وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

دانشکده فنی و مهندسی

تاثیر عناصر Ti و Zr و عملیات حرارتی بر ریز ساختار و خواص کششی آلیاژ Al4CuPbMg تهیه شده توسط فرایند SIMA

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد

گرایش شناسایی و انتخاب مواد فلزی

حامد کریمی جعفری

اساتید راهنما:

دکتر احمد رزاقیان

دکتر مسعود امامی

بهمن ماه ۱۳۹۲

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

IMAM KHOMEINI INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مواد

تاثیر عناصر Ti و Zr و عملیات حرارتی بر ریز ساختار و خواص کششی آلیاژ Al4CuPbMg تهیه شده توسط فرایند SIMA

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد

گرایش شناسایی و انتخاب مواد فلزی

حامد کریمی جعفری

اساتید راهنما:

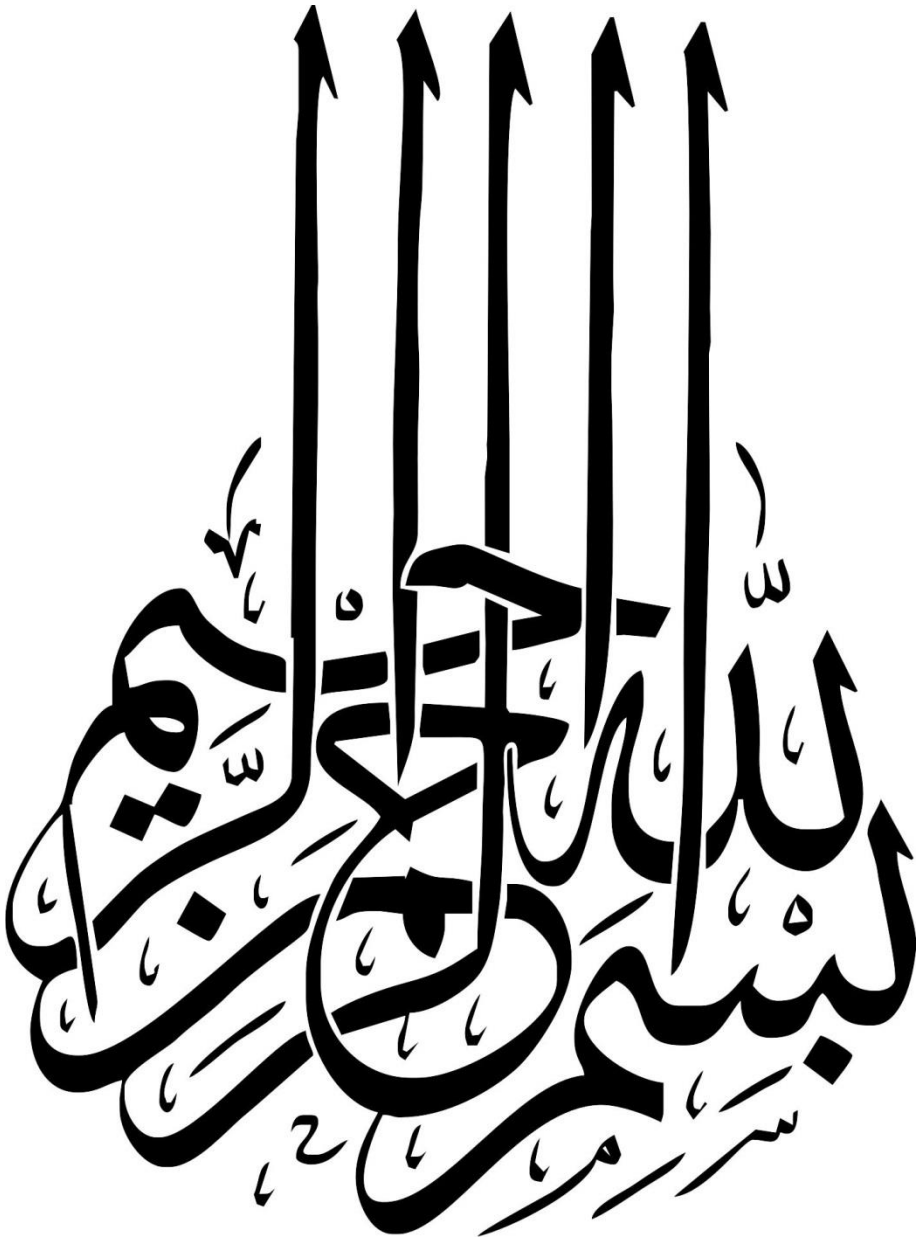
دکتر احمد رزاقیان

دکتر مسعود امامی

استاد مشاور:

دکتر رضا تقی آبادی

بهمن ماه ۱۳۹۲


بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، معرفت را، عشق را...

