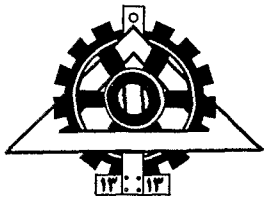


به نام خداوند جان آفرین کهیم سخن در زبان آفرین

۱۳۸۷ / ۴ / ۳

۹۳۹۷۷



دانشگاه تهران

پردیس دانشکده های فنی

دانشکده مهندسی متالورژی و مواد

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی و مواد

گرایش شناسایی و انتخاب مواد فلزی

**بررسی تاثیر درصد سیلیسیم و پارامترهای تولید بر اندازه، مورفولوژی
و ریزساختار پودر آلیاژ Al-Si تولید شده به روش SAMD**

نگارش

پویا دلشاد خطیبی

کمیته اطلاع رسانی
دانشگاه تهران

استاد راهنما

دکتر فرشاد اخلاقی

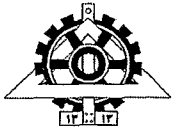
۱۳۸۷ / ۲ / ۳

استاد مشاور

دکتر حسین عبدی زاده

زمستان ۱۳۸۶

۹۴۹۷۷




تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب پویا دلشاد خطیبی تایید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: پویا دلشاد خطیبی

امضاء دانشجو: 

تقدیم به

مادر مهربانم؛

مادر عزیزم، فرشته من، قلب پاک و پرمهرت را ستایش می‌کنم،

همواره دعای خیرت را همراه من نمودی، پس از این بیشتر به آن نیاز دارم.

تشکر و قدردانی

بر خورد لازم می‌دانم از استاد عزیز و بزرگوارم جناب آقای دکتر اخلاقی به دلیل کمک‌های بی‌دریغ، مباحث مفید و نقش موثرشان در هدایت و پیشرفت این پژوهش از صمیم قلب تشکر نمایم. امیدوارم در سایه خداوند متعال بتوانند در تربیت و آموزش دانشجویان پیش‌قدم باشند.

از تمامی استادان ارجمند و عزیزم در دانشکده مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه تهران که در طی دوران تحصیل هر آنچه را که توانستند به من آموختند و از هیچ کمکی دریغ نکردند، صمیمانه تشکر می‌نمایم و اجر زحمتهایشان را از درگاه احدیت خواستارم.

برخورد لازم می‌دانم از مسولین کارگاه تراشکاری آقایان زمان‌پور و پورمند و همچنین تمام دوستان عزیزم به خاطر کمک‌های فراوان و بی‌دریغشان از صمیم قلب تشکر کرده و برایشان آرزوی موفقیت در تمام مراحل زندگی را دارم.

