

BIRÓ NÓRA – SZABÓ PÉTER – FEGYVERNEKI GYÖRGY

Öntészeti alumíniumötvözet olvadékának tisztítása és szemcsefinomítása

A szemcsefinomítás többféle módon is elvégezhető. A heterogén csíráképző anyag előötvözet vagy sókeverék alkotójaként adagolható az olvadékba. A kísérleteinkben ezeknek a beviteli eljárásoknak az összehasonlítását végeztük el. A kezelések olvadéktisztaságra és szemcsefinomításra vonatkozó hatékonyságát vizsgáltuk az AlSi10MgCu0,5 ötvözet esetében. Az olvadék zárványtartalmát K-mold próbatesten, a hidrogéntartalmat sűrűségindex módszerrel vizsgáltuk. A szemcsefinomítás hatékonyságának megállapítására termikus analízist végeztünk és a szemcseszámot mikroszkópi csiszolaton határoztunk meg. Az elvégzett vizsgálatok eredménye szerint az olvadéktisztító és szemcsefinomító komplex hatású technológia kedvezőbb az olvadék gáztalanító és tisztító kezelése közben adagolt előötvözet alkalmazásához képest, mind szemcsefinomítás, mind olvadéktisztítás szempontjából. A komplex sókeverék alkalmazása kedvezőbb a folyamatbiztonság és az automatizálás megoldása alapján is.

Bevezetés

Az autóiipari öntvényeknek szigorú minőségi követelményeknek kell megfelelni, amelyek biztosításában nagy szerepet játszik az olvadékkezelés. Az üzemi technológiai körülmények szerint az olvasztókemencében előállított olvadéknak változik a minősége a kihordó üstbe csapolása és a hőntartó kemencébe átöntése közben, mert jelentős mennyiségű alumínium-oxid keletkezik a turbulens áramlások és a levegővel történő érintkezés miatt. A nitrogén átbuborékolattal végzett rotoros olvadékkezelés a hőntartó kemencékben történik. Az üzemi technológia szerint a sóadagolásos olvadéktisztítási művelet előtt AlSr10 segédötvözetet adagolnak az olvadékba az eutektikus szilícium finomítása érdekében. Az AlTi5B1 előötvözet adagolása a gáztalanító kezelés közben történik a megfelelő szemcsefinomítás biztosítása érdekében (szériakezelés).

A kísérleteink során szemcsefinomító és tisztító hatású komplex sókeverék hatását és alkalmazhatóságát vizsgáltuk (kísérleti kezelés). A Mikrosal Al350 típusú szemcsefinomító- és tisztító sókeverék hatását hasonlítottuk össze a szériakezelés szerinti technológiával. A szemcsefinomítás hatékonyságának megállapítására termikus analízist végeztünk és a szemcseszámot mikroszkópi csiszolaton határoztuk meg a technológiai próbatesteken és az öntvé-

Biró Nóra szakmai életrajzát 2021/3-4. számunk 11. oldalán közöltük.

Szabó Péter 2012-ben metallurgia-öntészet szakirányon anyagmérnöki BSc-diplomát, 2015-ben metallurgia szakirányon kohómérnöki MSc-diplomát szerzett a Miskolci Egyetemen. 2017–2019 között a Kienle+Spiess Hungary Kft.-nél technológus, 2019-től a PRACTILUB Professional Zrt. öntödei szakreferense.

Dr. Fegyverneki György szakmai életrajzát 2020/4. számunk 30. oldalán közöltük.

nyekből kimunkált mintákon. Az olvadéktisztaság vizsgálatára K-mold próbákat öntöttünk. Az olvadék kémiai összetételének vizsgálatát spektrométerrel, az oldott hidrogéntartalmát sűrűségindex-módszerrel vizsgáltuk. Meghatároztuk a mechanikai tulajdonságokat Diez-kokillába öntött és az öntvényekből kimunkált próbatesteken.

