

# بررسی تأثیر مقدار فلاکس بر فرآیند تصفیه مذاب آلومینیم

امید مجیدی، سعید شبستری و محمد رضا ابوطالبی

**چکیده:** در پژوهش حاضر، فلاکس حاوی ۹۰ درصد وزنی از ترکیب NaCl-KCl به همراه ۸ درصد وزنی  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  و ۲ درصد وزنی  $\text{CaF}_2$  به مذاب آلومینیم حاصل از ذوب تراشه‌های آلیاژهای ریختگی A319 و A380 افزوده شده و تأثیر مقدار فلاکس بر راندمان عملیات تصفیه از طریق آزمایش‌های کشش، آزمون انجماد تحت فشار کاهش یافته (RPT)، متالوگرافی، میکروسکوپ الکترونی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تأثیر فلاکس مورد نظر بر مذاب حاصل از ذوب برگشتی‌های آلیاژ کارپذیر ۶۰۶۳ نیز 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.

## ۱. مقدمه

مصرف 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 بعنوان 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 اهمیتی 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 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

می‌کند [۳]. بعلاوه وجود آخال باعث افت شدید مقاومت به خوردگی و چقرمگی قطعه ریختگی می‌گردد [۱]. انواع مختلفی از آخال‌ها مانند اکسیدها، نیتريد‌ها، کاربیدها، براید‌ها، کلریدها، فلوراید‌ها، فلاکس‌ها و نمکهای مذاب باقی مانده در مذابهای آلومینیم، وجود دارند [۳و۴]. اکثر این آخال‌ها دارای ساختار پیچیده و بسیار سخت و شکننده هستند و تا حد امکان باید از مذاب حذف شوند. آخال‌های  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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- تسریع 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 ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )، فلوراید کلسیم ( $\text{CaF}_2$ )، فلوروسیلیکات سدیم ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ) 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 آلومینیم، 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 اعمالی، دمای مذاب فلز، زمان تماس فلاکس و مذاب، روش اعمال فلاکس [۱۱].

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، mrezaab@iust.ac.ir

## جدول ۱. ترکیب شیمیایی فلاکس مورد استفاده در تصفیه

## مذاب آلومینیم

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

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

## فلاکس

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

پس از اعمال فلاکس و سرپاره گیری، بلافاصله 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 4486 تحت نرخ کرنش ۲mm/min انجام گرفت. آزمایش انجماد RPT با استفاده از دستگاه Stahl Gas-TECH II مجهز به پمپ خلأ 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:

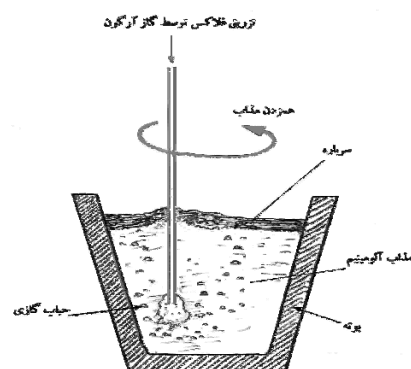
$$D.I = \frac{d_a - d_v}{d_a} \times 100 \quad (1)$$

که در معادله فوق  $d_a$  چگالی نمونه منجمد شده در اتمسفر و  $d_v$  چگالی نمونه منجمد شده در خلأ (۸۰ mbar) برحسب  $g/cm^3$

یافتن 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.

