

بررسی تأثیر مقدار فلاکس بر فرآیند تصفیه مذاب آلومینیم

امید مجیدی، سعید شبستری و محمد رضا ابوطالبی

چکیده: در پژوهش حاضر، فلاکس حاوی $\text{NaCl}-\text{KCl}$ به همراه ۸ درصد وزنی Na_2SiF_6 و ۲ درصد وزنی CaF_2 به مذاب آلومینیم حاصل از ذوب تراشه‌های آلیاژهای ریختگی A319 و A380 و افزوده شده و تأثیر مقدار فلاکس بر راندمان عملیات تصفیه از طریق آزمایش‌های کشش، آزمون انجماد تحت فشار کاوش یافته (RPT)، متالوگرافی، میکروسکوپ الکترونی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تأثیر فلاکس مورد نظر بر مذاب حاصل از ذوب برگشتی‌های آلیاژ کاربیدیز $60\text{Fe}-\text{Cr}-\text{Mn}$ مورد بررسی قرار گرفت. پس از انجام آزمایش‌ها و با توجه به نتایج، مقدار بهینه اعمال فلاکس تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: مذاب آلومینیم، فلاکس، آخال، تصفیه و بازیابی.

می‌کند [۳]. بعلاوه وجود آخال باعث افت شدید مقاومت به خوردگی و چقرمگی قطعه ریختگی می‌گردد [۱]. انواع مختلفی از آخال‌ها مانند اکسیدهای، نیتریدهای، کاربیدهای، برایدهای، کلریدهای، فلورایدهای، فلاکس‌ها و نمکهای مذاب باقی مانده در مذاب‌های آلومینیم، وجود دارند [۴و۵]. اکثر این آخال‌ها دارای ساختار پیچیده و بسیار سخت و شکننده هستند و تا حد امکان باید از مذاب حذف شوند. آخال‌های Al_2O_3 در نتیجه جذب گازها شناور شده و مطابق با فرمول شناوری استوکس تا سطح فلز بالا می‌آیند [۳].

نقش استفاده از فلاکسها در تصفیه آلومینیم بطور خلاصه عبارتند از: الف- جلوگیری از اکسیداسیون مذاب؛ ب- تسريع حذف آخال‌ها؛ ج- بازیابی آلومینیم فلزی از سرباره اکسیدی آلومینیم؛ د- حذف اکسیدهای شکل گرفته بر روی دیواره کوره [۵و۶].

فلاکس‌های جامد اغلب مخلوطی از نمکهای کلریدی و فلورایدی به همراه افزودنی‌ها هستند. عموماً فلاکس‌ها قابلیت حذف آخال از مذاب را افزایش می‌دهند؛ زیرا فلاکس‌های نمکی در تماس با اکسیدها و آخال‌ها ترشوندگی خوبی ایجاد می‌کنند. اغلب فلاکسها حاوی ترکیبات فلورایدی، همانند کریولیت (Na_3AlF_6)، فلوراید کلسیم (CaF_2)، فلوروسیلیکات سدیم (Na_2SiF_6) هستند که سبب افزایش خاصیت ترشوندگی می‌شوند [۷]. جوانه زنی ناهمگن تخلخل‌ها بر روی آخال‌ها بسیار محتمل بوده [۸] و میزان بالای انرژی فصل مشترک بین آخال و مذاب آلومینیوم، باعث جمع شدن هیدروژن محلول در مذاب و تشکیل مولکول هیدروژن می‌شود [۹و۱۰].

پارامترهای مؤثر بر عملیات اعمال فلاکس عبارتند از: ساختار شیمیایی فلاکس، دانه بندی و شکل فلاکس، درصد وزنی فلاکس اعمالي، دمای مذاب فلز، زمان تماس فلاکس و مذاب، روش اعمال فلاکس [۱۱].

۱. مقدمه

صرف آلیاژهای مختلف آلومینیم، به دلیل خواص ویژه آنها در بیست سال اخیر به طور قابل توجهی افزایش یافته و همین امر موجب افزایش قراضه‌های این آلیاژها و توجه به بازیافت آنها عنوان منابع ثانویه گشته است. بازیابی تراشه‌های آلومینیمی حاصل از ماشینکاری و تراشکاری به دلیل کاربردهای وسیع این فلز به خصوص در صنعت خودرو سازی موضوع حائز اهمیت است. به دلیل شکل مارپیچ و بلند، اندازه ریز، آلودگی سطحی با اکسیدها و روغن تراشکاری، بازیابی این تراشه‌ها با روشهای معمول میسر نیست. به دلیل فعالیت شدید آلومینیم، مذاب این فلز در حین فرایند ذوب و ریخته‌گری به آسانی با اکسیژن و رطوبت محیط واکنش داده و آخال‌های اکسیدی (اغلب Al_2O_3 و گاز هیدروژن به وجود می‌آید [۱]).