و تقدیم به پدر و مادر مهربانم

که هر لحظه وجودم را از چشمه سار پر از عشق چشمانشان سیراب می کنند...

سپاسگزاری:

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

سپاس از پدر و مادر عزیزم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان و به پاس قلب های بزرگشان که مرا پروراندند و درس زندگیم آموختند.

صمیمانه ترین سپاس ها را تقدیم میکنم به اساتید گرانقدر؛ جناب آقایان دکتر احمد رزاقیان و دکتر مسعود امامی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت هدایت این پژوهش را بر عهده گرفتند.

سپاس فراوان تقدیم به محضر تمام دوستان ارجمندم که در این عرصه مرا یاری نموده اند و تمامی عزیزانی که به من آموختند.

و نیز به گفته کورش کبیر:

تمام سپاسم از آن کسانی که به من نیازی نداشتند اما فراموشم نکردند...

چکیده :

در این پژوهش، پس از ساخت آلیاژ Al-4.0Cu-1.2Pb-1.1Mg-0.8Mn، عناصر جوانه زای Al-5Ti-1B و Al-15Zr به آلیاژ پایه در درصدهای مختلف وزنی افزوده شد و سپس درصد بهینه عناصر جوانه زا بدست آمد. در ادامه به منظور دست یابی به ساختاری کاملا ریزدانه و کروی برای شکل دهی در ناحیه نیمه جامد، فرآیند ترمومکانیکی SIMA (Strain Induced Melt Activation) بر آلیاژ ۲۰۰۷ در حالت پایه اعمال شد و شرایط بهینه بدست آمد. پس از آن آلیاژ ۲۰۰۷ ریزدانه سازی شده با مقادیر بهینه Ti و Zr، تحت فرایند SIMA قرار گرفتند. جهت دست یابی به شرایط بهینه فرآیند SIMA به بررسی پارامترهای این فرآیند اعم از میزان تغییر شکل اولیه، دما و زمان نگهداری در ناحیه نیمه جامد، پرداخته شد. ساختار نمونه های حاوی تیتانیم و زیرکونیم دارای دانه های ریزتری نسبت به نمونه های بدون جوانه زا بودند و اثر تیتانیم روی ریزدانگی بیشتر از زیرکونیم بود. نتایج حاصل از بررسی متغیرهای فرآیند SIMA نشان داد که هر چه درصد کارمکانیکی اولیه بیشتر باشد، دانه های جامد نهایی ریز تر و کروی تر خواهند بود. همچنین مشاهده گردید که با افزایش دمای نگهداری در ناحیه نیمه جامد و یا با گذشت زمان در مناسب ترین دمای نیمه جامد مذکور، ساختار نهایی، کروی تر و درشت تر می شود. نتایج نشان داد که ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه و نگهداری در دمای ۶۱۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه، شرایط بهینه اعمال فرآیند SIMA بر آلیاژ ۲۰۰۷ می باشد. نتایج بدست آمده از بررسی تاثیر عناصر جوانه زا بر ساختار نهایی آلیاژ ۲۰۰۷، بعد از اعمال فرآیند SIMA، حاکی از عدم تاثیر چشم گیر این عناصر بر اندازه دانه ها در ساختار نهایی بود، ولی آمیژان Al-5Ti-1B تاثیر بسزایی در افزایش میزان کروی شدن ساختار آلیاژ ۲۰۰۷، بعد از اعمال فرآیند SIMA داشت. نتایج بدست آمده از بررسی خواص کششی آلیاژ نیز نشان دهنده بهبود استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبی برای آلیاژهای کروی شده با فرایند SIMA است و اثر تیتانیم روی بهبود رفتار مکانیکی بیشتر از زیرکونیم بود.

