Archive of SID

نشریه علمی

پژوهش‌نامه ریخته‌گری

انجمن علمی ریخته‌گری ایران

مقاله پژوهشی:

بررسی تاثیر مس در بهسازی ساختاری و اندیس کیفیت کامپوزیت Al-15Mg_2Si

لیلا حسامی[۱*]، رضا تقی‌آبادی [۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۲-استادیار، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

* **نویسنده مکاتبه کننده:** قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام‌خمینی(ره)، صندوق پستی: ۳۴۱۴۸۹۶۸۱۸، Email: taghiabadi@ikiu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۳

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۸

چکیده:

کامپوزیت‌های درجای Al-Mg_2Si به‌دلیل چگالی کم و خواص استحکامی و سایشی خوب، جایگزین بسیار مناسبی برای قطعات آلومینیمی و چدنی مورد استفاده در صنایع خودروسازی و هوا-فضا هستند. خواص برتر این کامپوزیت‌ها مستلزم بهسازی ساختاری و کنترل ابعاد و مورفولوژی ذرات Mg_2Si اولیه شکل گرفته در ساختارشان است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی تاثیر افزودن مس (۱ تا ۵ درصد وزنی) بر ساختار متالورژیکی و اندیس کیفیت کامپوزیت Al-15Mg_2Si است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که افزودن مس موجب شکل‌گیری رسوبات بین فلزی غنی از مس، بهسازی مورفولوژی و کاهش ابعاد ذرات Mg_2Si می‌شود. بر اساس نتایج آزمایش کشش، افزودن مس تا حدود ۳ درصد وزنی استحکام کششی کامپوزیت را حدود ۳۴ درصد بهبود می‌بخشد اما افزودن مقادیر بیشتر از این عنصر تاثیر منفی بر استحکام کششی دارد. همچنین افزودن مس تا حدود ۱ درصد وزنی موجب بهبود حدودا ۷ درصدی درصد ازدیاد طول کامپوزیت می‌شود اما پس از آن تاثیر منفی بر انعطاف‌پذیری دارد. حداکثر اندیس کیفیت در کامپوزیت حاوی ۳ درصد وزنی مس مشاهده شد که حدود ۸ درصد بیش از اندیس کیفیت کامپوزیت پایه بود. نتایج مطالعات ساختاری، سختی سنجی، آنالیز شیمیایی رسوبات و شکست‌نگاری سطوح شکست نشان می‌دهد که استحکام‌بخشی محلول جامد، تشکیل رسوبات غنی از مس در زمینه و کاهش ابعاد و بهسازی مورفولوژی ذرات بین فلزی Mg_2Si از جمله مهمترین عوامل بهبود کیفیت و افزایش کسر حجمی رسوبات سخت غنی از مس و تخلخل‌های ساختاری، از جمله مهمترین عوامل افت خواص کششی و کیفیت کامپوزیت هستند.

واژه‌های کلیدی:
کامپوزیت،
Al-15Mg_2Si،
مس،
بهسازی شیمیایی،
اندیس کیفیت

ارجاع به این مقاله:

لیلا حسامی، رضا تقی‌آبادی، بررسی تاثیر مس در بهسازی ساختاری و اندیس کیفیت کامپوزیت Al-15Mg_2Si پژوهش‌نامه ریخته‌گری، زمستان ۱۳۹۸، جلد ۳، شماره ۴، صفحات ۲۱۷-۲۲۷.

شناسه دیجیتال: (DOI): 10.22034/FRJ.2019.206475.1104

۱- مقدمه

کامپوزیت‌های Al-Mg_2Si گروهی از کامپوزیت‌های زمینه فلزی ذره‌ای هستند که به دلیل چگالی کم و خواص استحکامی و سایشی بسیار مناسب در صنعت خودروسازی و هوا-فضا مورد استفاده قرار می‌گیرند. خواص منحصربه‌فرد این کامپوزیت‌ها به دلیل حضور ذرات Mg_2Si در زمینه آن‌ها است. Mg_2Si یک ترکیب بین‌فلزی سخت با نقطه ذوب بالا (۱۰۸۵°C)، چگالی کم ($۱/۹۹\times۱۰^{۳}kg.m^{-3}$)، ضریب انبساط حرارتی کم ($۷/۵\times۱۰^{-۶}K^{-1}$)، سختی زیاد ($۴۵۰۰Mn.m^{-2}$) و مدول الاستیک بالا (۱۲۰ GPa) است که در هنگام انجماد کامپوزیت به‌صورت درجا در ساختار شکل می‌گیرد [۳-۱].

با توجه به کسر حجمی قابل‌توجه ذرات Mg_2Si (به‌ویژه ذرات درشت اولیه) در زمینه کامپوزیت‌های Al-Mg_2Si، مورفولوژی، ابعاد و نحوه توزیع آن‌ها قطعاً تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر خواص نهایی دارد. ذرات Mg_2Si اولیه به

www.SID.ir

Archive of SID

سبب بالا بودن دمای شکل‌گیری معمولاً به‌صورت ذرات بسیار درشت و خشن با مورفولوژی‌های مختلف دندریتی، هشت‌وجهی و . . . در ساختار متبلور می‌شوند [۴]. علاوه بر این به سبب بالا بودن آنتروپی ذوب [۵ و ۴] فصل مشترک این ذرات با زمینه آلومینیمی در مقیاس اتمی از نوع هموار (پخ‌دار) بوده و پیوند بسیار ضعیفی با زمینه دارند. بنابراین علی‌رغم بالا بودن سختی و خواص فیزیکی مناسب، حضور این ذرات در ساختار می‌تواند موجب افت قابل‌ملاحظه خواص مکانیکی و سایشی کامپوزیت شود [۸،۲-۶]. بر این اساس طی سالیان اخیر تحقیقات زیادی در زمینه بهبود مورفولوژی و توزیع ذرات Mg_2Si در این کامپوزیت‌ها انجام‌شده و روش‌های مختلفی برای کاهش ابعاد، بهبود مورفولوژی و توزیع آن‌ها پیشنهاد شده است. ازجمله مهم‌ترین روش‌های مورد استفاده می‌توان به انجماد سریع [۱۰ و ۹]، فرآوری ترمومکانیکی کامپوزیت (اکستروژن گرم، نورد گرم و . . .) [۱۳-۱۱]، عملیات حرارتی [۱۵ ، ۱۴] و فرآوری کامپوزیت به روش تغییر شکل پلاستیک شدید مانند روش پرس با کانال‌های همسان زاویه‌دار (ECAP) و فرآوری اغتشاشی اصطکاکی (FSP) [۱۷ ، ۱۶] اشاره نمود. این روش‌ها اغلب هزینه‌بر و پیچیده بوده و نیازمند تجهیزات خاص هستند. ضمن آنکه در برخی از این روش‌ها مانند ECAP محدودیت شکل و ابعاد نمونه وجود دارد و برخی دیگر از روش‌ها مانند FSP صرفاً نواحی سطحی نمونه را مورد بهسازی قرار می‌دهند.