چکیده

در این تحقیق برای اولین بار از روش SAMD جهت تولید پودر آلومینیم خالص تجاری و آلیاژهای Al-Si حاوی ۶، ۱۲، ۲۰ درصد وزنی سیلیسیم با استفاده از دو نوع ماده جامد واسطه (نمک طعام و آلومینا) استفاده شده است. در این روش مذاب در دمای معین به همراه مقدار مشخصی از پودر جامد (که خاصیت ترشوندگی با مذاب را ندارد) در یک سیکل از پیش تعیین شده دما- زمان با سرعت مورد نظر به هم زده می شود که این عمل سبب از هم گسیختگی مذاب و تبدیل آن به قطرات می شود. این قطرات پس از انجماد به پودر فلز تبدیل می شوند و با جداسازی پودر جامد واسطه (بوسیله شستشو با آب در مورد نمک طعام و بوسیله سرند کردن در مورد آلومینا) می توان پودر فلزی را بدست آورد. در این پژوهش به منظور درک بهتر فرآیند از نظر چگونگی تشکیل قطرات مذاب و انجماد آنها، علاوه بر تغییر در نوع آلیاژ و ماده واسطه، پارامترهای دیگر از قبیل سیکل دما- زمان در موقع همزدن، محیط قرار گیری پس از همزدن (هوا یا آب)، اندازه ذرات جامد واسطه، نسبت وزنی ماده جامد واسطه به مذاب، دمای مذاب در هنگام همزدن، و سرعت همزدن در شرایط و مقادیر مختلف به کار گرفته شدند و پودرهای حاصل از نظر توزیع اندازه و مورفولوژی و ریزساختار مورد مطالعه قرار گرفتند. همچنین در مورد آلیاژ $Al-20wt.\%Si$ ، تاثیر عملیات بهسازی (با افزودن ۱۵/۰ درصد وزنی فسفر) بر روی مورفولوژی و ریزساختار پودرها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که از بین چند ماده مورد مطالعه جهت به کار گیری به عنوان پودر جامد واسطه در روش SAMD، نمک طعام ماده مناسبی باشد که برای اولین بار در این تحقیق از آن استفاده شد و نتایج با پودرهای تولید شده توسط آلومینا مقایسه شد. سیکل بهینه جهت تولید ریزترین پودرهای آلومینیم و عدم تشکیل پودرهای ورقه ای در شرایط ۵ دقیقه همزدن مخلوط (مذاب فلز + نمک) و سرد کردن در آب تعیین گردید. همچنین نتایج نشان داد برای آلیاژ $Al-6wt.\%Si$ ، همزدن در دمای ۶۹۰ درجه سانتی گراد ریزترین پودرها را در مقایسه با دمای ۶۴۰°C و ۷۱۰°C حاصل می کنند. از میان چهار سرعت همزدن مورد مطالعه (۶۰۰، ۱۰۰۰، ۱۴۰۰ و ۱۹۰۰ دور بر دقیقه) ریزترین اندازه ذرات آلومینیم در سرعت ۱۴۰۰ دور بر دقیقه حاصل شد. همچنین در میان نسبت های وزنی مختلف نمک طعام به آلیاژ در مخلوط $(\frac{1}{1}, \frac{2}{1}, \frac{3}{1}, \frac{4}{1}, \frac{5}{1})$ ریزترین اندازه ذرات پودری در نسبت $\frac{4}{1}$ ایجاد گردید. مطالعات SEM نشان داد که پودرهای آلومینیم تولید شده با استفاده از نمک طعام خیلی ریز (۱۱/۱ میکرومتر) در تمام گستره ابعاد فاقد شکل کروی هستند و اندازه آنها نیز نسبتاً درشت می باشد. ریزترین پودرهای آلومینیم با استفاده از نمک با ابعاد ۲۵۵ میکرومتر حاصل می شود که از پودرهای تولید شده بوسیله ذرات درشت نمک (بزرگتر از ۵۰۰ میکرومتر) نیز ریزتر می باشند. اندازه گیری سیالیت آلومینیم خالص و سه آلیاژ مورد مطالعه نشان داد که سیالیت آلومینیم خالص و آلیاژ حاوی ۲۰ درصد سیلیسیم از دو آلیاژ دیگر بیشتر است و همین مسئله باعث می شود که ذرات پودر تولید شده با آلیاژ $Al-6wt.\%Si$ و یا $Al-20wt.\%Si$ در مقایسه با آلیاژ $Al-20wt.\%Si$ و آلومینیم خالص ریزتر باشند. در ضمن پودرهای $Al-20wt.\%Si$ کروی تر از پودر آلومینیم خالص و سایر آلیاژها می باشند و کمترین

حالت کروی بودن مربوط به آلیاژ A۴۱۳ است. مقایسه کارایی آلومینا و نمک طعام در تولید پودرهای آلومینیم با درصد های مختلف Si نشان داد که ذرات آلومینا قادر به تولید پودرهای ریزتری در مقایسه با نمک طعام می- باشند. مطالعات ریزساختاری روی پودرهای تولید شده نشان داد که این پودرها فاقد تخلخل بوده و اندازه فاصله بازوهای دندریتی (DAS) آنها، با درشت شدن اندازه پودر، افزایش می یابد. در ضمن در یک دامنه مشخص از اندازه پودرها و حتی در یک پودر واحد، ریزساختارهایی با اندازه های متفاوت می تواند وجود داشته باشد. با توجه به مقادیر DAS، مقادیر سرعت سرد شدن برای پودرهای Al-۶wt.٪Si در اندازه های مختلف تولیدی با استفاده از نمک طعام در محدوده $۱۰^۴ Ks^{-1}$ تا $۳/۳ \times ۱۰^۴ Ks^{-1}$ و با استفاده از آلومینا در محدود $۳/۵۶ \times ۱۰^۴ Ks^{-1}$ تا $۷۹۰ Ks^{-1}$ تخمین زده شد. همچنین مشخص شد که استفاده از نسبت های وزنی بیشتر نمک طعام به آلومینیم، سبب کاهش سرعت سرد شدن پودرها می شود. انجام عملیات بهسازی با افزودن ۱۵٪ درصد فسفر تاثیری روی مورفولوژی پودرها ندارد ولی اندازه سیلیسیم های اولیه را ریزتر می کنند. مطالعات XRD نشان داد که پودرهای تولیدی با استفاده از نمک طعام، فاقد مقادیر قابل توجه اکسید آلومینیم هستند ولی مقادیر جزئی یون Na^+ در آنها قابل تشخیص است.

