نشریه علوم و مهندسی جداسازی
دوره ششم، شماره ۲، سال ۱۳۹۳، صفحه ۶۹ تا ۷۸

Journal of Separation Science and Engineering
Vol. 6, No. 2, pp. 69 to78

تأثیر نگهداری آلیاژ Al-0.7 wt% Mg در حالت مذاب بر حذف عیب اکسید فیلم دو لایه

امینه شفایی [۲،۱]، رامین رئیس‌زاده [۲،۱،*]

۱. بخش مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
۲. پژوهشکده صنایع معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۷ اسفند ۹۲
دریافت پس از اصلاح: ۲۴ فروردین ۹۳
پذیرش نهایی: ۳۰ مرداد ۹۳

کلمات کلیدی:
عیب اکسید فیلم دو لایه
مذاب آلومینیم
ترمیم
آخال اکسیدی

چکیده

در این تحقیق تأثیر نگه داری آلیاژ آلومینیم حاوی ۰/۷درصد وزنی منیزیم در حالت مذاب بر حذف عیب اکسید فیلم دو لایه از مذاب و پراکندگی خواص مکانیکی قطعه ریختگی توسط آنالیز آماری ویبول و مطالعه سطوح مقاطع شکست نمونه‌های تست کشش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادند که پراکندگی مقادیر استحکام کششی نمونه‌ها با نگه داری آلیاژ در حالت مذاب تا ۶۰ دقیقه افزایش یافته و متعاقباً در زمان ۲۵۰ دقیقه کاهش یافت. مطالعه سطوح مقاطع شکست و مقایسه نتایج حاصل از آنالیز آماری ویبول با نتایج موجود در منابع، نظریه ایجاد پیوند بین لایه‌های اکسیدی عیوب اکسید فیلم دو لایه در این آلیاژ پس از زمان نگه داری ۹۰ دقیقه را در شرایط کارگاهی مورد تائید قرار دادند. این نظریه پیش از این تنها در شرایط شبیه سازی شده آزمایشگاهی مورد تحقیق قرار گرفته بود. در این تحقیق همچنین شواهدی دال بر ایجاد پیوند بین لایه‌های اکسیدی در تصاویر میکروسکوپی مشاهده گردید.

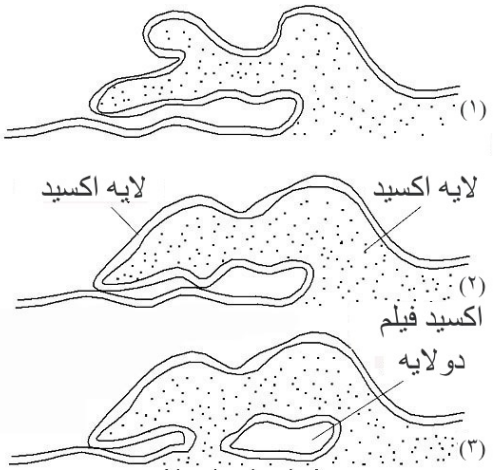
* عهده دار مکاتبات
rraiszadeh@uk.ac.ir

حقوق ناشر محفوظ است.

۱-مقدمه

امروزه استفاده از قطعات ریختگی آلومینیومی در صنایع حساس به مسائل ایمنی، نظیر صنایع اتومبیل‌سازی و هوا و فضا، بسیار متداول شده است. خواص مکانیکی این گونه قطعات باید حداکثر یکنواختی ممکن را داشته باشند تا قطعات از حداکثر قابلیت اعتماد برخوردار گردند. از این رو وجود هرگونه عیب با ماهیت اتفاقی در چنین قطعاتی نامطلوب بوده و ممکن است باعث مردود شدن قطعه در مرحله کنترل کیفیت گردد. یکی از متداول‌ترین عیوب ریختگی با ماهیت کاملاً اتفاقی در آلیاژهای آلومینیوم که باعث کاهش شدید قابلیت اعتماد به قطعه می‌شود، عیب اکسید فیلم دو لایه است.

عیب اکسید فیلم دو لایه، که اولین بار توسط کمپبل [۱] معرفی گردید، به دلیل تلاطم‌های سطحی ایجاد شده در طول بارریزی و سقوط سطح مذاب بر روی خودش به وجود می‌آید (شکل ۱). این امر باعث می‌شود تا دو لایهٔ اکسید جامد و خشک بر روی یکدیگر قرار گرفته و لایه‌ای از گاز (عمدتاً اکسیژن و نیتروژن) در بین آن دو محبوس گردد. این عیب لزوماً همانند یک ترک عمل می‌کند که نه تنها باعث کاهش خواص مکانیکی قطعه ریختگی می‌شود، بلکه می‌تواند در حین انجماد به عنوان مکانی برای تشکیل سایر عیوب، همچون تخلخل هیدروژنی و فازهای غنی از آهن، عمل نماید [۲, ۳].

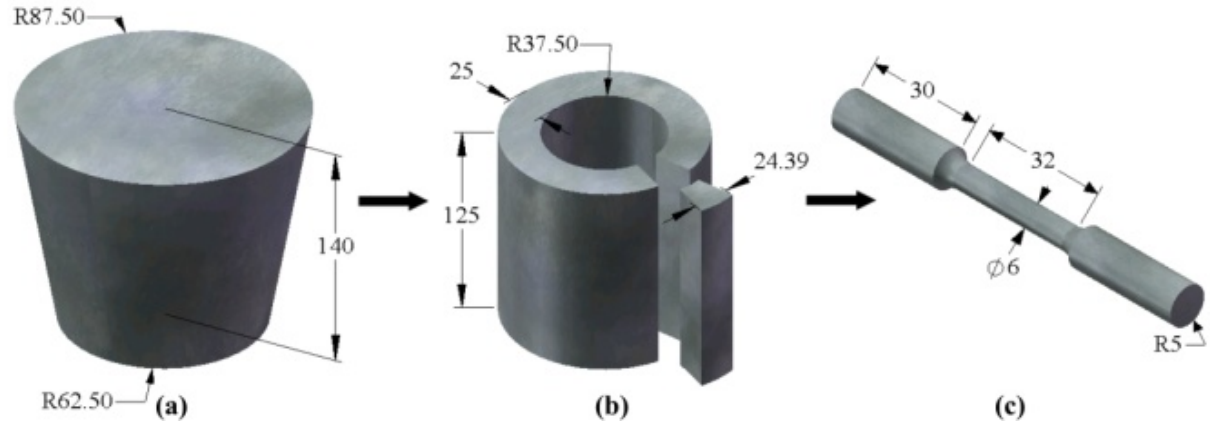


شکل (۱) ایجاد عیب اکسید فیلم دو لایه در مذاب آلومینیم [۴]