مذاب‌های آلومینیم، اغلب شامل ذرات غیر فلزی مختلفی هستند که این ذرات به دلیل ترشوندگی ضعیفی که با مذاب دارند در آن معلق می‌مانند و به عنوان مکانهای جوانهزنی برای تشکیل مک و تخلخل عمل می‌کنند [۲]. حضور آخال‌ها و ذرات ترکیبات بین فلزی بر سیالیت مذاب تأثیر گذاشته و عملکرد تغذیه را با مشکل مواجه

تاریخ وصول: ۸۵/۱۰/۱۳

تاریخ تصویب: ۸۶/۸/۲۳

امید مجیدی، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، omajidi@mail.iust.ac.ir
دکتر سعید شبستری، استاد، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، shabestari@iust.ac.ir
دکتر محمد رضا ابوطالبی، استاد، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، mrezab@iust.ac.ir

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فلاکس مورد استفاده در تصفیه مذاب آلومینیم

درصد وزنی (wt %)	اجزاء فلاکس
۴۵	NaCl
۴۵	KCl
۸	Na ₂ SiF ₆
۲	CaF ₂

جدول ۲. کد گذاری نمونه‌های تصفیه شده با درصدهای مختلف فلاکس

شماره نمونه	معادل با نمونه
S ₀	ذوب تراشه‌های آلیاژهای ریختگی بدون اعمال فلاکس (۰/۰ درصد وزنی)
S ₁	ذوب تراشه‌های آلیاژهای ریختگی با اعمال فلاکس به میزان ۰/۱ درصد وزنی مذاب
S ₂	ذوب تراشه‌های آلیاژهای ریختگی با اعمال فلاکس به میزان ۰/۲ درصد وزنی مذاب
S ₃	ذوب تراشه‌های آلیاژهای ریختگی با اعمال فلاکس به میزان ۰/۳ درصد وزنی مذاب
S ₄	ذوب تراشه‌های آلیاژهای ریختگی با اعمال فلاکس به میزان ۰/۴ درصد وزنی مذاب
W ₀	ذوب برگشتی‌های آلیاژ ۶۰۶۳ بدون اعمال فلاکس
W ₁	ذوب برگشتی‌های آلیاژ ۶۰۶۳ با اعمال فلاکس به میزان ۰/۴ درصد وزنی مذاب
W ₂	ذوب شمش اولیه آلیاژ ۶۰۶۳

پس از اعمال فلاکس و سرباره گیری، بلافضله نمونه‌هایی با دستگاه انجماد تحت فشار کاهش یافته (Reduced Pressure Test) آزمایش شدند. نمونه‌های آزمون کشش از طریق ریخته‌گری مذاب در قالب فلزی، بر اساس استاندارد ASTM-B108 صورت گرفته و نمونه‌هایی نیز جهت آنالیز شیمیایی مذاب در دمای ۷۴۰°C تهیه گردید. نمونه‌های ریختگی آزمایش کشش مطابق با ابعاد استاندارد ASTM-B557M تراشکاری و آماده شدند. برای هر سری آزمایش حداقل سه نمونه کشش آماده شده و آزمایش کشش با دستگاه INSTRON مدل RPT 4486 تحت نرخ کرنش ۲mm/min انجام گرفت. آزمایش انجماد با استفاده از دستگاه Stahl Gas-TECH II مجهز به پمپ خلاً انجام گرفت. چگالی نمونه‌های منجمد شده در فشار کاهش یافته (برابر با ۸۰ میلی بار) و نمونه‌های منجمد شده در اتمسفر، توسط ترازوی دیجیتال با دقت دو رقم اعشار با استفاده از روش غوطه‌وری ارشمیدس تعیین شد. با محاسبه اندیس چگالی (D.I) از رابطه زیر، میزان تخلخل داخل نمونه‌ها محاسبه شدند:

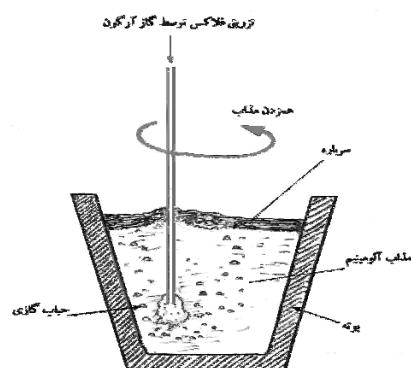
$$D.I = \frac{d_a - d_v}{d_a} \times 100 \quad (1)$$

که در معادله فوق d_a چگالی نمونه منجمد شده در اتمسفر و d_v چگالی نمونه منجمد شده در خلاً (۸۰ mbar) برحسب g/cm³ (۸۰) بدست گردید.

بافتن مقدار بهینه فلاکس افزوده شده، یکی از پارامترهایی است که بیشتر از جنبه اقتصادی و صنعتی مورد توجه می‌باشد. مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه تصفیه مذاب آلومینیوم نشان می‌دهد که در مورد تأثیر میزان و نوع فلاکس در تصفیه آلومینیم مطلبی گزارش نشده است.

