کنترل ریزساختار ترکیبات بین فلزی حاوی آهن با افزودن منگنز و انجام عملیات حرارتی محلول سازی در آلیاژ ۳۱۹ آلومینیم

هیرسا زاهدی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی و مواد- پردیس دانشکده های فنی- دانشگاه تهران

مسعود امامی

دانشیار دانشکده مهندسی متالورژی و مواد- پردیس دانشکده های فنی- دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۴/۵/۲۴ ، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۴/۱۰/۱۰ ، تاریخ تصویب ۸۴/۱۰/۲۴)

چکیده

در این پژوهش تشکیل ترکیبات بین فلزی حاوی آهن در آلیاژ آلومینیم ۳۱۹ در حضور منگنز مورد بررسی واقع و نقش عملیات حراتی محلول سازی بر رفتار حل شدن این ترکیبات بین فلزی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزودن منگنز، فازهای بین فلزی حاوی آهن به صورت فاز α با مورفولوژی حروف چینی[1] و چندوجهی[2] تشکیل می شوند. اگر مقدار منگنز با توجه به مقدار آهن موجود در آلیاژ به میزان مناسبی انتخاب شود، می تواند به عنوان عامل مؤثر در خنثی سازی تأثیر آهن و ممانعت از تشکیل فاز سوزنی β عمل کند.

همچنین مشخص شد که محلول سازی به مدت ۲۶ ساعت در دمای $515^{o}C$ برای آلیاژی که پس از اصلاح ساختار با منگنز دارای فازهای لجن α با مورفولوژی حروف چینی و چندوجهی می باشد، سبب حل شدن این ذرات و حتی تبدیل شدن مورفولوژی فاز α از چندوجهی به حروف چینی می شود. به هرحال بررسی مکانیزم انحلال فاز α نشان داد که انحلال این فاز از طریق پس زدن اتمهای سیلیسیم به زمینه آلیاژ صورت می گیرد.

واژه های کلیدی: آلیاژ آلومینیم ۳۱۹، فازهای بین فلزی حاوی آهن، منگنز، محلول سازی

مقدمه

آلیاژهای آلومینیم - سیلیسیم - مس دسته ای از آلیاژهای ریختگی آلومینیم هستند که به دلیل قابلیت ریخته گری خوب به طور وسیعی در صنعت مخصوصا" در ساخت قطعات اتومبیل مورد استفاده قرار می گیرند. برای ایجاد خواص مکانیکی مطلوب در این آلیاژها، عناصر آلیاژی مختلفی از قبیل منگنز، روی، نیکل و کرم افزوده می شوند. علاوه براین معمولا" مقداری ناخالصی در این آلیاژها وجود دارد که حذف آنها به طور کامل امکان پذیر نبوده یا با هزینه بسیاری همراه می باشد. بخشی از این ناخالصی ها به صورت محلول در زمینه قرار می گیرند و بخشی دیگر در حین انجماد، فازهای بین فلزی تشکیل می دهند. آهن یکی از این ناخالصی هاست که به دلیل ایجاد ترکیبات بین فلزی ترد به صورت فازهای سوزنی (صفحه ای) طویل β تأثیر نامطلوبی روی خواص مکانیکی به خصوص قابلیت انعطاف و خواص ریختگی آلیاژ ایجاد می کند[۱].

تاکنون بررسیهای وسیعی برای حذف تأثیر زیان آور آهن در آلیاژهای ریختگی آلومینیم صورت پذیرفته است. نتایج تحقیقات انجام شده تاکنون نشان می دهد که وجود عناصر آلیاژی از قبیل Sr ، Cr ، Co ، Be و Li با کاهش اندازه و درصد حجمی فاز سوزنی β یا با تغییر مورفولوژی آن به فازی با مورفولوژی فشرده تر، تأثیر آهن را در کاهش خواص مکانیکی آلیاژ، تا حد زیادی خنثی نموده است[۵-۲].

علاوه بر افزایش عناصر آلیاژی به مذاب، نحوه و میزان گرمایش و سرمایش نیز در خنثی کردن اثر زیان آور آهن مؤثر بوده است. به عنوان مثال نرخ بالای سرد شدن مذاب در حین انجماد ویا بکارگیری فوق گداز بالا قبل از ریختن مذاب می تواند در تغییر مورفولوژی فاز سوزنی β مؤثر باشد[۹-۶].

به طور کلی برحسب ترکیب شیمیایی و شرایط انجمادی آلیاژ، ترکیبات بین فلزی حاوی آهن می توانند

Archive of SID

www.SID.ir

به دو صورت کلی فاز β و α در ریزساختار ظاهر شوند. فاز β در ریزساختار به صورت سوزنی دیده می شود اما فاز α می تواند به شکلهای مختلف مانند حروف چینی، ستاره ای و چندوجهی وجود داشته باشد که از بین آنها، مورفولوژی حروف چینی مطلوب تر از سایرین است.

علاوه بر شکل و اندازه ترکیبات بین فلزی، پارامترهای ریزساختاری دیگری نیز وجود دارند که خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیم را تعیین می کنند و روشهای متعددی برای کنترل این پارامترهای ریزساختاری مورد استفاده قرار گرفته است. عملیات حرارتی T۶ که با محلول سازی در دمای معین و به مدت زمان مشخص همراه است، یکی از این روشهاست. هدف اصلی از محلول سازی حل کردن فازهای استحکام بخش مانند Mg_2Si یا $CuAl_2$ و همگن کردن Mg یا سایر عناصر آلیاژی به صورت محلول است تا در ضمن پیرسازی، این ذرات به صورت فازهای ریز و پراکنده رسوب کنند. هدف دیگر، تکه تکه و کروی کردن ذرات سیلیسیم یوتکتیک مخصوصا" در آلیاژهایی است که بهسازی نشده اند[۱۰]. اما اخیرا" نشان داده شده که عملیات حرارتی محلول سازی می تواند سبب حل شدن فازهای بین فلزی β در آلیاژ Al-13%Si شود[۱۱].

یکی از پارامترهای مهم در محلول سازی، دماست. دمای محلول سازی به دماهایی زیر تشکیل آخرین فازی که در حین انجماد رسوبگذاری می کند محدود می شود. اما نشان داده شده که در این دماها، ترکیبات بین فلزی حاوی آهن تغییرات قابل ملاحظه ای از خود نشان نمی دهند. پیشنهاد شده که اگر از دمای محلول سازی بالاتر از دمای انجماد نهایی برای آلیاژ Al-7%Si-3%Cu استفاده شود کلیه ترکیبات بین فلزی مس حل می شوند[۱۲]. همچنین ذکر شده که دمای محلول سازی بهینه برای آلیاژ Al-6%Si-3.5%Cu-0.3%Mg بین ۵۱۵ºC و ۵۲۰ºC قرار دارد. در این محدوده دما بیشترین مقدار ترکیبات بین فلزی در زمینه آلومینیم حل می شود[۱۳]. دماهای بالاتر باعث شروع ذوب شدن ترکیبات بین فلزی مس موجود در مرزدانه که نقطه ذوب کم دارند، شده و سبب تخریب خواص آلیاژ می شود[۱۴].

در تحقیق حاضر به بررسی نقش افزودن منگنز در تشکیل ترکیبات بین فلزی حاوی آهن و تأثیر محلول سازی بر نوع و شکل این ترکیبات در آلیاژ ۳۱۹ آلومینیم و ارزیابی کمّی امکان حل شدن این ترکیبـــــات با روش آنالیز تصویری پرداخته شده است.