رفتار عیب اکسید فیلم دو لایه و تأثیر آن بر خواص مکانیکی قطعات ریختگی [۵]، امکان حذف این عیب به وسیله فیلترهای سرامیکی [۶] و همچنین به وسیله نگه‌داری در مذاب [۷-۹]، اخیراً توسط محققین مورد بررسی قرار گرفته است. رئیس‌زاده و گریفیتث [۴] نشان دادند که اتم‌های هیدروژن می‌توانند از دیواره‌ی عیب اکسید فیلم دو لایه عبور کرده و به اتمسفر درون این عیب، که مانند یک ترک است، وارد گردند و آن را منبسط کنند. آریافر و همکارانش [۷] احتمال ایجاد پیوند بین دو لایه عیب اکسید فیلم غوطه‌ور در مذاب آلیاژ A356 (حاوی ۰/۳ wt% Mg) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان دادند که دو لایه عیب اکسید فیلم دو لایه می‌تواند توسط دو مکانیزم متفاوت با یکدیگر پیوند برقرار کنند: یکی در طول دگرگونی Al_2O_3 به $MgAl_2O_4$ (اسپینل) در زمان نگه‌داری کوتاه و دیگری در حین تبدیل تدریجی اسپینل به MgO در زمان‌های طولانی‌تر، که سبب ایجاد پیوند مستحکم بین دو لایه خواهد شد. ایجاد پیوند بین دو لایه عیب اکسید فیلم منجر به حذف تأثیر مخرب آن به عنوان منشاء ایجاد حفره‌های گازی در قطعه ریختگی می‌شود. اخیراً امیری‌نژاد و همکارانش [۱۰, ۱۱] پیرامون اکسیداسیون آلیاژهای آلومینیوم با درصدهای متفاوت منیزیم (حاوی wt% ۰/۳-۴/۵Mg) مطالعه کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادند که لایه‌های آلومینای تشکیل دهنده‌ی یک اکسید فیلم دو لایه در مذاب حاوی منیزیم به تدریج به اسپینل و سپس به MgO تبدیل می‌شوند. آن‌ها همچنین دریافتند که این مکانیزم برای تمامی آلیاژها با درصدهای متفاوت منیزیم اتفاق می‌افتد و سینتیک انجام این استحاله به درصد منیزیم مذاب بستگی پیدا می‌کند.

شفایی و رئیس‌زاده [۱۲] احتمال حذف عیب اکسید فیلم دو لایه از مذاب آلیاژهای آلومینیم حاوی ۰/۳، ۰/۷ و ۲ درصد وزنی منیزیم در اثر نگه‌داری آلیاژ در حالت مذاب را توسط آزمایش انجماد در فشار تقلیل یافته (RPT)[1] مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان دادند. از میان این سه آلیاژ، تنها در آلیاژ دارای ۰/۷ درصد منیزیم بود که لایه‌های اکسیدی عیب اکسید فیلم دو لایه با راندمانی نسبتاً بالا و در مدت زمان حدود ۹۰ دقیقه با یکدیگر پیوند برقرار کرده و بدین ترتیب عیب از مذاب آلیاژ حذف گردید. سرعت ایجاد پیوند در آلیاژ دارای ۰/۳ درصد منیزیم به علت پایین بودن سرعت انجام استحاله در لایه‌های اکسیدی پایین بوده و پیوند لایه‌های اکسیدی حدود ۵ ساعت به طول انجامید. غلظت هیدروژن محلول در مذاب در آلیاژ دارای ۲٪ منیزیم بالا بوده و نفوذ این گاز به اتمسفر محبوس بین دو لایه اکسیدی باعث

[1] Reduced Pressure Test



شکل (۲) نحوه تراشکاری نمونه‌ها: (الف) شمش ریخته شده، (ب) تراشکاری اولیه و (ج) نمونه تست کشش. ابعاد دارای واحد میلیمتر هستند.

دور نگه داشته شدن لایه‌ها در حین انجام استحاله در لایه‌های اکسیدی عیب غوطه‌ور در این آلیاژ گردید و پیوند بین لایه‌ها هرگز برقرار نشد.

همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، وجود اکسید فیلم دو لایه در مذاب نه تنها باعث کاهش خواص مکانیکی می‌شود، بلکه قابلیت اعتماد به قطعه را نیز کاهش می‌دهد. یکی از بهترین روش‌های آماری برای تعیین قابلیت اعتماد به یک قطعه ریختگی، آنالیز آماری ویبول است [۵].

توسط این روش آماری می‌توان بسیاری از توزیع‌های غیرمتقارن مهندسی را خطی کرده و رفتار جمعیتی آماری را توسط آنالیز تعداد محدودی داده مطالعه نمود. توزیع ویبول دو عاملی را می‌توان این گونه نشان داد [۱۳]:

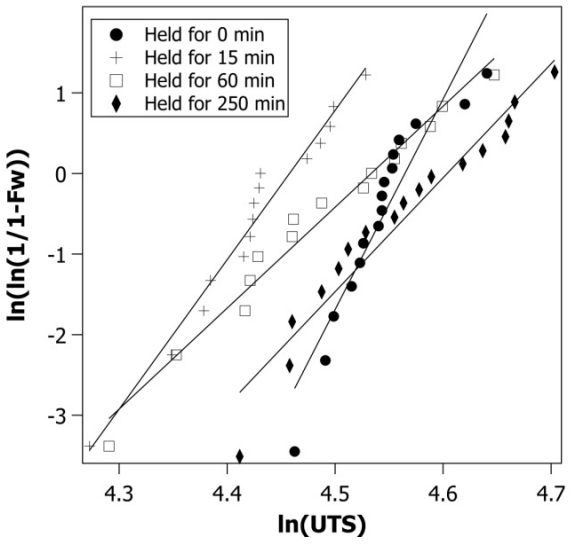
$$\ln\left[\ln\left(\frac{1}{1-F_W}\right)\right]=\lambda\ln(x)-\lambda\ln(\sigma) \qquad (1)$$