یکی دیگر از روش‌های رایج، ساده و مؤثر در بهسازی ساختار و خواص کامپوزیت‌های $Al\text{-}Mg_2Si$، بهسازی شیمیایی است. این روش نیازمند تجهیزات خاصی نبوده و در صورت کنترل دقیق مقدار عنصر بهساز و زمان افزودن آن، کل ساختار آلیاژ را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در بهسازی شیمیایی مقادیر مناسبی از عناصر بهساز مناسب مانند بیسموت [۱۸]، آنتیموان [۱۹ ، ۱۸]، استرانسیم [۱۴،۱۸]، گادُلیمیم [۱۱،۲۰] ، نئودیمیم [۲۱]، ایتریم [۲۲]، سریم [۲۳]، لانتانیم [۲۴] و . . . به مذاب افزوده‌شده و پس از سپری شدن زمانی معین و هم زدن مذاب، عملیات بارریزی انجام می‌شود. بررسی نتایج تحقیقات انجام‌شده در زمینه تاثیر بهسازی شیمیایی بر ریزساختار و خواص کامپوزیت‌های $Al\text{-}15Mg_2Si$ حاکی از آن است که تغییر خواص پس از افزودن عنصر بهساز به دو صورت رخ می‌دهد: (۱) تأثیر مستقیم بر مورفولوژی، ابعاد و/یا کسر حجمی ذرات Mg_2Si اولیه و یوتکتیک و (۲) تشکیل ترکیبات بین فلزی (غنی از عنصر بهساز) [۲۴-۱۸]. مس ازجمله عناصری است که به‌واسطه تغییر محدوده پایداری هم‌زمان فازها[۱] هم موجب تغییر کسر حجمی ذرات Mg_2Si در زمینه آلیاژهای Al-Mg-Si-Cu می‌شود و هم به‌واسطه تشکیل ترکیبات بین فلزی غنی از مس موجب تغییر خواص مکانیکی می‌شود. تحقیقات امامی و همکاران در زمینه تأثیر مس بر ریزساختار و خواص مکانیکی کامپوزیت $Al\text{-}15Mg_2Si$ نشان می‌دهد که افزودن مس (تا ۵ درصد وزنی) تأثیر خاصی بر مورفولوژی ذرات Mg_2Si کامپوزیت نداشته اما موجب تشکیل ترکیبات بین‌فلزی حاوی مس در ریزساختار می‌شود. تشکیل این ترکیبات در مرز سلول‌های یوتکتیک کامپوزیت، موجب افزایش سختی و استحکام کششی شده اما تاثیر منفی بر درصد ازدیاد طول آن دارد [۱]. نتایج یک تحقیق دیگر در زمینه تاثیر مس بر خواص مکانیکی کامپوزیت $Al\text{-}15Mg_2Si$ بهسازی شده توسط لیتیم (۰/۱۵ درصد وزنی) نیز حاکی از آن است که افزودن مس ضمن بهبود استحکام کششی و سختی کامپوزیت تأثیر منفی بر انعطاف‌پذیری آن دارد [۲۵]. نتایج تحقیقات یان و همکاران وی نیز نشان داده است که افزودن مس تا حدود ۱ درصد وزنی موجب کاهش استحکام کششی و درصد ازدیاد طول کامپوزیت $Al\text{-}8Mg_2Si\text{-}6Mg\text{-}0.6Mn$ شده اما استحکام تسلیم آن را به میزان جزئی افزایش می‌دهد [۲۶]. بر این اساس، تأثیر مس بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های $Al\text{-}Mg_2Si$، متأثر از غلظت این عنصر در ترکیب شیمیایی است. علاوه بر این به نظر می‌رسد که میزان تأثیرپذیری استحکام کششی و انعطاف‌پذیری کامپوزیت از غلظت مس آن، تا حد زیادی متفاوت است. در تحقیق حاضر سعی شده است که ضمن بررسی دقیق‌تر تأثیر مس بر بهسازی ساختاری کامپوزیت‌های $Al\text{-}15Mg_2Si$، تأثیر نهایی افزودن این عنصر بر خواص کششی کامپوزیت‌ها با بهره‌گیری از رهیافت اندیس کیفیت موردبررسی قرار گیرد. اندیس کیفیت پارامتر بسیار مناسبی برای بررسی تأثیر ترکیب شیمیایی و/یا ساختار متالورژیکی بر بهبود کیفیت متالورژیکی آلیاژهای ریختگی Al-Si-Mg است. رابطه ریاضی ارائه‌شده برای تعیین اندیس کیفیت به‌صورت رابطه (۱) است:

[۱] Coexisting equilibrium phase fields

www.SID.ir

Archive of SID

$$Q=UTS+150\times\log(\%El) \quad (1)$$

در این رابطه Q اندیس کیفیت (برحسب MPa)، UTS استحکام کششی (برحسب MPa) و El میزان ازدیاد طول نمونه است [۲۹-۲۷]. اندیس کیفیت، هم‌زمان دربرگیرنده استحکام کششی و درصد ازدیاد طول ماده است و می‌توان از آن به‌عنوان ابزاری مناسب برای تعیین غلظت بهینه عنصر مس برای دستیابی به تلفیق مناسبی از خواص استحکامی و انعطاف‌پذیری کامپوزیت Al-15Mg_2Si استفاده نمود.

۲- مواد و روش تحقیق

کامپوزیت Al-15Mg_2Si مورداستفاده در تحقیق حاضر به‌صورت درجا و با بهره‌گیری از آلومینیم خالص (۹۹/۹ درصد وزنی)، منیزیم خالص تجاری (۹۹/۵ درصد وزنی) و سیلیسیم خالص تجاری (۹۹/۸ درصد وزنی) تهیه شد. برای تهیه شمش‌های اولیه، ابتدا آلومینیم خالص در یک بوته کاربید سیلیسیمی شارژ شد و عملیات ذوب با استفاده از یک کوره مقاومتی سه فاز AZAR-VM60L-1200 با توان خروجی ۱۴ کیلووات انجام شد. پس از رسیدن دمای مذاب به حدود ۷۸۰ درجه سانتی‌گراد و سرباره‌گیری، مقدار مورد نظر از عنصر سیلیسیم به مذاب اضافه شد. بعد از حصول اطمینان از انحلال کلوخه‌های کوچک سیلیسیم، مذاب به‌آرامی هم زده شد و بوته از درون کوره خارج شد. پس از سرباره‌گیری مجدد، قطعات منیزیم خالص که هم‌زمان با آماده‌سازی مذاب آلومینیم-سیلیسیم در یک کوره مقاومتی دیگر تا حدود ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد پیش‌گام شده‌اند به مذاب افزوده‌شده و مذاب به‌منظور تسریع در فرایند جذب و انحلال شمش‌های منیزیم به‌آرامی هم زده شد. نهایتاً پس از سرباره‌گیری مجدد، عملیات بارریزی شمش‌های اولیه در دمای حدود ۷۲۰ درجه سانتی‌گراد درون یک قالب فولادی انجام شد. آنالیز شیمیایی کامپوزیت به‌دست‌آمده در جدول (۱) ارائه‌شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی کامپوزیت اولیه Al-15Mg2Si (درصد وزنی)

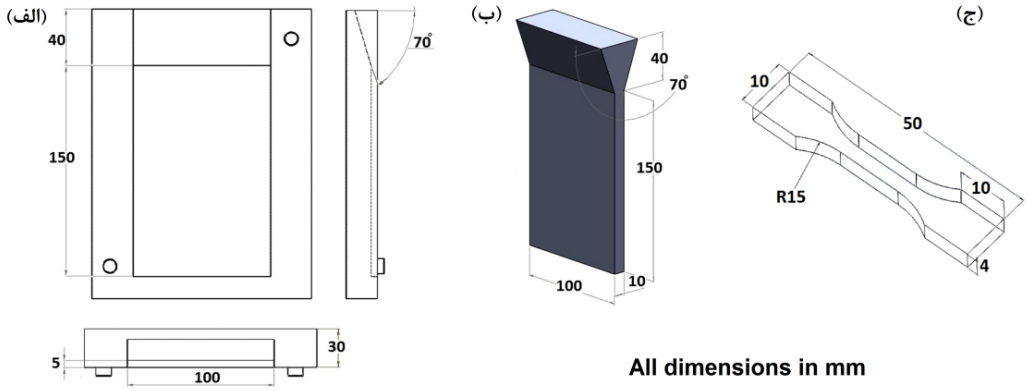
	Mg	Si	Cu	Fe	Cr	Mn	Ti	Al
Base	۹/۳۱	۵/۵۶	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	باقیمانده
C1	۹/۲۶	۵/۳۹	۱/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	باقیمانده
C3	۹/۳۷	۵/۲۹	۳/۰۹	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	باقیمانده
C5	۹/۱۹	۵/۲۵	۵/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	باقیمانده