روشها و مواد

آنالیز شیمیایی آلیاژ ۳۱۹ مورد استفاده در این تحقیق، در جدول (۱) نشان داده شده است. شمش آلیاژ پس از برش، خشک شد و برای تهیه هر نمونه میزان ۱۵۰ گرم از آن در بوته گرافیتی و در یک کوره الکتریکی مقاومتی ذوب شد. درجه حرارت مذاب برای تمام موارد ۲ ºC ۷۵۰± در نظر گرفته شد و دما با یک ترموکوپل Ni-NiCr نوع K با دقت بالا کنترل شد. در این دما جهت موازنه عناصر آلیاژی، مقادیر معینی از آمیژانهای Al-20%Fe و Al-10%Mn اضافه شد. در هر مرحله پس از افزودن آمیژان، مذاب حاصل جهت حل شدن عناصر به طور یکنواخت هم زده شد و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در کوره قرار داده شد تا حل شدن آمیژان در مذاب کامل شود و مذاب همدما گردد. در آخر، مذاب در یک قالب استوانه ای فولادی به ارتفاع ۵۰mm و قطر داخلی ۳۰mm ریخته شد. کد و ترکیب شیمیایی اسمی هر نمونه در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱ : ترکیب شیمیایی آلیاژ ۳۱۹ مورد استفاده در این تحقیق.

ترکیب شیمیایی آلیاژ	عنصر(درصد وزنی)				
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
	۵/۴۲	۰/۱۳	۳/۲۶	۰/۲۷	۰/۳۴

جدول ۲ : ترکیب شیمیایی اسمی و کد مربوط به هر نمونه.

کد آلیاژ	عنصر(درصد وزنی)	
	Fe	Mn
F10(F10M3)	۱	۰/۲۷
F6M6	۰/۶	۰/۶
F6M9	۰/۶	۰/۹
F10M6	۱	۰/۶
F10M9	۱	۰/۹
F14M6	۱/۴	۰/۶
F14M9	۱/۴	۰/۹

نمونه های حاصل به فاصله ۱cm از کف قالب بریده شدند، سپس هریک از دو قسمت به چهار تکه مساوی تقسیم شد. یک قسمت به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد و

Archive of SID

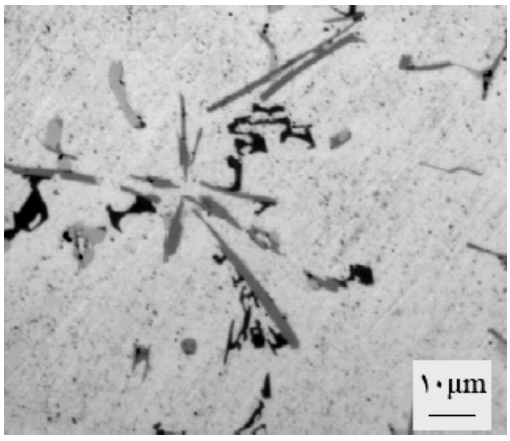
www.SID.ir

سایرین جهت محلول سازی مورد استفاده قرار گرفتند. محلول سازی در دمای ۵۱۵ºC در کوره الکتریکی با دقت ۱ ± ºC و به مدت زمانهای ۴، ۸ ، ۱۴، ۲۰ و ۲۶ ساعت انجام شد و سپس نمونه ها در آب با دمای ۶۰ºC سریع سرد شدند. بررسیهای میکروسکپی روی سطح مقطع پولیش شده انجام شد. همچنین، درصد مساحت هر فاز(٪) با روش آنالیز تصویری و در بزرگنمایی ۵۰۰ بررسی شد و برای هر نمونه ۴۰ تصویر مورد ارزیابی قرار گرفت. در انتها، از فازهای بین فلزی حاوی آهن در نمونه های محلول سازی نشده و نمونه هایی که به مدت ۲۶ ساعت محلول سازی شدند، با استفاده از میکروسکپ الکترونی ،آنالیز نقطه ای و آنالیز X-Ray map تهیه شد.

نتایج و بحث

تأثیر منگنز

به منظور بررسی تأثیر آهن و منگنز بر مورفولوژی ترکیبات بین فلزی حاوی آهن در آلیاژ ۳۱۹، مقادیر مختلف منگنز (۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد وزنی) به آلیاژ دارای مقادیر مختلف آهن (۰/۶، ۱ و۱/۴ درصد وزنی) افزوده شد. ریزساختار آلیاژی که دارای ۰/۳ درصد منگنز است(F10)، نشان داد که حضور این مقدار منگنز قابلیت تغییر مورفولوژی فازهای حاوی آهن از سوزنی به مورفولوژی دیگری را ندارد (شکل ۱).



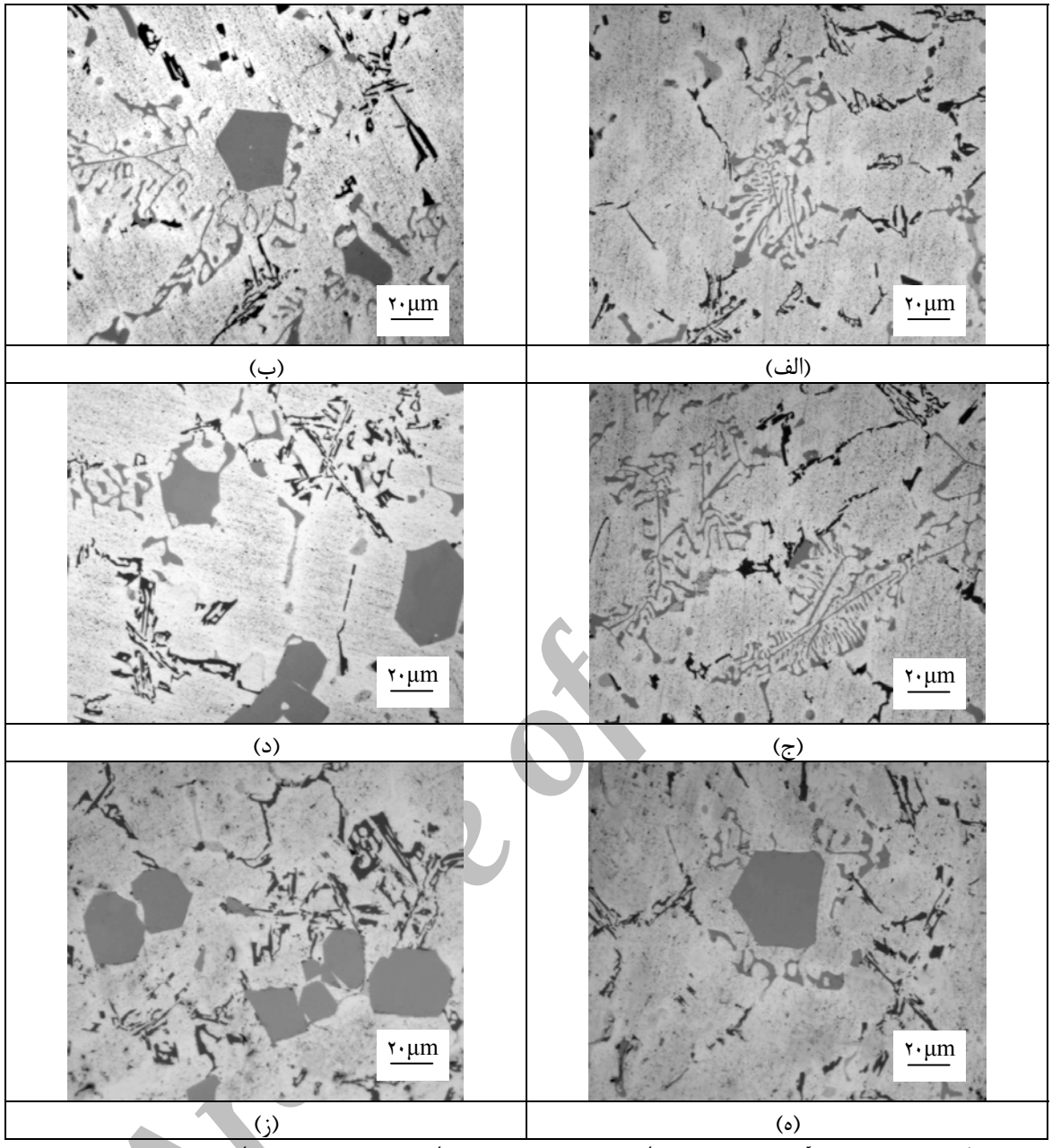
شکل ۱ : ریزساختار آلیاژ ۳۱۹ حاوی 1%Fe+0.27%Mn .