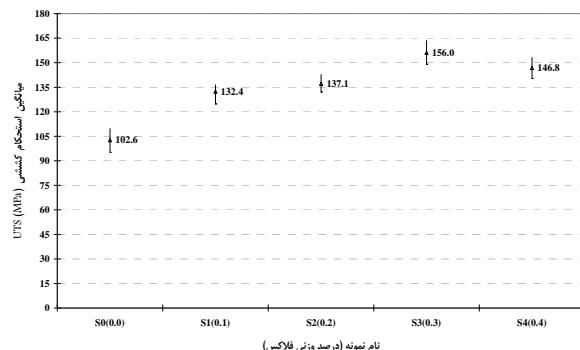
۲. روش تحقیق

در این پژوهش تأثیر مقدار فلاکس بر چگالی و خواص مکانیکی آلیاژ در فرایند تصفیه مذاب آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی، ابتدا تراشه‌های حاصل از عملیات ماشینکاری قطعات ریختگی آلومینیوم (آلیاژهای A380 و A319)، جمع آوری و به منظور حذف آلودگی‌های سطحی (چربی‌ها، رنگ، رطوبت و...، به مدت دو ساعت در کوره عملیات حرارتی و تحت حرارت ۲۵۰°C نگهداری شدند. برای هر سری از آزمایش حدود ۱۰ kg از این تراشه‌ها (با ابعاد تقریبی mm ۰/۵×۵×۱۵) توزین شده و درون بوته سیلیکون کارباید (SiC) به ظرفیت ذوب حدود ۱۵ کیلوگرم آلومینیوم قرار داده شد. سپس توسط کوره زمینی با مشعل گازی، ذوب شدند. عملیات فلاکس زنی در دمای ۷۴۰±۵°C، از طریق تزریق فلاکس به همراه گاز آرگون به درون مذاب، همراه با همزدن به مدت ۱۵ دقیقه انجام شد. آزمایش‌ها با مقادیر مختلف فلاکس انجام گرفت. در شکل ۱ به طور شماتیک نحوه انجام کار نشان داده شده است. این مقادیر به ترتیب ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد وزنی کل مذاب انتخاب شدند.

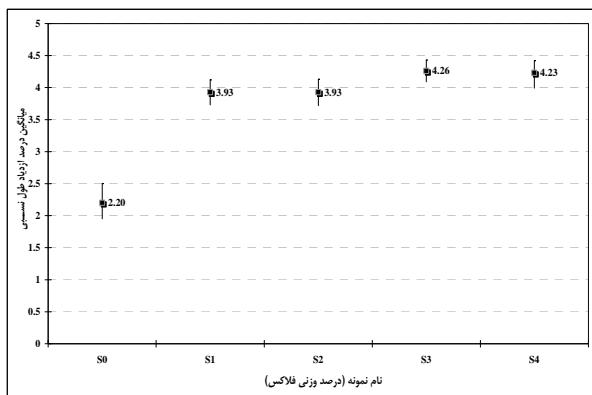


شکل ۱. نحوه فرایند افزودن فلاکس

همچنین برای بررسی بیشتر میزان تأثیر عملیات اعمال فلاکس در مورد تصفیه برگشتی‌های آلیاژهای کارپذیر ۶۰۶۳ یک سری آزمایش با اعمال درصد بهینه فلاکس انجام گرفت و نتایج آن با ذوب برگشتی‌ها بدون اعمال فلاکس و ذوب شمش اولیه ۶۰۶۳ شرکت ایرالکو مقایسه شد. ترکیب شیمیایی فلاکس مورد استفاده از طریق آزمایش XRF و XRD محاسبه و در جدول ۱ آمده است. همچنین کد گذاری نمونه‌ها بر اساس درصد وزنی فلاکس، در جدول ۲ ارائه شده است.

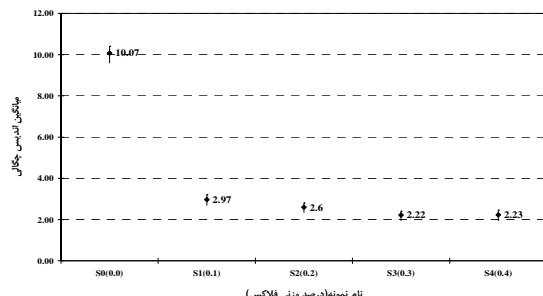


شکل ۲. تأثیر میزان فلاکس تصفیه کننده بر استحکام کششی نمونه‌های ریختگی



شکل ۳. تأثیر میزان فلاکس تصفیه کننده بر درصد ازدیاد طول نسبی نمونه‌های ریختگی

همچنین نمودار مربوط به تغییرات ان迪س چگالی بحسب درصدهای مختلف فلاکس در شکل ۴ نشان داده است، ملاحظه می‌شود که کمترین ان迪س مربوط به نمونه S_3 می‌باشد و بنابراین دارای کمترین میزان تخلخل نسبت به سایر نمونه‌ها می‌باشد. گرچه مقدار ان迪س چگالی دو نمونه S_3 و S_4 بسیار نزدیک هستند، ان迪س چگالی نمونه S_0 تفاوت آشکاری با سایر نمونه‌ها دارد.



