نشریه علمی

پژوهش‌نامه ریخته‌گری

انجمن علمی ریخته‌گری ایران

مقاله پژوهشی:

بررسی میزان تاثیر حرارت‌دهی سریع بر ریزساختار و خواص کششی آلیاژ Al-Si-Cu-Mg بهسازی شده با فسفر

محسن علی‌آبادی[۱]، حسن ثقفیان لاریجانی[۲*]، نیما طباطبایی رضایی[۱]

۱- دانش‌آموخته مقطع کارشناسی، مهندسی مواد و متالورژی گرایش متالورژی صنعتی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

* **نویسنده مکاتبه کننده:** تلفن: ۷۷۲۴۰۵۴۰-۰۲۱، تهران، نارمک، دانشگاه علم و صنعت ایران، صندوق پستی: ۱۳۱۱۴-۱۶۸۴۶، E-mail: saghafian@iust.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۳

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۷

چکیده:

در پژوهش حاضر، تاثیر بهسازی شیمیایی آلیاژ هایپریوتکتیک آلومینیم-سیلیسیم توسط فسفر بر کارآیی عملیات حرارتی محلول‌سازی در اصلاح سیلیسیم‌های اولیه بررسی شده است. به منظور افزایش میزان اثر بخشی عملیات محلولی بر شکل ذرات سیلیسیم اولیه، نمونه‌های بهسازی شده توسط فسفر تحت عملیات محلول‌سازی قرار گرفتند و ریزساختار و خواص مکانیکی آن‌ها با نمونه‌های عملیات حرارتی شده بدون فسفر مقایسه شد. به منظور مشخصه‌یابی از میکروسکوپ نوری، آزمایش کشش و میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. طبق نتایج بدست آمده، عملیات بهسازی شیمیایی فقط باعث ریزتر شدن و توزیع یکنواخت‌تر ذرات سیلیسیم اولیه در ریزساختار می‌شود و تاثیری در شکل چندوجهی آن‌ها ندارد. همچنین بدلیل افزایش نسبت سطح به حجم ذرات سیلیسیم اولیه، تاثیر عملیات حرارتی ثانویه در تغییر مورفولوژی آن‌ها افزایش یافت. طبق نتایج بدست آمده، بر اثر عملیات محلول‌سازی، کرویت ذرات سیلیسیم اولیه در نمونه‌های بهسازی نشده و بهسازی شیمیایی شده به ترتیب ۳۲ و ۴۷ درصد افزایش یافت. به علاوه، استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبی در نمونه اصلاح شیمیایی و عملیات حرارتی شده، به ترتیب ۳۲ و ۳۳ درصد نسبت به نمونه ریخته‌گری شده افزایش یافتند.

واژه‌های کلیدی:

آلیاژ آلومینیم-سیلیسیم هایپریوتکتیک،

حرارت‌دهی سریع،

بهسازی شیمیایی،

فسفر،

خواص کششی.

ارجاع به این مقاله:

محسن علی‌آبادی، حسن ثقفیان لاریجانی، نیما طباطبایی رضایی، بررسی میزان تاثیر حرارت‌دهی سریع بر ریزساختار و خواص کششی آلیاژ Al-Si-Cu-Mg بهسازی شده با فسفر، پژوهش‌نامه ریخته‌گری، تابستان ۱۳۹۹، جلد ۴، شماره ۲، صفحات ۷۱-۷۸.

شناسه دیجیتال: (DOI): 10.22034/FRJ.2020.230367.1118

۱- مقدمه

در میان آلیاژهای آلومینیم-سیلیسیم ریختگی، آلیاژهای هایپریوتکتیک به دلیل داشتن مقدار زیادی سیلیسیم که منجر به مقاومت سایشی بالای این آلیاژها می‌شود، مورد توجه صنایع مختلفی از جمله خودروسازی و هوافضا قرار گرفته‌اند [۱]. از قطعات تولید شده با این گروه آلیاژها می‌توان به پیستون و سرسیلندر موتورهای احتراق داخلی به خصوص موتورهای دیزلی اشاره کرد.

در آلیاژهای مذکور، علاوه بر فازهای بین‌فلزی متشکل از عناصر آلیاژی، دو شکل تیغه‌ای و بلوکی از ذرات سیلیسیم در زمینه محلول جامد آلومینیم حضور دارد [۲]. شکل سیلیسیم یوتکتیک تأثیر به سزایی بر خواص مکانیکی این دسته از آلیاژها دارد. سیلیسیم یوتکتیک به صورت صفحات بزرگ و شکننده در آلیاژهای اصلاح نشده حضور دارد که به عنوان محل جوانه‌زنی ترک عمل می‌کند و تاثیر منفی بر استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبی آلیاژ دارد. شکل سیلیسیم‌های یوتکتیک می‌تواند از طریق بهسازی شیمیایی مذاب، عملیات حرارتی و یا هر دو اصلاح شود [۳]. از طرف دیگر، خواص مکانیکی، ماشین‌کاری و مقاومت سایشی آلیاژهای هایپریوتکتیک به شکل، اندازه و توزیع ذرات سیلیسیم اولیه وابسته است [۴-۶]. طی فرآیند ریخته‌گری، مورفولوژی سیلیسیم‌های اولیه را می‌توان با

افزودنی‌های شیمیایی، هم‌زدن مکانیکی و استفاده از میدان مغناطیسی اصلاح کرد [۷,۵,۴]. با توجه به مورفولوژی نامطلوب سیلیسیم‌های یوتکتیک و اولیه در ساختار ریختگی این آلیاژها، محققین پژوهش‌های فراوانی را در زمینه اصلاح این آلیاژها برای بهبود خواص‌شان صورت داده‌اند.