که در آن F_W کسر قطعات شکسته شده در خاصیت مکانیکی مورد نظر، x متغیر اندازه‌گیری شده (همانند استحکام کششی)، σ تنش مشخصه (که در آن 1/e نمونه‌ها سالم می‌مانند) و λ مدول ویبول است. هر چه مقدار λ بیش‌تر باشد گستردگی x حول مقدار میانگین کمتر بوده و در تحقیق حاضر نشان دهنده‌ی وجود تعداد کمتر عیب اکسید فیلم دو لایه در قطعه ریختگی است. مقدار λ را می‌توان با ترسیم ln(ln(1/(1-Fw)) بر حسب ln(x) و محاسبه ضریب زاویه بهترین خط عبور کننده از میان این داده‌ها محاسبه نمود.

بر اساس تحقیقات انجام شده توسط شفایی و رئیس‌زاده [۱۲]، نقش وجود منیزیم با غلظت ۰/۷ درصد وزنی در مذاب آلومینیوم به عنوان عامل موثر در ایجاد پیوند بین لایه‌های اکسیدی مورد تاکید قرار گرفته است. در این تحقیق توسط آنالیز آماری ویبول و مطالعه میکروسکوپی سطح مقطع شکست نمونه‌های تست کشش، تأثیر نگه‌داری مذاب آلومینیوم حاوی ۰/۷٪ منیزیم بر حذف عیب اکسید فیلم دو لایه از مذاب و خواص مکانیکی قطعه ریخته شده در یک شمش ریختگی مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج حاصل با نتایج شفایی و رئیس زاده [۱۲] مورد مقایسه قرار گرفت.

۲- روش تحقیق

هفت کیلوگرم آلیاژ آلومینیم دارای ۰/۷ درصد وزنی منیزیم با افزودن آمیژان Al-50%Mg به آلیاژ آلومینیوم با خلوص تجاری در یک کوره مقاومتی تولید گردید. ترکیب شیمیایی آلیاژ حاصل در جدول ۱ آورده شده است. به منظور ایجاد عیب اکسید فیلم دو لایه، مذاب با دمای فوق‌گداز ۷۵۰^{O}C از ارتفاع ۵۰cm به درون بوته گرافیتی دوم (پیش‌گرم شده) ریخته شد. در آزمایش اول بوته دوم به حال خود رها گردید تا مذاب در درون بوته منجمد گردد. در آزمایش‌های دوم تا چهارم بوته دوم به ترتیب به مدت زمان‌های ۱۵، ۶۰ و ۲۵۰ دقیقه در درون کوره در دمای ۷۵۰^{O}C نگه داری شد. بوته متعاقباً از کوره خارج شده و مذاب در درون پاتیل منجمد گردید. از هر یک از شمش‌های جامد شده ۱۵ نمونه تست کشش (مطابق شکل ۲) ماشینکاری شده و توسط دستگاه تست کشش مدل ZWICK Z010 با نرخ کرنش ۱۰ میلیمتر بر دقیقه تحت آزمایش کشش قرار گرفتند. سطوح مقطع شکست نمونه‌های تست کشش نیز برای بررسی تغییرات ایجاد شده، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدلMV320 Cam Scan که به یک میکرو آنالایزر Oxford Inca EDX متصل بود مورد مطالعه قرار گرفتند.



شکل (۳) نمودارهای ویبول استحکام کششی

جدول (۱) ترکیب شیمیایی آلیاژ مورد استفاده (برحسب wt%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Al
۰/۰۳	۰/۰۷	۱/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۷	۰/۰۰۵	بقیه

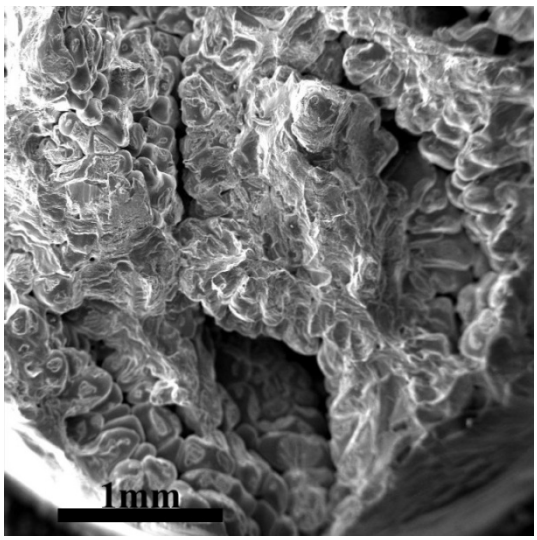
جدول (۲) نتایج حاصل از آزمایش ویبول

زمان نگه داری (دقیقه)	مدول ویبول	تنش مشخصه (MPa)	ضریب رگرسیون
صفر	۲۶/۱	۹۶	۰/۸۸
۱۵	۱۸/۵	۸۶/۳	۰/۹۷
۶۰	۱۲/۵	۹۳/۱	۰/۹۸
۲۵۰	۱۴/۱	۹۹/۹	۰/۹۴