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۲

۲- مروری بر منابع ۶

۲-۱- آلومینیم و آلیاژهای آن ۶

۲-۲- آلیاژهای آلومینیم سری ۲xxx و کاربردهای آنها ۷

۲-۲-۱- آلیاژ ۲۰۰۷ ..... ۱۲

۲-۳- ساختار انجمادی شمش های آلیاژهای آلومینیم ۱۲

۲-۳-۱- ساختار دندریتی ۱۳

۲-۴- شناسایی فازها در آلیاژهای آلومینیم سری ۲xxx ۱۵

۲-۵- عملیات حرارتی آلیاژهای آلومینیم ۱۷

۲-۵-۱- استحکام بخشی آلیاژهای آلومینیم سری ۲xxx ۱۸

۲-۵-۲- رسوبات و فازهای ثانویه استحکام بخش در آلیاژ ۲۰۰۷ ..... ۲۰

۲-۶- تاثیر عناصر جوانه زا در آلیاژهای آلومینیم سری ۲xxx ۲۱

۲-۶-۱- مکانیزم های جوانه زایی ۲۷

۲-۶-۲- تئوری پریتکتیک ۲۷

۲-۶-۳- تئوری ذرات کاربید-بوراید ۲۹

۲-۶-۴- تئوری بوراید شبه پایدار ۲۹

۲-۶-۵- تئوری ترکیبی ۳۰

۲-۶-۶- آمیژان Al-Zr ۳۱

۲-۷- فرآیندهای شکل دهی در حالت نیمه جامد ۳۲

۲-۸- راه های تبدیل مورفولوژی دندریتی به کروی ۳۴
۲-۸-۱- روش هم زدن الکترومغناطیسی و مکانیکی ۳۵
۲-۸-۲- روش کرنش اعمالی جهت فعال سازی مذاب (SIMA) ۳۶
۲-۸-۲-۱- مکانیزم فرآیند SIMA ۳۸
۲-۸-۲-۲- مراحل تبدیل مورفولوژی دندریتی به کروی در فرآیند SIMA ۳۹
۲-۸-۲-۳- مدل سازی فرآیند SIMA ۴۰
۲-۸-۲-۴- نقش تغییر شکل اولیه در ریزساختار حاصل از فرآیند SIMA ۴۲
۲-۸-۲-۵- تاثیر دمای نگهداری بر ریزساختار نهایی نمونه های تهیه شده به روش SIMA ۵۰
۲-۸-۲-۶- تاثیر زمان نگهداری بر ریزساختار نهایی نمونه های تهیه شده به روش SIMA ۵۶
۲-۸-۲-۷- مکانیزم رشد دانه ها در فرآیند SIMA ۵۸
۲-۸-۲-۸- تاثیر ابعاد نمونه ها برساختار نهایی حاصل از فرآیند SIMA ۵۹
۲-۸-۲-۹- تعیین کسر مذاب در فرآیند SIMA ۶۱
۲-۸-۲-۱۰- تاثیر افزودن مواد جوانه زا بر ریزساختار نهایی آلیاژهای تهیه شده به روش SIMA ۶۲
۲-۸-۲-۱۱- خواص مکانیکی آلیاژهای تهیه شده به روش SIMA ۶۵
۳- روش انجام آزمایش ۷۰
۳-۱- تهیه آلیاژ ۲۰۰۷ ..... ۷۰
۳-۲- ذوب مجدد و افزودن آمیژان ها ۷۰
۳-۳- اعمال تغییر شکل اولیه ۷۱
۳-۴- عملیات حرارتی در ناحیه نیمه جامد ۷۲
۳-۵- آزمایش های انجام شده جهت مطالعه ریزساختار و خواص مکانیکی ۷۲

۳-۵-۱- مطالعات ریزساختاری از طریق میکروسکوپ نوری ۷۳
۳-۵-۲- مطالعات ریزساختاری از طریق میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۷۴
۳-۵-۳- آنالیز فازی از طریق دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) ۷۴
۳-۵-۴- ارزیابی خواص مکانیکی از طریق تست کشش ۷۵
۳-۵-۵- تخلخل سنجی ۷۶
۴- نتایج و بحث ۷۸
۴-۱- مطالعات ساختاری ۷۸
۴-۱-۱- تاثیر عناصر جوانه زا بر ساختار ماکروسکوپی آلیاژ ۲۰۰۷ ..... ۷۸
۴-۱-۲- ارزیابی قدرت ریزدانه کنندگی عناصر جوانه زای تیتانیم و زیرکونیم در آلیاژ ۲۰۰۷ ..... ۷۹
۴-۱-۳- شناسایی فازهای آلیاژ ۲۰۰۷ ..... ۸۳
۴-۱-۴- تاثیر تیتانیم بر ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ ..... ۸۷
۴-۱-۵- تاثیر زیرکونیم بر ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ ..... ۹۰
۴-۱-۶- مقایسه تاثیر عناصر جوانه زای تیتانیم و زیرکونیم بر ساختار آلیاژ ۲۰۰۷ ..... ۹۲
۴-۲- فرآیند SIMA ۹۳
۴-۲-۱- تاثیر دما و زمان نگهداری بر ساختار نهایی نمونه های تهیه شده به روش SIMA ۹۴
۴-۲-۲- تاثیر میزان تغییر شکل اولیه بر ساختار نهایی نمونه های تهیه شده به روش SIMA ۱۰۷
۴-۲-۳- تاثیر فرایند SIMA بر آلیاژ های ۲۰۰۷ جوانه زایی شده با مقادیر بهینه تیتانیم و زیرکونیم ۱۱۰
۴-۲-۴- تاثیر فرآیند SIMA بر نحوه پراکندگی ترکیبات بین فلزی در آلیاژ ۲۰۰۷ ..... ۱۱۴
۴-۲-۵- تخلخل ۱۱۵
۴-۲-۶- بررسی خواص کششی آلیاژ ۲۰۰۷ بعد از اعمال فرآیند SIMA ۱۱۷