Szemcsefinomítás

A szemcsefinomítás a primer kristályosodás csíráképző-dési hajlamának szabályozása. A legelterjedtebb szemcsefinomító ötvöző a titán és a bór. A szemcsefinomítás hatására több lesz a kristálycsírák száma, csökken a zsu-gorodás és a melegrepedési hajlam, valamint javulnak a táplálási feltételek. Ezen kívül javulnak a mechanikai tulajdonságok, nagyobb lesz a folyáshatár és csökken a szakítószilárdság-, nyúlás- és keménységértékek szórása [1].

Sóadalékkal végzett olvadékkezelés

Az alumíniumötvözetek felszíne olvadék állapotban gyorsan oxidálódik. A kialakult oxidok sűrűsége nagyobb az alumíniumolvadék sűrűségénél. Az oxid- és zárványtartalom csökkentésére sókeverékek használhatók. Az oxidokkal reagáló vegyületek a sókeverékekben a kloridok és a fluoridok. Más sókeveréket is alkalmaznak az alumínium-öntészetben, ilyenek a takaró-, salakoló-, tisztító-, nemesítő- vagy kemence-falazattisztító sók [2].

A kísérlet leírása

A kísérleteket az AlSi10MgCu0,5 ötvözzel végeztük. A gáztalanító kezelés elején történik a sóadagolásos olvadékkezelés tölcserképzést kiváltó rotorforgatással, amely az olvadékban lebegő zárványok eltávolítását segíti elő.

Az ezt követő gáztalanításhoz nitrogéngázt használunk a rotor lassú forgatása közben. A széria folyamatban a gáztalanító kezelés vége előtt 3 perccel adagoljuk a szemcsefinomító AlTi5B1 előötövet az olvadékba a korábbi üzemi tapasztalatok és vizsgálatok alapján. A kísérleti kezeléshez Mikrosal Al350 típusú szemcsefinomító- és tisztító komplex sókeveréket használtunk. A kísérleti sókeverékkel végzett olvadékezelésnél nem történt szemcsefinomító AlTi5B1 előötvet adagolása, mivel a sókeverék a szemcsefinomításhoz szükséges elemeket is tartalmaz. Így egyetlen műveletben, egy anyag adagolásával megvalósítható az olvadéktisztítás és a szemcsefinomítás. A széria és a kísérleti technológia alkalmazásával 3-3 adag vizsgálatát végeztük el az olvadékezelés hatékonyságának összehasonlítására.

A széria technológiában alkalmazott tisztító sókeverékhez képest a kísérleti sókeveréket kétszeres mennyiségben adagoltuk az olvadékhoz, mivel az 50-50%-ban tartalmazza tisztító és szemcsefinomító összetevőket. Egy adagban 1100-1200 kg olvadékot kezeltünk. A sóadagolásos műveletet követő gáztalanítás paraméterei azonosak voltak a kísérleti és a széria adagok esetén. A sóadagolás csigás adagoló segítségével történt, ezért módosítani kellett az adagolási időt a szükséges mennyiség beállításához. A gáztalanító kezelés után 15 perces pihentetési időt alkalmaztunk.

Az olvadék tulajdonságainak vizsgálatára mintát vettünk az olvadékezelés előtt és után, valamint a kezelést követő 15 perces pihentetési idő eltelté után.

Vizsgálati módszerek

A szemcsefinomítás hatékonyságának megállapítására termikus analízist végeztünk [3], valamint a termikus analízis próbatestek, illetve az öntvényekből kimunkált metszetek mikroszkópos csiszolatain Barker színes maratást végeztünk és meghatároztuk az egy cm²-re jutó szemcsék számát [4]. Az olvadék zárványtartalmának, azaz tisztaságának meghatározására K-mold próbákat öntöttünk [5] [6]. A gáztalanító kezelés sikerességének ellenőrzésére az olvadék oldott hidrogéntartalmát sűrűségindex segítségével vizsgáltuk [6]. Az olvadék kémiai összetételének meghatározására érempróbákat öntöttünk, amelyeket spektrométerrel vizsgáltunk.

A vizsgálatok kiértékeléshez 1 db spektrométeres érempróbát, 1 db vákuumban és 1 db légköri nyomáson megszilárduló sűrűségindex próbát, 1 db termikus elemzés próbát, továbbá 5 db K-mold próbát és Diez-kokillába 5 db szakító próbatestet öntöttünk mindhárom kezelési műveletben.