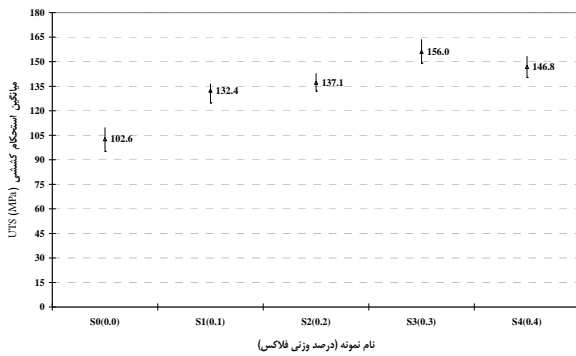
## ۲. روش تحقیق

در این پژوهش تأثیر مقدار فلاکس بر چگالی و خواص مکانیکی آلیاژ در فرایند تصفیه مذاب آلومینیم مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی، ابتدا تراشه‌های حاصل از عملیات ماشینکاری قطعات ریختگی آلومینیم (آلیاژهای A319 و A380)، جمع آوری و به منظور حذف آلودگی‌های سطحی (چربی ها، 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 ۱۵×۵×۰/۵) توزین شده و درون بوتۀ سیلیکون کارباید (SiC) به ظرفیت ذوب حدود ۱۵ کیلوگرم آلومینیم 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.

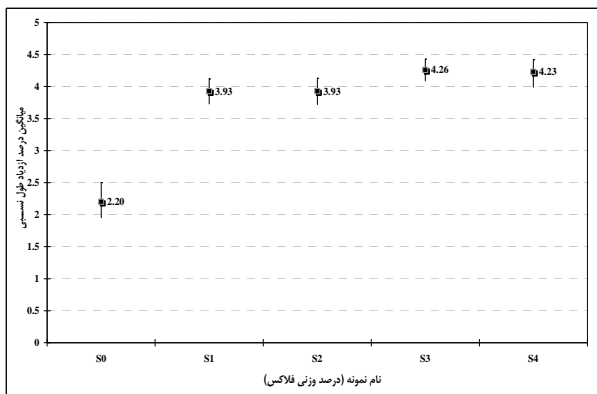


شکل ۱. نحوه فرایند افزودن فلاکس

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.

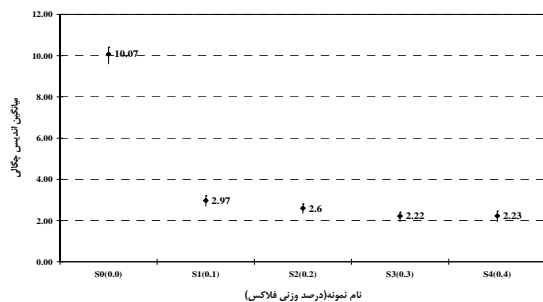


شکل ۲. تأثیر میزان فلاکس تصفیه کننده بر استحکام کششی نمونه‌های ریختگی



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

همچنین نمودار مربوط به تغییرات اندیس چگالی برحسب درصدهای مختلف فلاکس در شکل ۴ نشان داده شده است، ملاحظه می‌شود که کمترین اندیس مربوط به نمونه S<sub>3</sub> می‌باشد و بنابراین دارای کمترین میزان تخلخل نسبت به سایر نمونه‌ها می‌باشد. گرچه مقدار اندیس چگالی دو نمونه S<sub>3</sub> و S<sub>4</sub> بسیار نزدیک هستند، اندیس چگالی نمونه S<sub>0</sub> تفاوت آشکاری با سایر نمونه‌ها دارد.



شکل ۴- تأثیر میزان فلاکس تصفیه کننده بر اندیس چگالی نمونه‌های ریختگی

تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM از سطح مقطع شکست نمونه‌های S<sub>0</sub> و S<sub>3</sub> به ترتیب در اشکال ۵ و ۶ نشان داده شده‌اند. در شکل ۵-الف ملاحظه می‌شود که سطح مقطع شکست نمونه S<sub>0</sub> حاوی آخالی نسبتاً

می‌باشند. هرچه اندیس چگالی کمتر باشد نشانگر بهتر بودن شرایط مذاب از لحاظ حضور آخال‌ها خواهد بود. سطوح شکست نمونه‌های آزمایش کشش، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Philips-XL40 مجهز به پنجره بسیار نازک ( Super Ultra Thin 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