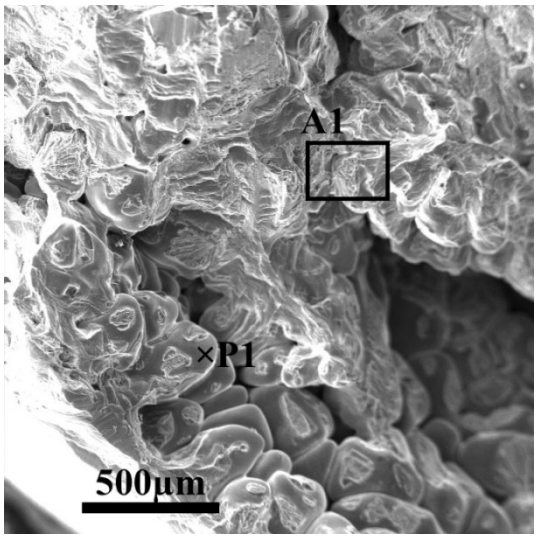
۳- نتایج

نمودار ویبول استحکام کششی برای زمان‌های نگه‌داری متفاوت در شکل ۳ و خلاصه اطلاعات به دست آمده از این آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ نشان می‌دهد که مدول ویبول در ۶۰ دقیقه اول نگه داری مذاب در کوره از ۲۶/۱ تا ۱۲/۵ کاهش یافته و سپس با افزایش زمان نگه داری تا ۲۵۰ دقیقه مجدداً تا ۱۴/۱ افزایش پیدا کرده است. این در حالی است که تنش مشخصه (که مترادف با مقدار میانگین در توزیع نرمال است) روندی مشابه با تغییرات مدول ویبول نداشته و میزان تغییرات آن نیز چشمگیر نبوده است.

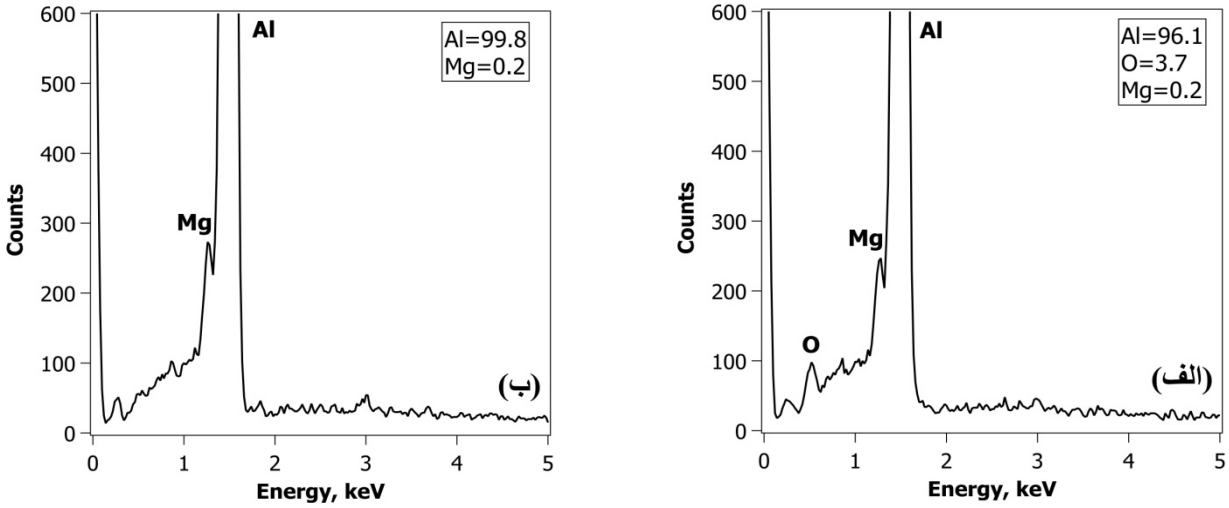


شکل (۴) تصویر SEM سطح شکست نمونه تست کشش برای زمان نگه داری صفر دقیقه. قطر متوسط حفره‌ها $mm^2$۰/۰۱±۰/۵۷

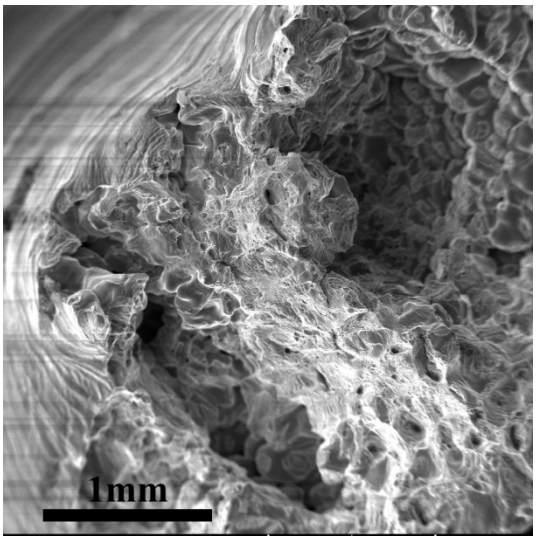


شکل (۵) تصویر SEM با بزرگنمایی بالاتر از منطقه نشان داده شده در شکل (۴). طیف‌های EDX به دست آمده از منطقه A1 و نقطه P1 در شکل ۶ آورده شده‌اند

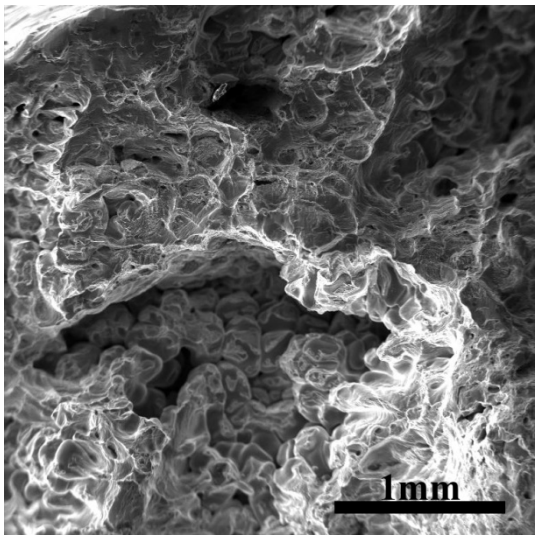
در شکل ۴ تصویر SEM گرفته شده از سطح مقطع شکست نمونه تست کشش حاصل از مذابی که بلافاصله پس از بارریزی منجمد گردیده بود مشاهده می‌شود. . این تصویر نشان می‌دهد که سطح مقطع شکست نمونه شامل حفراتی نسبتاً عمیق است. شکل ۵ تصویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگ نمایی بالاتری از همین مقطع را نشان می‌دهد. مقایسه طیف‌های EDX حاصل از اطراف این حفرات (به طور نمونه طیف حاصل از سطح A1 در شکل ۵) با طیف گرفته شده از سطح دندریت آلومینیم (نقطه P1) که در شکل ۶ نشان داده شده‌اند ، نشان دادند که درون یا اطراف تمامی این حفرات با لایه‌هایی از اکسید آلومینیم پوشیده شده است.