پس از تولید شمش‌های اولیه، عملیات ذوب مجدد شمش‌ها درون یک بوته رسی-گرافیتی و با استفاده از یک کوره مقاومتی تک‌فاز ۲/۲ کیلووات AZAR-VM1L-1200 انجام شد. پس از رسیدن به دمای موردنظر (۷۸۰ درجه سانتی‌گراد)، مقادیر موردنظر مس تا رسیدن به غلظت‌های ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی به‌صورت صفحات نازک مسی با خلوص ۹۹/۹ درصد وزنی به مذاب اضافه شد و مذاب به‌آرامی هم زده شد. در ادامه اجازه داده شد که دمای مذاب تا حدود ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یابد. در این دما، عملیات گاززدایی مذاب با استفاده از قرص هگزاکلرواتان (به میزان ۰/۳ درصد وزنی) انجام شد و نهایتاً مذاب در دمای ۷۲۰ درجه سانتی‌گراد به درون یک قالب فولادی (شکل ۱-الف) به روش لب‌به‌لب (Tilting) ریخته‌گری شد. محصول نهایی تختالی با ابعاد ۱۵۰×۱۰۰×۱۰ میلی‌متر مکعب بود (شکل ۱-ب). در ادامه نمونه‌های موردنظر برای آزمایش کشش با استفاده از یک دستگاه CNC از درون تختال تهیه شدند (شکل ۱-ج). آزمایش کشش با استفاده از یک دستگاه کشش تک‌محور Zwik/Roell Z100 با لود سل ۱۰ kN و نرخ کرنش ۰/۵ mm/min انجام شد و متوسط استحکام و درصد ازدیاد طول سه نمونه به‌عنوان عدد نهایی خواص کششی ثبت شد. برای تعیین سختی زمینه آلیاژ، آزمایش میکروسختی تحت بار ۵ گرم انجام شد و میانگین عدد سختی مربوط به شش نقطه از زمینه آلیاژ به‌عنوان عدد نهایی سختی ثبت شد. زمان ساکن شدن در آزمایش میکروسختی ۱۳ ثانیه بود.

نمونه‌های موردنظر برای بررسی‌های متالوگرافی از یک محل مشخص از تختال برش خورده و پس از مانت شدن و آماده‌سازی سطح شامل سنباده‌زنی و صیقل‌کاری با خمیر الماس ۰/۵ میکرومتر (Sunward park14570) به‌منظور رؤیت ساختار میکروسکپی توسط محلول HF ۲ درصد وزنی (حاوی ۲ میلی‌لیتر HF ۴۸ درصد و ۹۸ میلی‌لیتر آب مقطر) حکاکی شدند. برای بررسی ریزساختار و سطوح شکست و آنالیز عنصری رسوبات از یک دستگاه میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) مدل VEGA TESCAN-LMU استفاده شد. آنالیز کمی پارامترهای هندسی اجزای ساختاری مورد نظر شامل اندازه متوسط، محیط و مساحت ذرات Mg_2Si اولیه و اندازه دانه‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار کلمکس انجام شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- تصویر طرح‌واره: (الف) قالب ریخته‌گری، (ب) قطعه نهایی و (ج) هندسه و ابعاد نمونه آزمایش کشش.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی تأثیر مس بر ریزساختار

ریزساختار کامپوزیت پایه Al-15Mg_2Si در شکل (۲-الف) نشان داده‌شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده ریزساختار عبارت‌اند از ذرات Mg_2Si اولیه موسوم به Mg_2Si_p، سلول‌های یوتکتیک α-Al/Mg_2Si_E و زمینه α-Al. آنالیز EDS اجزای ساختاری مهم کامپوزیت در جدول (۲) ارائه شده است. ذرات Mg_2Si_p درشت و دارای مورفولوژی چندوجهی هستند (شکل ۲-الف). با توجه به گوشه غنی از آلومینیم نمودار سه‌تایی Al-Mg-Si (شکل ۳-الف) [۳۰] و مقطع عمودی نمودار مذکور (شکل ۳-ب) [۱]، انجماد کامپوزیت Al-15Mg_2Si با رسوب ذرات Mg_2Si به‌صورت ترکیبات اولیه در مذاب شروع می‌شود. در ادامه ابعاد و کسر حجمی ذرات Mg_2Si اولیه شکل‌گرفته در ساختار افزایش‌یافته و غلظت مذاب تا رسیدن به واکنش یوتکتیک کاهش می‌یابد. در دمای ۵۸۳ درجه سانتی‌گراد مذاب به‌صورت هم‌دما استحاله یوتکتیکی را تجربه نموده و سلول‌های یوتکتیک متشکل از ذرات Mg_2Si_E و α-Al تشکیل می‌شوند. بنابراین رابطه کلی نشان دهنده روند انجماد کامپوزیت Al-Mg_2Si را می‌توان به شرح زیر نوشت:

$$L \rightarrow L_1 + Mg_2Si_p \rightarrow Mg_2Si_p + (\alpha\text{-Al} + Mg_2Si_E)$$

تأثیر افزودن مس (۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) بر ریزساختار کامپوزیت Al-15Mg_2Si در تصاویر میکروسکپی (۲-ب تا ۲-د) نشان داده‌شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، افزودن مس موجب کاهش ابعاد و تغییر مورفولوژی ذرات Mg_2Si_p شده است به‌گونه‌ای که ذرات نسبتاً درشت و بعضاً توخالی Mg_2Si_p به ذرات چندضلعی توپر با ابعاد کوچک‌تر مبدل شده‌اند. نتایج آنالیز تصویری ساختار نمونه پایه و نمونه‌های حاوی مس در جدول (۳) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در تائید مشاهدات ساختاری (شکل ۲)، اندازه متوسط، محیط و مساحت ذرات Mg_2Si اولیه با افزایش غلظت مس، کاهش‌یافته‌اند.