۴-۲-۷- شکست نگاری ۱۲۱

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۲۵

منابع و مراجع ۱۲۷

فهرست جدول ها

جدول ۲-۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ ۲۰۰۷ ..... ۱۲

جدول ۲-۲- ترکیبات بین فلزی احتمالی در ریزساختار آلیاژهای آلومینیم سری ۲xxx و ویژگی های آنها ۱۶

جدول ۲-۳- انواع عملیات حرارتی مختلف جهت پیرسخت سازی آلیاژهای آلومینیم ۱۷

جدول ۲-۴- خواص مکانیکی آلیاژ A319 با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه و نگهداری در دمای ۵۸۰ به مدت زمان های گوناگون ۶۶

جدول ۳-۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ مورد استفاده در این پژوهش ۷۰

جدول ۳-۲- تست های انجام شده بر روی نمونه ها در این پژوهش ۷۳

جدول ۳-۳- ترکیب شیمیایی محلول حکاکی کلر مورد استفاده در این پژوهش ۷۴

جدول ۴-۱- میزان تخلخل نمونه ها در مراحل مختلف عملیات آماده سازی برای آزمون خواص کششی ۱۱۶

جدول ۴-۲- نتایج آزمون کشش برای نمونه های مختلف ۱۱۷

فهرست شکل ها

شکل ۲-۱- نمودار توزیع فراوانی آلیاژهای مورد استفاده در صنایع هوا فضا ۸

شکل ۲-۲- بخشی از دیاگرام تعادلی آلومینیم-مس ۱۰

شکل ۲-۳- ریزساختار آلیاژ Al4.0Cu1.2Pb1.1Mg0.8Mn با مقادیر کمی زیرکونیوم ۱۱

شکل ۲-۴- ریزساختار آلیاژ Al4.0Cu1.2Pb1.1Mg0.8Mn با مقادیر کمی تیتانیم ۱۱

شکل ۲-۵- ارتباط میان زمان انجماد و فاصله بازوهای دندریتی برای آلیاژ Al-4.5Cu ۱۴

شکل ۲-۶- تاثیر عنصر مس بر فاصله بازوهای دندریتی در هشت آلیاژ مختلف آلومینیم و پنج سرعت سرد شدن متفاوت ۱۴

شکل۲-۷- ریزساختار آلیاژ A356 منجمد شده در (الف) قالب فلزی و (ب) قالب ماسه ای ۱۵

شکل ۲-۸- نحوه انجام عملیات پیرسختی در آلیاژهای Al-Cu (سری ۲xxx) ۱۹

شکل ۲-۹- تصویر میکروسکوپ الکترون عبوری (TEM) از ذرات Al_3Zr تشکیل شده در آلیاژ Al-Cu-Mg-Zr اصلاح شده با ۰/۱۲ درصد زیرکونیم ۲۳

شکل ۲-۱۰- ساختار ماکروسکوپی آلیاژ Al-12Zn-3Mg-2.5Cu به صورت (الف) ریختگی، (ب) حاوی مقدار بهینه از آمیژان Al-5Ti-1B و (ج) حاوی مقدار بهینه از آمیژان Al-5Zr..... ۲۵

شکل ۲-۱۱- ریزساختار آلیاژ Al-12Zn-3Mg-2.5Cu (الف) در حالت ریختگی و (ب) بعد از عملیات T6.. ۲۶

شکل۲-۱۲- ریزساختار آلیاژ Al-12Zn-3Mg-2.5Cu حاوی (الف) ۰/۰۵ درصد تیتانیم و (ب) ۰/۳ درصد زیرکونیم ۲۶

شکل ۲-۱۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از ذرات (الف) Al_3Ti، (ب) TiB_2 و (ج) AlB_2 ۲۸

شکل ۲-۱۴- شماتیکی از روشهای شکل دهی نیمه جامد (SSF) ۳۴

شکل ۲-۱۵- ریزساختار آلیاژ Al-4.5%Cu تهیه شده به روش هم زدن الکترومغناطیسی (الف) قبل و (ب) بعد از

افزودن مواد جوانه زا ۳۶

شکل ۲-۱۶- شکل نمادین از نحوه اعمال فرآیند SIMA بر آلیاژ Al-12Zn-3Mg-2.5Cu به همراه عملیات همگن سازی ۳۸