ین موضوع بیانگر اهمیت مضاعف منگنز نسبت به آهن در تشکیل فازهای حروف چینی و چندوجهی است. شکل (۲) نیز تأثیر افزودن مقادیر بیشتر منگنز را نشان می دهد. در آلیاژی که ۰/۶ درصد آهن دارد مشاهده می شود که وجود ۰/۶ درصد منگنز سبب تبدیل کلیه ذرات فاز β به فاز α با مورفولوژی حروف چینی شده که درون دندریتهای فاز آلومینیم (α-Al) تشکیل شده اند. افزودن مقادیر بیشتر منگنز (۰/۹٪) باعث ایجاد ذرات چندوجهی در کنار فاز حروف چینی شده است. با افزودن ۰/۶ و ۰/۹ درصد منگنز به آلیاژی که ۱٪ آهن دارد، روند مشابهی در تغییر مورفولوژی فازهای بین فلزی دیده می شود. در مورد آلیاژی که ۱/۴ درصد آهن دارد، ذرات چندوجهی α حتی در ۰/۶ درصد منگنز در کنار فاز حروف چینی تشکیل شده اند و با افزایش مقدار منگنز به ۰/۹٪ دیگر اثری از ذرات حروف چینی دیده نمی شود و تبلور ذرات بین فلزی حاوی آهن فقط به صورت فاز α با مورفولوژی چندوجهی است. این ذرات چندوجهی با اندازه های مختلف تشکیل شده و در کنار یکدیگر آگلومره شده اند.

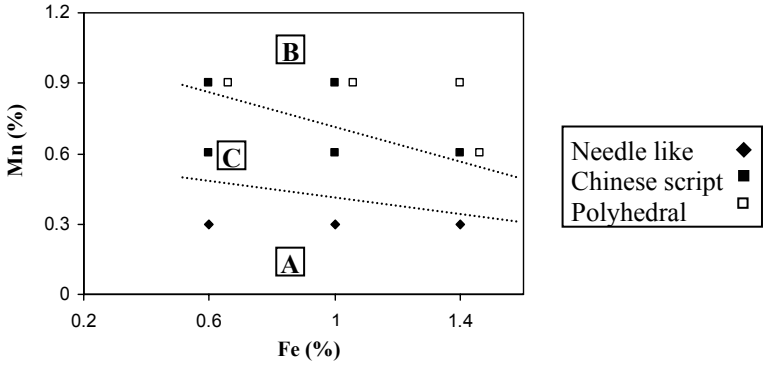
برای نشان دادن محدوده ترکیب شیمیایی مناسب در آلیاژ ۳۱۹، تأثیر همزمان Fe و Mn در تشکیل ترکیبات بین فلزی در شکل (۳) نشان داده شده است. در این منحنی سه ناحیه قابل تشخیص است: ناحیه اول(A) که در این ناحیه به ازاء مقادیر مختلف آهن و منگنز فقط فاز سوزنی β تشکیل می شود. ناحیه دوم (B) که در این ناحیه ترکیب شیمیایی آلیاژ برای تشکیل ذرات لجن به شکل ترکیبات چندوجهی مناسب است و ناحیه سوم (C) که فقط ترکیبات حروف چینی در آن تشکیل می شوند. از آنجاکه ذرات لجن و فازهای سوزنی β تأثیرات نامطلوب بر خواص آلیاژ دارند، به نظر می رسد بهتر است ترکیب شیمیایی آلیاژ به نحوی کنترل شود که در محدوده سوم (C) قرار بگیرد.

علاوه بر تأثیری که آهن ومنگنز بر نوع ترکیبات بین فلزی حاوی آهن دارند، مقدار فازهای بین فلزی که در آلیاژ تشکیل می شوند به مقدار این دو عنصر وابسته است. این تأثیر در شکل (۴) با رسم تغییر درصد مساحت کل فازهای بین فلزی برحسب مقدار منگنز به ازاء مقادیر مختلف آهن نشان داده شده است. مشاهده می شود درصورت ثابت بودن مقدار آهن، با افزایش منگنز درصد مساحت کل فازهای بین فلزی افزایش می یابد. روند مشابهی با ثابت بودن مقدار منگنز و تغییر مقدار آهن دیده می شود. بنابراین، به طور کلی افزایش مقدار آهن و منگنز تمایل به تشکیل ترکیبات بین فلزی حاوی آهن را

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲ : ریزساختار آلیاژ ۳۱۹ دارای الف) Mn٪۰/۶-Fe٪۰/۶ ، ب) Mn٪۰/۹-Fe٪۰/۶ ، ج) Mn٪۰/۶-Fe٪۱ ، د) Mn ٪۰/۹-Fe٪۱ ، ه) Mn٪۰/۶-Fe٪۱/۴ و ز) Mn ٪۰/۹-Fe٪۱/۴ .

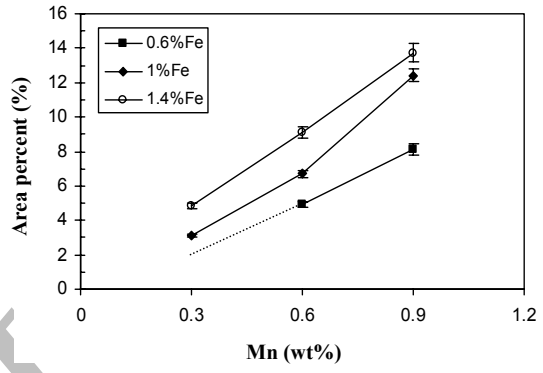


شکل ۳ : محدوده ترکیب شیمیایی برای تشکیل فاز α و β در آلیاژ ۳۱۹ .

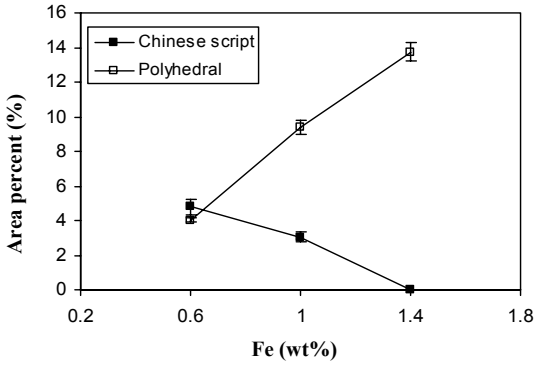
Archive of SID

www.SID.ir

افزایش می دهد. اما به منظور بررسی اینکه چه کسری از این ترکیبات، فاز حروف چینی و چه کسری چندوجهی است، تغییرات درصد مساحت هر فاز در مقدار ثابت منگنز (Mn =۰/۹٪) به ازاء مقادیر مختلف آهن در شکل (۵) رسم شده است. کاملا" آشکار است وقتی مقدار منگنز ثابت در نظر گرفته می شود، افزایش آهن باعث زیاد شدن کسر فازهای چندوجهی و کاهش مقدار فاز حروف چینی می شود. بنابراین هنگام استفاده از منگنز به عنوان خنثی کننده اثر آهن باید در انتخاب مقدار آن دقت داشت.



شکل ۴ : تغییرات درصد مساحت کل فازهای بین فلزی با مقدار آهن و منگنز .



شکل ۵ : تغییر درصد مساحت کل فازهای حروف چینی و چندوجهی با مقدار آهن (Mn =۰/۹٪) .