از آن‌جایی که عملیات حرارتی نقش بسزایی در مورفولوژی سیلیسیم‌های یوتکتیک دارد، برای بهسازی ریزساختار استفاده می‌شود [۸]. با افزودن عناصر منیزیم، مس و نیکل به آلیاژهای آلومینیم-سیلیسیم هایپریوتکتیک می‌توان همزمان با بهسازی اجزای ریزساختاری، از مزیت‌های رسوب سختی نیز بهره برد [۹,۴]. بنا به عواملی همچون فرآیند ریخته‌گری، ترکیب شیمیایی آلیاژ و خواص مکانیکی مورد نظر؛ سیکل‌های عملیات حرارتی با دما و زمان‌های مختلف را می‌توان بر این آلیاژها اعمال کرد [۳]. عملیات حرارتی معمول برای این دسته از آلیاژها عملیات T6 است که شامل عملیات محلول‌سازی، سردکردن سریع و پیرسازی در مرحله آخر است. عملیات محلول‌سازی در دمای بالا (نزدیک به دمای واکنش یوتکتیک آلیاژ) برای مقاصد مختلف از جمله کروی‌سازی سیلیسیم‌های یوتکتیک انجام می‌شود [۱۰,۵,۳]. مدت زمان عملیات محلول‌سازی به میزان ظرافت اجزای ریزساختار آلیاژ وابسته است. در اکثر موارد زمان مربوط به انجام این مرحله بسیار طولانی بوده که منجر به وقوع تغییرات نامطلوب متالورژیکی؛ از قبیل رشد دانه‌های کریستالی می‌شود و درنتیجه قابلیت شکل‌پذیری و خواص مکانیکی نهایی به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر با انجام عملیات حرارتی در مدت زمان‌های طولانی، انرژی زیادی مصرف خواهد شد که به افزایش هزینه‌های تولیدی می‌انجامد. از این رو، پژوهشگران به استفاده از فرایندهای حرارت‌دهی سریع روی آورده‌اند. عملیات حرارتی فلزات و آلیاژها معمولاً در یک کوره با نرخ حرارت‌دهی سریع مثل لیزر، کوره القایی، حمام نمک و کوره مادون‌قرمز بهبود داده می‌شود [۱۱]. به صورت تجربی مشاهده شده است که سرعت فرایندهای کنترل شده به‌وسیله نفوذ با ایجاد تنش‌های حرارتی، در طول حرارت‌دهی سریع به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد [۱۳,۱۲]. در اثر اعمال حرارت‌دهی سریع تنش‌هایی مانند تنش‌های حرارتی و ترموالاستیکی به قطعه وارد می‌شود.

بر اساس تحقیقات پیشین، طی عملیات حرارتی، تغییر چندانی در مورفولوژی سیلیسیم‌های اولیه ایجاد نمی‌شود [۷,۵] ولی بر اثر گردشدن گوشه‌های تیز آن‌ها، از تمرکز تنش کاسته می‌شود [۹,۵] و در نتیجه استحکام و درصد ازدیاد طول نسبی افزایش پیدا می‌کنند. به هر حال نرخ تغییرات و رشد ذرات سیلیسیم یوتکتیک بسیار مشهودتر از ذرات سیلیسیم اولیه و α-Al خواهد بود [۱]. آلیاژهای هایپریوتکتیک، حاوی ذرات سیلیسیم اولیه درشت با شکل نسبتا غیرمنظم هستند [۱۴] که این حالت می‌تواند باعث تمرکز تنش، ایجاد ترک، افزایش سرعت رشد ترک و گسستگی فاز زمینه شود [۱۴,۶]. در نتیجه‌ی حضور ذرات درشت سیلیسیم اولیه به صورت ستاره‌ای شکل و یا با شکل‌های نامنظم، افت شدید خواص مکانیکی و ماشینکاری مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر در حین بارگذاری، ذرات سیلیسیم اولیه به عنوان مکان‌های احتمالی تمرکز تنش سبب شکست زودهنگام قطعه می‌شوند [۱۴]. یکی از روش‌های بهسازی ذرات سیلیسیم اولیه، اصلاح از طریق افزودن مواد بهساز است. در این روش، بهسازی از طریق افزایش مراکز جوانه‌زنی و رشد مناسب برای سیلیسیم‌های اولیه صورت می‌گیرد [۱۵]. فسفر یکی از موثرترین بهسازها بوده که می‌تواند به شکل‌های مختلفی از قبیل فسفر قرمز، نمک فسفات و آمیژان‌های Cu-P، Al-Cu-P، Al-Fe-P، Si-P، Al-P، Al-Si-P، Al-Zr-P به مذاب اضافه گردد [۱۴]. به منظور رسیدن به توزیع و اندازه مناسب ذرات سیلیسیم اولیه از طریق افزودن فسفر، پارامترهای مهمی در انجام فرآیند بهسازی وجود دارد که برخی از آنها عبارتند از: دمای انجام عملیات بهسازی؛ مدت زمان نگه‌داری مذاب پس از افزودن عنصر بهساز؛ نوع و مقدار عنصر بهساز. مکانیزم روش به این گونه است که فسفر با آلومینیم ترکیب شده و تشکیل فسفید آلومینیم (AlP) با نقطه ذوب ۹۸۲ درجه سانتیگراد را می‌دهد که جوانه‌ای برای سیلیسیم‌های اولیه خواهد بود که در نتیجه با ایجاد ذراتی ریزتر با توزیعی یکنواخت‌تر از مضرات گفته شده جلوگیری خواهد شد [۱۶].