A mechanikai tulajdonságok vizsgálatára szakítópálcákat mun-



■ 1. ábra. Diez-kokilla nyitott állapotban

káltunk ki az öntvények adott pontjaiból, illetve Diez-kokillába öntött próbákból.

A Diez-kokilla két oldalrészből áll, a felső része nyitott. A próbatest öntésénél befolyásoló tényező az olvadék hőfoka és a kokilla hőmérséklete. Egy Diez-próbatestből két szakítópálcát munkálható ki. Az öntött próbatestek szakítóvizsgálata alapján következtethetünk az öntvény mechanikai tulajdonságaira. Az 1. ábrán látható a Diez-kokilla nyitott állapotban.

Minőségindex (QI)

A minőségindex a szakítószilárdság és a nyúlás értékéből számítható [8]. Segítségével összehasonlíthatók az öntvények mechanikai tulajdonságainak egymással eltérően változó értékei. A minőségindex számítására létrehozott összefüggés:

$$QI = R_m + D \cdot \log_{10}(A) \text{ [MPa]}$$

ahol

R_m (MPa), a szakítószilárdság,

D egy anyagjellemző, ami az Al-Si ötvözetek esetén 150 MPa,

A (%), a szakadási nyúlás.

Eredmények

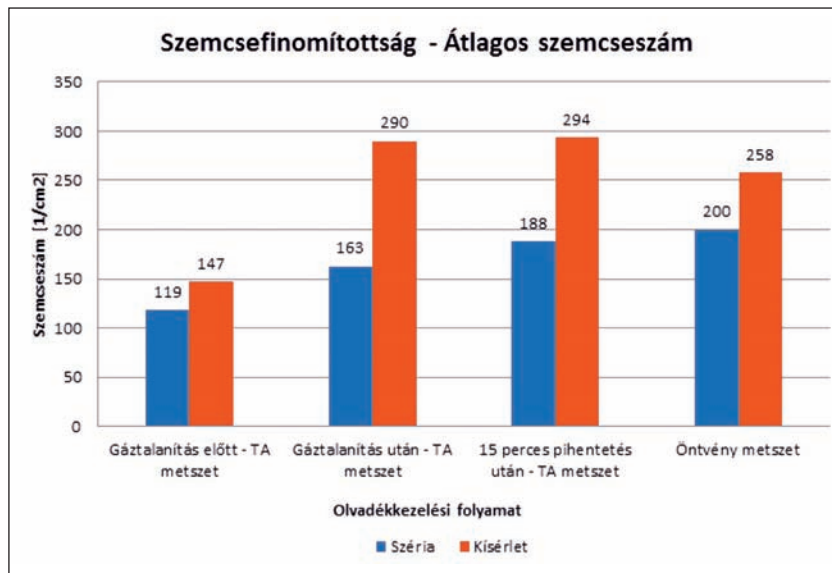
Termikus analízis

A termikus elemzés görbék kiértékelése alapján megállapítható, hogy a gáztalanítás előtti minták esetében volt mérhető túlhűlés és visszamelegedés (ΔT_{Liq}) a primer kristályosodás kezdetén. A termikus analízis elvégzéséhez a National Instruments NI9219 típusú adatgyűjtőt és a LabView programot használtuk. A kiértékelés az általunk készített Excel-fájl segítségével történt. A gáztalanítás után csak a szériaadagokból vett minták esetében volt mérhető minimális túlhűlés és visszamelegedés.

A termikus elemzés kiértékelésének eredményeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A likvidusz hőmérséklet és a hozzá tartozó túlhűlés változása

Hőmérséklet [°C]		1. adag			2. adag			3. adag		
		GE	GU	15 min	GE	GU	15 min	GE	GU	15 min
Kísérlet	T_{Liq}	592,8	595,6	594,9	597,5	598,7	598,8	594,2	600,1	595,7
	ΔT_{Liq}	0,47	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Széria	T_{Liq}	597,4	597,4	594,6	597,5	596,0	598,1	595,5	594,2	593,8
	ΔT_{Liq}	0,44	0,12	0,28	0,32	0,00	0,00	0,44	0,001	0,00