شکل ۴- تأثیر میزان فلاکس تصفیه کننده بر ان迪س چگالی نمونه‌های ریختگی

تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM از سطح مقطع شکست نمونه‌های S_0 و S_3 به ترتیب در اشکال ۵ و ۶ نشان داده شده‌اند. در شکل ۵-الف ملاحظه می‌شود که سطح مقطع شکست نمونه S_0 حاوی آخالی نسبتاً

می‌باشد. هرچه ان迪س چگالی کمتر باشد نشانگر بهتر بودن شرایط مذاب از لحاظ حضور آخال‌ها خواهد بود. سطوح شکست نمونه‌های آزمایش کشش، توسط میکروسکوپ الکترونی روشنی (SEM) مدل Super Ultra Thin Philips-XL40 مجهز به پنجره بسیار نازک (Window) جهت بررسی حضور آخال‌ها و اکسیدها و شناسایی نوع آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین بررسی‌های متالوگرافی پس از آماده سازی بر روی قطعات بریده شده از نمونه‌های آزمایش کشش صورت گرفت.

۳. نتایج و بحث

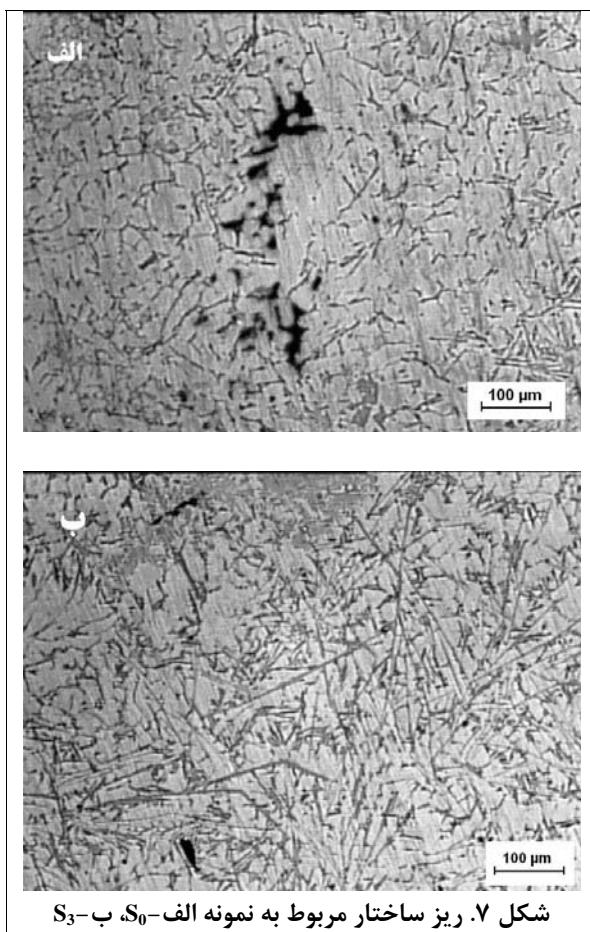
۱-۳. نمونه‌های آلیاژ ریختگی

نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های ریختگی در شرایط مختلف تصفیه در جدول ۳ آمده است. شکل ۲ و ۳ به ترتیب نمودار مربوط به میانگین استحکام کششی و میانگین درصد ازدیاد طول نسبی نمونه‌های تصفیه شده با مقادیر مختلف فلاکس می‌باشد. ترکیب مذاب در هیچ محدوده‌ای مطابق ترکیب آلیاژهای استاندارد (A319 و A380) نیست و مقدار آهن موجود در آن بیش از حد متدالو می‌باشد که مربوط به حضور براده‌های آهن درون شارژ تراشه‌های آلومینیومی می‌باشد که این امر در مورد استفاده از مواد ضایعاتی، طبیعی است. گرچه تمام نمونه‌ها از نظر ترکیب شیمیایی در محدوده نزدیک به یکدیگر قرار دارند. همانگونه که در شکل‌های ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود، نمونه S_3 بیشترین استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبی را نسبت به سایر نمونه‌ها دارا می‌باشد. با افزایش میزان فلاکس تا 0.3 درصد وزنی مذاب، استحکام کششی روند افزایشی دارد اما با اعمال 0.4 درصد وزنی از فلاکس، این روند متوقف شده و استحکام اندکی کاهش می‌یابد. افزودن 0.3 درصد وزنی از فلاکس به مذاب (نمونه S_3)، باعث افزایش استحکام کششی به میزان 5.2 درصد و افزایش درصد ازدیاد طول نسبی به میزان $9.3/6$ درصد نسبت به نمونه بدون اعمال فلاکس (S_0) شده است. در این نمونه‌ها، حضور آخال‌های درشت با ترکیب شیمیایی مختلف و نیز شکل ظاهری پیچیده، با ایجاد تمرکز تنش، موجب کاهش استحکام و انعطاف‌پذیری نمونه‌ها می‌شوند (این ذرات معمولاً مکانهای اولیه ایجاد ترکهای شکست هستند).