با توجه به پژوهش پیشین نویسندگان مقاله‌ی حاضر [۸] که منجر به بهینه‌سازی عملیات محلول‌سازی سریع با استفاده از کوره مادون قرمز شد، در این پژوهش، تاثیر هم زمان بهسازی شیمیایی و حرارت‌دهی سریع بر مورفولوژی سیلیسیم‌های اولیه و همچنین خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیم-سیلیسیم هایپریوتکتیک مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش تحقیق

در این پژوهش از آلیاژ Al-Si-Cu-Mg با ترکیبی مطابق جدول (۱) استفاده شده است. پس از تهیه شمش اولیه، ریخته‌گری نمونه‌های مورد نیاز در دو حالت بهسازی شیمیایی شده و نشده انجام شد. در ریخته‌گری نمونه‌های بدون بهسازی شیمیایی، مذاب پس از گاززدایی توسط قرص گاززدای هگزاکلرواتان به مقدار ۰/۵ درصد وزنی، در دمای ۷۵۰ °C در قالب تهیه شده با

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ مورد استفاده (درصد وزنی)

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
پایه	۱۷/۴۳۰	۰/۶۲۵	۴/۶۷۰	۰/۳۳۸	۰/۳۸۰

ماسه CO_2 ریخته‌گری شد. در ریخته‌گری نمونه‌های بهسازی شیمیایی شده با فسفر، پس از گاززدایی توسط قرص گاززدای هگزاکلرواتان، ۰/۰۱۵ درصد وزنی فسفر در قالب آمیژان Cu-8%P در دمای ۸۵۰°C به مذاب افزوده شد. پس از ۱۰ دقیقه نگهداری در همین دما، بوته از کوره خارج شده و به مذاب فرصت داده شد تا دمای ۷۵۰°C سرد شود. سرانجام پس از سرباره‌گیری، ریخته‌گری در قالب تهیه شده با ماسه CO_2 در دمای ۷۵۰°C انجام شد. در طول انجام آزمایش از ترموکوپل نوع K و دستگاه ترمومتر به منظور اندازه‌گیری دما استفاده شده است.

بر اساس نتایج حاصل از پژوهش گذشته [۸]، عملیات محلول‌سازی در دمای ۵۴۰°C و به مدت ۳ ساعت درکوره مادون قرمز با نرخ حرارت‌دهی ۳۴ درجه سانتیگراد بر دقیقه و دارای لامپ ۱۰۰۰ وات تنگستنی (طول موج کوتاه) انجام شد. باید توجه شود که در این پژوهش صرفا بررسی تاثیر عملیات حرارتی سریع بر مورفولوژی سیلیسیم‌های یوتکتیک و اولیه مدنظر بوده و با توجه به این امر که عمده تغییرات ایجاد شده در مورفولوژی سیلیسیم‌ها در حین عملیات محلول‌سازی اتفاق می‌افتد، فقط از مرحله‌ی محلول‌سازی به عنوان عملیات حرارتی استفاده شده و از پیرسازی صرف نظر شده است. در این پژوهش تصاویر ریزساختاری توسط میکروسکوپ نوری مدل HUVITZ تهیه شده و سپس متالوگرافی کیفی و کمی با استفاده از نرم‌افزار MIPCloud صورت گرفته است. لازم به ذکر است از رابطه ۱ به منظور محاسبه کرویت فازهای ثانویه استفاده شده است.

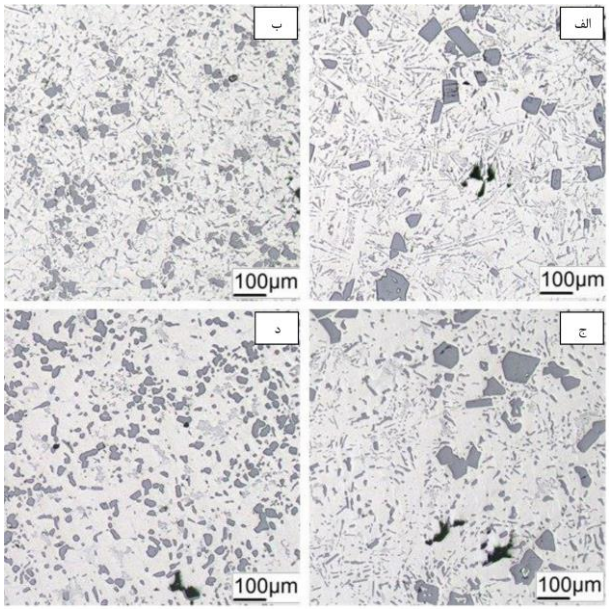
$$\text{کرویت} = 4\pi \times \frac{\text{مساحت}}{\text{محیط}^2} \qquad (۱)$$

در ادامه به منظور بررسی خواص کششی، از آزمایش کشش استفاده شده است. به این منظور از استاندارد ASTM-B557 برای تهیه نمونه‌های مورد نیاز و دستگاه کشش ۵ تن و نرخ کرنش ۱ mm/min برای انجام آزمایش استفاده شده است. در انتها سطوح شکست نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت.