■ **2. ábra.** Az átlagos szemcseszám változása a termikus elemzésre öntött próbatestek és öntvényekből kimunkált metszetek esetében

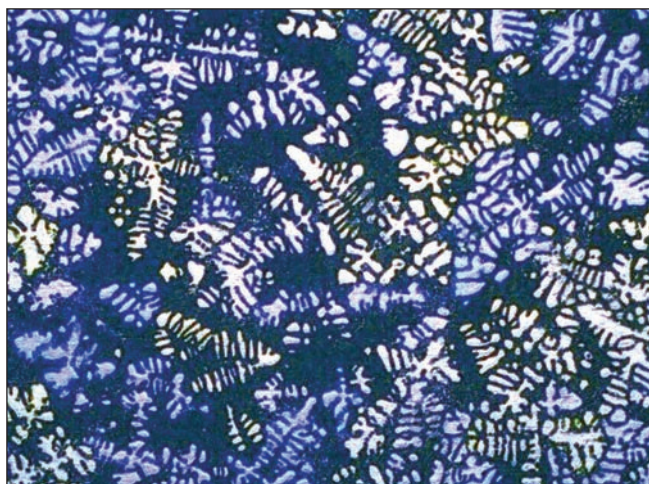
Az eredmények alapján megállapítható, hogy mind az előtűzöttel, mind a sókeverékkel történő szemcsefinomít-

tás sikeres volt, de a mértékük eltérő. A kísérleti sóval történő szemcsefinomítás stabilabb, mint az előtűzöttel végzett, mivel a kísérleti adagok esetében már a gáztalanítás után és a 15 perces pihentetés után is $\Delta T_{Liq} = 0$ értéket kaptunk.

Szemcsefinomítás hatásfoka

A szemcsefinomítás hatásfokát a termikus analízis próbatesteken is és az öntvényekből kivágott metszeteken is vizsgáltunk. A termikus analízis próbatesteket a függőleges tengely mentén kettévágtuk, és a minta közepén mikroszkópos vizsgálatot végeztünk a minta előkészítése és Barker-maratása után. Mivel az olvadék formába öntésétől a késztermék előállításáig sok tényező befolyásolja az öntvény minőségét, például a hűlési körülmények, hőkezelés stb., ezért az öntvénynek egy

gyorsan megszilárduló részéből kimunkált próbatesten is elvégeztük a szemcsevizsgálatot.

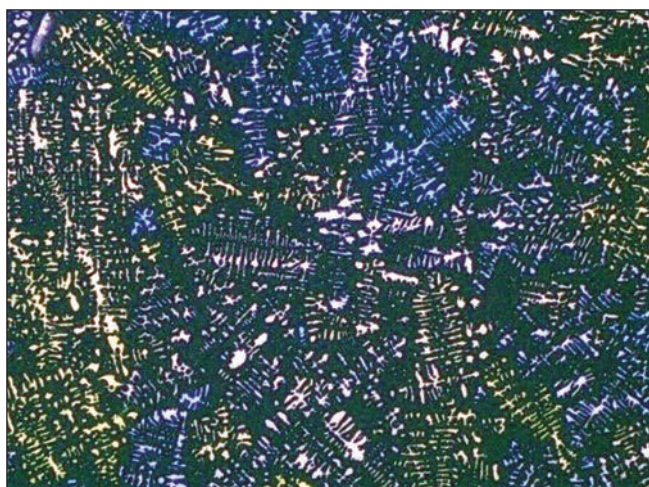


a

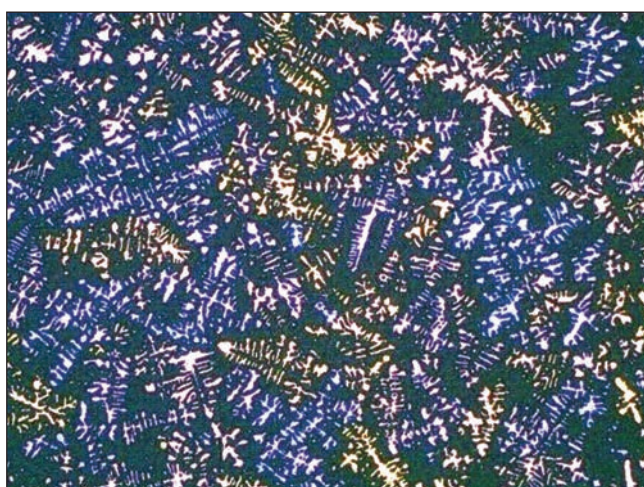


b

■ **3. ábra.** Termikus elemzés próbatestekből kivágott metszetek a) széria és b) kísérleti