جدول ۳. آنالیز شیمیایی نمونه‌های ریختگی

نمونه	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4
%Si	۷/۲۲۲	۷/۲۳۶	۷/۲۲۰	۷/۲۵۱	۷/۲۴۰
%Fe	۱/۶۰۹	۱/۵۷۵	۱/۵۰۱	۱/۵۸۱	۱/۶۹۹
%Cu	۳/۳۶۵	۳/۲۹۳	۳/۳۶۳	۳/۳۷۹	۳/۷۱۳
%Mn	۰/۲۷۴	۰/۳۰۹	۰/۲۸۳	۰/۲۷۳	۰/۳۱۲
%Mg	۰/۰۶۶	۰/۰۵۴	۰/۰۶۹	۰/۰۵۶	۰/۰۵۰
%Zn	۰/۰۶۳	۰/۰۷۱	۰/۰۶۶	۰/۰۶۷	۰/۰۶۶
Ti	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۰۲۳
Al	بقیه	بقیه	بقیه	بقیه	بقیه

در تصاویر متالوگرافی و SEM معمولاً در همسایگی آخال‌ها و اکسیدها، حفرات و تخلخل بسیار مشاهده می‌شود. حضور همین حفرات و تخلخل‌ها نیز علاوه بر استحکام و انعطاف‌پذیری نمونه‌ها، بر اندیس چگالی تأثیر گذاشته و موجب کاهش آنها می‌گردد همانطور که در نمودارهای مربوط به استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبی و اندیس چگالی مشاهده شد.



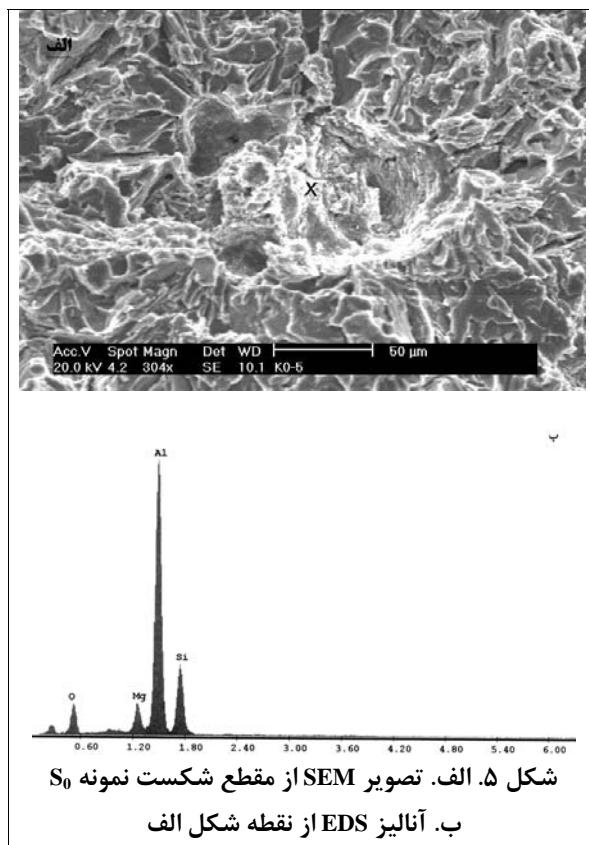
شکل ۷. ریز ساختار مربوط به نمونه الف- S_0 -ب- S_3

مطابق تحقیقات انجام گرفته توسط مختلف محققین مختلف روش‌شده است که فلوروسیلیکات سدیم (Na_2SiF_6) و فلوراید کلسیم CaF_2 باعث افزایش قابلیت ترشوندگی مخلوط نمک $NaCl-KCl$ می‌شوند [۱۳، ۱۲] و [۱۴]. واکنش فلوروسیلیکات سدیم و اکسید آلومینیم به شکل زیر است:



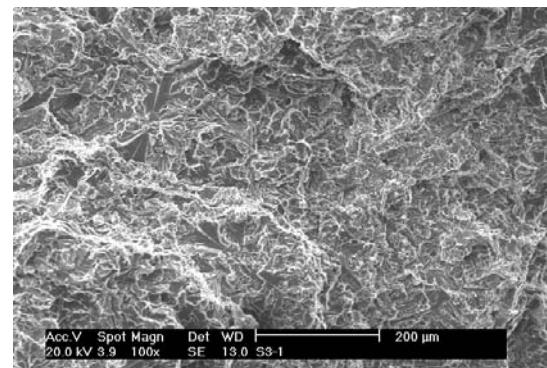
واکنش فوق گرمایزا بوده و با افزایش دما، سیالیت افزایش یافته و سطوح تماس بین فلاکس و مذاب بیشتر شده و در نتیجه زاویه تماس بین آخال و مذاب زیاد می‌شود. به عبارتی، ترشوندگی آخال و مذاب آلومینیم، بیشتر کاهش می‌یابد. این امر جدایش سریع‌تر آخال‌ها از مذاب را باعث می‌شود. همچنین گاز فلوراید سیلیسیم (SiF_4) حاصل از انجام این واکنش می‌تواند با چسبیدن به آخال‌ها و شناور کردن آنها

درشت با شکل کروی چین خورده است. آنالیز کیفی نقطه‌ای EDS از این آخال در شکل ۵. ب بیانگر این است که این آخال ترکیبی از اکسیدهای آلومینیم و منیزیم (آسپینل $MgO-Al_2O_3$) می‌باشد. اگر این تصویر SEM با تصویر نمونه S_3 (شکل ۶) مقایسه شود، ملاحظه می‌شود که در شکل ۵ بطور نسبی حضور حفرات در مجاورت آخال‌ها بیشتر می‌باشد. این روند با مقایسه شکل ۷-الف مربوط به ساختار متالوگرافی نمونه S_0 ، و شکل ۷-ب مربوط به نمونه شاهد (S_0) مقدار آخال و تخلخل بطور نسبی بیشتر از نمونه تصفیه شده (نمونه S_3)، می‌باشد. این مطلب مؤید این است که با انجام بهتر فرایند تصفیه، عیوب ساختاری همانند آخال، حفرات و میکروتخلخل در قطعه کاهش محسوسی داشته است.