تأثیر محلول سازی

جهت بررسی تأثیر فرآیند محلول سازی بر فاز حروف چینی α و فاز چندوجهی α، چهار گروه آلیاژی ۳۱۹ حاوی آهن و منگنزبه ترتیب با ترکیب شیمیایی ۱٪Fe+۰/۶٪Mn (F10M6)، ۱٪Fe+۰/۹٪Mn (F10M9)، ۱/۴٪Fe+۰/۶٪Mn (F14M6) و ۱/۴٪Fe+۰/۹٪Mn (F14M9) انتخاب شدند. تأثیر محلول سازی بر مورفولوژی و اندازه ذرات فازهای تشکیل شده در حضور منگنز برای دو گروه از این آلیاژها در شکلهای (۶) و (۷) آورده شده است.

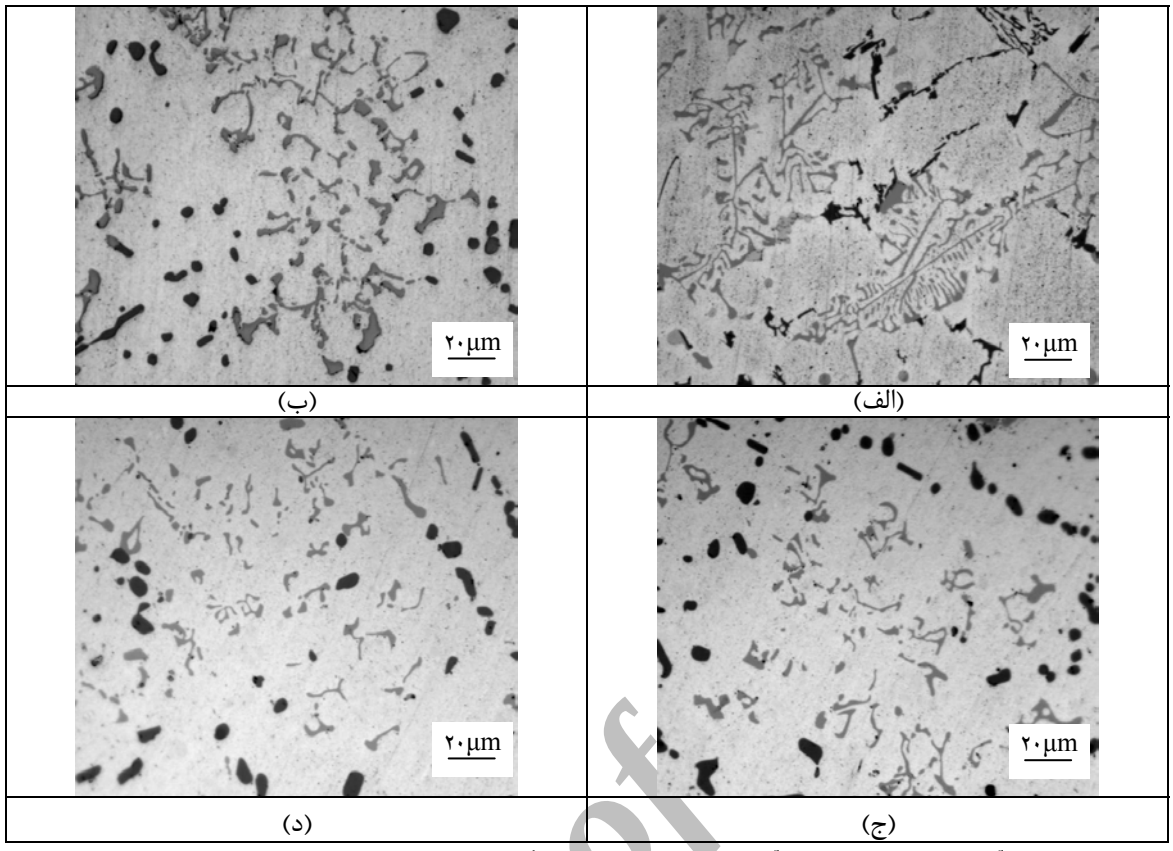
شکل (۶) نشان می دهد که محلول سازی آلیاژ F10M6 به مدت ۲۶ ساعت تا حد چشمگیری سبب تکه تکه شدن و حل شدن بخش اعظم ذرات حروف چینی شده است. عملیات محلول سازی آلیاژهای F10M9 ، F14M6 و F14M9 نه تنها باعث تکه تکه شدن فازهای چندوجهی شده است، بلکه تغییر مورفولوژی آنها به ذرات حروف چینی مشهود می باشد و درنهایت فاز حروف چینی حاصل شده از ذرات فاز چندوجهی α ، خود پس از ۲۶ ساعت محلول سازی تکه تکه شده و حل شده اند.

منحنی تغییر درصد مساحت با زمان محول سازی برای هر فاز در آلیاژهای F10M6 و F10M9 در شکل (۸) و برای آلیاژهای F14M6 و F14M9 در شکل (۹) آورده شده است. همانگونه که در شکل (۸) مشخص است، درصد مساحت فاز حروف چینی α در آلیاژ F10M6(۱٪Fe+۰/۶٪Mn) با افزایش زمان محلول سازی کاهش یافته است. به طوری که میزان این کاهش پس از ۲۶ ساعت محلول سازی، حدود ۳۶ درصد است. این موضوع مبین حل شدن فاز α در اثر محلول سازی است. به هرحال انحلال فاز حروف چینی α به دلیل محدودیت حد انحلال آهن در آلومینیم، کامل نخواهد بود.

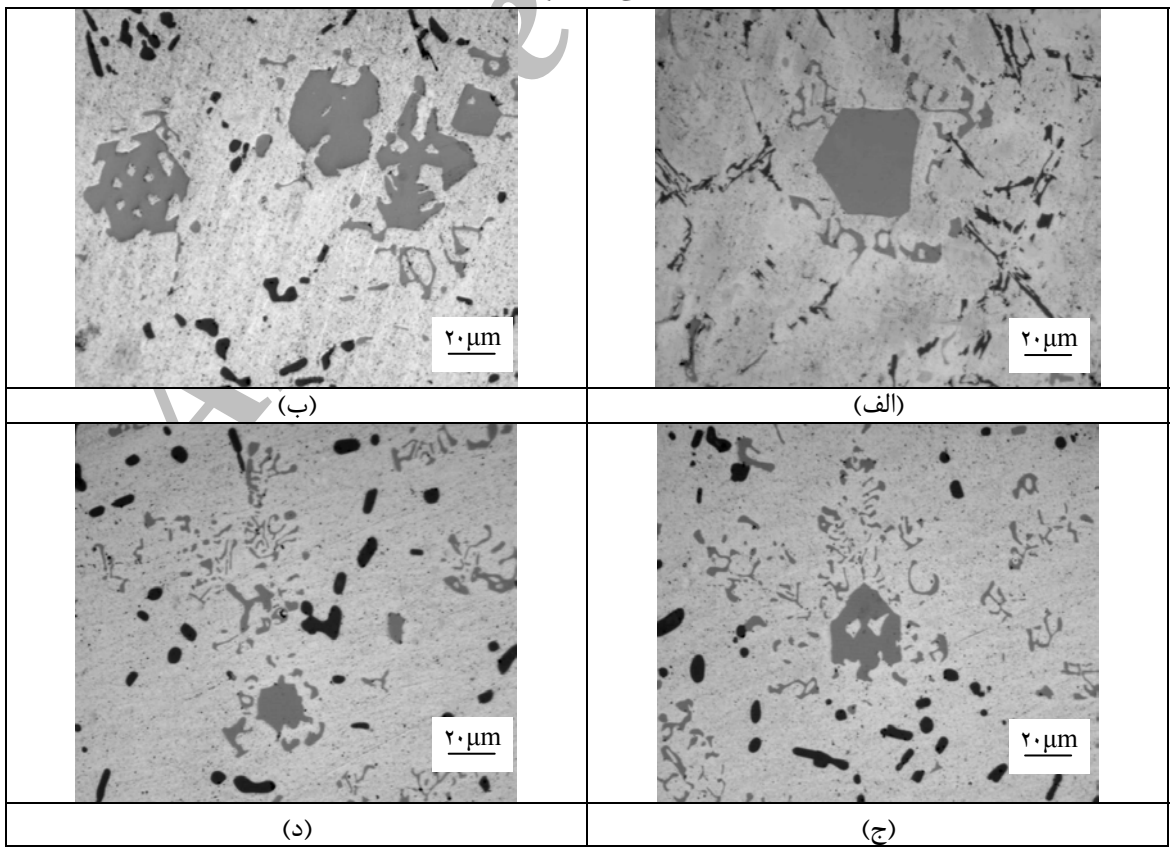
همانطور که شکل (۸) نشان می دهد، روند تغییرات درصد مساحت فاز α در آلیاژ F10M9 کمی متفاوت است. منحنی مربوط به درصد مساحت فازهای چندوجهی بیانگر کاهش مداوم این فاز در زمینه آلیاژ است. اما درصد مساحت ذرات حروف چینی تا ۱۴ ساعت افزایش یافته و پس از آن بدون تغییر مانده و یا حتی کاهش یافته است. چنین به نظر می رسد که تا ۱۴ ساعت محلول سازی، با تبدیل شدن مورفولوژی فاز α از چندوجهی به حرف چینی، درصد مساحت فاز حروف چینی افزایش یافته و پس از آن حل شدن و تکه تکه شدن فازهای حروف چینی این افزایش را جبران نموده است. به هر حال، همانگونه که در شکل دیده می شود، میزان مساحت کل مربوط به هر دو فاز پس از ۲۶ ساعت محلول سازی کاهش چشمگیر داشته است. این کاهش درصد مساحت، بیانگر انحلال فاز α با زمان محلول سازی است.