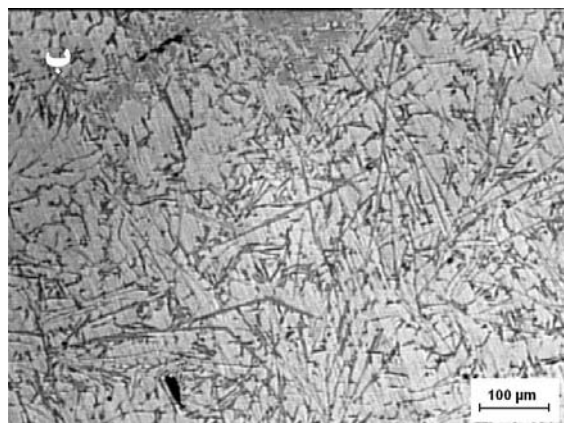
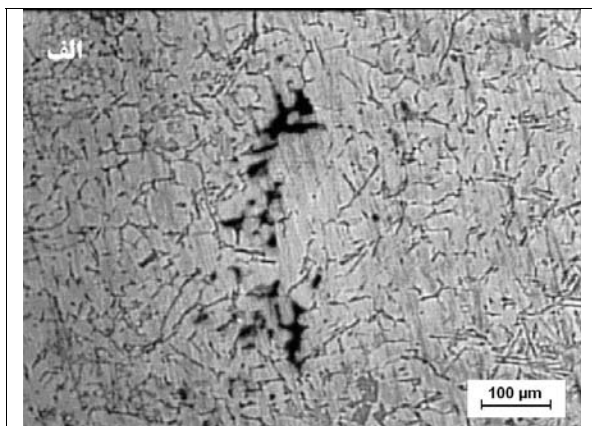
#### ۳-۱. نمونه‌های آلیاژ ریختگی

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 می‌باشند. ترکیب مذاب در هیچ محدوده‌ای مطابق ترکیب آلیاژهای استاندارد (A319 و A380) نیست و مقدار آهن موجود در آن بیش از حد متداول 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<sub>3</sub> بیشترین استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبی را نسبت به سایر نمونه‌ها دارا می‌باشد. با افزایش میزان فلاکس تا ۰/۳ درصد وزنی مذاب، استحکام کششی روند افزایشی دارد اما با اعمال ۰/۴ درصد وزنی از فلاکس، این روند متوقف شده و استحکام اندکی کاهش می‌یابد. افزودن ۰/۳ درصد وزنی از فلاکس به مذاب (نمونه S<sub>3</sub>)، باعث افزایش استحکام کششی به میزان ۵۲ درصد و افزایش درصد ازدیاد طول نسبی به میزان ۹۳/۶ درصد نسبت به نمونه بدون اعمال فلاکس (S<sub>0</sub>) 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	S0	S1	S2	S3	S4
%Si	۷/۲۳۲	۷/۳۸۶	۷/۲۷۰	۷/۲۵۱	۷/۲۴۰
%Fe	۱/۶۰۹	۱/۵۷۵	۱/۵۰۱	۱/۵۸۱	۱/۶۹۹
%Cu	۳/۳۶۵	۳/۳۹۳	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.