شکل ۵. الف. تصویر SEM از مقطع شکست نمونه S_3

ب. آنالیز EDS از نقطه شکل الف



شکل ۶. تصویر SEM از مقطع شکست نمونه S_3

حذف آخال از طریق شناور سازی توسط حباب‌های گازی افزایش می‌یابد.

اما با مقایسه نتایج، ملاحظه می‌شود که روند بهبود فرایند تصفیه تا میزان $\frac{1}{3}$ درصد وزنی اعمال فلاکس صعودی می‌باشد اما با افزودن $\frac{1}{4}$ درصد وزنی فلاکس، این روند متوقف شده و حتی اندرکی کاهش یافته است. به نظر می‌رسد که با افزایش مقدار فلاکس، سطوح تماس درون مذاب افزایش می‌یابد، اما این سطوح، پس از یک حد اشباع ($\frac{1}{3}$ درصد وزنی فلاکس)، کاهش می‌یابد. زیرا پس از این حد اشباع، تعداد ذرات (قطرات) نسبت به مذاب فلز آنقدر زیاد می‌شود که اختلال برخورد قطرات به یکدیگر و قابلیت به هم پیوستن آنها نیز، بیشتر خواهد شد. از بهم پیوستن دو قطره فلاکس با شاعع یکسان و تشکیل قطره جدید، مجموع مساحت بیرونی قطرات (ذرات) فلاکس یا سطح تماس مؤثر فلاکس با مذاب آلمینیم، کاهش می‌یابد. هرچه تعداد قطراتی که به یکدیگر می‌پیوشنند، بیشتر باشد، کاهش سطوح موثر نیز بیشتر خواهد شد. بنابراین اگر میزان فلاکس افزوده شده به مذاب از یک حد اشباع بیشتر شود، راندمان تصفیه نه تنها افزایش نمی‌یابد بلکه با کاهش مواجه خواهد شد.

۲-۳. نمونه‌های آلیاژ کارپذیر 6063

آنالیز شیمیایی نمونه‌های W_0 , W_1 و W_2 مربوط به مذاب‌های مختلف آلیاژ 6063 در جدول ۴ ملاحظه می‌شود. در نمونه‌های W_0 (نمونه مذاب از برگشتی آلیاژ 6063 بدون انجام عملیات تصفیه) و W_1 (نمونه مذاب از برگشتی آلیاژ 6063 پس از عملیات تصفیه با افزودن $\frac{1}{3}$ درصد از فلاکس) میزان آهن و مس بیشتر از نمونه W_2 (نمونه مذاب از برگشتی آلیاژ 6063 می‌باشد. زیرا به همراه برگشتی‌های آلیاژ 6063 معمولاً حضور قراضه‌های آهن و مس محتمل می‌باشد.

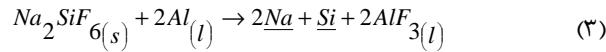
جدول ۴. آنالیز شیمیایی مذاب نمونه‌های آلیاژ کارپذیر 6063

W_0	W_1	W_2	نمونه
			عناصر آلیاژی
۰/۳۸۶	۰/۳۹۶	۰/۳۷۵	%Si
۰/۸۹۱	۰/۸۲۴	۰/۳۴۴	%Fe
۰/۲۴۰	۰/۲۵۲	۰/۱۲۰	%Cu
۰/۰۹۲	۰/۰۹۳	۰/۰۹۲	%Mn
۰/۳۸۰	۰/۳۸۱	۰/۴۹۲	%Mg
۰/۲۴۶	۰/۲۵۵	۰/۱۹۳	%Zn
۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۴۰	Ti
بقیه	بقیه	بقیه	Al

نمودار استحکام کششی نمونه‌ها در شکل ۸ و نمودار درصد از دیدار طول نسبی نمونه‌ها در شکل ۹ مشاهده می‌شوند. همچنین نمودار تغییرات اندازه چگالی برای این نمونه‌ها در شکل ۱۰ ارائه شده است.

به سوی سطح، در حذف آنها از مذاب موثر باشد (بر اساس قانون استوکس). بنابراین با افزایش مقدار فلاکس، به عبارتی افزایش جزء Na_2SiF_6 ، راندمان تصفیه مذاب افزایش می‌یابد و نهایتاً منجر به بهبود خواص نمونه ریختگی می‌شود.