تغییر درصد مساحت فاز α برای آلیاژ F14M6 روندی مشابه آلیاژ F10M6 دارد. با این تفاوت که کاهش درصد

Archive of
www.SID.ir

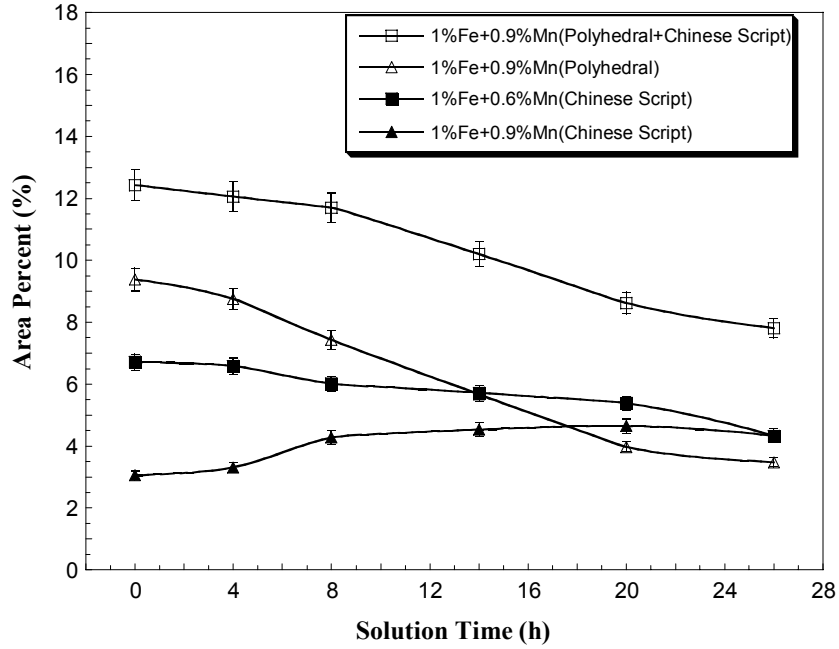


شکل ۶ : ریزساختار آلیاژ ۳۱۹ حاوی ۱ درصد آهن و ۰/۶ درصد منگنز الف) قبل از محلول سازی و پس از محلول سازی به مدت زمانهای ب) 8h ، ج) 20h و د) 26h .

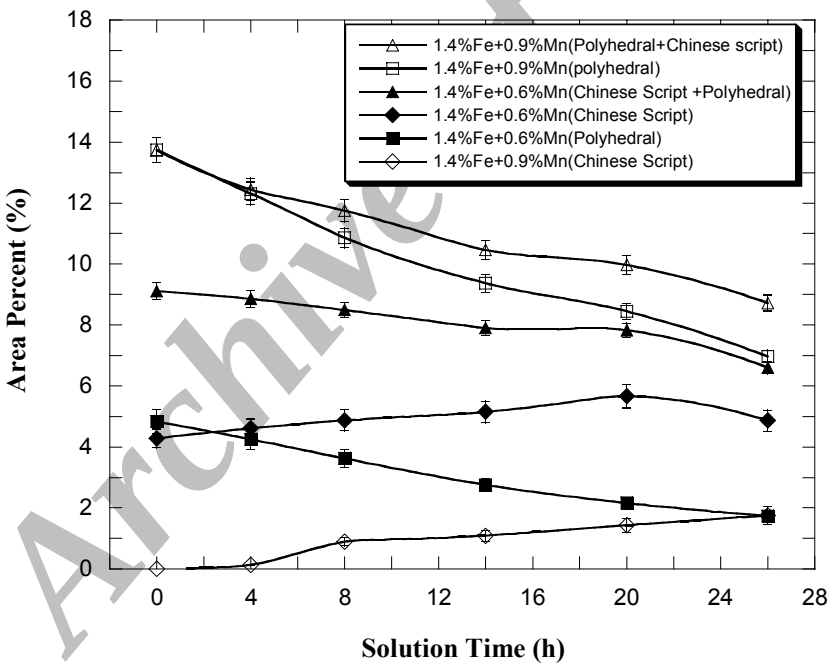


شکل ۷ : ریزساختار آلیاژ ۳۱۹ حاوی ۱/۴ درصد آهن و ۰/۶ درصد منگنز الف) قبل از محلول سازی و پس از محلول سازی به مدت زمانهای ب) 8h ، ج) 20h و د) 26h .

www.SID.ir



شکل ۸ : تغییرات درصد مساحت فاز α با زمان محلول سازی برای آلیاژهای F10M6 و F10M9



شکل ۹ : تغییرات درصد مساحت فاز α با زمان محلول سازی برای آلیاژهای F14M6 و F14M9 .

مساحت و درواقع انحلال فاز حروف چینی در این آلیاژ پس از ۲۰ ساعت محلول سازی حاصل می شود. دقت در منحنی تغییر درصد مساحت کل فاز α و درصد مساحت فاز چندوجهی در آلیاژ F14M9 با زمان محلول سازی نشان دهنده کاهش مداوم و درنتیجه حل شدن فاز α است. علاوه براین، مشاهده می شود که درصد مساحت فاز حروف چینی α در این آلیاژ از صفر تا ۱/۷۵ درصد افزایش یافته است. این مطلب بیانگر تبدیل فاز α از مورفولوژی چندوجهی به حروف چینی است.

مکانیزم تغییرات مورفولوژی و مقدار فاز α در آلیاژهای ۳۱۹ حاوی آهن و منگنز، از طریق بررسی ترکیب شیمیایی هر فاز قبل و بعد از محلول سازی انجام شد.

Archive of SID
www.SID.ir

اطلاعات مربوط به آنالیز نقطه ای در جدول (۳) گزارش شده است.