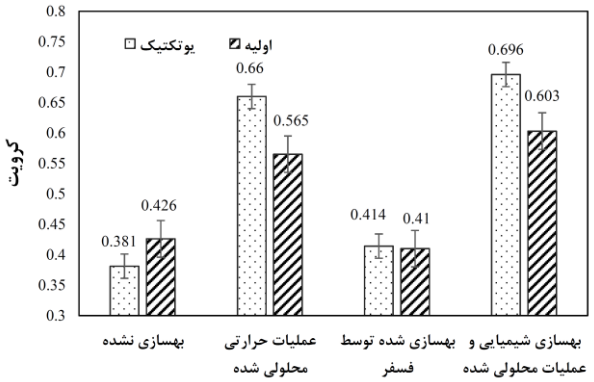
۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج متالوگرافی کمی و کیفی

در شکل (۱) تصاویر متالوگرافی و در شکل (۲) نمایش نموداری میزان کرویت سیلیسیم‌های اولیه و یوتکتیک در نمونه‌های مختلف قابل مشاهده است. با توجه به نمودار شکل (۲)، مشاهده می‌شود که کرویت سیلیسیم‌های اولیه در نمونه‌های ریخته‌گری‌شده (بهسازی شیمیایی شده و نشده) تقریباً با هم برابر است. علت این امر را می‌توان به نقش فسفر تنها در ریزکردن ذرات سیلیسیم اولیه نسبت داد. همچنین در شکل مذکور مشاهده می‌شود کرویت سیلیسیم‌های اولیه در نمونه بهسازی و عملیات حرارتی شده بیشتر از نمونه‌ای است که فقط عملیات حرارتی روی آن انجام شده است. علت این امر ریزتر بودن این ذرات و بالاتر بودن نسبت سطح به حجم آن‌ها در نمونه‌ی بهسازی شده توسط فسفر قبل از عملیات حرارتی است. به عبارت دیگر در نمونه بهسازی شیمیایی شده، به دلیل ریزتر بودن ذرات سیلیسیم اولیه، تاثیر نفوذ در افزایش کرویت ذرات آن‌ها محسوس‌تر بوده است. همچنین از نمودار نتیجه‌گیری می‌شود که فسفر تاثیری بر سیلیسیم‌های یوتکتیک نداشته و فقط مورفولوژی سیلیسیم‌های اولیه را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۱۷,۶].



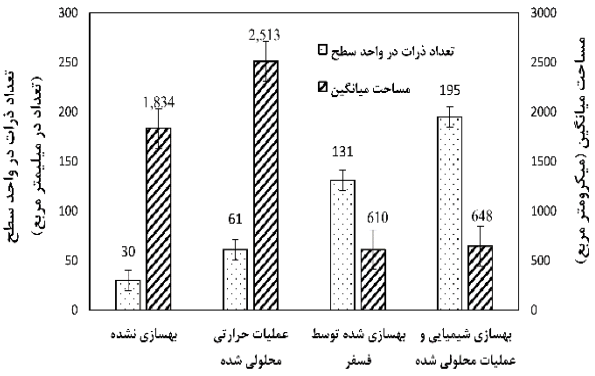
شکل ۱- تصاویر ریزساختار نمونه‌های: الف) بهسازی نشده، ب) بهسازی شده توسط فسفر در حین ریخته‌گری، ج) عملیات حرارتی محلولی شده و د) بهسازی شده توسط فسفر و عملیات حرارتی محلولی شده.



شکل ۲- نمایش نموداری میزان کرویت سیلیسیم‌های یوتکتیک و اولیه برای نمونه‌های مختلف.

در مورد مکانیزم کرویت سیلیسیم‌های یوتکتیک، براساس نظریه ناپایداری رایلی، اگر فرض شود که در سطح یک استوانه با سطح جانبی صاف، یک اعوجاج با طول موج مشخصی ایجاد شود، اگر این طول موج بیشتر از طول موج بحرانی (وابسته به مورفولوژی فاز) باشد، اعوجاج مذکور در طول استوانه منتشر شده و با گذشت زمان دامنه آن افزایش می‌یابد تا جایی که استوانه به آرایه‌ای از کرات با شعاعی متناسب با شعاع اولیه استوانه تبدیل شود [۱۸]. دوهرتی [۱۹] نیز این نظریه را برای فازهای لایه‌ای تعمیم داده و نشان داده است که با نیروهای محرکه‌ای همچون نفوذ، ایجاد کرنش و یا نوسان‌های ترکیب شیمیایی، این تغییر مورفولوژی در ساختارهای یوتکتیکی نیز رخ می‌دهد. باید توجه شود که به دلیل کمینه بودن نسبت سطح به حجم در کره در مقایسه با دیگر شکل‌های هندسی، تغییرشکل‌های اتفاق افتاده که در بالا به آن اشاره شد، منجر به کاهش انرژی سطحی و نهایتا پایداری بیشتر مجموعه می‌شود که این امر را می‌توان نیروی محرکه ترمودینامیکی لازم برای تغییر مورفولوژی مذکور دانست.

نمودار ستونی شکل (۳)، تعداد ذرات سیلیسیم اولیه در واحد سطح و مساحت میانگین آن‌ها در حالت‌های مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمایش نموداری تعداد ذرات سیلیسیم اولیه در واحد سطح و مساحت میانگین آن‌ها در حالت‌های مختلف.