a



b

■ **4. ábra.** Öntvényből kivágott metszetek a) széria és b) kísérleti

A 2. ábrán látható a vizsgált mintákon meghatározott szemcseszámok átlageredménye. Megállapítható, hogy a termikus elemzés próbatestek esetén közel 50%-kal több a szemcseszám. A gáztalanítás előtti és a 15 perces pihentetést követő mintáknál közel kétszeres szemcseszámot kaptunk, míg a széria technológia esetében a növekedés másfélszeres.

Az öntvényből kimunkált metszetek vizsgálati eredménye szerint a kísérleti mintákon 29%-kal több volt az egy cm²-re jutó átlagos szemcseszám a széria mintákhoz képest.

A 3. és a 4. ábra a Barker-maratás után a csiszolatokról készített felvételeket mutatja. Megfigyelhető a széria és a kísérleti minták szemcsefinomsága közötti különbség a termikus elemzés próbatestektől és öntvényekből kivágott metszetek esetében.

A termikus elemzés szerinti közvetett és a mikroszkópos közvetlen vizsgálat alapján megállapítható, hogy a szemcsefinomító és tisztító komplex sókeverék hatékonyabb szemcsefinomítást eredményezett, mint a széria technológiában használt tisztító sókeverék és AlTi5B1 előtözet adagolása.

Zárványtartalom

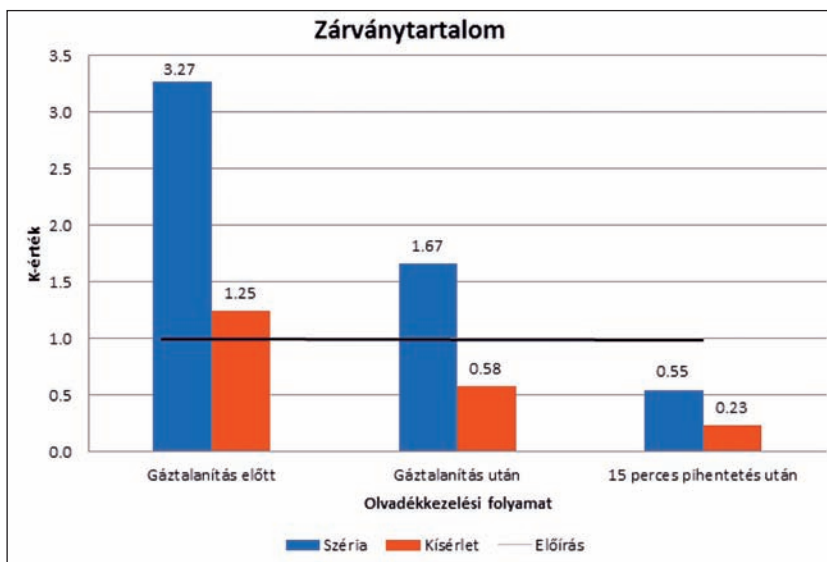
Az olvadékkézelés és az alkalmazott tisztító só hatékonysága jellemezhető az olvadék zárványtartalmával. A kísérleti programunkban öntött K-mold próbatesteken meghatározott zárványtartalom eredményeit az 5. ábrán mutatjuk be. Megállapítható, hogy a széria és a kísérleti kezeléseknél alkalmazott sókeverék tisztítási hatékonyság közel azonos. A komplex sókeverék tisztító hatása megfelelő volt és az adagolt kétszeres mennyisége a széria sóhoz viszonyítva indokolt.