شکل ۲-۱۷- مدلی از تغییر ریزساختار در مرحله تغییر شکل از فرآیند SIMA، (الف) بازوی دندریتی، (ب) بازوی دندریتی بعد از میزان اندک تغییر شکل، (ج) ساختار بعد از چرخش دانه ها و طویل شدن آنها، (د) دانه های داخلی بعد از طویل شدن، (ه) جدا شدن دانه ها ۴۱

شکل ۲-۱۸- ریزساختار آلیاژ ۷۰۷۵ تغییر فرم یافته در دمای اتاق به میزان (الف) ۱۰، (ب) ۱۵، (ج) ۲۰، (د) ۳۰ و (ه) ۴۰ درصد و بعد از نگهداری در دمای ۶۲۵ درجه به مدت ۳۰۰ ثانیه و نیز (و) ۱۰، (ز) ۱۵، (ح) ۲۰، (ط) ۳۰ و (ی) ۴۰ درصد و بعد از نگهداری در دمای ۶۲۰ درجه به مدت ۳۰۰ ثانیه ۴۳

شکل ۲-۱۹- تغییرات اندازه متوسط اندازه بر حسب مقادیر گوناگون تغییر شکل و نگهداری در دماهای ۶۱۰، ۶۲۰ و ۶۲۵ درجه با مدت زمانهای ۳۰۰ و ۶۰۰ ثانیه ۴۴

شکل ۲-۲۰- (الف) ریزساختار نمونه ریختگی و نمونه های تغییر شکل یافته به میزان (ب) ۲۰، (ج) ۳۰، (د) ۴۰، (ه) ۵۰ و (و) ۶۰ درصد و نگهداری شده به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۵۸۰ درجه ۴۶

شکل ۲-۲۱- تغییرات فاکتور شکل بر اساس میزان تغییر شکل اولیه و بعد از نگهداری در دمای ۵۸۰ درجه به مدت ۱۵ دقیقه ۴۷

شکل ۲-۲۲- ریزساختار آلیاژ A319 بعد از ۶۰ درصد تغییر شکل اولیه و نگهداری در دمای ۵۶۰ درجه به مدت ۱۰ دقیقه ۴۸

شکل ۲-۲۳- تغییرات اندازه دانه با کرنش موثر در آلیاژ ۲۰۲۴ تهیه شده به روش SIMA ۴۹

شکل ۲-۲۴- تاثیر دمای نگهداری در ناحیه نیمه جامد بر فاکتور شکل آلیاژ ۷۰۷۵ تهیه شده به روش SIMA.. ۵۱

شکل ۲-۲۵- ریزساختار آلیاژ ۳۱۹ تهیه شده به روش SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه و نگهداری در دمای (الف) ۵۷۰، (ب) ۵۸۰ و (ج) ۵۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ دقیقه ۵۲

شکل ۲-۲۶- تغییرات اندازه متوسط دانه ها و فاکنور شکل با دمای نگهداری در ناحیه نیمه جامد به مدت ۵ دقیقه

برای آلیاژ ۷۰۷۵ تغییر شکل یافته به میزان ۴۰ درصد در دو حالت ریزدانه شده و نشده ۵۳

شکل ۲-۲۷- ریزساختار آلیاژ ۶۰۷۰ نورد شده و نگهداری شده در دمای (الف) ۵۸۰، (ب) ۵۹۰، (ج) ۶۰۰، (د) ۶۱۰، (ه) ۶۲۰ و (و) ۶۴۰ به مدت ۱۰ دقیقه ۵۴

شکل ۲-۲۸ – تاثیر دمای نگهداری در ناحیه نیمه جامد بر اندازه متوسط دانه های آلیاژ ۶۰۷۰ تهیه شده به روش SIMA ۵۵

شکل ۲-۲۹- تغییرات فاکتور شکل بر حسب زمان نگهداری در دمای ۵۸۰ درجه برای آلیاژ A319 حاوی ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه ۵۸

شکل ۲-۳۰- زمان نگهداری در دمای ۶۲۰ درجه جهت دست یابی به ساختاری کروی برای نمونه هایی از جنس آلیاژ ۲۰۲۴ در فرآیند SIMA، بر اساس نسبت حجم به سطح آنها ۶۰

شکل ۲-۳۱- ارتباط میان دمای نگهداری در ناحیه نیمه جامد و کسر مذاب برای آلیاژ ۲۰۲۴ ..... ۶۲

شکل ۲-۳۲- ریزساختار آلیاژ حاوی ۴۰ درصد تغییر شکل اولیه Al-12Zn-3Mg-2.5Cu بعد از نگهداری به مدت (الف) ۵، (ب) ۱۰، (ج) ۲۰ و (د) ۴۰ دقیقه و آلیاژ Al-12Zn-3Mg-2.5Cu-0.1Ti بعد از نگهداری به مدت (الف) ۵، (ب) ۱۰، (ج) ۲۰ و (د) ۴۰ دقیقه در دمای ۵۷۰ درجه ۶۳