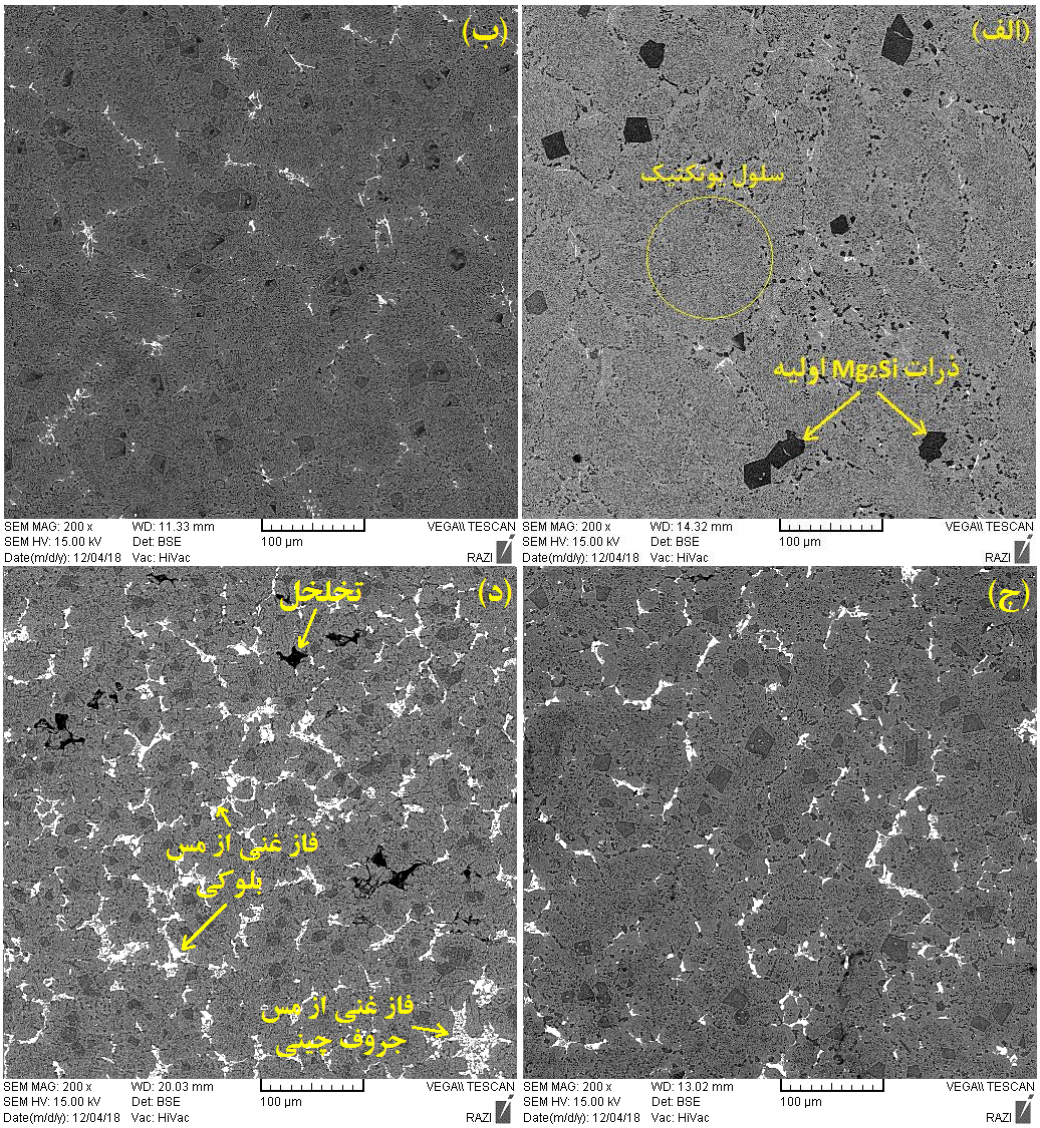
جدول ۳- آنالیز تصویری نمونه پایه و درصدهای مختلف مس

	شعاع (میکرومتر)	مساحت (میکرومتر مربع)	طول انحناء (میکرومتر)
Base	۱۳/۲۳±۴/۹۴	۴۴۹/۳۲±۲۰۲/۷۶	۱۰۰/۳۶±۲۱/۵۰
C1	۹/۵۱±۱/۸۴	۲۴۹/۴۲±۶۱/۲۷	۷۴/۵۸±۹/۵۲
C3	۶/۴۱±۱/۳۸	۱۶۵/۹۱±۴۲/۳۹	۵۵/۶۳±۱۰/۵۶
C5	۴/۷۲±۱/۰۶	۱۲۳/۰۲±۳۰/۳۸	۴۹/۲۴±۶/۸۳

کاهش قابل‌توجه ابعاد و تغییر مورفولوژی ذرات Mg_2Si اولیه قطعاً تأثیر قابل‌توجهی بر خواص نهایی کامپوزیت خواهد داشت. بااین‌وجود در تحقیقات قبلی [۱، ۲۵، ۲۶] تأثیر افزودن مس بر ساختار کامپوزیت‌های Al-Mg_2Si ناچیز شمرده‌شده و یا صرفاً از دیدگاه شکل‌گیری ترکیبات غنی از مس در ریزساختار موردتوجه قرارگرفته است. با توجه به شکل (۲) و در تائید یافته‌های قبلی [۲۶،۱]، افزودن مس موجب شکل‌گیری رسوبات غنی از مس Q و θ با مورفولوژی بلوکی و حروف‌چینی در ریزساختار شده است (رسوبات سفیدرنگ). نتایج آنالیز عنصری EDS نیز مؤید تشکیل این رسوبات است (جدول ۲). لازم به ذکر است که با توجه به نوسانات غلظتی، تاکنون فرمول‌های مختلفی

www.SID.ir

Archive of SID



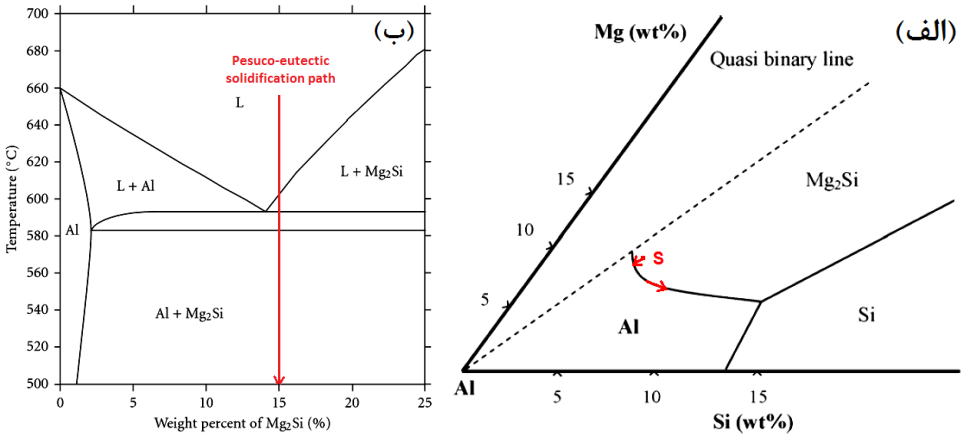
شکل ۲- تصویر میکروسکپ الکترونی نشان‌دهنده ریزساختار کامپوزیت Al-15Mg_2Si در مقادیر مختلف مس افزوده: (الف) ۰ درصد وزنی، (ب) ۱ درصد وزنی، (ج) ۳ درصد وزنی و (د) ۵ درصد وزنی.

جدول ۲- آنالیز شیمیایی مهم‌ترین اجزای ساختاری مشخص‌شده بر روی تصاویر ریزساختاری در شکل ۲ (درصد وزنی)

جزء ساختاری	Al	Mg	Si	Cu	Fe
Mg_2Si_P	--	۸۶/۵۲	۱۳/۴۸	--	--
α-Al/Mg_2Si_E eutectic	۲۴/۲۴	۵۰/۱۱	۲۵/۶۴	--	--
Q-phase (رسوبات حروف‌چینی)	۶۴/۱۳	۳/۴۵	۱۱/۹۷	۱۵/۸۶	۴/۵۹
θ-phase (رسوبات بلوکی)	۵۰/۲۳	--	۰/۸۸	۴۸/۸۹	--

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- (الف) نمودار سطح لیکوئیدوس گوشه غنی از آلومینیم (موقعیت نخستین کامپوزیت (S) و مسیر تغییر غلظت مذاب هنگام انجماد بر روی نمودار مشخص‌شده‌اند) [۳۰] و (ب) مقطع عمودی نمودار سه‌تایی Al-Mg-Si [۱].