شکل (۶) طیف EDX حاصل از (الف) سطح A1 و (ب) نقطه P1 در شکل (۵)



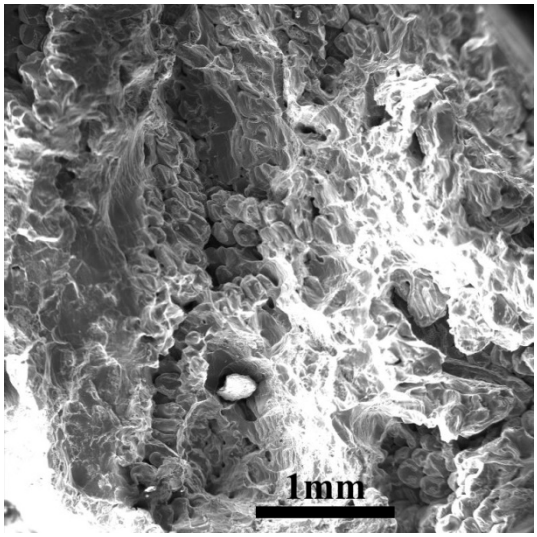
شکل (۷) تصویر SEM سطح شکست نمونه تست کشش برای زمان ۱۵ دقیقه. قطر متوسط حفره‌ها mm^2 ۰/۰۱±۰/۷۶



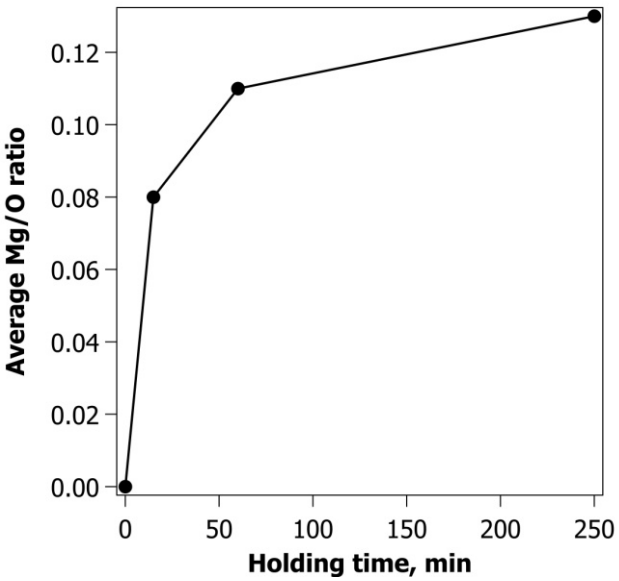
شکل (۸) تصویر SEM سطح شکست نمونه تست کشش برای زمان ۶۰ دقیقه. . قطر متوسط حفره‌ها mm^2 ۰/۰۱±۰/۹۰

تا زمان ۶۰ دقیقه، افزایش زمان نگه داری مذاب در کوره باعث افزایش اندازه حفره‌های سطوح مقاطع شکست نمونه‌ها گردید، اما عمق و اندازه‌ی حفره‌ها در زمان نگه داری ۲۵۰ دقیقه به یکباره با کاهشی چشمگیر مواجه شد. این مطلب در تصاویر SEM ارائه شده در اشکال ۷ تا ۹ که به ترتیب از مذاب‌هایی با زمان‌های نگه داری ۱۵، ۶۰ و ۲۵۰ دقیقه تهیه شده‌اند مشهود است. مطالعه EDX این مقاطع نیز وجود لایه‌های اکسیدی در درون یا کنار حفره‌های مشاهده شده در این نمونه‌ها را نیز تایید کردند.

جهت بررسی تغییرات ترکیب شیمیایی لایه‌های اکسیدی، نسبت غلظت منیزیم به اکسیژن در چندین نقطه از لایه اکسیدی در هر سطح مقطع توسط طیف EDX اندازه گیری گردید و مقدار متوسط این نسبت برای نمونه‌های حاصل از هر



شکل (۹) تصویر SEM سطح شکست نمونه تست کشش برای زمان ۲۵۰ دقیقه. . قطر متوسط حفره‌ها mm^2 ۰/۰۱±۰/۵۷

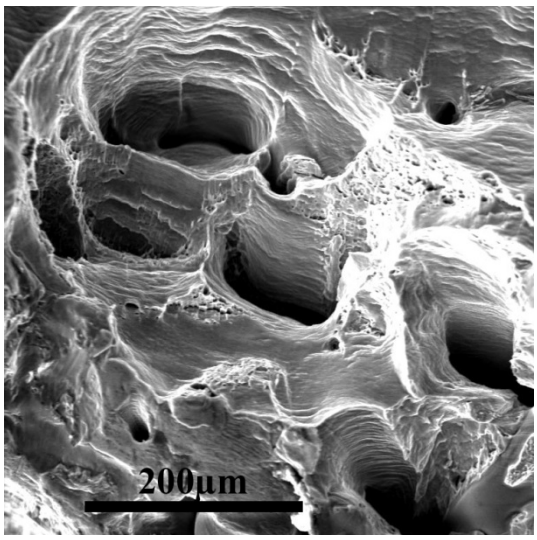


شکل (۱۰) تأثیر زمان نگه داری مذاب در کوره بر نسبت Mg/O در لایه‌های اکسیدی مشاهده شده در سطوح مقطع شکست نمونه‌ها