مقایسه ترکیب شیمیایی فاز α در آلیاژ F10M9 قبل و پس از محلول سازی نشان می دهد که مقدار Si و Fe در فاز حروف چینی کاهش و مقدار Al افزایش یافته است. بنابراین به نظر می رسد انحلال فاز حروف چینی α از طریق پس زدن آهن و سیلیسیم به زمینه آلیاژ صورت گرفته باشد. در توضیح این پدیده می توان گفت که درواقع وجود انحنا در سطوح بازوهای فاز α (بعنوان مثال در شکل ۶ ب)، انرژی سطحی را تغییر می دهد و بنابراین، انتقال جرم و نفوذ اتمهای Si از فاز α با مورفولوژی حروف چینی به زمینه آلیاژ در این نقاط تسریع می شود. این موضوع باعث ایجاد گلویی در قسمتهایی از بازوی حروف چینی شده و با ادامه فرآیند، تکه های از این فاز جدا می شود.

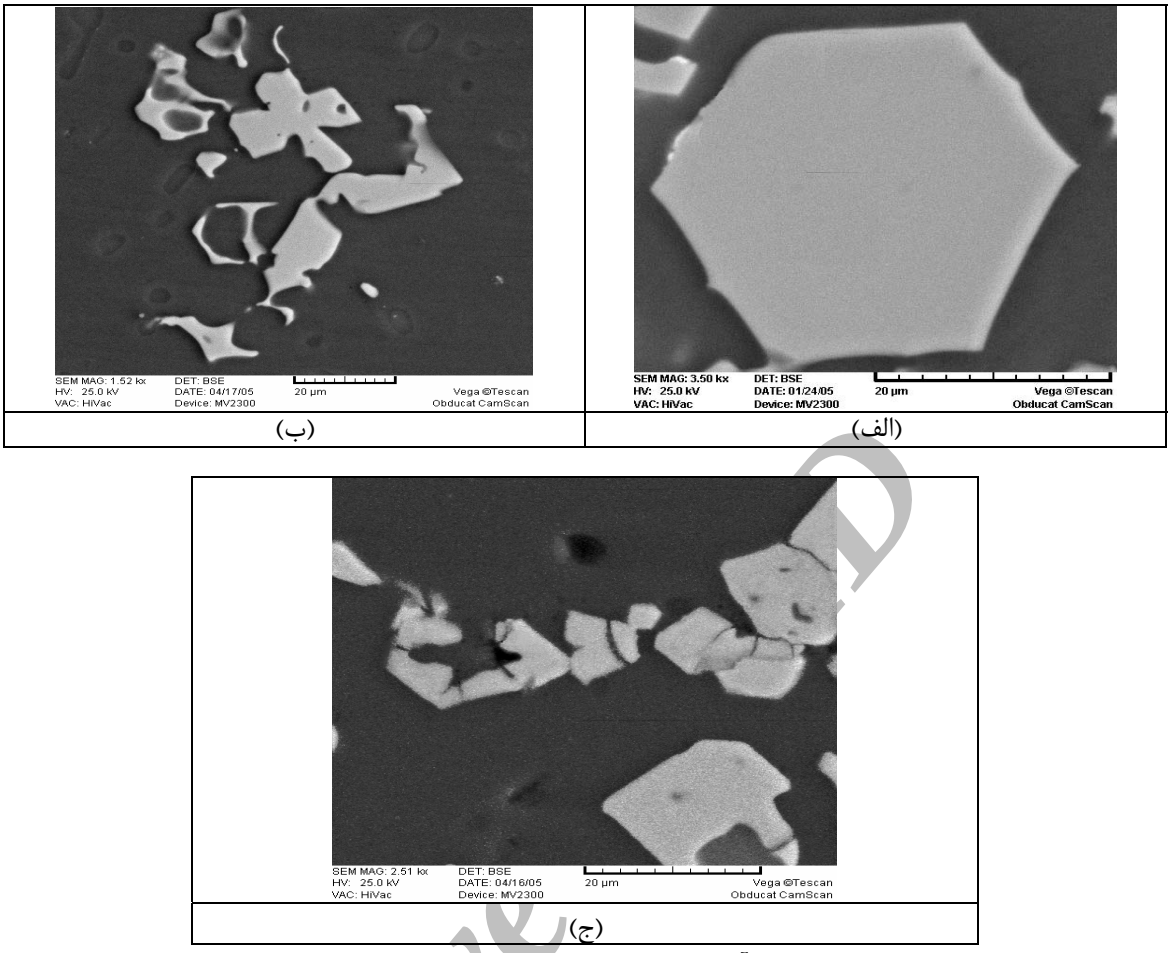
ترکیب شیمیایی فاز چندوجهی α در نمونه F10M9 قبل و پس از محلول سازی نشان می دهد که تکه تکه شدن این فاز از طریق پس زدن عنصر سیلیسیم به بیرون انجام شده است، بطوریکه خروج سیلیسیم از فاز چندوجهی باعث ایجاد فرورفتگی در فاز چند وجهی می شود. با ادامه فرآیند، این فرورفتگی گسترش یافته و درنهایت تکه هایی از این فاز جدا می شود. علاوه براین، تغییر ترکیب شیمیایی با ایجاد ترکهای سراسری در فاز چندوجهی سبب تبدیل آن به تکه های کوچک تر می شود و به این ترتیب فرآیند انحلال را سرعت می بخشد. تصویر میکروسکپ الکترونی در شکل (۱۰) فاز چند وجهی را در آلیاژ F14M9 قبل و بعد از محلول سازی مقایسه می کند. تصویر آنالیز X-Ray map که از فازهای بین فلزی در آلیاژ F10M9 پس از ۲۶ ساعت محلول سازی تهیه شده، در شکل (۱۱) ارائه شده است. توزیع Al، Si، Fe و Mn در فاز حروف چینی و چندوجهی در این تصویر نشان داده شده است. به هرحال، ترکیب شیمیایی فاز چندوجهی بعد از محلول سازی شبیه ترکیب شیمیایی فاز حروف چینی قبل از عملیات حرارتی است. بنابراین منطقی به نظر می رسد که تکه های جدا شده فاز چندوجهی به ذرات حروف چینی تبدیل شده باشند. همچنین از آنجا که حلالیت آهن در آلومینیم جامد محدود است، پیداست که فازهای بین فلزی حاوی آهن بیشتر تمایل داشته باشند که از یک فاز به فاز دیگر تبدیل شوند و یا اینکه تمایل داشته باشند تکه تکه شده ویا کروی شوند. این موضوع هم می تواند دلیلی برای تبدیل فاز α از مورفولوژی چندوجهی به حروف چینی باشد. شکل شماتیک تغییر فاز α با زمان محلول سازی در شکلهای (۱۲) و (۱۳) برای فاز حروف چینی و چندوجهی آمده است.

جدول ۳ : ترکیب شیمیایی فاز α قبل و بعد از محلول سازی.

نوع نمونه	وضعیت	نوع فاز	عنصر(درصد اتمی)			
			Al	Si	Fe	Mn
۱٪Fe+۰/۶٪Mn (F10M6)	قبل از محلول سازی	α حروف چینی	۸۰/۳۴	۱۰/۰۴	۵/۰۵	۴/۵۷
	بعد از محلول سازی		۸۲/۳۳	۸/۱۲	۵/۹۵	۳/۶۰
۱٪Fe+۰/۹٪Mn (F10M9)	قبل از محلول سازی	α حروف چینی	۷۴/۳۳	۱۰/۵۵	۹/۱۷	۵/۹۶
	بعد از محلول سازی		۸۱/۶۶	۷/۳۶	۵/۳۰	۵/۶۹
	قبل از محلول سازی	α چندوجهی	۶۸/۲۵	۱۲/۵۰	۸/۲۲	۱۱/۰۲
	بعد از محلول سازی		۷۲/۳۷	۹/۵۵	۷/۹۲	۱۰/۱۶
۱/۴٪Fe+۰/۶٪Mn (F14M6)	قبل از محلول سازی	α حروف چینی	۷۱/۶۳	۱۰/۶۹	۸/۳۲	۹/۳۶
	بعد از محلول سازی		۷۶/۲۷	۷/۱۲	۶/۰۷	۱۰/۵۴
	قبل از محلول سازی	α چندوجهی	۶۹/۴۵	۱۱/۹۵	۱۰/۴۷	۸/۱۳
	بعد از محلول سازی		۷۳/۰۸	۸/۹۴	۷/۹۱	۱۰/۰۷
۱/۴٪Fe+۰/۹٪Mn (F14M9)	قبل از محلول سازی	α حروف چینی	۰	۰	۰	۰
	بعد از محلول سازی		۷۴/۱۵	۹/۱	۷/۳۸	۹/۳۷
	قبل از محلول سازی	α چندوجهی	۷۰/۳۶	۱۰/۴۵	۱۰/۱۵	۹/۰۴
	بعد از محلول سازی		۷۲/۶۸	۸/۲۳	۷/۴۶	۱۱/۶۳

