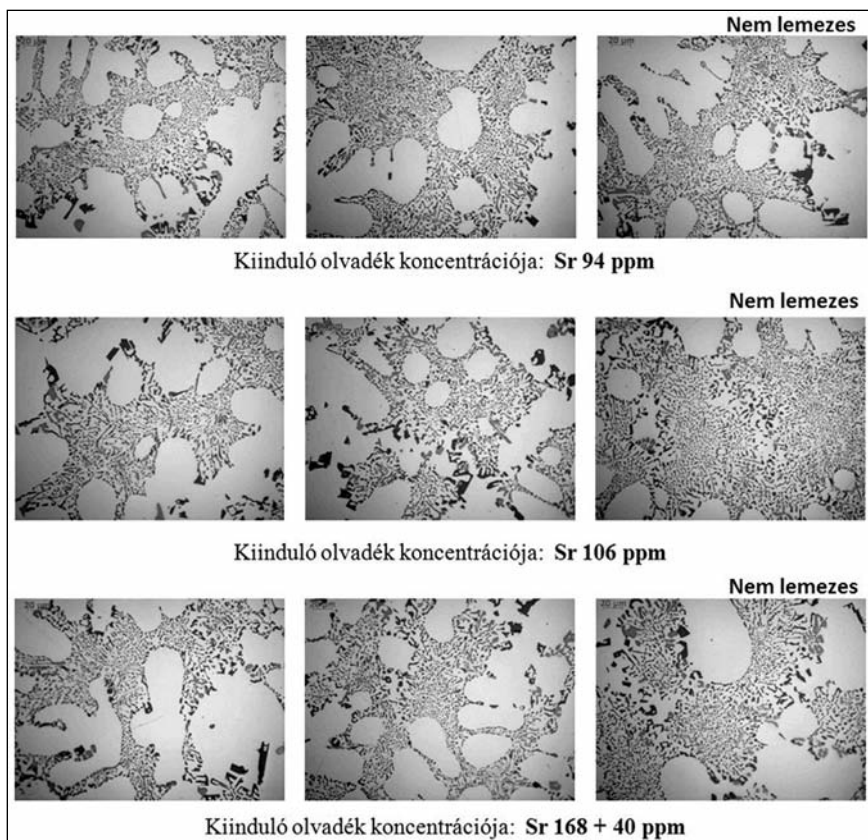
■ 6. ábra. Az átlagos folyáshatár a stronciumtartalom függvényében



■ 7. ábra. Az átlagos nyúlás a stronciumtartalom függvényében



■ 8. ábra. Az átlagos szakítószilárdság a stronciumtartalom függvényében



■ 9. ábra. Az öntvények szövetszerkezete a módosítottág minősítésével, N = 200 ×

letenként öt darab öntvényből kimunkált kilenc darab szakítópálcán mérve.

A 6–8. ábrákon láthatóak az átlag folyáshatár ($R_{p0,2}$), a nyúlás (A_5) és a szakítószilárdság (R_m) értékei.

A legjobb átlagos folyáshatár és nyúlás értékeket a 106 ppm stronciumtartalmú öntvények esetében kaptunk. A változó stronciumtartalmú öntvények esetében az átlagos folyáshatár és nyúlás értékek a minimálisan előírt határérték felett voltak. A nyúlás esetében az átlagértékek jobban szórnak. Az átlagos szakítószilárdság értékei esetében nincs számottevő eltérés, az előírt minimális határérték felett helyezkednek el az értékek.

Ezek alapján kijelenthető, hogy a szilárdsági tulajdonságok szempontjából mindhárom kísérleti összetétel esetében teljesítettek a mechanikai tulajdonságok értékei.

3.3. A módosítottág mértéke az öntvények szövetszerkezetében

Szövetszerkezeti vizsgálatot végez-

tünk az eutektikum szilíciumának módosíthatóságának meghatározása céljából a három változó stronciumtartalmú olvadékból öntött kísérleti öntvényeken (kísérletenként 1 darab) a 3.1. fejezetben részletezett AFS által kidolgozott minősítő módszer alapján. A mikrosziszolátok az öntvények azon helyeiről lettek kimunkálva, ahol az öntés során irányított dermedést is alkalmaznak. A 9. ábrán láthatóak a különböző stronciumtartalmú öntvények mikrosziszolátáiról készített jellemző szövetszerkezeti felvételek.