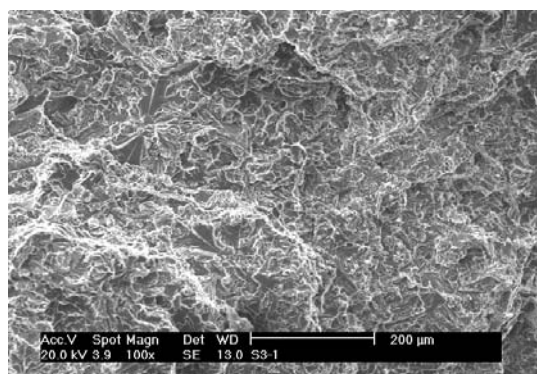
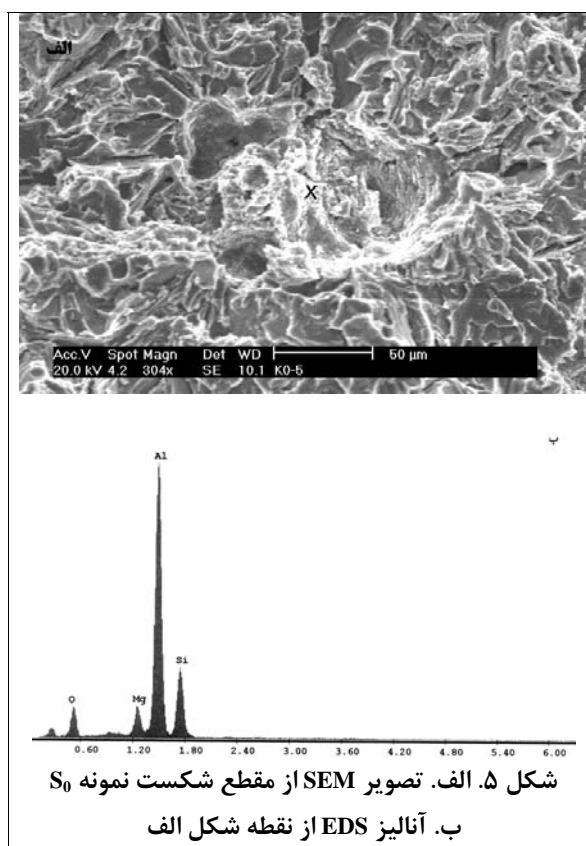
شکل ۷. ریز ساختار مربوط به نمونه الف-S<sub>0</sub>، ب-S<sub>3</sub>

مطابق تحقیقات انجام گرفته توسط محققین مختلف روشن شده است که فلوروسیلیکات سدیم (Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>) و فلوراید کلسیم CaF<sub>2</sub> باعث افزایش قابلیت ترشوندگی مخلوط نمک NaCl-KCl می‌شوند [۱۲، ۱۳ و ۱۴]. واکنش فلوروسیلیکات سدیم و اکسید آلومینیم به شکل زیر است:



واکنش فوق‌گرم‌زا 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<sub>4</sub>) حاصل از انجام این واکنش می‌تواند با چسبیدن به آخال‌ها و شناور کردن آنها

درشت با شکل کروی چین‌خورده است. آنالیز کیفی نقطه‌ای EDS از این آخال در شکل ۵. ب بیانگر این است که این آخال ترکیبی از اکسیدهای آلومینیم و منیزیم (اسپینل MgO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) می‌باشد. اگر این تصویر SEM با تصویر نمونه S<sub>3</sub> (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<sub>0</sub> و شکل ۷-ب مربوط به نمونه S<sub>3</sub> نیز مشاهده می‌گردد. در تصویر ۷-الف (مربوط به نمونه شاهد S<sub>0</sub>) مقدار آخال و تخلخل بطور نسبی بیشتر از نمونه تصفیه شده (نمونه S<sub>3</sub>)، 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 ۶. تصویر SEM از مقطع شکست نمونه S<sub>3</sub>

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

اما با مقایسه نتایج، ملاحظه می‌شود که روند بهبود فرایند تصفیه تا میزان ۰/۳ درصد وزنی اعمال فلاکس صعودی می‌باشد اما با افزودن ۰/۴ درصد وزنی فلاکس، این روند متوقف شده و حتی اندکی 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 (۰/۳ درصد وزنی فلاکس)، کاهش می‌یابد. زیرا پس از این حد اشباع، تعداد ذرات (قطرات) نسبت به مذاب فلز آن قدر زیاد می‌شود که احتمال برخورد قطرات به یکدیگر و قابلیت به هم پیوستن آنها نیز، بیشتر خواهد شد. از بهم پیوستن دو قطره فلاکس با شعاع یکسان و تشکیل قطره جدید، مجموع مساحت بیرونی قطرات (ذرات) فلاکس یا سطح تماس مؤثر فلاکس با مذاب آلومینیم، کاهش می‌یابد. هرچه تعداد قطراتی که به یکدیگر می‌پیوندند، بیشتر باشد، کاهش سطوح مؤثر 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 ۶۰۶۳