فهرست مطالب

عنوان.....	شماره صفحه.....
۱- مقدمه.....	۱.....
۲- مروری بر منابع مطالعاتی.....	۴.....
۱-۲- تاریخچه.....	۵.....
۲-۲- روش‌های تولید پودر فلزات.....	۵.....
۱-۲-۲- روش‌های مکانیکی تولید پودر.....	۶.....
۱-۱-۲-۲- ماشین‌کاری.....	۶.....
۲-۱-۲-۲- آسیا کردن.....	۷.....
الف- آسیای گلوله‌ای.....	۷.....
ب- آسیای فکی، چکشی و غلتکی.....	۷.....
۳-۱-۲-۲- دیگر روش‌های مکانیکی.....	۷.....
۴-۱-۲-۲- آلیاژ کردن مکانیکی.....	۸.....
۲-۲-۲- روش‌های الکترولیتی.....	۸.....
۳-۲-۲- روش‌های شیمیایی.....	۹.....
۱-۳-۲-۲- تجزیه جامدات به کمک گازها.....	۹.....
۲-۳-۲-۲- ته‌نشین‌سازی از مایع.....	۹.....
۳-۳-۲-۲- رسوب‌سازی از گازها.....	۹.....
۴-۲-۲- تجزیه گرمایی.....	۹.....
۵-۲-۲- روش‌های اتمایزینگ.....	۱۰.....
۱-۵-۲-۲- اتمایزینگ گازی.....	۱۰.....
۲-۵-۲-۲- اتمایزینگ آبی.....	۱۰.....
۳-۵-۲-۲- اتمایزینگ گریز از مرکز.....	۱۱.....
۴-۵-۲-۲- دیگر روش‌های اتمایزینگ.....	۱۲.....
۶-۲-۲- روش SAMD.....	۱۳.....
۳-۲- ویژگی‌های پودر فلزات.....	۱۴.....
۱-۳-۲- شکل ظاهری پودر.....	۱۴.....
۲-۳-۲- اندازه ذرات پودر.....	۱۵.....
۱-۲-۳-۲- روش‌های تعیین اندازه ذرات پودر.....	۱۵.....
الف- الک کردن.....	۱۶.....
ب- روش‌های میکروسکوپی.....	۱۶.....