برای معرفی رسوبات Q پیشنهادشده‌اند که ازجمله می‌توان به $Al_5Cu_2Mg_8Si_6$، $Al_4CuMg_5Si_4$، $Al_4Cu_2Mg_8Si_7$ و $Al_3Cu_2Mg_9Si_7$ [۱] اشاره نمود. این رسوبات عموماً در مرز سلول‌های یوتکتیک در ساختار کامپوزیت مشاهده می‌شوند (شکل ۲). رسوبات θ نیز در ریزساختار به‌صورت ذرات بلوکی شکل با ترکیب شیمیایی ارائه‌شده در جدول (۲) قابل‌مشاهده هستند (شکل ۲). مهم‌ترین مکانیزم‌های پیشنهادی برای بهسازی ذرات Mg_2Si_p توسط افزودن عناصر بهساز عبارت‌اند از جوانه‌هایی، تحت تبرید غلظتی و مسموم‌سازی [۳۱ و ۲۱ و ۱۶ و ۸-۷ و ۵]. همان‌گونه که نشان داده شد افزودن مس موجب تشکیل ذرات بین فلزی حاوی مس Q و θ در ساختار کامپوزیت می‌شود. فاز Q دارای ساختار هگزاگونال است (a=1.04 nm and c=0.405 nm) [۳۲] و ساختار بلوری فاز θ (Al_2Cu) تتراگونال (a=b=0.428 nm and c=0.240 nm) است [۳۳]. بنابراین به دلیل ساختار بلوری متفاوت و اختلاف قابل‌توجه پارامتر شبکه ذرات Mg_2Si با ترکیبات Q و θ، این دو فاز نمی‌توانند به‌عنوان بستری برای جوانه‌زنی غیر همگن ذرات Mg_2Si اولیه با ساختار بلوری مکعبی با وجوه مرکز پر (FCC) از نوع آنتی-فلوریت [۳۵-۳۴] عمل کنند. در تئوری دیگر عنوان‌شده است که جدایش/تجمع اتم‌های عنصر بهساز در فصل مشترک ذرات Mg_2Si موجب ایجاد تحت تبرید غلظتی در این ناحیه می‌شود [۱۶،۷]. با افزایش غلظت عنصر بهساز، میزان تحت تبرید افزایش‌یافته و نهایتاً در یک غلظت معین موجب بروز اخلال در رشد صفحات می‌شود [۷]. برای مسموم‌سازی دو فرضیه مختلف مطرح‌شده است: در تئوری نخست فرض می‌شود که‌اتم بهساز پس از جدایش بر روی فصل مشترک ذرات Mg_2Si در حال رشد، جایگزین اتم‌های Mg یا Si شده و به سبب اختلاف قابل‌توجه در شعاع اتمی موجب ایجاد اعوجاج در شبکه بلوری ذرات و تغییر انرژی سطحی سطوح در حال رشد آن می‌شود [۷]. در تئوری دیگر فرض می‌شود که اتم‌های عنصر بهساز جذب سطح بلورهای در حال رشد Mg_2Si شده و از رشد عادی این صفحات ممانعت می‌کنند. همان‌گونه که عنوان شد ذرات Mg_2Si دارای ساختار بلوری FCC هستند. به علت چگالی اتمی کم و بالا بودن فاکتور جایابی، سطوح {۱۰۰} دارای بیشترین سرعت رشد هستند و جهت رشد مرجح صفحات <۱۰۰> است. بر این اساس هنگام انجماد تعادلی، صفحات فشرده {۱۱۱} به دلیل انرژی سطحی کم پایدارتر بوده و به‌تدریج وسعتشان افزایش می‌یابد لذا در شرایط انجماد تعادلی، شکل نهایی ذرات Mg_2Si عمدتاً به‌صورت هشت‌وجهی (اکتاهدرون) است اما اگر به سبب جذب اتم‌های بهساز، رشد صفحات {۱۰۰} مختل شود، ذرات Mg_2Si عمدتاً به‌صورت ذرات مکعبی در ساختار رؤیت می‌شوند [۳۴]. این تغییر مورفولوژی ذرات Mg_2Si اولیه با توجه به تصاویر ریزساختاری (شکل ۲) قابل‌مشاهده است.

۳-۲- تأثیر مس بر اندیس کیفیت

تأثیر افزودن مس بر استحکام کششی نهایی و درصد ازدیاد طول کامپوزیت Al-15Mg_2Si در جدول (۴) آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود افزودن مس تا حدود ۳ درصد وزنی موجب بهبود استحکام کششی کامپوزیت به میزان حدود ۳۴ درصد می‌شود اما افزودن مقادیر بیشتر از

www.SID.ir

Archive of SID

این عنصر تأثیر منفی بر استحکام کششی دارد به‌گونه‌ای که استحکام کششی آلیاژ حاوی ۵ درصد وزنی مس حدود ۹ درصد کمتر از کامپوزیت حاوی ۳ درصد مس است. همچنین افزودن مس تا حدود ۱ درصد وزنی موجب بهبود حدوداً ۱۰ درصدی درصد ازدیاد طول کامپوزیت می‌شود اما افزودن مقادیر بیشتر مس (به‌ویژه در غلظت‌های بیش از ۳ درصد وزنی) تأثیر منفی بر انعطاف‌پذیری دارد.

جدول ۴ نتایج خواص مکانیکی نمونه پایه و کامپوزیت‌های حاوی درصدهای مختلف مس

کامپوزیت	Base	1Cu	3Cu	5Cu
ازدیاد طول (درصد)	۲/۳۶±۱/۱۳	۲/۴۶±۰/۹	۱/۴۹±۰/۶	۰/۸۴±۰/۳۲
استحکام کششی (مگاپاسکال)	۱۹۶/۷±۸/۰	۲۲۷/۶±۷/۰	۲۶۴/۶±۹/۶	۲۴۱ /۷±۱۲/۹

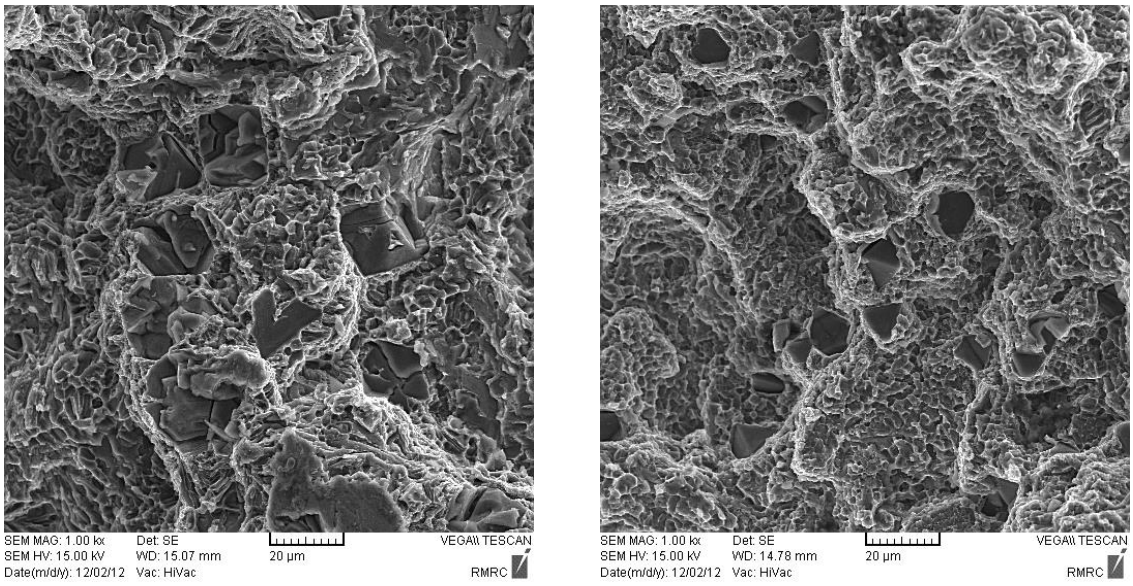
تأثیر مثبت مس بر استحکام کششی کامپوزیت Al-15Mg_2Si را می‌توان ناشی از تأثیر این عنصر در استحکام‌دهی محلول جامد، تشکیل رسوبات سخت غنی از مس در ساختار و بهسازی شیمیایی (کاهش ابعاد و تغییر مورفولوژی) ذرات Mg_2Si اولیه (شکل ۲ و جدول ۳) دانست. تأثیر مس در افزایش سختی/استحکام زمینه آلومینیمی کامپوزیت با توجه به نتایج آزمایش سختی سنجی میکروسکپی قابل‌اثبات است. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، سختی فاز زمینه α-Al در کامپوزیت پایه (بدون مس افزوده) برابر با $HV_{0.05}$ ۷۷/۴±۱/۱ است که پس از افزودن ۵ درصد وزنی مس و به‌واسطه استحکام-بخشی محلول جامد با ۱۷ درصد افزایش به حدود $HV_{0.05}$ ۹۰/۹±۲/۶ می‌رسد. علاوه بر این، رسوبات غیرکوهرنت غنی از مس Q و θ شکل‌گرفته در زمینه کامپوزیت‌های حاوی مس می‌توانند به‌عنوان موانعی مؤثر در برابر لغزش نابجایی‌ها عمل کنند. تحقیقات نشان داده است که حضور این ذرات تنش برشی لازم برای لغزش نابجایی‌ها در ساختار را افزایش داده و با مکانیزم پراکنده سختی، موجب افزایش استحکام کامپوزیت می‌شود [۳۷-۳۶].