آنالیز شیمیایی نمونه‌های  $W_0$ ،  $W_1$  و  $W_2$  مربوط به مذاب‌های مختلف آلیاژ ۶۰۶۳ در جدول ۴ ملاحظه می‌شود. در نمونه‌های  $W_0$  (نمونه مذاب از برگشتی آلیاژ ۶۰۶۳ بدون انجام عملیات تصفیه) و  $W_1$  (نمونه مذاب از برگشتی آلیاژ ۶۰۶۳ پس از عملیات تصفیه با افزودن ۰/۳ درصد از فلاکس) میزان آهن و مس بیشتر از نمونه  $W_2$  (نمونه مذاب شمش اولیه آلیاژ ۶۰۶۳) می‌باشد. زیرا به همراه برگشتی‌های آلیاژ ۶۰۶۳ معمولاً حضور قراضه‌های آهن و مس محتمل می‌باشد.

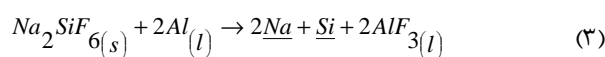
### جدول ۴. آنالیز شیمیایی مذاب نمونه‌های آلیاژ کارپذیر ۶۰۶۳

W <sub>0</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	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 ازدیاد طول نسبی نمونه‌ها در شکل ۹ مشاهده می‌شوند. همچنین نمودار تغییرات اندیس چگالی برای این نمونه‌ها در شکل ۱۰ ارائه شده است.

به سوی سطح، در حذف آنها از مذاب مؤثر باشد (بر اساس قانون استوکس). بنابراین با افزایش مقدار فلاکس، به عبارتی افزایش جزء فعال  $Na_2SiF_6$ ، 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 آلومینیم، به صورت زیر می‌باشد:



در اثر انجام این واکنش، سدیم و سیلیسیم جذب مذاب می‌شوند. سدیم از عناصری 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،  $\Gamma^s$ ، سطوح اضافه شده ناشی از جزء حل شده (Solute) در واحد سطح،  $\gamma$ ، کشش سطحی محلول و  $a$ ، اکتیویته جزء محلول است. ملاحظه می‌شود که کشش سطحی محلول ( $\gamma$ )، 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 فعال سطحی، بیشتر شده (افزایش  $a$ ) و باعث کاهش بیشتر کشش سطحی محلول می‌شود. از آنجا که پدیده ترشوندگی آخال‌ها و اکسیدها با مذاب آلومینیم و فلاکس مذاب، عامل مهم و مؤثر بر تمیزی مذاب و شناور کردن آخال‌ها به سمت سرباره 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 حباب-مذاب، 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  $\rho_0$  باشد، پس از چسبیدن حباب گازی به آن مجموع آنها در کنار یکدیگر دارای قطر جدید  $d_1$  و چگالی  $\rho_1$  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  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  و  $\text{CaF}_2$ ) تا ۰/۳ درصد وزنی مذاب، راندمان تصفیه مذاب بطور پیوسته روند افزایشی دارد.

(ب) استحکام کششی، درصد ازدیاد طول نسبی آلیاژی که با افزودن فلاکس به میزان ۰/۳ درصد وزنی مذاب تصفیه شده است، افزایش چشمگیری به ترتیب ۰/۵۲٪، ۰/۹۳٪ نسبت به نمونه‌ای که تحت عملیات تصفیه قرار نگرفته است، نشان می‌دهد.