- ج- روش های ته نشین سازی ۱۷
- د- روش های پراکندن نور ۱۷
- ه- رسانایی الکتریکی ۱۷
- و- بستن مسیر نور ۱۸
- ز- استفاده از پرتو ایکس ۱۹
- ۲-۲-۳- آنالیز داده های مربوط به اندازه دانه ها ۱۹
- الف- رسم منحنی های توزیع اندازه ذرات پودر ۲۰
- ب- مشکلات آنالیز اندازه ذرات پودر ۲۱
- ۲-۳-۳- مساحت رویه پودر ۲۲
- ۲-۳-۴- اصطکاک بین ذرات پودر ۲۳
- ۲-۳-۵- ویژگی های شیمیایی پودر ۲۳
- ۲-۳-۶- ریزساختار پودرها و قطعات تهیه شده از آنها ۲۴
- ۲-۳-۷- تغییرات مورفولوژی پودر با پارامترهای مختلف در روش اتمایزینگ ۲۶
- ۲-۳-۸- ویژگی های پودر تهیه شده به روش SAMD ۲۸
- ۲-۳-۱-۸- ریزساختار و مورفولوژی ۲۸
- ۲-۳-۸-۲- توزیع اندازه ذرات ۳۲
- ۲-۴-۴- مروری بر متالورژی پودر آلیاژهای Al-Si ۳۲
- ۲-۴-۱- تاثیر اندازه ذرات Si اولیه بر خواص مکانیکی قطعات تهیه شده از پودرهای Al-Si های پیریوتکتیک ۳۴
- ۲-۵-۵- اصلاح ساختار سیلیسیم توسط عناصر شیمیایی ۳۵
- ۲-۵-۱- اثر فسفر ۳۵
- ۲-۶-۶- مزایا، محدودیت ها و کاربردهای متالورژی پودر در تولید قطعات و کامپوزیت های زمینه فلزی ۳۷
- ۲-۷-۷- مروری بر خواص فیزیکی آلومینیم و تاثیر برخی پارامترها بر آن ۳۹
- ۲-۷-۱- تاثیر دما بر روی خواص فیزیکی آلومینیم ۴۰
- ۲-۷-۲- تاثیر عناصر آلیاژی بر روی خواص فیزیکی آلومینیم ۴۳
- ۲-۸-۸- پدیده ترشوندگی سرامیک توسط مذاب فلزات ۴۸
- ۲-۹-۹- مروری بر ویژگی های پودر آلومینا و نمک طعام ۵۲
- ۲-۷-۱- اکسید آلومینیم ۵۲
- ۲-۷-۲- نمک طعام ۵۳
- ۳- مواد و روش تحقیق ۵۵
- ۳-۱-۱- مواد اولیه ۵۶
- ۳-۱-۱-۱- آلیاژهای مورد استفاده ۵۶
- ۳-۱-۲- ویژگی های مواد جامد واسطه مورد استفاده ۵۷
- ۳-۱-۳- تجهیزات مربوط به ذوب و همزدن ۵۸
- ۳-۱-۴- همزن گرافیتی ۵۹

- ۶۰-۱-۳-۵- اندازه گیری طول سیالیت در آلیاژهای مختلف
- ۶۱-۱-۳-۶- روش تولید پودر