همان‌گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، در هر دو نمونه بهسازی شده با فسفر (با و بدون عملیات حرارتی) تعداد ذرات سیلیسیم اولیه در واحد سطح نسبت به حالت بهسازی نشده، افزایش یافته است که علت آن ریزدانگی ذرات مذکور بر اساس مکانیزم بیان‌شده در قبل است. علاوه بر این مشاهده می‌شود که در هر دو نمونه‌ی بهسازی شده و نشده، با انجام عملیات حرارتی، تعداد ذرات در واحد سطح افزایش یافته است که این امر برخلاف انتظار و فرضیّات علمی است. این امر را به احتمال زیاد می‌توان به وجود ناهمگنی در ریزساختار نمونه‌ها که ناشی از ماهیت فرآیند ریخته‌گری است، نسبت داد.

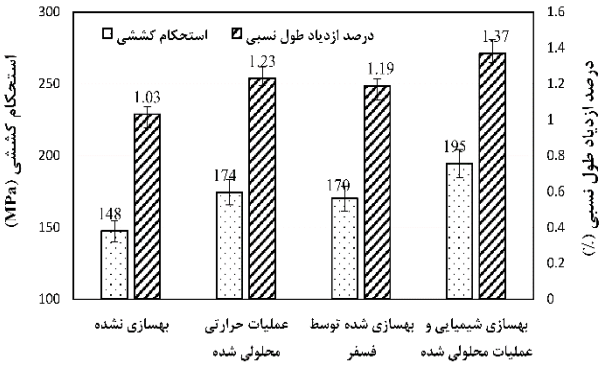
نکته قابل توجه دیگر در شکل (۳) این است که در نمونه بهسازی نشده و عملیات حرارتی شده، تعداد ذرات ۲ برابر نمونه بهسازی و عملیات حرارتی نشده، است. اما این ضریب برای نمونه‌های بهسازی شده با فسفر ۱/۴۹ است که علت را می‌توان توزیع بهتر ذرات سیلیسیم اولیه به دلیل بهسازی با فسفر و در نتیجه توزیع یکنواخت‌تر ذرات AlP جوانه‌زا در مذاب دانست [۱۷].

بررسی مساحت میانگین ذرات سیلیسیم اولیه در شکل (۳) نشان می‌دهد که در نمونه‌های بهسازی شده با فسفر، مساحت میانگین ذرات، که مؤید نسبت سطح به حجم است، نسبت به حالت بهسازی نشده کاهش یافته که علت آن در قبل بیان شده است. همچنین قابل توجه است که در هر دو سری نمونه بهسازی شیمیایی شده و نشده، با انجام عملیات حرارتی، مساحت میانگین ذرات افزایش یافته است که علت آن رشد ذرات بزرگتر به خرج حذف ذرات کوچک‌تر به منظور کاهش انرژی آزاد سیستم و افزایش پایداری است [۱۹،۱۸].

۳-۲- نتایج آزمایش کشش

در نمودار ستونی شکل (۴) تاثیر فرآیندهای بهسازی بر استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبی نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، با انجام عملیات حرارتی روی نمونه‌ی اصلاح نشده با فسفر، به دلیل اصلاح شکل سیلیسیم‌های یوتکتیک، استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبی به ترتیب ۱۸/۲۳٪ و ۱۹/۴۲٪ افزایش یافته اند. در واقع در مورد ساختار سیلیسیم‌های یوتکتیک دو ویژگی شامل شبکه داخلی به هم پیوسته و همچنین نقاط تیز انتهایی که به عنوان نقاط دارای تمرکز تنش و درنتیجه، محل‌های مستعد برای جوانه‌زنی ترک عمل می‌کنند، بسیار حائز اهمیت هستند که انجام عملیات حرارتی محلولی به حذف چشم‌گیر هر دو عامل می‌انجامد. لازم به یادآوری است که سیلیسیم‌های اولیه بر خلاف سیلیسیم‌های یوتکتیک فقط دارای گوشه‌های تیز و محل‌های