بهسازی ذرات بین فلزی Mg_2Si نیز نقش بسزایی در بهبود خواص کششی کامپوزیت ایفا می‌کند. ذرات Mg_2Si دارای ماهیت ترد و شکننده بوده و به سبب بالا بودن آنتروپی ذوب و فاکتور جکسون زیاد (بیش از ۲) دارای فصل‌مشترک پخ‌دار و ضعیف با زمینه هستند [۵-۴]. قبل از افزودن مس، به سبب بزرگ بودن ابعاد و مورفولوژی توخالی، ذرات Mg_2Si به‌ویژه ذرات اولیه دارای استحکام مکانیکی کمی هستند و به‌آسانی ترک می‌خورند و/یا به-واسطه فصل مشترک ضعیف با زمینه از زمینه جدا می‌شوند [۱۷-۱۶، ۲۱]. در این شرایط شدت تنش در نوک ترک‌های شکل‌گرفته افزایش‌یافته و ترک‌های میکروسکپی از ذرات به درون زمینه و نواحی یوتکتیک اشاعه می‌یابند. تصویر میکروسکپی تهیه‌شده از سطح شکست کامپوزیت پایه در شکل (۴) نشان داده شده است. شکست ذرات درشت Mg_2Si اولیه و جدا شدن این ذرات از زمینه به‌عنوان دو عامل اصلی پیدایش ترک‌های میکروسکپی در کامپوزیت پایه (شکل ۴-الف) کاملاً مشهود است.

پس از بهسازی کامپوزیت توسط مس، ابعاد ذرات کاهش‌یافته، توزیع آن‌ها در زمینه بهبود می‌یابد (شکل ۲ و جدول ۳) و ذرات عمدتاً چهاروجهی توپر جایگزین ذرات درشت و توخالی حاضر در ریزساختار کامپوزیت بهسازی نشده می‌شوند. تحت این شرایط می‌توان گفت که بار اعمالی در هنگام آزمایش کشش بر روی تعداد بیشتری از ذرات توزیع می‌شود لذا سهم هر ذره از بار اعمالی کاهش‌یافته و در یک تنش معین، مقاومت ذرات در برابر شکست و ایجاد ترک‌های میکروسکپی افزایش می‌یابد. بررسی سطح شکست نمونه حاوی ۳ درصد وزنی مس نیز مؤید این مطلب است. با توجه به شکل (۴-ب) مشاهده می‌شود که اغلب ذرات Mg_2Si اولیه سالم هستند و مکانیزم پیدایش ترک بیش از آنکه شکسته شدن ذرات باشد، جدا شدن آن‌ها از زمینه بوده است. بهسازی کامپوزیت توسط مس، ضمن افزایش استحکام، به‌واسطه افزایش مقاومت در برابر جوانه‌زنی و اشاعه ترک‌های میکروسکپی، موجب بهبود انعطاف‌پذیری آن نیز می‌شود. با این‌وجود، افزودن مس بیش از ۱ درصد وزنی موجب افت انعطاف‌پذیری و افزودن مس بیش از ۳ درصد وزنی موجب افت استحکام کامپوزیت می‌شود. افت انعطاف‌پذیری با افزایش غلظت مس را می‌توان ناشی از افزایش کسر حجمی و ابعاد ترکیبات بین فلزی ترد و شکننده غنی از مس در ساختار و نیز افزایش میزان تخلخل‌های گازی دانست (شکل ۲).

www.SID.ir

Archive of SID



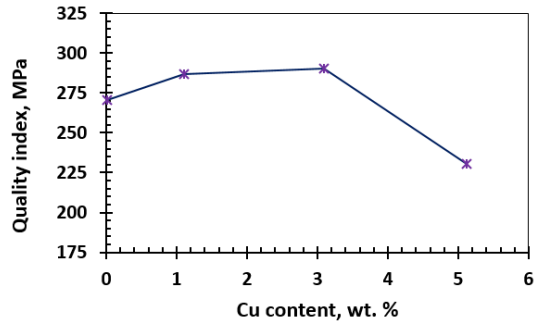
(الف) (ب)

شکل ۴- تصویر سطح شکست: (الف) کامپوزیت پایه و (ب) کامپوزیت بهسازی شده توسط ۳ درصد وزنی مس.

شکل‌گیری تخلخل‌های میکروسکپی ناشی از حضور مس قبلاً توسط محققین مختلف مورد اشاره قرارگرفته و نشان داده‌شده است که این امر ناشی از جدایش اتم‌های مس به مذاب جلوی جبهه انجماد، افزایش ضریب فعالیت و درنتیجه کاهش حد حلالیت هیدروژن است [۳۸-۴۰]. علاوه بر این مس موجب افزایش دامنه انجماد کامپوزیت شده و میزان تخلخل‌های ساختاری را افزایش می‌دهد. تحقیقات امامی و همکاران در زمینه تأثیر منفی مس بر قابلیت ریخته‌گری کامپوزیت Al-15Mg_2Si حاکی از آن است که افزودن مس تا ۵ درصد وزنی به‌واسطه افزایش دامنه انجماد و تبدیل انجماد از حالت پوسته‌ای به خمیری، تأثیر منفی بر سیالیت آلیاژ دارد [۴۱].

بااین‌حال با توجه به مکانیزم‌های مختلف ارتقاء استحکام کامپوزیت توسط مس شامل استحکام دهی محلول جامد، استحکام دهی ناشی از حضور رسوبات سخت غنی از مس و بهسازی ذرات Mg_2Si اولیه به نظر می‌رسد که در غلظت‌های مس بیش از ۳ درصد وزنی، تأثیر منفی حضور رسوبات غنی از مس (شکل ۲) بر اثرات مثبت ناشی از افزودن مس غلبه کرده و موجب افت استحکام کششی کامپوزیت می‌شود.

با توجه به تأثیرپذیری متفاوت استحکام کششی و درصد ازدیاد طول کامپوزیت Al-15Mg_2Si از غلظت مس، نمودار تغییرات نمودار تغییرات اندیس کیفیت کامپوزیت برحسب درصد مس در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵- نمودار تغییرات اندیس کیفیت نمونه پایه و کامپوزیت‌های حاوی مقادیر مختلف مس

با توجه به شکل (۵)، حداکثر اندیس کیفیت در کامپوزیت حاوی ۳ درصد وزنی مس مشاهده می‌شود که مقدار اندیس کیفیت آن حدود ۸ درصد بیش از اندیس کیفیت کامپوزیت پایه است. همانگونه‌که قبلاً نیز عنوان شد افزودن مس به‌واسطه بهسازی ساختاری کامپوزیت شامل کاهش ابعاد، تغییر مورفولوژی و حذف حفرات مرکزی ذرات Mg_2Si اولیه و بهبود قابل‌توجه شرایط توزیع این ذرات در زمینه (شکل ۲ و جدول ۳) می‌تواند موجب بهبود خواص کششی آن شود (جدول ۴). بااین‌حال با توجه به نتایج به‌دست‌آمده افزودن مس تا حدود ۱ درصد وزنی موجب افزایش هم‌زمان و جزئی استحکام کششی (۵ درصد) و درصد ازدیاد طول (۷ درصد) می‌شود اما پس‌ازآن احتمالاً به‌واسطه افزایش کسر حجمی رسوبات ترد غنی از مس به‌ویژه در مرز سلول‌های یوتکتیک و افزایش کسر

www.SID.ir

Archive of SID

تخلخل‌های انقباضی، درصد ازدیاد طول کامپوزیت روند کاهشی خود را آغاز می‌کند. این در حالی است که استحکام کششی کامپوزیت با افزایش مس تا حدود ۳ درصد وزنی، همچنان افزایش می‌یابد. متأسفانه حداکثر بهبود انعطاف‌پذیری در ۱ درصد وزنی مس و حداکثر استحکام در ۳ درصد وزنی از این عنصر به دست می‌آیند. لذا تأثیر نهایی بهسازی توسط مس بر اندیس کیفیت چشم‌گیر و قابل‌توجه نیست. بنابراین به نظر می‌رسد که افزودن مس نمی‌تواند گزینه مناسبی برای بهبود کیفیت متالورژیکی کامپوزیت‌های Al-15Mg_2Si در نظر گرفته شود.