- ۶۱-۲-۳- بهینه سازی فرآیند تولید پودر و بررسی تأثیر پارامترهای مختلف
- ۶۲-۱-۲-۳- بررسی تأثیر نوع سیکل دما-زمان در هنگام همزدن و سرد کردن مذاب
- ۶۲-۲-۳- بررسی تأثیر اندازه ذرات نمک طعام
- ۶۳-۲-۳- بررسی تأثیر نسبت وزن نمک طعام به آلومینیم
- ۶۳-۲-۳- بررسی تأثیر سرعت همزدن
- ۶۴-۲-۳- بررسی تأثیر دمای مذاب
- ۶۴-۲-۳- بررسی تأثیر درصد سیلیسیم موجود در آلیاژ Al-Si
- ۶۴-۳-۳- تولید پودر آلومینیم خالص و آلیاژهای $Al-6wt\%/Si$ ، $Al-13wt\%/Si$ و $Al-20wt\%/Si$ با استفاده از ماده واسطه آلومینا
- ۶۴-۴-۳- دانسیته ظاهری و Tap Density آلومینا و نمک طعام در اندازه های مختلف
- ۶۵-۳-۵- بررسی خواص پودر آلومینیم تولید شده
- ۶۵-۳-۵-۱- بررسی توزیع اندازه ذرات پودر حاصل
- ۶۵-۳-۵-۲- بررسی مورفولوژی ذرات پودر توسط SEM
- ۶۵-۳-۵-۳- بررسی ریزساختار به کمک میکروسکوپ نوری
- ۶۶-۳-۵-۴- بررسی آلودگی پودرهای تولید شده
- ۶۷-۴- نتایج و بحث
- ۶۸-۱-۴-۱- بررسی مقدماتی جهت انتخاب نوع ماده جامد واسطه
- ۶۸-۱-۴-۱- اسپینل آلومینا-منیزیا ($MgOAl_2O_4$)
- ۶۹-۱-۴-۲- پودر آلومینا سفید (Grade G)
- ۶۹-۱-۴-۳- پودر آلومینا سفید گلوله ای
- ۷۰-۱-۴-۴- پودر بنتونیت
- ۷۰-۱-۴-۵- سیمان نسوز
- ۷۰-۱-۴-۶- پودر جوش شیرین (Na_2CO_3)
- ۷۱-۱-۴-۷- پودر کاربید سیلیسیم
- ۷۱-۱-۴-۸- پودر آلومینا ذوبی قهوه ای
- ۷۲-۱-۴-۹- پودر نمک طعام ($NaCl$)
- ۷۲-۲-۴- بهینه سازی فرآیند تولید پودر با استفاده از ماده جامد واسطه نمک طعام
- ۷۲-۱-۲-۴- بررسی تأثیر سیکل دما-زمان فرآیند
- ۷۲-۱-۲-۴-۱- تأثیر نوع سیکل بر توزیع اندازه ذرات پودر آلومینیم به دست آمده
- ۷۲-الف- مکانیزم تولید قطرات مذاب در حین همزدن
- ۷۹-۲-۱-۲-۴- تأثیر نوع سیکل بر مورفولوژی ذرات پودر آلومینیم به دست آمده
- ۸۰-الف- مکانیزم تولید ذرات پودر در حین انجماد
- ۸۶-۲-۲-۴- بررسی تأثیر دمای مذاب