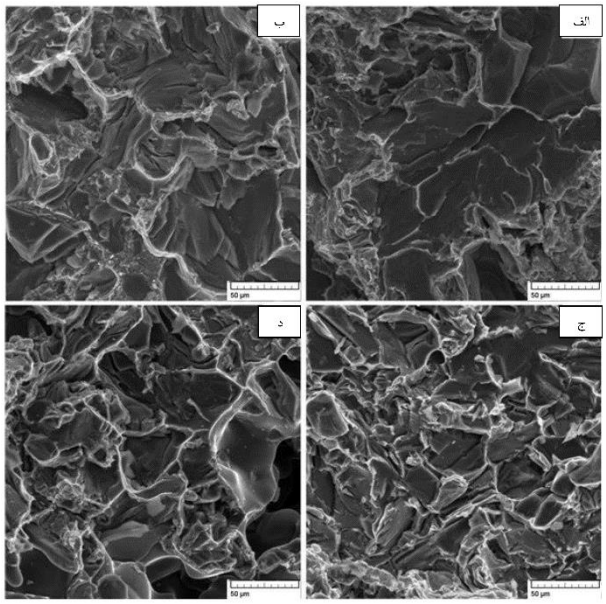
مستعد برای جوانه‌زنی ترک هستند که بدلیل پایین بودن نسبت سطح به حجم و نهایتا تاثیر کم نفوذ، عملیات حرارتی محلولی در تغییر مورفولوژی آن‌ها تاثیر کمی داشته است. با مقایسه نمونه عملیات حرارتی محلولی شده با نمونه بهسازی شده توسط فسفر مشاهده می‌شود نمونه صرفا عملیات حرارتی شده از خواص مکانیکی بالاتری برخوردار است. دلیل این امر را می‌توان به توزیع فراگیرتر ذرات شبه‌کروی سیلیسیم یوتکتیک در زمینه، نسبت به سیلیسیم‌های اولیه اصلاح نشده و با گوشه‌های تیز نسبت داد. از طرف دیگر باید به این نکته توجه داشت که عملیات حرارتی به تنهایی نقش موثرتری را در اصلاح ریزساختار (حذف نقاط تمرکز تنش ناشی از سیلیسیم های یوتکتیک و اولیه) نسبت به بهسازی شیمیایی توسط فسفر (ریزکردن ذرات سیلیسیم اولیه) ایفا کرده است. علت این امر، تاثیر همزمان عملیات حرارتی بر هر دو نوع مورفولوژی سیلیسیم‌های اولیه و یوتکتیک و تاثیر بهسازی شیمیایی صرفا بر سیلیسیم‌های اولیه است. از طرفی در نمونه بهسازی شیمیایی و عملیات محلولی‌شده بهترین خواص مکانیکی قابل مشاهده است. از یک سو با بهسازی شیمیایی، سیلیسیم‌های اولیه ریزتر و توزیع‌شان یکنواخت‌تر شده است که کارایی عملیات حرارتی بر آن‌ها به واسطه افزایش نسبت سطح به حجم‌شان بیشتر می‌شود. از طرف دیگر، با عملیات حرارتی ساختار سیلیسیم‌های یوتکتیک اصلاح شده، ساختار شبکه‌ای و نقاط دارای تمرکز تنش ناشی از آن‌ها از بین رفته است که این موارد باعث افزایش استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبی خواهد شد [۲۱,۲۰,۹].



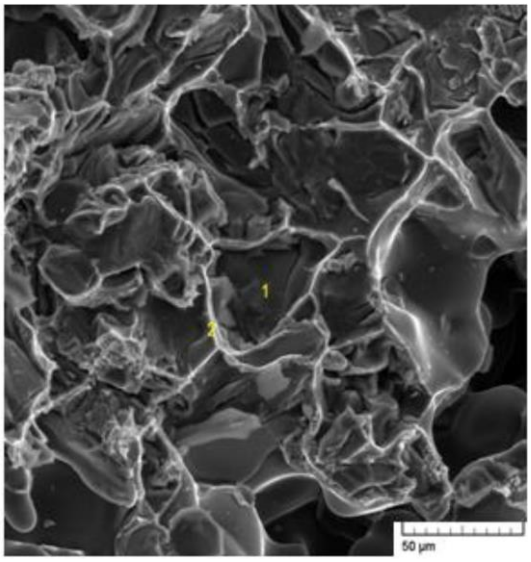
شکل ۴- نتایج آزمایش کشش نمونه‌ها تحت شرایط مختلف.

۳-۳- بررسی سطح شکست

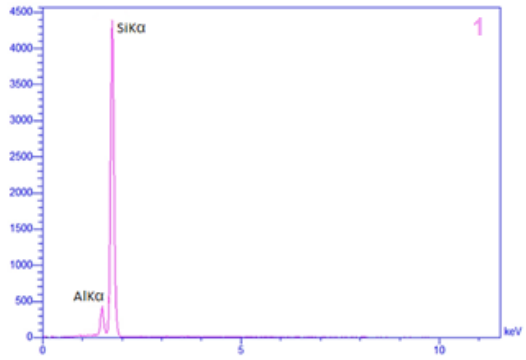
شکل (۵)، سطح مقطع شکست چهار نمونه مورد بررسی را نشان می‌دهد. شکل (۵-الف)، صفحات تخت ناشی از شکست کاملا ترد نمونه ریخته‌گری شده را نشان می‌دهد که از نواحی متعدد تمرکز تنش (گوشه‌های تیز تیغه‌های سیلیسیم یوتکتیک و بلوک‌های سیلیسیم اولیه) در سرتاسر ریزساختار ناشی می‌شود. با انجام عملیات حرارتی محلولی، سیلیسیم‌های یوتکتیک از حالت تیغه‌ای به ذرات کروی تبدیل شده‌اند که نواحی مستعد ایجاد و انتشار ترک را کاهش می‌دهند. این تغییر ریزساختار گودی‌هایی را که نشان‌گر شکست از زمینه محلول جامد آلومینیمی است (شکست نرم)، در کنار صفحات تخت ناشی از شکست ذرات سیلیسیم ایجاد می‌کند (شکل ۵-ب). در شکل (۵-ج)، سطح شکست نمونه اصلاح شیمیایی شده توسط فسفر نشان داده شده است که در این شکل نیز ترکیبی از هر دو نوع شکست ترد و نرم قابل مشاهده است. در این تصویر به دلیل ریز شدن و توزیع بهتر بلوک‌های سیلیسیم اولیه، صفحات تخت به وجود آمده از شکست این ذرات، نسبت به دو نمونه قبل، کوچکتر شده است. در نهایت با ترکیب هر دو نوع فرآیند اصلاح ریزساختار، همان‌طور که از نتایج تست کشش مشاهده شد، بیشترین درصد افزایش طول نسبی به‌دست آمده است که سطح شکست نیز مبین این موضوع است (شکل ۵-د). در مقایسه با هر سه نمونه قبلی، درصد شکست نرم در تصویر (د)، بیشتر است که از اصلاح همزمان سیلیسیم‌های یوتکتیک و اولیه ناشی می‌شود. همانطور که نتایج آزمایش EDS، شکل (۶)، در دو نقطه‌ی مشخص شده نیز نشان می‌دهد؛ در سطوح شکست، صفحات تخت و قسمت‌های تغییرشکل یافته به ترتیب از شکست ترد بلوک‌ها و صفحات سیلیسیمی و شکست نرم زمینه محلول جامد آلومینیمی ناشی شده‌اند [۲۳,۲۲].