یکی دیگر از واکنشهای محتمل بین فلوروسیلیکات سدیم (عامل فعال درون فلاکس) و مذاب آلمینیم، به صورت زیر می‌باشد:



در اثر انجام این واکنش، سدیم و سیلیسیم جذب مذاب می‌شوند. سدیم از عنصری است که به شدت فعالیت سطحی را مطابق رابطه گیبس افزایش می‌دهد [۱۲]:

$$\Gamma^S = -\left(\frac{1}{RT}\right)\left(\frac{\partial \gamma}{\partial Lna}\right)_T \quad (4)$$

در این رابطه، Γ^S ، سطوح اضافه شده ناشی از جزء حل شده (Solute) در واحد سطح، γ ، کشش سطحی محلول و a ، اکتیویته جزء محلول است. ملاحظه می‌شود که کشش سطحی محلول (γ)، با غلظت جزء حل شده (a)، رابطه معکوس دارد؛ یعنی با حذف جزء حل شده از سطح، کشش سطحی محلول، افزایش می‌یابد و اگر جزء محلول در فصل مشترک جذب شود (غلظت آن افزایش یابد)، کشش سطحی محلول کاهش می‌یابد. با افزایش مقدار فلاکس افزوده شده، غلظت سدیم به عنوان جزء فعل سطحی، بیشتر شده (افزایش a) و باعث کاهش بیشتر کشش سطحی محلول می‌شود. از آنجا که پدیده ترشوندگی آخال‌ها و اکسیدهای مذاب با مذاب آلمینیم و فلاکس مذاب، عامل مهم و مؤثر بر تمیزی مذاب و شناور کردن آخال‌ها به سمت سریاره می‌باشد، لذا به نظر می‌رسد که افزایش مقدار فلاکس، مجموع مکان‌های مؤثر (سطوح تماس) ترشوندگی بین ذرات معلق آخال درون مذاب و فلاکس را بیشتر می‌کند [۱۲، ۱۳ و ۱۴].

حضور ترکیبات فلورایدی درون ترکیب فلاکس (CaF_2 و Na_2SiF_6) باعث افزایش خاصیت ترشوندگی حباب‌های گاز آرگون با آخال‌ها می‌شود [۱۲]. با افزایش مقادیر فلاکس، سطوح تماس حباب‌مذاب، افزایش می‌یابند. این حباب‌ها با توجه به چسبندگی خوبی که با آخال‌ها و اکسیدهای درون مذاب دارند به آنها می‌چسبند و موجب حذف آخال می‌گردد. مکانیزم غالب حذف آخال‌ها، شناورسازی توسط حباب گازی می‌باشد. اگر فرض شود که آخال اولیه‌ای که درون مذاب حضور دارد، دارای قطر d_0 و چگالی ρ_0 باشد، پس از چسبیدن حباب گازی به آن مجموع آنها در کنار یکدیگر دارای قطر جدید d_1 و چگالی ρ_1 می‌شوند. بدیهی است که قطر جدید بزرگتر از قطر اولیه و چگالی جدید کمتر از چگالی اولیه خواهد بود و در نتیجه طبق رابطه استوکس، سرعت شناور شدن آخال به سطح مذاب، پس از چسبیدن حباب گازی به آن به شدت افزایش می‌یابد. پس با افزایش درصد وزنی فلاکس افزوده به مذاب، راندمان تصفیه به دلیل افزایش نرخ

۴. نتیجه گیری

(الف) با افزایش میزان فلاکس افزوده شده (فلاکس حاوی Na_2SiF_6 و CaF_2) تا $0/3$ درصد وزنی مذاب، راندمان تصفیه مذاب بطور پیوسته روند افزایشی دارد.

(ب) استحکام کششی، درصد ازدیاد طول نسبی آلیازی که با افزودن فلاکس به میزان $0/3$ درصد وزنی مذاب تصفیه شده است، افزایش چشمگیری به ترتیب 0.52% ، $0.93/6\%$ نسبت به نمونه‌ای که تحت عملیات تصفیه قرار نگرفته است، نشان می‌دهد.

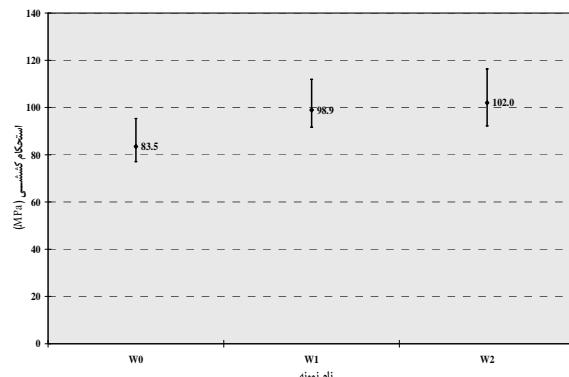
(ج) با افزودن فلاکس به میزان بیش از $0/3$ درصد وزنی مذاب، به دلیل اشباع شدن مذاب از حضور فلاکس، روند افزایش راندمان تصفیه متوقف می‌شود.

(د) با تصفیه مذاب برگشتی‌های آلیاز 6063 توسط اعمال فلاکس به میزان $0/3$ درصد وزنی مذاب، استحکام کششی، درصد ازدیاد طول نسبی به ترتیب $18/4\%$ ، 25% نسبت به قبل از تصفیه افزایش یافته‌اند.