Kémiai összetétel

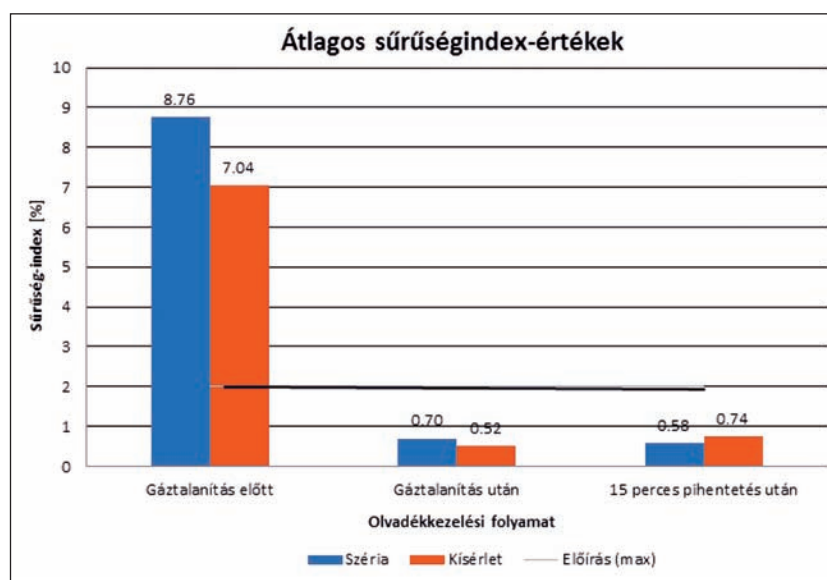
A kémiai összetétel vizsgálata azért fontos, mert a kísérleti komplex sókeverék nátriumot tartalmaz, amely elősegíti a stroncium leégését az olvadékban. A titán- és bórtartalom vizsgálata a szemcsefinomítás szempontjából szükséges [9].

2. táblázat. A titán-, bór- és stronciumtartalom változása (kezelés előtti és 15 perces pihentetés utáni értékek különbsége)

Elem [ppm]	Kísérlet (1200 kg)			Széria (1100 kg)		
	1. adag	2. adag	3. adag	1. adag	2. adag	3. adag
Ti	4,2	16,3	19,6	3,6	20,0	10,3
B	-6,0	-0,7	0,8	-2,3	-3,5	-3,3
Sr	-18,1	-23,9	-21,9	-12,7	-6,8	-6,7



■ 5. ábra. A zárványtartalom változása az olvadékkézelés részmuveleteinél



■ 6. ábra. Átlagos sűrűségindex-értékek változása az olvadékkézelés műveleteiben

A stronciumtartalom esetében nagymértékű leégés figyelhető meg a kísérleti sókeverék esetében. A spektrométeres vizsgálatok eredménye alapján az elemek mennyiségének kezelés előtti és a 15 perces hűtést utáni eltérését a 2. táblázat mutatja. A negatív érték a csökkenést, a pozitív érték a növekedést jelenti.

Sűrűségindex

A gáztalanító kezelés hatékonysága a sűrűségindex értékével minősíthető. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy az eltérő sókeverékek alkalmazása nem befolyásolta a sűrűségindex értékét (6. ábra).

Mechanikai tulajdonságok

A Diez-próbákból kimunkált szakítópálcák vizsgálati eredményei a 3. táblázatban találhatóak.

3. táblázat. Diez-próbából kimunkált szakítópálcák eredményei

Szakítóvizsgálat Diez-próbából		Gáztalanítás előtt				Gáztalanítás után				15 perces pihentetés után			
		R _{p0,2}	R _m	A	QI	R _{p0,2}	R _m	A	QI	R _{p0,2}	R _m	A	QI
		[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]
Széria	Max	127,6	222,9	5,59	335,0	125,5	237,6	9,19	382,1	126,4	231,7	8,42	370,5
	Min	107,8	165,7	1,24	179,6	114,4	184,2	1,84	223,9	114,2	191,0	2,23	243,2
	Átlag	119,3	200,1	3,22	276,2	119,9	206,3	3,93	295,4	119,4	209,4	4,03	300,2
Kísérlet	Max	123,9	238,0	9,69	386,0	125,9	236,7	10,34	388,9	127,4	241,6	11,37	399,9
	Min	109,0	174,7	0,76	157,1	113,6	200,2	2,82	267,8	114,0	189,7	1,80	228,0
	Átlag	119,2	214,0	4,68	314,5	118,5	217,1	5,30	325,7	119,9	217,6	5,59	329,7
	Különbség	-0,05	13,85	1,46	38,28	-1,32	10,74	1,37	30,27	0,55	8,17	1,56	29,49

A Diez-próbából kimunkált szakítópálcák vizsgálati eredménye a kísérleti és a széria adagok esetén közel azonosak. A szakítószilárdság és ezáltal a minőségindex-átlagértékek a kísérleti só alkalmazásánál nagyobbak.