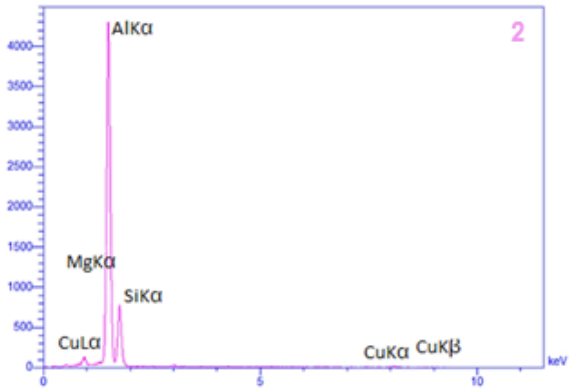
شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح شکست نمونه‌های: الف) بهسازی نشده، ب) عملیات حرارتی محلولی شده، ج) بهسازی شیمیایی شده توسط فسفر و د) بهسازی شیمیایی و عملیات محلولی شده.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۶- الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح شکست و ب و ج) به ترتیب نتایج آنالیز EDS نقاط ۱ و ۲.

نتیجه‌گیری

۱- بهسازی شیمیایی توسط فسفر صرفا باعث ریزتر شدن و توزیع یکنواخت‌تر ذرات سیلیسیم اولیه در ریزساختار می‌شود و تاثیری در شکل این ذرات ندارد. همچنین بهسازی شیمیایی تاثیری در شکل و اندازه سیلیسیم‌های یوتکتیک ندارد.

۲- با انجام بهسازی شیمیایی، میزان اثربخشی عملیات حرارتی محلولی ثانویه در تغییر شکل ذرات سیلیسیم اولیه افزایش می‌یابد که علت این امر افزایش نسبت سطح به حجم این ذرات پس از انجام بهسازی شیمیایی است.

۳- عملیات حرارتی محلولی نسبت به بهسازی شیمیایی توسط فسفر، نقش موثرتری را در بهبود خواص کششی آلیاژهای هایپریوتکتیک آلومینیم-سیلیسیم ایفا می‌کند.

۴- انجام هم‌زمان بهسازی شیمیایی و عملیات حرارتی محلولی به دلیل اصلاح هم‌زمان ذرات سیلیسیم اولیه و یوتکتیک، برترین خواص کششی را در پی خواهد داشت. به‌طوری که در پژوهش حاضر با انجام هر دو فرآیند اصلاحی ذکر شده، به ترتیب افزایش ۳۲ و ۳۳ درصدی در استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبی آلیاژ مشاهده شد.

مراجع

[1] Piątkowski J., Matuła T., The microstructure and mechanical properties of the AlSi17Cu5 alloy after heat treatment, Archives of Metallurgy and Materials, 2015, 60(3A) 1814-1817.

[2] Wu Y., Wang S., Li H., Liu X., A new technique to modify hypereutectic Al–24% Si alloys by a Si–P master alloy, Journal of Alloys and Compounds, 2009, 477(1-2) 139-144.

[3] Dwivedi D. K., Sharma R., Kumar A., Influence of silicon content and heat treatment parameters on mechanical properties of cast Al–Si–Mg alloys, International Journal of Cast Metals Research, 2006, 19(5) 275-282.

[4] Patel D., Davda C., Solanki P.S., Keshvani M.J., Effect of T6 heat treatment on the microstructural and mechanical properties of Al–Si–Cu–Mg alloys, In AIP Conference Proceedings, 2016 (Vol. 1728, No. 1, p. 020664), AIP Publishing LLC.

[5] Smith W. F., Structure and Properties of Engineering Alloys, McGraw-Hill, 1993.

[6] Dang B., Jian Z.Y., Xu J.F., Chang F.E., Zhu M., Effect of phosphorus and heat treatment on microstructure of Al-25% Si alloy, China Foundry, 2017, 14(1) 10-15.

[7] Razavi S. H., Mirdamadi S., Arabi H., Szpunar J., Mathematical model of influence of rapid induction heating on nucleation and growth of precipitates, Materials Science and Technology, 2001, 17(10) 1205-1210.

[۸] علی‌آبادی م.، ثقفیان لاریجانی ح.، طباطبایی رضایی ن.، بررسی تاثیر عملیات حرارتی سریع بر ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیم ۳۹۰، هشتمین کنفرانس و نمایشگاه بین المللی مهندسی مواد و متالورژی و سیزدهمین همایش ملی مشترک انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن ریخته گری ایران، تهران، انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران-انجمن ریخته‌گری ایران، ۱۳۹۸.