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۰ : تصویر میکروسکپ الکترونی فاز α در آلیاژ F14M9 الف) قبل از محلول سازی ، ب) و ج) پس از محلول سازی. به جداشدن ذرات حروف چینی در شکل (ب) و ترکدار شدن ذرات در شکل (ج) توجه شود.

نتیجه گیری

۱- با اضافه شدن ٪۰/۳ منگنز به آلیاژ ۳۱۹ که بیش از ٪۰/۶ آهن دارد، امکان تغییر مورفولوژی فازهای حاوی آهن از سوزنی به مورفولوژی دیگر فراهم نمی شود. بنابراین اهمیت منگنز نسبت به آهن در تغییر فاز حاوی آهن از β به α بیشتر است.

۲- در آلیاژهای ۳۱۹ حاوی ۰/۶ و ۱ درصد آهن، با افزایش مقدار منگنز به ترتیب به ۰/۶ و ۰/۹ درصد وزنی، فاز حروف چینی جایگزین فاز β می شود. با رسیدن مقدار منگنز به ٪۰/۹ حضور ذرات چندوجهی در کنار حروف چینی بیشتر شده که این جایگزینی احتمالا در کاهش خواص مکانیکی موثر است.

۳- در آلیاژ ۳۱۹ حاوی ٪۱/۴ آهن، در حضور ٪۰/۶ منگنز ذرات چندوجهی α تشکیل می شوند و با زیاد شدن مقدار منگنز به ٪۰/۹، اثری از ذرات حروف چینی در ریزساختار دیده نمی شود.

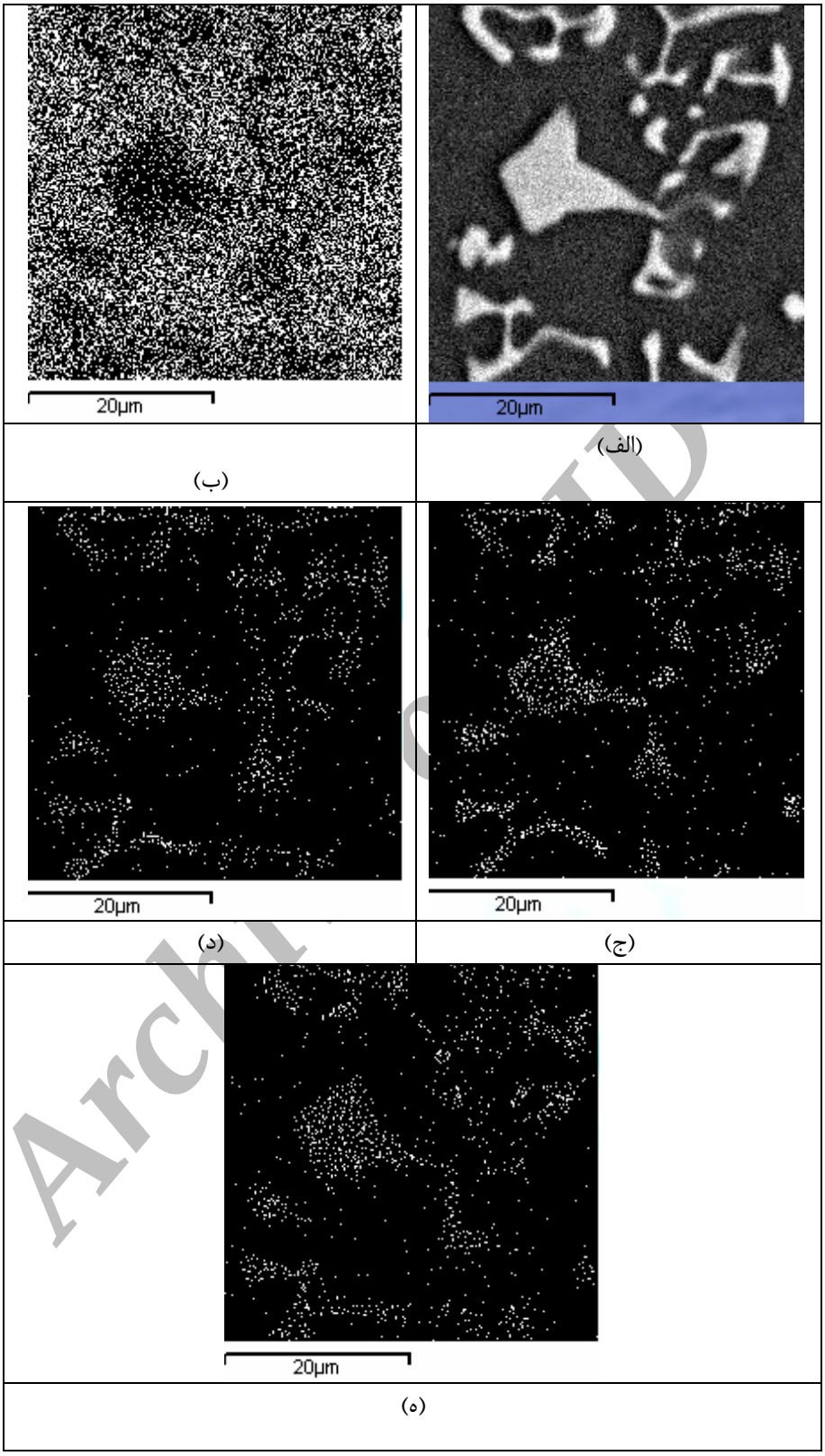
۴- با زیاد شدن مقدار آهن و منگنز، درصد مساحت کل فازهای بین فلزی حاوی آهن افزایش می یابد.

۵- محلول سازی سبب حل شدن و تکه تکه شدن فاز حروف چینی α می شود. این پدیده در اثر نفوذ اتمهای Si به زمینه آلیاژ اتفاق می افتد.

۶- عملیات محلول سازی با حل کردن فاز چندوجهی باعث کاهش درصد مساحت این فاز در زمینه آلیاژ می شود. همچنین با تغییر ترکیب شیمیایی فاز چندوجهی α، امکان تغییر مورفولوژی آن به حروف چینی فراهم می شود.

۷- تمایل به تبدیل مورفولوژی α از چندوجهی به حروف چینی در اثر محلول سازی، به دلیل محدود بودن حد حلالیت آهن در آلومینیم جامد است.