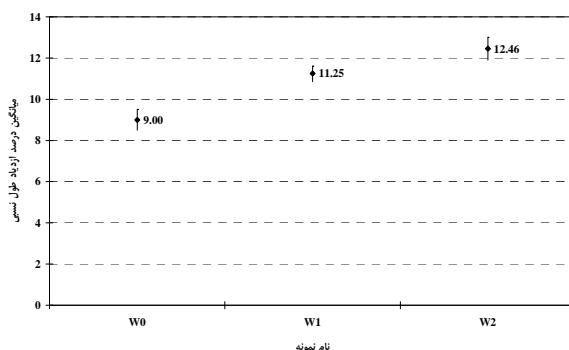
مراجع

- [1] Zhou, M., et al; "Performance Improvement of Industrial Pure Aluminum Treated by Stirring Molten Fluxes", Mat. Sci. & Eng., Vol. A347, 2003, PP.280-290.
- [2] Wittaya La-Orchan, "Quantification of the Reduced Pressure test", Ph.D. Thesis, McGill University, 1994.
- [3] Makarov, S., Apelian, D., Ludwig, R., "Inclusion Removal And Detection In Molten Aluminum: Mechanical, Electromagnetic, and Acoustic Techniques", AFS Transaction, 1999, PP.727-742.
- [4] Apelian, D., "How clean is the metal you cast? The issue of assessment: a status report", Proceeding of 3rd Int. Conf. on Molten Aluminum Processing;1992, PP.1-15.
- [5] Crepeau, P.N., Fenyes, M.L., Jeanneret, J.L., "Solid Fluxing Practices for Aluminum Melting", Modern Casting, 1992, PP.28-30.
- [6] Cochran, B.P., Fenyes, M.L., Jeanneret, J.L., Mulac, R.P., Crepeau, P.N., "Flux Practice in Aluminum Melting", AFS Transaction, 1992, V.88, PP.737-742.
- [7] Utigard, T.A. et al; "Properties of Fluxes Used In Molten Aluminum Processing", Journal of Metals, Nov.1998, PP.38-43.
- [8] Mohanty, P.S., Samuel, F.H., Gruzleski, J.E., "Role of Inclusions on Pore Nucleation in Aluminum Casting Alloys", Light Metals Processing and Applications, 1993, PP.273-282.
- [9] Crepeau, P.N., "Molten Aluminum Contamination: Gas, Inclusions, and Dross", Modern Casting, 1997, PP.39-41.
- [10] Fox, J.M., "Aluminum Alloy Castings Inclusions", AFS Transactions, 1961, V. 69, P.737.
- [11] Gallo, R., "Development, Evaluation and Application of Granular and Powder Fluxes in Transfer Ladles, Crucible

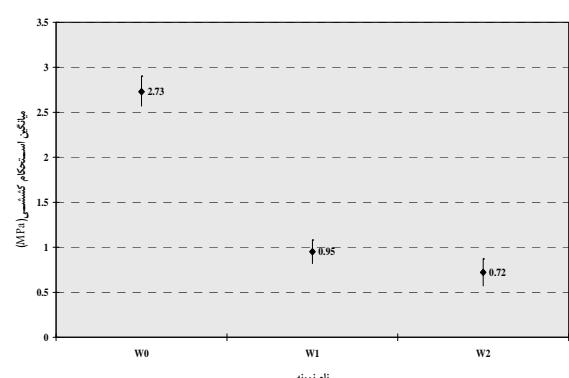
با توجه به این نمودارها ملاحظه می‌شود که اعمال فلاکس در این آلیاز کارپذیر نیز باعث بهبود خواص مکانیکی می‌شود، بطوریکه با اعمال فلاکس به مقدار $0/3$ درصد وزنی مذاب (نمونه W₁)، استحکام کششی و میانگین درصد ازدیاد طول نسبی به ترتیب $18/4$ و 25 درصد نسبت به نمونه حاصل از ذوب برگشتی‌ها و بدون افزودن فلاکس (نمونه W₀، افزایش یافته است. از طرفی نمونه W₂ کمترین ان迪س چگالی را دارد و بنابراین میزان تخلخل آن نیز کمتر از دو نمونه دیگر بوده است. مکانیزم تصفیه در این مورد نیز همانگونه که در مورد نمونه‌های آلیاز ریختگی ذکر گردید احتمالاً شناورسازی و واکنش شیمیایی بین فلاکس و آخال‌ها می‌باشد.



شکل ۸. نمودار استحکام کششی نمونه‌های مختلف آلیاز 6063



شکل ۹. نمودار درصد ازدیاد طول نسبی نمونه‌های مختلف آلیاز 6063



شکل ۱۰. تأثیر عملیات تصفیه بر ان迪س چگالی نمونه‌های آلیاز 6063

and Reverberatory Furnaces", Proceeding of 6th International AFS Conference in Molten Aluminum Processing, 2001, PP.55-69.

- [12] Roy, R.R., *"Physiochemical Measurements in Aluminum Salt Systems Relevant to Recycling of Aluminum Scrap"*, Ph.D. Thesis, Ohio State University, 1994.
- [13] Grjotheim, K., *"Characteristic and Thermodynamics of Fused Salts"*, Chemistry and Geochemistry of Solutions at High Temperatures and Pressures, Bergman Press, London England, 1981, PP.237-441.
- [14] Utigard, T.A., *"Thermodynamic Considerations of Aluminum Refining and fluxing"*, Extraction, Refining and Fabrication of Light Metals, 1991, PP.353-365.