[9] Sharma R., Kumar A., Dwivedi D. K., Influence of solution temperature on microstructure and mechanical properties of two cast Al–Si alloys, Materials and Manufacturing Processes, 2006, 21(3) 309-314.

[10] Shabestari S. G., Shahri F., Influence of modification, solidification conditions and heat treatment on the microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy, Journal of Materials Science, 2004, 39(6) 2023-2032.

[11] Yarmolenko M.V., Enhanced diffusion and other phenomena during rapid heating of bimetals: theory and

experiments, In Defect and Diffusion Forum, 1997 (Vol. 143, pp. 1613-1618), Trans. Tech. Publications Ltd.

[12] Kadolkar P.B., Lu H., Blue C.A., Ando T., Mayer R., Application of rapid infrared heating to aluminum forgings, In Proceedings of the 25th Forging Industry Technical Conference of the Forging Industry Association and the Forging Industry Educational and Research Foundation, 2004, 19-21.

[۱۳] طهماسبی ا.، آلومینیوم، انتشارات آزاده، چاپ دوم، ۱۳۸۵.

[14] Zuo M., Liu X., Sun Q., Effects of processing parameters on the refinement of primary Si in A390 alloys with a new Al–Si–P master alloy, Journal of Materials science, 2009, 44(8) 1952-1958.

[15] Rao A. G., Rao B. R. K., Deshmukh V. P., Shah A. K., Kashyap B. P., Microstructural refinement of a cast hypereutectic Al–30Si alloy by friction stir processing, Materials Letters, 2009, 63(30) 2628-2630.

[۱۶] قمارزاده ح.، اصلاح ساختار آلیاژهای هایپریوتکتیک Al-Si، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۴.

[17] Cao F., Jia Y., Prashanth K.G., Ma P., Liu J., Scudino S., Huang F., Eckert J., Sun J., Evolution of microstructure and mechanical properties of as-cast Al-50Si alloy due to heat treatment and P modifier content, Materials and Design, 2015, 74, 150-156.

[18] Balluffi R. W., Allen S. M., Carter W. C., Kinetics of materials. John Wiley & Sons, 2005.

[19] Martin J. W., Doherty R.D., Cantor B., Stability of microstructure in metallic systems, Cambridge University Press, 1997.

[20] Dwivedi D. K., Sharma A., Rajan T. V., Influence of silicon morphology and mechanical properties of piston alloys, Materials and Manufacturing Processes, 2005, 20(5) 777-791.

[21] Li B., Zhang Z .F., Wang Z. G., Xu J., Zhu Q., Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of A390 alloy, In Advanced Materials Research, 2013 (Vol. 652, pp. 1049-1053) Trans Tech Publications Ltd.

[22] Cha G., Li J., Xiong S., Han Z., Fracture behaviors of A390 aluminum cylinder liner alloys under static loading, Journal of Alloys and Compounds, 2013, 550, 370-379.

[23] Yeom G.Y., Shin S.S., Yoon Y.O., Kim S.K., Hyun S. K., Effect of various refinement methods on the morphologies of primary Si in a hypereutectic Al-18Si alloy, Materials Transactions, 2015, 56(8) 1269-1277.

IRANIAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY

Founding Research Journal

Research Paper:

Investigating the Effect of Rapid Heating on Microstructure and Tensile Properties of Phosphorus Modified Alloy Al-Si-Cu-Mg

Mohsen Aliabadi [1], Hassan Saghafian Larijani [2*], Nima Tabatabaei Rezaei [1]

1. Graduated Student, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
2. Associate Professor, School of Metallurgy and Materials Engineering. Iran University of Science and Technology,

* **Corresponding Author:** P.O. Box 16846-13114, Narmak, Tehran, Iran. Tel/Fax: +98 21 77240371, saghafian@iust.ac.ir

Paper history:
Received: 12 May 2020
Accepted: 17 August 2020

Keywords:
Hypereutectic Al-Si alloys,
Rapid heating,
Chemical modification,
Tension properties.

Abstract

The effect of chemical modification of a hyper eutectic Al-Si alloy using phosphorus on the efficiency of solutionizing heat treatment in modifying the primary Si has been studied in the current paper. In order to enhance the effect of heat treatment in the modification of the primary Si, the cast specimens modified by phosphorous were solutionized and then microstructurally and mechanically compared with the heat treated unmodified ones. To characterize the microstructure and mechanical properties, optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM) and tensile test were performed. The results revealed that chemical modification reduces the primary silicon particles size without any change in Si particles shapes. Nevertheless, due to increasing the surface to volume ratio of the particles, the influence of the post heat treatment on the shape of the primary silicon particles was enhanced. Based on the results, the primary silicon particles' nodularity in the phosphorus modified specimens increased from 32 to 47 percent upon heat treatment process. In addition, 32 and 33 percent increments in the ultimate tensile strength and ductility were obtained, respectively, after applying the post heat treatment to the P-modified specimens compared to the as cast ones.

Please cite this article using:

Mohsen Aliabadi, Hassan Saghafian Larijani, Nima Tabatabaei Rezaei, Investigating the Effect of Rapid Heating on Microstructure and Tensile Properties of Phosphorus Modified Alloy Al-Si-Cu-Mg, in Persian, Founding Research Journal, 2020, 4(2) 71-78.
DOI: 10.22034/FRJ.2020.230367.1118

Journal homepage: www.foundingjournal.ir