۴- نتیجه‌گیری

۱- مهم‌ترین اثرات افزودن مس به ترکیب کامپوزیت Al-15Mg_2Si عبارت‌اند از شکل‌گیری رسوبات غنی از مس θ-Al_2Cu و فاز Q با فرمول شیمیایی $Al_5Cu_2Mg_8Si_6$، کاهش ابعاد و بهسازی مورفولوژی ذرات Mg_2Si اولیه شکل‌گرفته در ریزساختار کامپوزیت Al-15Mg_2Si. مکانیزه بهسازی ذرات Mg_2Si احتمالاً افزایش میزان تحت تبرید غلظتی در فصل مشترک ذرات در حال رشد و مسموم‌سازی سطوح بلوری در حال رشد هستند.

۲- تأثیر مس بر خواص کششی به غلظت آن در کامپوزیت بستگی دارد. افزودن مس تا حدود ۳ درصد وزنی موجب بهبود ۳۴ درصدی استحکام کششی کامپوزیت می‌شود اما افزودن مقادیر بیشتر از این عنصر تأثیر منفی بر استحکام کششی دارد. همچنین افزودن مس تا حدود ۱ درصد وزنی سبب حدود ۱۰ درصدی بهبود بر ازدیاد طول کامپوزیت می‌شود، اما پس از آن، تأثیر منفی دارد. حداکثر اندیس کیفیت در کامپوزیت حاوی ۳ درصد وزنی مس مشاهده شد که حدود ۸ درصد بیشتر از اندیس کیفیت کامپوزیت پایه است.

۳- بر اساس نتایج مطالعات ساختاری، آنالیز شیمیایی رسوبات و شکست‌نگاری سطوح شکست، مهم‌ترین علل بهبود کیفیت مشاهده‌شده در کامپوزیت‌های بهسازی شده توسط ۳ درصد وزنی مس عبارت‌اند از استحکام‌بخشی محلول جامد زمینه، تشکیل رسوبات سخت غنی از مس در زمینه و کاهش ابعاد و بهسازی مورفولوژی ذرات بین فلزی Mg_2Si. همچنین افزایش کسر حجمی رسوبات سخت غنی از مس و تخلخل‌های ساختاری مهم‌ترین عوامل کاهش اندیس کیفیت کامپوزیت در مقادیر مس بیش از غلظت بهینه هستند.

مراجع

[1] Emamy M., Nemati N., Heidarzadeh A., The influence of Cu rich intermetallic phases on the microstructure, hardness and tensile properties of Al–15%Mg_2Si composite, Materials Science and Engineering, A. 2010, 527(12) 2998-3004.

[2] Lin J., Bai G., Liu Z., Niu L., Li G., Wen C., Effect of ultrasonic stirring on the microstructure and mechanical properties of in situ Mg_2Si/Al composite, Materials Chemistry and Physics, 2016, 178, 112-118.

[3] Nadim A., Taghiabadi R., Razaghian-Noghani M.T., Ghoncheh M.H., Effect of Fe-impurity on tribological properties of Al-15Mg 2 Si composite, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2018, 28(6) 1084-1093.

[4] Qin Q., Li W., The Formation and characterization of the primary Mg_2Si dendritic phase in hypereutectic Al-Mg_2Si alloys, Materials Transactions, 2016, 57(2) 85-90.

[5] Srinivas V., Singh V., Development of in situ as cast Al–Mg_2Si particulate composite: microstructure refinement and modification studies, Transactions of the Indian Institute of Metals, 2012, 65(6) 759-764.

[6] Fatemi-Jahromi F., Emamy M., An investigation into high temperature tensile behavior of hot-extruded Al–15wt%Mg_2Si composite with Cu-P addition, Manufacturing Science and Technology, 2015, 3(4) 160-169.

[7] Moussa M.E., Waly M.A., El-Sheikh A.M., Effect of Ca addition on modification of primary Mg_2Si, hardness and wear behavior in Mg–Si hypereutectic alloys, Journal of Magnesium and Alloys, 2014, 2(3) 230-238.

[8] Nasiri N., Emamy M., Malekan A., Norouzi M.H., Microstructure and tensile properties of cast Al–15% Mg_2Si composite: Effects of phosphorous addition and heat treatment, Materials Science and Engineering: A, 2012, 556, 446-453.

[9] Zengin H., Effect of solidification rate on corrosion resistance of cast Al-10 Mg_2Si in-situ composite, OHU Journal of Engineering Science, 2019, 8(2) 1143-1152.

[10] Ghandvar H., Idris M.H., Ahmad N., Effect of hot extrusion on microstructural evolution and tensile properties of Al-15%Mg_2Si-xGd in-situ composites, Journal of Alloys and Compounds, 2018, 751: 370-390.

[11] Zamani R., Mirzadeh H., Emamy M., Magnificent grain refinement of Al-Mg_2Si composite by hot rolling, Journal of Ultrafine Grained and Nanostructured Materials, 2018, 51(1) 71-76.

[12] Emamy M., Vaziri-Yeganeh S.E., Razaghian A., Tavighi K, Microstructures and tensile properties of hot-extruded Al matrix composites containing different amounts of Mg_2Si, Materials Science and Engineering: A, 2013, 586, 190-196.

[13] Jiang W., Xu X., Zhao Y., et al, Effect of the addition of Sr modifier in different conditions on

www.SID.ir

Archive of SID

[۲۷] محمدی م.، تقی‌آبادی ر.، نظری م.، تاثیر عناصر بهساز در بهبود اندیس کیفیت آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ قبل و بعد از عملیات حرارتی T۶، پژوهش‌نامه ریخته گری، ۱۳۹۷، (۱)۲، ۲۵-۱۱.

[28] Drouzy M., Jacob S., Richard M., Interpretation of tensile results by means of quality index and probable yield strength, AFS International, Cast Metals Research Journal, 1980, 5, 43-50.

[29] Vušanović I., Šarler B., Krane M.J.M., Microsegregation during the solidification of an Al–Mg–Si alloy in the presence of back diffusion and macrosegregation, Materials Science and Engineering: A, 2005, 413-414, 217-222.

[30] Wang H.Y., Zhu J.N., Li J.H., Li C., Zha M., Wang C., Yang Z.Z., Jiang Q.C., Refinement and modification of primary Mg_2Si in an Al–20Mg_2Si alloy by a combined addition of yttrium and antimony, Crystal Engineering Communication, 2017, 19(42) 6365–6372.

[31] Matsuda K., Ikeno S., Uetani, Y, Sato, T, Meta-stable phases in an Al-Mg-Si alloy containing copper, Metallurgical and Materials Transactions A, 2001, 32(6) 1293–1299.