- ۸۶.....۱-۲-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر سیالیت آلیاژ AI-۶wt%/Si.....
- ۸۷.....۲-۲-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر توزیع اندازه ذرات پودر آلومینیم به دست آمده.....
- ۸۹.....۳-۲-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر مورفولوژی ذرات پودر آلومینیم به دست آمده.....
- ۹۲.....۳-۲-۴-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر مورفولوژی ذرات پودر آلومینیم به دست آمده.....
- ۹۳.....۱-۳-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر توزیع اندازه ذرات پودر آلومینیم به دست آمده.....
- ۹۶.....۲-۳-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر مورفولوژی ذرات پودر آلومینیم به دست آمده.....
- ۹۹.....۴-۲-۴-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر نسبت نمک طعام به آلومینیم.....
- ۹۹.....۱-۴-۳-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر توزیع اندازه ذرات پودر به دست آمده.....
- ۱۰۲.....۲-۴-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر مورفولوژی ذرات پودر به دست آمده.....
- ۱۰۶.....۵-۲-۴-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر توزیع اندازه ذرات نمک طعام.....
- ۱۰۶.....۱-۵-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر دانسیته ظاهری و Tap Density توده نمک.....
- ۱۰۷.....۲-۵-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر توزیع اندازه ذرات پودر آلومینیم.....
- ۱۱۰.....۲-۵-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر مورفولوژی ذرات پودر آلومینیم به دست آمده.....
- ۱۱۳.....۶-۲-۴-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب در آلایز Al-Si.....
- ۱۱۳.....۱-۶-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت روی سیالیت آلایزهای Al-Si.....
- ۱۱۴.....۲-۶-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر توزیع اندازه ذرات و مورفولوژی پودر آلومینیم به دست آمده با استفاده از نمک طعام با متوسط اندازه ذره ۲۵۵ میکرومتر.....
- ۱۱۴.....الف- تاثیر درصد سیلیسیم بر توزیع اندازه ذرات پودر آلومینیم به دست آمده.....
- ۱۱۶.....ب- تاثیر درصد سیلیسیم بر مورفولوژی ذرات پودر آلومینیم به دست آمده.....
- ۱۱۹.....۳-۶-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر توزیع اندازه ذرات و مورفولوژی پودر آلومینیم به دست آمده با استفاده از نمک طعام ۵۵۰ میکرومتری.....
- ۱۱۹.....الف- تاثیر درصد سیلیسیم بر توزیع اندازه ذرات پودر آلومینیم به دست آمده.....
- ۱۲۲.....ب- تاثیر درصد سیلیسیم بر مورفولوژی ذرات پودر آلومینیم به دست آمده.....
- ۱۲۴.....۴-۶-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب مقایسه تاثیر اندازه ماده واسطه نمک طعام (نمک طعام ۵۵۰ میکرومتری و نمک طعام ۲۵۵ میکرومتری) بر توزیع اندازه ذرات پودر آلومینیم به دست آمده در درصدهای مختلف سیلیسیم.....
- ۱۲۵.....۵-۶-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر توزیع اندازه ذرات و مورفولوژی پودر آلومینیم به دست آمده با استفاده از پودر آلومینا با اندازه ذرات ۶۵۰ میکرومتر.....
- ۱۲۷.....الف- تاثیر درصد سیلیسیم بر توزیع اندازه ذرات پودر آلومینیم به دست آمده.....
- ۱۲۸.....ب- تاثیر درصد سیلیسیم بر مورفولوژی ذرات پودر آلومینیم به دست آمده.....
- ۱۳۰.....۶-۶-۲-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب مقایسه تاثیر نوع ماده واسطه (نمک طعام ۵۵۰ میکرومتری و آلومینا ۶۵۰ میکرومتری) بر توزیع اندازه ذرات پودر آلومینیم به دست آمده در درصدهای مختلف سیلیسیم.....
- ۱۳۳.....۳-۴-۳-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر ریزساختار و محاسبه سرعت سرد شدن پودر آلومینیم تولیدی به روش SAMD.....
- ۱۳۶.....۱-۳-۴-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر ریزساختار و محاسبه سرعت سرد شدن پودر آلومینیم به دست آمده.....
- ۱۴۲.....۲-۳-۴-۴-۴-۴-۶wt%/Si آلیاژ سیالیت مذاب بر ریزساختار و سرعت سرد شدن پودر آلومینیم به دست آمده.....