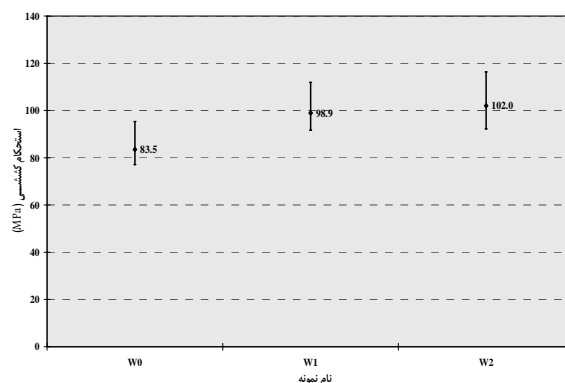
(ج) با افزودن فلاکس به میزان بیش از ۰/۳ درصد وزنی مذاب، به دلیل اشباع شدن مذاب از حضور فلاکس، روند افزایش راندمان تصفیه متوقف می‌شود.

(د) با تصفیه مذاب برگشتی‌های آلیاژ ۶۰۶۳ توسط اعمال فلاکس به میزان ۰/۳ درصد وزنی مذاب، استحکام کششی، درصد ازدیاد طول نسبی به ترتیب ۰/۱۸٪، ۰/۲۵٪ نسبت به قبل از تصفیه افزایش یافته‌اند.

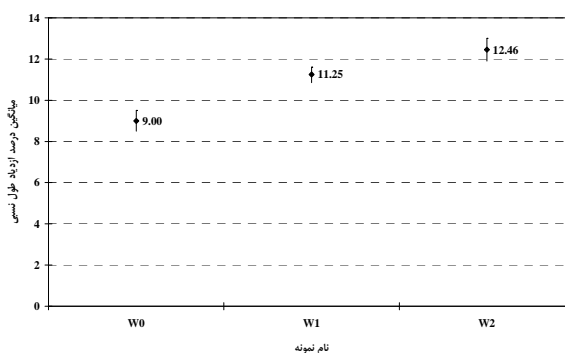
#### مراجع

- [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 3<sup>rd</sup> Int. Conf. on Molten Aluminum Processing; 1992, PP.1-15.
- [5] Crepeau, P.N., Fenyas, M.L., Jeanneret, J.L., "Solid Fluxing Practices for Aluminum Melting", Modern Casting, 1992, PP.28-30.
- [6] Cochran, B.P., Fenyas, M.L., Jeanneret, J.L., Mulae, 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

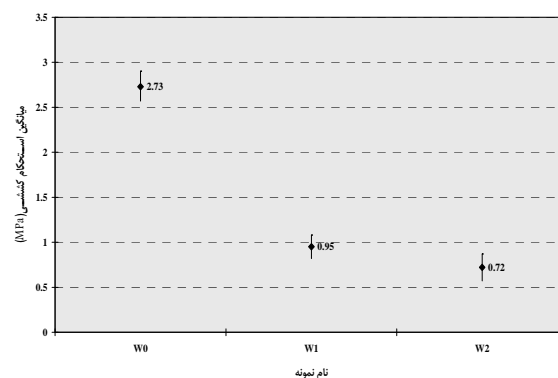
با توجه به این نمودارها ملاحظه می‌شود که اعمال فلاکس در این آلیاژ کارپذیر نیز باعث بهبود خواص مکانیکی می‌شود، بطوریکه با اعمال فلاکس به مقدار ۰/۳ درصد وزنی مذاب (نمونه  $W_1$ )، استحکام کششی و میانگین درصد ازدیاد طول نسبی به ترتیب ۱۸/۴ و ۲۵ درصد نسبت به نمونه حاصل از ذوب برگشتی‌ها و بدون افزودن فلاکس (نمونه  $W_0$ )، افزایش یافته است. از طرفی نمونه  $W_2$  کمترین اندیس 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 آلیاژ ریختگی ذکر گردید احتمالاً شناورسازی و واکنش شیمیایی بین فلاکس و آخال‌ها می‌باشد.



شکل ۸. نمودار استحکام کششی نمونه‌های مختلف آلیاژ ۶۰۶۳



شکل ۹. نمودار درصد ازدیاد طول نسبی نمونه‌های مختلف آلیاژ ۶۰۶۳



شکل ۱۰. تأثیر عملیات تصفیه بر اندیس چگالی نمونه‌های آلیاژ ۶۰۶۳

*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.