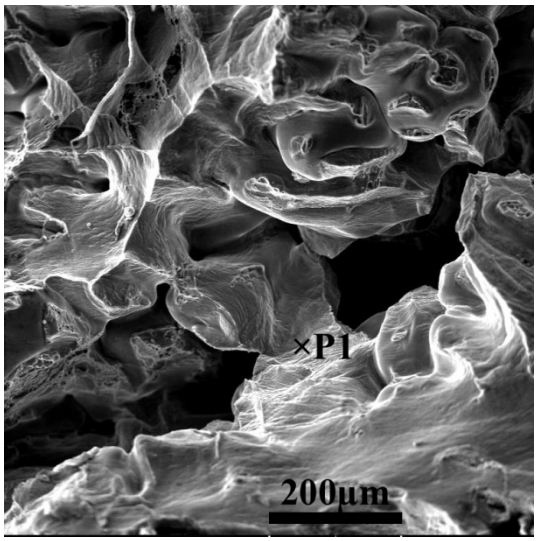
زمان نگه داری مذاب در کوره محاسبه شد. نتایج حاصل از این اندازه گیری در شکل ۱۰ مشاهده می‌گردد. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش زمان نگه داری مذاب در کوره نسبت منیزیم به اکسیژن در لایه‌های اکسیدی موجود در سطح مقطع شکست نمونه‌ها به تدریج افزایش پیدا کرده است. شیب این تغییرات ابتدا تند بوده و با گذشت زمان به تدریج کاهش یافته است.

در بعضی از نمونه‌های حاصل از مذابی که به مدت ۲۵۰ دقیقه در کوره نگه داشته شده بود، ساختاری بسیار متفاوت نسبت به سایر نمونه‌ها در سطح مقطع شکست مشاهده گردید. نمونه‌ای از این ساختار متفاوت در شکل ۱۱ آورده شده است. در میان نمونه‌های تست کشش حاصل این مذاب، چنین ساختاری فقط در نمونه‌های دارای استحکام مکانیکی بیشینه مشاهده شد. حفرات مشاهده شده در سطح مقطع این نمونه‌ها بسیار کوچک‌تر از نمونه‌های قبلی بوده و به نظر می‌رسد که حفرات توسط دیواره‌هایی اکسیدی به یکدیگر متصل شده‌اند.

نمونه‌ای دیگر از اتصال بین دیواره‌های یک حفره در این سطح مقطع را می‌توان در شکل ۱۲ مشاهده نمود. آنالیز EDX حاصل از محل اتصال مقدار نسبت Mg/O در این محل را ۰/۱۳ نشان داد، که بیشترین مقدار مشاهده شده برای این نسبت در تحقیق حاضر بود.



شکل (۱۱) تصویر SEM سطح شکست نمونه تست کششی که دارای بیشترین مقدار UTS از میان نمونه‌های به دست آمده از مذاب نگه داشته شده به مدت ۲۵۰ دقیقه بود



شکل (۱۲) نمونه دیگری از اتصال بین دیواره‌های اکسیدی در نمونه ۲۵۰ دقیقه. آنالیز EDX حاصل از نقطه P1 درصد وزنی عناصر در این نقطه را ۴/۶٪ اکسیژن، ۰/۶٪ منیزیم و بقیه آلومینیم نشان داد

۴- بحث و بررسی

کمپبل نشان داد [۱] که لایه‌های اکسیدی مشاهده شده در سطح مقطع نمونه‌های تست کشش در حقیقت همان عیوب اکسید فیلم دو لایه غوطه‌ور در مذاب هستند. این عیوب با قرار گرفتن در نمونه تست کشش منطقه‌ای با استحکام کم را فراهم آورده و نمونه در حین انجام آزمایش کشش از همان منطقه شکسته است. مشاهده لایه‌های اکسیدی در درون یا مجاور تمام حفرات مشاهده شده در

سطوح مقاطع شکست نمونه‌ها، گواهی بر این نظریه است. این محقق همچنین نشان داده است که عیوب اکسید فیلم دو لایه ممکن است در اثر قرار گرفتن در جریان مذاب مچاله شده و مجدداً در اثر نفوذ هیدروژن به درون اتمسفرش باز گردد.

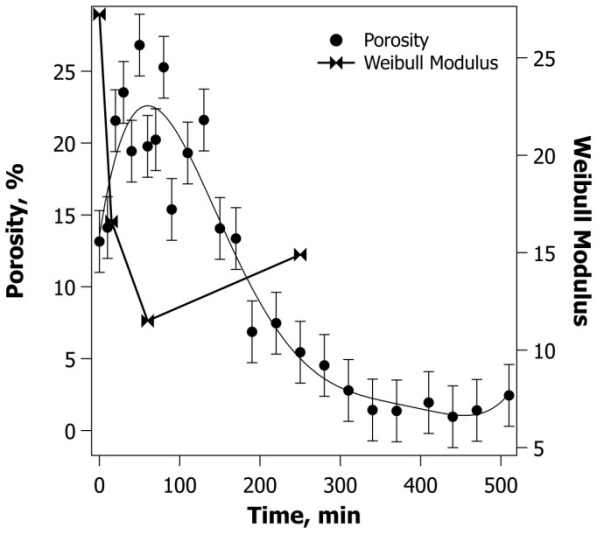
نتایج حاصل از آنالیز آماری ویبول (شکل ۳ و جدول ۲) نشان دادند که علیرغم ثابت ماندن نسبی مقدار تنش مشخصه، افزایش زمان نگه داری مذاب در کوره تا زمان ۶۰ دقیقه باعث افزایش پراکندگی مقادیر استحکام کششی حول مقدار میانگین شده و پس از آن نگه داری مذاب به مدت ۲۵۰ دقیقه باعث کاهش پراکندگی این خاصیت مکانیکی شده است.