شکل ۲-۳۳- تصویر حاصل از الکترون های برگشتی (BSE) از آلیاژ Al-12Zn-3Mg-2.5Cu بعد از نگهداری در دمای ۵۷۰ درجه به مدت ۴۰ دقیقه در دو حالت (الف) ریزدانه نشده و (ب) ریزدانه شده با تیتانیم ۶۴

شکل ۲-۳۴- سختی نمونه ها (الف) قبل از اعمال فرآیند SIMA در دو حالت ریزدانه شده و نشده و (ب) بعد از اعمال فرآیند SIMA در دو حالت ریزدانه شده و نشده با تیتانیم، بعد از نگهداری نمونه های حاوی ۴۰ درصد تغییر شکل اولیه به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۵۷۵ درجه ۶۷

شکل ۳-۱- شماتیکی از قالب مورد استفاده برای تهیه نمونه های متالوگرافی ۷۱

شکل ۳-۲- شماتیکی از نمونه تست کشش همراه با ابعاد آن، طبق استاندارد ASTM E8-04 (ابعاد بر حسب میلیمتر است) ۷۵

شکل ۴-۱- ساختار ماکروسکوپی آلیاژ ۲۰۰۷ (الف) بدون مواد جوانه زا و ریزدانه شده با (ب) ۰/۰۱، (ج) ۰/۰۳، (د)

۰/۰۵، (ه) ۰/۱، (و) ۰/۳ و (ز) ۰/۵ درصد وزنی تیتانیم ۷۸

شکل ۴-۲- ساختار ماکروسکوپی آلیاژ ۲۰۰۷ (الف) بدون مواد جوانه زا و ریزدانه شده با (ب) ۰/۰۱، (ج) ۰/۰۳، (د) ۰/۰۵، (ه) ۰/۱، (و) ۰/۳ و (ز) ۰/۵ درصد وزنی زیرکونیم ۷۹

شکل ۴-۳- تغییرات اندازه متوسط دانه ها با افزایش میزان تیتانیم ۸۰

شکل ۴-۴- تغییرات اندازه متوسط دانه ها با افزایش میزان زیرکونیم ۸۱

شکل ۴-۵- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ (الف) بدون افزودن مواد جوانه زا، (ب) حاوی ۰/۳ درصد وزنی زیرکونیم و (ج) حاوی ۰/۰۳ درصد وزنی تینانیوم ۸۲

شکل ۴-۶- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ در بزرگنمایی های مختلف ۸۳

شکل ۴-۷- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از آلیاژ ۲۰۰۷ در بزرگنمایی های مختلف ۸۴

شکل ۴-۸- نتایج آنالیز EDX در نقاط (الف) A، (ب) B و (ج) C..... ۸۶

شکل ۴-۹- الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) از آلیاژ ۲۰۰۷ در حالت پایه ۸۷

شکل ۴-۱۰- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا و حاوی ۰/۰۳ درصد وزنی تیتانیم در بزرگنمایی های مختلف۸۸

شکل ۴-۱۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از آلیاژ ۲۰۰۷ در حالت (الف) ریزدانه شده با ۰/۰۳ درصد وزنی تیتانیم و (ب) بدون جوانه زا ۸۹

شکل ۴-۱۲- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ ریز دانه شده با ۰/۳ درصد وزنی زیرکونیم در بزرگنمایی های مختلف ... ۹۱

شکل ۴-۱۳- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ حاوی (الف) ۰/۰۳ و (ب) ۰/۳ درصد وزنی زیرکونیم ۹۲

شکل ۴-۱۴- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ در حالت (الف) بدون جوانه زا، (ب) ریزدانه شده با آمیژان Al-5Ti-1B و (ج) ریزدانه شده با آمیژان Al-15Zr ۹۳

شکل ۴-۱۵- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرایند SIMA با ۲۰ درصد تغییر شکل اولیه و نگهداری در دماهای (الف) ۶۰۵، (ب) ۶۱۵و (ج) ۶۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه ۹۶

شکل ۴-۱۶- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۲۰ درصد تغییر شکل اولیه و

نگهداری در دماهای (الف) ۶۰۵، (ب) ۶۱۵و (ج) ۶۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ دقیقه ۹۷

شکل ۴-۱۷- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه و نگهداری در دماهای (الف) ۶۰۵، (ب) ۶۱۵و (ج) ۶۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه ۹۸

شکل ۴-۱۸- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه و نگهداری در دماهای (الف) ۶۰۵، (ب) ۶۱۵و (ج) ۶۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ دقیقه ۹۹