۱۴۲.....	۱-۲-۳-۴- تاثیر نوع ماده واسطه بر ریزساختار و سرعت سرد شدن پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si
۱۴۵.....	۲-۲-۳-۴- تاثیر نسبت نمک طعام به آلیاژ بر ریزساختار و سرعت سرد شدن پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si
۱۴۷.....	۳-۲-۳-۴- تاثیر دمای مذاب بر ریزساختار و سرعت سرد شدن پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si
۱۴۸.....	۴-۴- بررسی تاثیر بهسازی با فسفر بر مورفولوژی و ریزساختار پودرهای آلیاژ های پیرئوتکتیک Al-۲۰wt%/Si
۱۵۲.....	۵-۴- بررسی آلودگی پودرهای تولید شده.....
۱۵۷.....	۵- نتیجه گیری
۱۵۹.....	منابع و مراجع

پیوست ۱

پیوست ۲

فهرست شکل‌ها

عنوان.....	شماره صفحه.....
شکل ۱-۲- شمای آلیاژ کردن مکانیکی و همگن شدن ریزساختار پودر آلیاژی تولید شده	۸.....
شکل ۲-۲- شمای فرآیند اتمایزینگ آبی.....	۱۱.....
شکل ۳-۲- شمای سیستم اتمایزینگ با الکتروود چرخان.....	۱۲.....
شکل ۴-۲- شماتیک مراحل از هم گسیختگی آلومینیم در مخلوط آلومینیم-گرافیت، (a) حالت کاملاً مذاب، (b) حالت نیمه جامد، (c) حالت کاملاً مذاب بعد از ذوب مجدد، (d) حالت جامد.....	۱۳.....
شکل ۵-۲- مورفولوژی پودرهای مختلف مورد استفاده در متالورژی پودر	۱۵.....
شکل ۶-۲- انواع مورفولوژی پودرهای فلزی و روشهای تولید آنها	۱۶.....
شکل ۷-۲- اصول کار دستگاه آنالیز اندازه دانه‌ها به کمک رسانایی الکتریکی.....	۱۸.....
شکل ۸-۲- اصول کار دستگاه آنالیز اندازه ذرات به کمک بستن مسیر نور	۱۸.....
شکل ۹-۲- نمودارهای متداول توزیع اندازه ذرات پودر و طبیعت فراوانی تجمعی و نسبی	۲۱.....
شکل ۱۰-۲- نمودار توزیع تجمعی یک توزیع log-نرمال	۲۱.....
شکل ۱۱-۲- تصویر SEM نشان‌دهنده، (a) مورفولوژی پودر و (b) و (c) ریزساختار سطح مقطع عرضی (b) پودرهای ریز زیر میکرومتر و (c) درشت تا ۴۵ تا ۱۰۶ میکرومتر تهیه شده از آلیاژ $Al-20Si$ اتمیزه گازی شده	۲۴.....
شکل ۱۲-۲- تصویر SEM سطح مقطع طولی میله‌های آلیاژ $Al-20Si$ اکستروود شده پودرهای با اندازه‌های مختلف (a) زیر میکرومتر و (b) ۴۵ تا ۱۰۶ میکرومتر	۲۵.....
شکل ۱۳-۲- تصویر TEM آلیاژ $Al-20Si$ اکستروود شده (پودرهای زیر ۲۶ میکرومتر)	۲۶.....
شکل ۱۴-۲- الگوی XRD پودرهای $Al-20Si$ (زیر ۲۶ میکرومتر) در شرایط (a) اتمیزه گازی و (b) اکستروود شده	۲۶.....
شکل ۱۵-۲- تصویر میکروسکوپ نوری سطح مقطع پودرهای مانت و پولیش شده ۱۵۰-۱۰۶ میکرومتر تهیه شده به روش (a) SAMD، (b) اتمایزینگ گازی	۲۸.....
شکل ۱۶-۲- تصویر میکروسکوپ نوری پودر آلیاژ $Al-20Si$ در گستره اندازه ۲۵۰-۱۵۰ میکرومتر تهیه شده به روش (a) SAMD، (b) اتمایزینگ گازی	۲۹.....
شکل ۱۷-۲- ریزساختار پودر آلیاژ $Al-20Si$ تهیه شده به روش SAMD	۲۹.....
شکل ۱۸-۲- سرعت سرد شدن در آلیاژ $Al-20Si$ در گستره اندازه‌های مختلف تهیه شده به روش SAMD و اتمایزینگ	۳۰.....
شکل ۱۹-۲- تغییرات DAS در پودرهای تهیه شده به روش SAMD و اتمایزینگ با اندازه ذرات پودر	۳۰.....
شکل ۲۰-۲- مورفولوژی پودر آلیاژ $Al-20Si$ تهیه شده به روش SAMD در گستره اندازه‌های مختلف (a) کوچکتر از ۵۳ میکرومتر، (b) ۱۰۶-۵۳ میکرومتر، (c) ۱۵۰-۱۰۶ میکرومتر و (d) ۲۵۰-۱۵۰ میکرومتر	۳۱.....
شکل ۲۱-۲- تصویر SEM پودرهای آلیاژ $Al-Si$ با قطر ۱۷۷-۱۲۶ میکرومتر تهیه شده توسط فرآیند، (a) روش اتمیزه گازی؛ (b) روش اتمیزه سانتریفیوژ، و (c) روش نورد دوقلو	۳۱.....