رئیس زاده و گریفیتث [۳] و همچنین فرهودی و همکاران [۱۴] نشان دادند که نفوذ هیدروژن به درون اتمسفر محبوس در عیب اکسید فیلم دو لایه باعث انبساط آن شده و تأثیر مخرب آن بر کاهش خواص مکانیکی قطعه ریخته شده را شدت می‌بخشد. از طرفی شفایی و رئیس زاده [۱۲] نشان دادند که نیروی شناوری عیوب اکسیدی که بدین ترتیب منبسط می‌شوند بر اساس قانون استوک افزایش یافته و سرعت صعود آن‌ها به سمت سطح مذاب و حذف آن‌ها از مذاب سرعت پیدا می‌کند. بنا بر این نفوذ هیدروژن به درون عیب اکسید فیلم دو لایه تأثیری دوگانه بر خواص مکانیکی قطعه ریختگی دارد. در صورتی که عیب اکسید فیلم دو لایه پس از غوطه وری در مذاب همچنان باز (غیر مچاله) باشد، نفوذ هیدروژن به افزایش نیروی شناوری و حذف آن از مذاب کمک خواهد کرد و بدین ترتیب باعث کاهش پراکندگی خواص مکانیکی قطعه خواهد شد. اما در صورتی که عیب اکسید فیلم در ابتدا مچاله باشد (که در این حالت تأثیر منفی آن بر خواص مکانیکی حداقل است)، نفوذ هیدروژن باعث باز شدن عیب و افزایش تأثیر منفی آن بر پراکندگی خواص مکانیکی قطعه خواهد شد.

شفایی و رئیس زاده [۱۲] همچنین نشان دادند که اگر انجام استحاله فازی در لایه‌های اکسیدی باعث ایجاد پیوند بین لایه‌ها گردد، نفوذ هیدروژن به درون عیب اکسیدی دیگر قادر به منبسط کردن آن نخواهد بود. در این حالت با خروج عیوب اکسیدی (که قبل از فعال شدن مکانیزم ایجاد پیوند منبسط شده بودند) از تعداد عیوبی که قادر هستند خواص مکانیکی را پراکنده کنند به تدریج کاسته خواهد شد.

افزایش تدریجی نسبت منیزیم به اکسیژن در لایه‌های اکسیدی مشاهده شده در سطوح مقاطع شکست نمونه‌ها (شکل ۱۰) حکایت از تبدیل تدریجی لایه آلومینا به اسپینل ($MgAl_2O_4$) دارد. امیری‌نژاد و همکارانش [۱۰] نشان دادند که انجام این استحاله در آلیاژ آلومینیم حاوی ۰/۷٪ منیزیم پس از زمان نگه داری ۹۰ دقیقه می‌تواند منجر به ایجاد پیوند بین لایه‌های اکسیدی گردد. این مطلب همچنین توسط شفایی و رئیس زاده [۱۲] مورد تائید قرار گرفته است.

در شکل ۱۳ نتایج حاصل از آنالیز آماری ویبول با تغییرات درصد تخلخل در نمونه‌های RPT به دست آمده توسط شفایی و رئیس زاده [۱۲] مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. شفایی و رئیس زاده مشاهده کردند که درصد تخلخل در نمونه‌ها تا زمان ۹۰ دقیقه افزایش یافته و متعاقباً با گذشت زمان کاهش می‌یابد. این محققین کاهش درصد تخلخل پس از زمان ۹۰ دقیقه را به ایجاد پیوند بین لایه‌های عیوب اکسید فیلم دو لایه نسبت دادند. همان‌گونه که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، تغییرات مدول ویبول به دست آمده در تحقیق حاضر با تغییرات درصد تخلخل در نمونه‌های RPT همخوانی دارد.



شکل (۱۳) مقایسه تغییرات مدول ویبول نمونه‌های تست کشش در تحقیق حاضر با تغییرات درصد تخلخل نمونه‌های RPT حاصل از تحقیق شفایی و رئیس زاده [۱۲].

تطابق روند تغییرات مدول ویبول با نتایج حاصل از تحقیقات شفایی و رئیس زاده و همچنین افزایش نسبت منیزیم به اکسیژن در لایه‌های اکسیدی مشاهده شده در سطوح مقاطع شکست نمونه‌های تست کشش در این تحقیق به روشنی نظریه امیری نژاد و همکاران [۱۰] در خصوص ایجاد پیوند بین لایه‌های اکسیدی را مورد تائید قرار می‌دهند.

بدین ترتیب می‌توان کاهش مدول ویبول در نمونه‌های تست کشش تا زمان نگه داری ۶۰ دقیقه را به نفوذ هیدروژن به درون اتمسفر محبوس در عیوب اکسید فیلم دو لایه غوطه‌ور در مذاب و انبساط آن‌ها نسبت داد. در طول این مدت اگرچه عیوب اکسیدی باز منبسط شده و از مذاب خارج شده‌اند، اما از طرف دیگر عیوب اکسیدی مچاله شده در اثر نفوذ هیدروژن باز شده و تأثیر خود بر پراکنده کردن مقادیر UTS حول مقدار میانگین و در نتیجه کاهش مدول ویبول را نشان داده‌اند. تصاویر SEM (اشکال ۴ تا ۸) نیز افزایش تعداد و اندازه حفره‌ها در سطوح مقاطع شکست نمونه‌های تست کشش را مورد تائید قرار دادند.

پس از این زمان، لایه‌های عیوب اکسیدی به تدریج با یکدیگر پیوند برقرار کرده و در نتیجه نفوذ هیدروژن دیگر قادر به منبسط کردن حجم عیب نبود. در همین حال عیوب اکسیدی باز نیز به تدریج با صعود به سطح مذاب از داخل آن خارج شده و بدین ترتیب تعداد عیوب فعال (که قادر به پراکنده کردن خواص مکانیکی نمونه‌های تست کشش بودند) به تدریج کاهش یافت، به گونه‌ای که مدول ویبول نمونه‌های تست کشش در زمان نگه داری ۲۵۰ دقیقه نسبت به زمان ۶۰ دقیقه افزایش پیدا نمود. تعداد کمتر حفره‌های مشاهده شده در سطوح مقاطع نمونه‌های تست کشش حاصل از آزمایش ۲۵۰ دقیقه و عمق کم این حفره‌ها (شکل ۹) و همچنین ساختار غیر متعارف سطوح مقاطع نمونه‌های دارای استحکام کششی بالا (اشکال ۱۱ و ۱۲) که ایجاد پیوند بین لایه‌های اکسیدی را نشان دادند نیز این مطلب را مورد تائید قرار می‌دهند.