A mikrosziszolátokon végzett szövetszerkezeti vizsgálatok alapján megfigyelhető, hogy minden esetben nem lemezes, tehát majdnem módosított, azaz megfelelő szövetszerkezet alakult ki. További vizsgálatokat végzünk az öntvények azon területein is, ahol az irányított dermedés és a módosítás együttes, szövetszerkezetet finomító hatása kisebb mértékű.

4. Összefoglalás

Munkánk során a változtatott stronciumtartalom hatásának vizsgálatát végeztük el AISi8Cu3 ötvözet esetén. A termikus elemző próbatetek kiértékelése alapján megállapítható, hogy a gáztalanító kezelés során beadagolt 40 ppm-nyi stroncium a kezelés során keletkező stroncium veszteséget kompenzálja, valós stroncium-tar-

alom növekedést nem jelent. Ebben az esetben az eutektikum szilíciumának módosíthatósági mértéke, az etalonképekkel való összevetés alapján lemezes volt. Azon esetekben, ahol nem történt pótlólagos stronciumadagolás (94 ppm, 106 ppm), a gáztalanítást követően nem lemezes, illetve részben módosított az eutektikum szilíciuma, a módosíthatósághoz legközelebbi szint érhető el.

A változtatott stronciumtartalmú kísérleti öntvények szilárdsági értékei alapján megfigyelhető, hogy adott hűlési viszonyok biztosítása mellett teljesültek az előírt szilárdsági követelmények. Az adott vizsgálati körülményekre vonatkoztatva, az eredmények alapján elegendő ~100 ppm stroncium a módosított, finomabb szövetszerkezet elérésére.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 Nemzeti Kiválóság Program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

[1] Liu, Li: Paramètres métallurgiques contrôlant l'évolution microstructurale dans les alliages de fonderie

Al-Si-Mg et Al-Si Cu. PhD Thesis, Université du Québec, 2004.

- [2] A. Pacz, US Patent No. 1387900, (1921)
- [3] T. S. Furlan, R. Fuoco: Optimization of the Sr addition in permanent mold A356 alloys, AFS Transactions, Schaumburg, 2008, 08-142(02)
- [4] Jónás Pál: Könnyűfém öntészeti ismeretek (2011)
- [5] Shahrooz, Nafisi, Reza, Ghomashchi: Effects of modification during conventional and semi-solid metal processing of A356 Al-Si alloy. Materials Science and Engineering A415, pp.273–285., (2006)
- [6] M. Djurdjevic, H. Jiang, J. Sokolowski: On-line prediction of aluminum-silicon eutectic modification level using thermal analysis. Materials Characterization 46, pp. 31–38. (2001)
- [7] L. Heusler, W. Schneider: The Effect of Alloy Elements on Thermal Analysis Results in Modified AlSi Alloys, mk Melt Measuring Technology, VAW ALUMINIUM AG, Bonn, (2013)
- [8] Juan Asensio-Lozano, Beatriz Suarez-Pena: Effect of the addition and/or modifiers on the microstructure of die cast Al-12Si alloys. Scripta Materialia, p. 943–947, (2006)

Beszámoló az MMKM Ganz Ábrahám Öntödei Gyűjtemény 2016. évi tevékenységéről

2016-ban a Ganz Ábrahám Öntödei Gyűjtemény 2012 óta az egyik legeredményesebb évét zárta. Nagy örömünkre 2015. december végén az EMMI arról értesítette intézményünket, hogy egy nagyon gazdag gyűjteményt, nevezetesen 136 kályhát és 298 művészi öntöttvas tárgyat kíván a kezelésünkbe adni. A füzérmintás oszlopkályhákat, neogótikus és csipkés burkolatú, mesefigurás huzamkályhákat és egyéb kályhakülönlegességeket, továbbá szecessziós mintázatú öntöttvas falikarok-

kat, kopogatókat, mozsarakat, vasalókat horoszkópos mintázatú, bronzí-

rozott öntöttvas dísztalakat is tartalmazó gyűjtemény átvétele és feldolgozása 2016 májusától folyamatos munkát jelentett, míg a tárgyak döntő többségét bemutató kiállítást december 17-én megnyithattuk a váci Tragor Ignác Múzeum – Pannónia Ház kiállítóhelyen. Az itt kiállításra nem került tárgyakat 2017 tavaszától budai intézményünkben is bemutathatjuk.

2016 februárjában svájci nagykövet látogatott el a múzeumba, bizonyára ennek köszönhető, hogy április 15-



■ Az új öntöttvas kiállítás egyik terme a váci Pannónia Házban