Az öntvényből egy intenzívebben hűlő terület két helyéről és egy lassabban hűlő területről vettünk ki szakító próbatest kimunkálására mintákat. Az öntvényből kimunkált szakítópálcák esetében a mechanikai tulajdonságok közel azonos értéket mutattak a kísérleti és a széria darabok esetében. Az öntvény lassabban hűlő részén az átlagos nyúlás értéke 33%-kal nagyobb volt a kísérleti kezelésnél a széria mintákhoz képest.

Összefoglalás

A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a kísérleti sókeverék hatékonyabb szemcsefinomítást és azonos olvadáktisztaságot eredményez.

Az adagolt kísérleti sókeverék mennyisége kétszerese volt a széria sókeverék mennyiségének és a stroncium leégés is megfigyelhető. A kísérleti sókeverék előnye, hogy az adagolás a rotoros gáztalanító rendszerrel automatizált, így az emberi tényező minimalizálható, a segédanyagok adagolási mennyisége és minősége nyomon követhető. Az eredmények alapján indokolt a kísérleti sókeverék adagolási mennyiség csökkentési lehetőségének további vizsgálata. Ezáltal egy költséghatékonyabb olvadékezelési folyamat alkalmazása valósulhat meg.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Miskolci Egyetem, a Schäfer GmbH, a PRACTILUB Professinal Zrt. és a Nematik Győr Kft. kísérletben résztvevő kollégáinak.

Felhasznált irodalom

- [1] Gyarmati Gábor; Fegyverneki György; Tokár Monika: Az öntészeti Al-Si ötvözetek kémiai szemcsefinomítása. I. rész. Irodalmi áttekintés. BKL Kohászat 151: 3 pp. 14–19. 6 p. (2018)
https://www.ombkenet.hu/images/Kohaszat_2018_3_szam_netre.pdf
- [2] Bubenkó Marianna; Fegyverneki György; Tokár Monika: Al-Si olvadék zárványtartalmának csökkentésére irányuló vizsgálatok. BKL Kohászat 151: 2 pp. 18–22. 5 p. (2018)
https://www.ombkenet.hu/images/Kohaszat_2018_2_szam_netre.pdf
- [3] Bubenkó Marianna; Gyarmati Gábor; Fegyverneki György; Tokár Monika; Dúl Jenő: A szemcsefinomítás hatékonyságának minősítése termikus analízissel. BKL Kohászat 152: 1 pp. 11–16. 6 p. (2019)
https://www.ombkenet.hu/images/2019/kohaszat/Kohaszat_2019_1_szam.pdf
- [4] Peter J. Szabo, I. Kardos: Correlation between grain orientation and the shade of color etching (2010)
- [5] Fegyverneki György; Biró Nóra; Dúl Róbert; Dúl Jenő: Alumíniumolvadékok zárványtartalmának minősítése a K-mold próbatest töréséhez tartozó forgatónyomaték mérésével, BKL Kohászat 154: 3–4 pp. 11–16. 6 p. (2021) https://www.ombkenet.hu/images/doku/2021/Kohaszat_2021_3_4_szam.pdf
- [6] Bubenkó Marianna; Fegyverneki György; Tokár Monika: Al-Si olvadék zárványtartalmának csökkentésére irányuló vizsgálatok, BKL Kohászat 151: 2 pp. 18–22. 5 p. (2018)
- [7] <https://www.schaefer-metallurgie.com/mikrosal-al-350/>
- [8] Szombafalvy Anna Ágnes: Járműipari öntészeti AlSi-ötvözetek tulajdonságainak vizsgálata PhD-értekezés 2012. <http://www.doktori.hu/index.php?menuid=193&vid=10395>