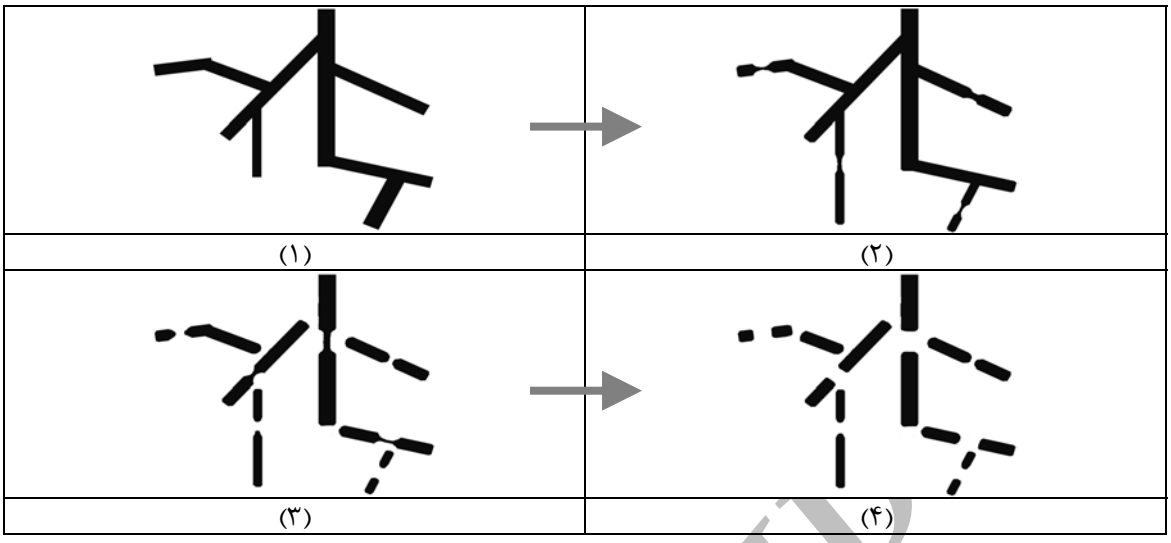
Archive of SID
www.SID.ir



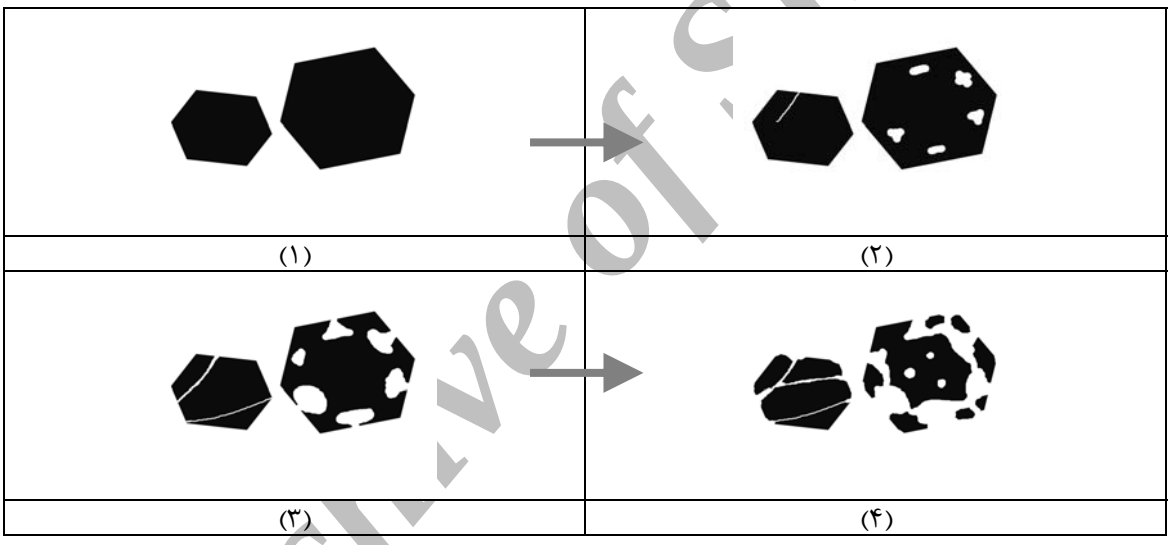
شکل ۱۱ : تصویر X-Ray بدست آمده از آلیاژ F14M6 پس از محلول سازی به مدت ۲۶ ساعت: الف)تصویر الکترون برگشتی ، ب)توزیع آلومینیم ، ج)توزیع سیلیسیم ، د) توزیع آهن و ه)توزیع منگنز.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۲ : شماتیک تغییر فاز حروف چینی با زمان محلول سازی



شکل ۱۳ : شماتیک تغییر فاز چندوجهی با زمان محلول سازی.

مراجع

1-*ASM Handbook; Aluminium and Aluminium alloys* (1993). 3rd ed.

2 - Wang, L., Apelian, D. and Makhlouf, M. M. (1999). "Iron-Bearing compounds in Al-Si diecasting alloys: morphology and conditions under which they form." *AFS Transactions*, Vol. 107, PP. 231-238.

3 - Murali, S., Raman, K. S. and Murthy, K. S. S. (1994). "Morphological studies on β-$FeSiAl_5$ phase in Al-7Si-0.3Mg alloy with trace additions of Be, Cr and Co." *Materials Characterization*, Vol. 33, PP. 99-112.

4 - Ashtari, P., Tezuka, H. and Sato, T. (2004). "Influence of Li addition on intermetallics compound morphologies in Al-Si-Cu-Fe cast alloys." *Scripta Materialia*, Vol. 51, PP. 43-46.

5 - Pennors, A., Samuel, A. M., Samuel, F. H. and Doty, H. W. (1998). "Precipitation of β-Al5FeSi Iron intermetallic in Al-6%Si-3.5%Cu (319) type alloys: role of Sr and P." *AFS Transactions*, Vol. 106, PP. 251-264.

Archive of SID
www.SID.ir

6 - Samuel, A. M., Samuel, F. H. and Doty, H. W. (1996). “Observations on the formation of β-Al5FeSi Phase in 319 type Al-Si alloys.” *J. of Materials Sience*, Vol. 31, No. 20, PP.5529-5539.

7 - Lakshmanan, A. N., Shabestari, S. G. and Gruzleski, J. E. (1995). "Microstructure control of Iron intermetallics in Al-Si casting alloys.” *Z.Metallkd*, Vol. 86, No. 7, PP. 457-464.

8 - Narayanan, L. A., Samuel, F. H. and Gruzleski, J. E. (1994). “Crystallization behavior of Iron-containing intermetallic compounds in 319 Aluminium alloy." *Met. and Mat. Transactions A*, Vol. 25, No. 8, PP. 1761-1773.

9 - Samuel, F. H., Ouellet, P., Samuel, A. M. and Doty, H.W. (1998). “Effect of Mg and Sr additions on the formation of intermetallics in Al-6 wt pct Si-3.5 wt pct Cu-(0.45) to (0.8) wt pct Fe 319-type alloys.” *Met. and Mat. Transactions A*, Vol. 29, PP. 2871-2884.

10 - Mbuya, T. O., Odera, B. O. and Nganga, P. (2003). “Influence of iron on castability and properties of aluminium silicon alloys; literature review.” *Int. J. of Cast Metals research*, 16.

11 - Villeneuve, C. and Samuel, F. H. (1999). “Fragmentation and dissolution of β-Al_5FeSi phase during solution heat treatment of t%Si-Fe alloys.” *Int. J. of Cast Metals research*, Vol. 12, PP. 145-160.

12 - Awano, Y. and Shimizu, Y. (1990). “Non-equilibrium crystallization of AlFeSi compound in melt-superheated Al-Si alloy castings.” *AFS Transactions*, Vol. 98, PP. 889-895.

13 - Narayanan, L. A., Samuel, F. H. and Gruzleski, J. E. (1995). “Dissolution of iron intermetallics in Al-Si alloys through nonequilibrium heat treatment.” *Met. and Mat.s Transactions A*, Vol. 26A, PP. 2161-2174.

14 - Samuel, F. H. (1998). “Incipient melting of Al5Mg8Si6Cu2 and Al2Cu intermetallics in unmodified and strontium-modified Al-Si-Cu-Mg(319) alloys during solution heat treatment.” *J. of Materials Science*, Vol. 33, PP. 2283-2297.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1- Chinese script
2- Polyhedral

Archive of SID

www.SID.ir