[32] Wang S, Fan C, Crystal structures of Al_2Cu revisited: understanding existing phases and exploring other potential phases, Metals 2019, 9 (10) 1037.

[33] Zhang J., Fan Z., Wang Y., Zhou B., Microstructural Development of Al–15wt.%Mg_2Si in situ composite with mischmetal addition, Materials Science and Engineering: A, 2000, 281(1–2) 104–112.

[34] Chen L., Wang H.Y., Liu K., Wang C., Luo D., Jiang Q.C., Growth of Mg_2Si crystals shaped by {100} and {111} facets from Al–Mg–Si melts in the presence of calcium, Crystal Engineering Communication, 2017, 19(22) 3058–3062.

[35] Taghiabadi R., Fayegh A., Pakbin A., Nazari M., Ghoncheh MH, Quality index and hot tearing susceptibility of Al–7Si–0.35Mg– X Cu alloys, Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2018, 28(7) 1275–1286.

[36] Prados E.F., Sordi VL, Ferrante M, The effect of Al_2Cu precipitates on the microstructural evolution, tensile strength, ductility and work-hardening behaviour of a Al–4wt.% Cu alloy processed by equal-channel angular pressing, Acta Materialia, 2013, 61(1) 115–125.

[37] Shabestari S.G., Moemeni H., Effect of copper and solidification conditions on the microstructure and mechanical properties of Al–Si–Mg Alloys, Journal of Materials Processing Technology, 2004, 153–154, 193–198.

[38] Cáceres C., Djurdjevic M., Stockwell T., Sokolowski J., The effect of Cu content on the level of microporosity in Al-Si-Cu-Mg casting alloys, Scripta Materialia, 1999, 40(5) 631–637.

[39] Edwards G.A., Sigworth G.K., Caceres C.H., StJohn D.H., Barresi J., Microporosity formation in Al−Si−Cu−Mg casting alloys, AFS Transactions, 1997, 105, 809−818.

[40] Heidarzadeh A., Emamy M., Rahimzadeh A., Soufi R., Sohrabi-Baba-Heidary D., Nasibi S., The effect of copper addition on the fluidity and viscosity of an Al-Mg-Si alloy, Journal of Materials Engineering and Performance, 2013, 23(2) 469–476.

microstructure and mechanical properties of T6 treated Al- Mg_2Si in-situ composite, Materials Science and Engineering: A, 2018, 721, 263-273.

[14] Samadi F., Emamy M., Honarbakhsh Raouf A., Akrami A., Effect of heat treatment on the mocrostructure, hardness, and wear properties of Al-15Mg2Si-3Cu with different contents of Zn, Manufacturing Science and Technology, 2015, 3(4) 189-195.

[15] Chegini M., Shaeri M., Taghiabadi R., Chegini S., Djavanroodi F., The correlation of microstructure and mechanical properties of in-situ Al-Mg_2Si cast composite processed by equal channel angular pressing, Materials, 2019, 12(9) 1553.

[16] Moharrami A., Razaghian A., Emamy M., Taghiabadi R., Effect of tool pin profile on the microstructure and tribological properties of friction stir processed Al-20wt% Mg_2Si composite, Journal of Tribology, 2019, 141(12).

[17] Nordin N.A., Farahany S., Ourdjini A., Abu Bakar T.A., Hamzah E., Refinement of Mg_2Si reinforcement in a commercial Al–20% Mg_2Si in-situ composite with bismuth, antimony and strontium, Materials Characterization, 2013, 86, 97-107.

[18] Wang H., Liu F., Chen L., Zha M., Liu G., Jiang Q., The effect of Sb addition on microstructures and tensile properties of extruded Al–20Mg_2Si–4Cu alloy, Materials Science and Engineering: A, 2016, 657, 331-338.

[19] Ghandvar H., Idris M.H., Ahmad N., Emamy M., Effect of gadolinium addition on microstructural evolution and solidification characteristics of Al-15% Mg_2Si in-situ composite, Materials Characterization, 2018, 135, 57-70.

[20] Wu X., Zhang G., Wu F., Wang Z., Influence of neodymium addition on microstructure, tensile properties and fracture behavior of cast Al- Mg_2Si metal matrix composite, Journal of Rare Earths, 2013, 31(3) 307-312.

[21] Jiang QC, Wang HY, Wang Y, Ma BX, Wang JG, Modification of Mg_2Si in Mg–Si alloys with yttrium, Materials Science and Engineering: A, 2005, 392(1-2) 130-135.

[22] Zhao Y.G., Qin Q.D., Zhou W., Liang Y.H., Microstructure of the Ce-modified in situ Mg_2Si /Al–Si–Cu composite, Journal of Alloys and Compounds, 2005, 389(1-2) L1-L4.

[23] Wang L., Guo E, Ma B, Modification effect of lanthanum on primary phase Mg_2Si in Mg-Si alloys, Journal of Rare Earths, 2008, 26(1) 105-109.

[24] Emamy M., Emami A.R., Tavighi K, The effect of Cu addition and solution heat treatment on the microstructure, hardness and tensile properties of Al–15%Mg_2Si–0.15%Li composite, Materials Science and Engineering: A, 2013, 576, 36–44.

[25] Yan F., Ji S.X., Fan Z.Y., Effect of Cu on the microstructure and mechanical properties of diecast Al-Mg_2Si-Mg based alloy, Materials Science Forum, 2014, 794–796, 172–177.

[26] Tiryakioğlu M., Staley J.T., Campbell J., Evaluating structural integrity of cast Al–7%Si–Mg alloys via work hardening characteristics, Materials Science and Engineering: A, 2004, 368(1-2) 231-238.

www.SID.ir

Archive of SID

IRANIAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY

Founding Research Journal

Research Paper

Investigation of the Effect of Copper on Microstructural Modification and Quality Index of Al-15Mg_2Si Composite

Leila Hesami[1], Reza Taghiabadi[2*]

1. M.Sc. Department of Metallurgy and Materials Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, IRAN
2. Assistant Professor, Department of Metallurgy and Materials Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, IRAN
* Corresponding Author: taghiabadi@ikiu.ac.ir

Received 25 October 2019
Accepted 29 November 2019

Abstract:

In-situ Al-15Mg_2Si composite due to their low density and good strength and wear properties are considered as potential candidates to substitute the Al and cast iron parts used in automotive and aerospace industries. The improved properties of these composites are governed by controlling the size and morphology (modification) of the primary Mg_2Si particles. In the current study the effect of Cu addition (1.0, 3.0, and 5.0 wt. %) on metallurgical structure and quality index of Al-15Mg_2Si composite was investigated. According to the results, Cu addition modified the morphology and reduced the average size of primary Mg_2Si particles. The addition of Cu up to 3.0 wt. % improved the composite tensile strength by up to 34% whilst its further addition impaired the tensile properties. Moreover, the addition of Cu up to 1.0 wt. % improved the composite elongation by about 7%. This is while its further addition deteriorated the composite ductility. The maximum quality index was observed in 3.0 wt. % Cu containing composite where its quality index was 8% higher than that of the base sample. The microstructural observations, micro-hardness testing, precipitates chemical analysis, and fractography of fractured surfaces revealed that solid-solution-strengthening, dispersion hardening of Cu-containing precipitates, and modification of Mg_2Si particles are the main factors improving the composite quality. Moreover, increasing the volume fraction of hard Cu-precipitates and micro-pores, negatively affected the composite tensile properties and quality index.

Keywords:
Composite,
Al-Mg_2Si,
Copper,
Chemical modification,
Quality index

Please cite this article using:
Leila Hesami, Reza Taghiabadi, Investigation of the Effect of Copper on Microstructural Modification and Quality Index of Al-15Mg_2Si Composite, in Persian, Founding Research Journal, 2020, 3(4) 217-227.
DOI: 10.22034/FRJ.2019.206475.1104

Journal homepage: www.foundingjournal.ir

www.SID.ir