شکل ۴-۱۹- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه و نگهداری در دماهای (الف) ۶۰۰، (ب) ۶۰۵، (ج) ۶۱۰، (د) ۶۱۵، (ه) ۶۲۰ و (و) ۶۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه ۱۰۰

شکل ۴-۲۰- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه و نگهداری در دمای ۶۱۵ درجه سانتیگراد به مدت زمان های (الف) ۵، (ب) ۱۰، (ج) ۱۵و (د) ۲۰ دقیقه ۱۰۱

شکل ۴-۲۱- (الف) به هم پیوستن دانه ها در دمای ۶۱۵ درجه سانتیگراد، (ب) فدا شدن دانه های کوچک به نفع دانه های درشت تر در دمای ۶۲۵ درجه سانتیگراد ۱۰۱

شکل ۴-۲۲- تغییر اندازه متوسط دانه ها با دما در آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۲۰ درصد تغییر شکل اولیه در زمان های ۱۰ و ۲۰ دقیقه ۱۰۳

شکل ۴-۲۳- تغییر اندازه متوسط دانه ها با دما در آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه در زمان های ۱۰ و ۲۰ دقیقه ۱۰۳

شکل ۴-۲۴- تغییر میزان کروی شدن ساختار با دما در آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۲۰ درصد تغییر شکل اولیه در زمان های ۱۰ و ۲۰ دقیقه ۱۰۴

شکل ۴-۲۵- تغییر میزان کروی شدن ساختار با دما در آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه در زمان های ۱۰ و ۲۰ دقیقه ۱۰۴

شکل ۴-۲۶- تغییر اندازه متوسط دانه ها با دما در آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه در زمان ۱۰ دقیقه ۱۰۵

شکل ۴-۲۷- تغییر میزان کروی شدن ساختار با دما در آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه در زمان ۱۰ دقیقه ۱۰۵

شکل ۴-۲۸- تغییر اندازه متوسط دانه ها با مدت زمان نگهداری در دمای ۶۱۵ درجه سانتیگراد برای آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه ۱۰۶

شکل ۴-۲۹- تغییر اندازه متوسط دانه ها با مدت زمان نگهداری در دمای ۶۱۵ درجه سانتیگراد برای آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه ۱۰۶

شکل ۴-۳۰- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا، بعد از اعمال فرآیند SIMA با (الف) ۱۰، (ب) ۲۰ و (ج) ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه و نگهداری در دمای ۶۱۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه ۱۰۸

شکل ۴-۳۱- تغییرات اندازه متوسط دانه ها در آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا، با افزایش درصد تغییر شکل اولیه بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۱۰ دقیقه نگهداری در دمای ۶۱۵ درجه سانتیگراد ۱۰۹

شکل ۴-۳۲- تغییرات فاکتور کروی شدن دانه ها در آلیاژ ۲۰۰۷ بدون جوانه زا، با افزایش درصد تغییر شکل اولیه بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۱۰ دقیقه نگهداری در دمای ۶۱۵ درجه سانتیگراد.....۱۰۹

شکل ۴-۳۳- ریزساختار آلیاژ ۲۰۰۷ (الف) بدون جوانه زا، (ب) ریزدانه شده با ۰/۳ درصد وزنی زیرکونیم و (ج) ریزدانه شده با ۰/۰۳ درصد وزنی تیتانیم بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه و نگهداری در دمای ۶۱۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه می باشد.....۱۱۱

شکل ۴-۳۴- مقایسه تغییرات اندازه متوسط دانه ها برای آلیاژ ۲۰۰۷ (الف) در حالت بدون جوانه زا، (ب) ریزدانه شده با ۰/۳ درصد وزنی زیرکونیم و (ج) ریزدانه شده با ۰/۰۳ درصد وزنی تیتانیم بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه و نگهداری در دمای ۶۱۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه ۱۱۳

شکل ۴-۳۵- مقایسه تغییرات میزان کروی شدن ساختار برای آلیاژ ۲۰۰۷ (الف) در حالت بدون جوانه زا، (ب) ریزدانه شده با ۰/۳ درصد وزنی زیرکونیم و (ج) ریزدانه شده با ۰/۰۳ درصد وزنی تیتانیم بعد از اعمال فرآیند SIMA با ۳۰ درصد تغییر شکل اولیه و نگهداری در دمای ۶۱۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه ۱۱۳

شکل ۴-۳۶- پراکندگی فاز θ (Al_2Cu) در آلیاژ ۲۰۰۷ ریزدانه شده با تیتانیم، (الف) قبل و (ب) بعد از اعمال فرآیند SIMA ۱۱۴

شکل ۴-۳۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از پراکندگی فاز (Al_2Cu) θ درآلیاژ ۲۰۰۷ (الف) قبل و (ب) بعد از اعمال فرآیند SIMA ۱۱۵