۵- نتیجه‌گیری

نگه داری آلیاژ آلومینیم حاوی ۰/۷ درصد وزنی منیزیم در حالت مذاب تا زمان ۶۰ دقیقه باعث افزایش پراکندگی مقادیر استحکام کششی حول مقدار میانگین گردید، اما نگه داری طولانی‌تر آن تا زمان ۲۵۰ دقیقه باعث کاهش مجدد پراکندگی این خاصیت مکانیکی شد.

نتایج حاصل از بررسی SEM و EDX سطوح مقاطع شکست نمونه‌های تست کشش و همچنین مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج موجود در منابع، نظریه ایجاد پیوند بین لایه‌های اکسیدی عیوب اکسید فیلم دو لایه را مورد تائید قرار دادند. طبق این نظریه، لایه‌های یک عیب اکسیدی در مذاب آلومینیم حاوی ۰/۷٪ منیزیم پس از ۹۰ دقیقه باقی ماندن در مذاب شروع به ایجاد پیوند با یکدیگر می‌کنند و این پیوند باعث می‌گردد تا مخرب‌ترین خاصیت عیب، یعنی تأثیر آن به عنوان یک ترک در قطعه ریختگی، به طور کامل یا جزئی حذف گردد. این نظریه پیش از این تنها در شرایط شبیه سازی شده آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته بود، اما در این تحقیق صحت آن در یک قطعه ریختگی واقعی مورد تائید قرار گرفت.

در این تحقیق همچنین شواهدی دال بر برقراری پیوند بین لایه‌های عیب اکسید فیلم دو لایه در تصاویر میکروسکوپ الکترونی مشاهده گردید.

مراجع

[1] J. Campbell (2011) *Complete Casting Handbook*, Butterworth-Heinemann, London.

[2] S. Fox and J. Campbell (2000) "Visualisation of Oxide Film Defects During Solidification of Aluminum Alloys", *Scripta Materialia*, 43, 881-886.

[3] W. D. Griffiths and R. Raiszadeh (2009) "Hydrogen, porosity and oxide film defects in liquid Al", *J Mater Sci*, 44, 3402-3407.

[4] R. Raiszadeh and W. D. Griffiths (2006) "A Method to Study the History of a Double Oxide Film Defect in Liquid Aluminium Alloys", *Metall Mater Trans B*, 37B, 865-871.

[5] N. R. Green and J. Campbell (1994) "Influence of Oxide Film Filling Defects on the Strength of Al-7Si-Mg Alloy Castings", *AFS Trans.*, 114, 341-347.

[6] A. Ardekhani and R. Raiszadeh (2012) "Removal of Double Oxide Film Defects by Ceramic Foam Filters", *J Mater Eng Perform*, 21, 7, 1352-1362.

[7] M. Aryafar, R. Raiszadeh, and A. Shalbafzadeh (2010) "Healing of double oxide film defects in A356 aluminium melt", *J Mater Sci*, 45, 3041–3051.

[8] F. Najafzadeh-Bakhtiarani and R. Raiszadeh (2011) "Healing of double-oxide film defects in commercial purity aluminum melt", *Metall Mater Trans B*, 42B, 331-340.

[9] F. Najafzadeh-Bakhtiarani and R. Raiszadeh (2010) "The behaviour of double oxide film defects in Al–4.5 wt% Mg melt", *J Mater Sci*, 46, 1305-1315.

[10] S. Amirinejhad, R. Raiszadeh, and H. Doostmohammadi (2013) "Calorimetric study of the oxidation of Al-Mg alloys for the prediction of healing of double oxide film defect", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 113, 2, 769-777.

[11] S. Amirinejhad, R. Raiszadeh, and H. Doostmohammadi (2013) "Study of double oxide film defect behaviour in liquid Al-Mg alloys", *International Journal of Cast Metals Research*, 26, 6, 330-338.

[12] A. Shafaei and R. Raiszadeh (2014) "Reduced Pressure Test Verification of Healing of Double Oxide Film Defects in Al-Mg Alloys", *Metall Mater Trans B*, in Press.

[13] W. Weibull (1951) "A Statistical Distribution Function of Wide Applicability", *J Appl Mech*, 18, 293-297.

[14] B. Farhoodi, R. Raiszadeh, and M. H. Ghanaatian (2014) "Role of double oxide film defects in the formation of gas porosity in commercial purity and Sr-containing Al alloys", *J Mater Sci Technol*, 30, 2, 154-162.

Effect of holding Al-0.7 wt% Mg in liquid state on removal of double oxide film defects from melt

Amineh Shafaei [1,2], Ramin Raiszadeh [1,2,*]

1. Department of Metallurgy and Materials Science, Shahid Bahonar University., Kerman, Iran
2. Mineral Industries Research Centre, Shahid Bahonar University., Kerman, Iran

ABSTRACT

The effect of holding Al-0.7 wt% Mg alloy in liquid state on elimination of double oxide (bifilm) defects from melt and the mechanical properties of the solidified casting was studied using Weibull statistical analysis and study of the fracture surfaces of tensile test bars. From the results of this study, it can be pointed out that the scattering of UTS values increases during the first 60 min of holding, but decreased afterwards when the melt was held for 250 min. The study of the fracture surfaces and the comparison of the Weibull and results in literature, confirms the theory of formation of bonding between the two layers of double oxide film defects in this alloy after a holding time of 90 min, in a real casting condition. This theory was previously verified in a controlled simulated condition. Some evidence for the formation of bonding between the layers of a double oxide defect was also observed in SEM micrographs.

All right reserved.

ARTICLE INFO

Article history:
Received: February 26, 2014
Revised: April 13, 2014
Accepted: August 21, 2014

Key words:
double oxide (bifilm) defects
Molten aluminum
Restoration
Oxide inclusion

* Corresponding author
rraiszadeh@uk.ac.ir