شکل ۴-۳۸- حفرات موجود در ریز ساختار نمونه حاوی ۰/۳ درصد زیرکونیم بعد از اعمال فرایند SIMA...۱۱۶

شکل ۴-۳۹- تغییرات استحکام کششی آلیاژ ۲۰۰۷ در سه حالت بدون جوانه زا، حاوی تیتانیم و حاوی زیرکونیم، قبل از اعمال فرآیند SIMA.....۱۱۸

شکل ۴-۴۰- تغییرات درصد ازدیاد طول آلیاژ ۲۰۰۷ در سه حالت بدون جوانه زا، حاوی تیتانیم و حاوی زیرکونیم، قبل از اعمال فرآیند SIMA.....۱۱۸

شکل ۴-۴۱- تغییرات استحکام کششی آلیاژ ۲۰۰۷ در سه حالت بدون جوانه زا، حاوی تیتانیم و حاوی زیرکونیم، بعد از اعمال فرآیند SIMA.....۱۱۹

شکل ۴-۴۲- تغییرات درصد ازدیاد طول آلیاژ ۲۰۰۷ در سه حالت بدون جوانه زا، حاوی تیتانیم و حاوی زیرکونیم، بعد از اعمال فرآیند SIMA.....۱۱۹

شکل ۴-۴۳- تصاویر سطح شکست آلیاژ ۲۰۰۷ (الف) در حالت بدون جوانه زا، (ب) حاوی ۰/۳ درصد وزنی زیرکونیم (ج) حاوی ۰/۰۳ درصد وزنی تیتانیم ۱۲۲

شکل ۴-۴۴- تصاویر سطح شکست آلیاژ ۲۰۰۷ حاوی ۰/۰۳ درصد وزنی تیتانیم (الف) قبل و (ب) بعد از فرایند SIMA ۱۲۳

فصل (۱)

مقدمه

۱- مقدمه

آلیاژهای آلومینیم از پرکاربردترین فلزات مورد استفاده در صنایع حساسی از جمله صنایع خودروسازی و هوافضا می باشند. از میان این آلیاژها، آلیاژهای کارپذیر سری ۲xxx که آلیاژهای آلومینیم-مس می باشند، به دلیل نسبت استحکام به وزن بسیار بالا، کاربردهای فراوانی در ساخت قطعات حساس دارند.

آلیاژهای آلومینیم معمولا بعد از ریخته گری دارای ساختاری درشت با مورفولوژی دندریتی هستند، از این رو استفاده از مواد جوانه زا و بهساز جهت دست یابی به ساختاری ریزدانه و یکنواخت برای این آلیاژها، امری طبیعی است. برای آلیاژهای آلومینیم رایج ترین عناصر جوانه زای مورد استفاده، عناصر تیتانیم، زیرکونیم و بور بوده که به صورت آمیژان های Al-Ti، Al-Ti-B و Al-Zr به مذاب اضافه می گردند.

رایج ترین روش برای تولید قطعات آلومینیمی، ریخته گری در قالب های دائمی و نیز ریخته گری تحت فشار می باشد به طوری که بخش عظیمی از قطعات مورد استفاده در صنایع خودروسازی و نظامی با این روش ها تولید می گردند. مهم ترین عیب تولید قطعات ریختگی، غیر قابل کنترل بودن خواص نهایی، ایجاد عیوب رایج ریخته گری از جمله انواع ترک ها و حفرات در قطعات وهمچنین ایجاد ساختار دندریتی و غیریکنواخت نهایی است. از طرف دیگر قطعات ریختگی حساس مورد استفاده در صنایع هوافضا و خودروسازی که با روش های ریخته گری که در آنها مذاب از بالا ریخته می شود، تولید می شوند، نمی توانند شرایط کیفی مورد نیاز را داشته باشند. این مشکلات باعث شده است که در سال های اخیر روش های شکل دهی در ناحیه نیمه جامد برای آلیاژهای آلومینیم مورد توجه ویژه ای قرار بگیرد.

محققان زیادی در زمینه ارتقای روش های شکل دهی در ناحیه نیمه جامد به تحقیق و پژوهش پراخته اند و روش های متعددی را نیز معرفی کرده اند. روش های شکل دهی در ناحیه نیمه جامد به دو گروه عمده تقسیم می شوند. گروه اول روش هایی که مذاب تا دمایی مناسب در ناحیه نیمه جامد سرد می شود و در آن دما به شکل دلخواه در می آید. گروه دوم شامل روش هایی است که قطعه جامد تا ناحیه نیمه جامد حرارت داده می شود و سپس به شکل دلخواه در می آید. گروه دوم روش های شکل دهی در ناحیه نیمه جامد به دلیل عدم تشکیل مذاب مورد