- شکل ۲-۲۲- تأثیر الف) زمان همزدن، ب) سرعت همزدن، ج) نسبت آلومینا به آلومینیم و د) اندازه متوسط ذرات آلومینا بر توزیع اندازه ذرات پودر آلومینیم آلیاژ A۳۵۶ تولید شده با روش SAMD ۳۳
- شکل ۲-۲۳- شکل شماتیک مسیر رشد ترک در طول شکست آلیاژ Al-۲۰Si با گستره متفاوت از اندازه ذرات ۳۴
- شکل ۲-۲۴- تأثیر اضافه کردن فسفر بر ریزساختار a) بعد از ریز شدن با فسفر و b) قبل از ریز شدن با فسفر ۳۷
- شکل ۲-۲۵- تصاویر SEM آلیاژ Al-۲۹/Si، a) اصلاح نشده، b) اصلاح شده با $Al-۱۰/۴P-۱۰Ti-۲۰TiC-۱۰/۸Y$ ۳۷
- شکل ۲-۲۶- مقادیر دانسیته آلومینیم با خلوص ۹۹/۹۹٪، a) جامد، b) مذاب ۴۰
- شکل ۲-۲۷- وابستگی کشش سطحی به دما برای آلومینیم خالص محاسبه شده توسط دو روش ۴۱
- شکل ۲-۲۸- وابستگی ویسکوزیته مذاب آلومینیم به دما محاسبه شده توسط محققین مختلف ۴۲
- شکل ۲-۲۹- وابستگی سیالیت مذاب آلومینیم به دمای بارریزی ۴۳
- شکل ۲-۳۰- وابستگی گرمای ویژه آلومینیم به دما محاسبه شده توسط محققین مختلف ۴۳
- شکل ۲-۳۱- دانسیته آلیاژهای دوتایی آلومینیم بر حسب درصد عنصر آلیاژی ۴۴
- شکل ۲-۳۲- تأثیر عناصر آلیاژی را بر انبساط حرارتی آلومینیم ۴۴
- شکل ۲-۳۳- تأثیر عناصر آلیاژی را بر تنش سطحی آلومینیم با خلوص ۹۹/۹۹٪ در دمای ۷۰۰ تا ۷۴۰ درجه سانتیگراد ۴۵
- شکل ۲-۳۴- تنش سطحی آلیاژ یوتکتیک آلومینیم-سیلیسیم با و بدون سدیم به عنوان بهساز ۴۶
- شکل ۲-۳۵- تغییر طول سیالیت به صورت تابعی از مقدار سیلیسیم برای Al-Si حاوی مقادیر مختلف عناصر آلیاژی ۴۶
- شکل ۲-۳۶- منحنی گرمای نهان بر حسب درصد سیلیسیم اصلاح شده ۴۷
- شکل ۲-۳۷- مقایسه گرمای آزاد شده طی انجماد آلیاژ Al-Si با و بدون روی ۴۸
- شکل ۲-۳۸- سیالیت نسبی آلیاژ هیپو و هایپریوتکتیک در آلیاژ Al-Si بر حسب دمای بارریزی و درصد سیلیسیم ۴۹
- شکل ۲-۳۹- تأثیر گاز حل شده بر سیالیت آلیاژ Al-Si-Cu ۴۹
- شکل ۲-۴۰- شکل فصل مشترک جامد مذاب در حین اندازه گیری زاویه تماس ۵۰
- شکل ۲-۴۱- تغییرات زاویه تماس آلومینیم بر روی آلومینا به صورت تابعی از زمان برای درجه حرارت‌های مختلف ۵۱
- شکل ۲-۴۲- دیاگرام فازی الف) NaCl-NaI، ب) CaCl_۲-NaCl ۵۴
- شکل ۳-۱- شمای دستگاه آنالیزور حرارتی ۵۷
- شکل ۳-۲- تصویر شماتیک کوره به همراه همزن ۵۹
- شکل ۳-۳- تصویر سیستم استفاده شده جهت انجام تحقیق ۵۹
- شکل ۳-۴- تصویر همزن مورد استفاده در این تحقیق به همراه مشخصات آن ۶۰
- شکل ۳-۵- تصویر تجهیزات تست سیالیت استفاده شده در این تحقیق ۶۱
- شکل ۳-۶- دیاگرام توزیع اندازه ذرات نمک طعام $D_{۵۰}=۲۵۵\mu m$ ۶۲
- شکل ۳-۷- دیاگرام توزیع اندازه ذرات نمک طعام $D_{۵۰}=۱۱\mu m$ ۶۳
- شکل ۴-۱- تصویر ماکروسکوپی آلومینیم چسبیده به اسپینل آلومینا-منیزیا ۶۹
- شکل ۴-۲- تصویر ماکروسکوپی آلومینیم چسبیده به آلومینای کروی ۷۰
- شکل ۴-۳- تصویر ماکروسکوپی ماده متخلخل به وجود آمده بعد از انحلال جوش شیرین و پودر آلومینیم در آب ۷۱
- شکل ۴-۴- سیکل‌های استفاده شده در تولید پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si؛ a) همزدن مخلوط از دمای ۶۹۰°C تا دمای سولیدوس در کوره در بسته، b) همزدن مخلوط از دمای ۶۹۰°C تا دمای سولیدوس در کوره در باز، c) ۵ دقیقه همزدن در ۶۹۰°C و سپس

- همزدن تا دمای سولیدوس در کوره در باز، d) ۵ دقیقه همزدن در دمای 690°C و سپس سرد کردن در هوا، e) ۵ دقیقه همزدن در 690°C و سرد کردن در آب، f) ۱۰ دقیقه همزدن در 690°C و سرد کردن در آب..... ۷۳
- شکل ۴-۵- تاثیر سیکل دما-زمان بر مقدار D_m و D_0 کل پودرها..... ۷۴
- شکل ۴-۶- تاثیر سیکل دما-زمان بر مقدار الف) D_1 و ب) D_0 کل پودرها..... ۷۴
- شکل ۴-۷- تاثیر سیکل دما-زمان بر مقدار δ کل پودرها و پودرهای $<500\mu\text{m}$ ۷۴
- شکل ۴-۸- تاثیر سیکل دما-زمان بر درصد وزنی مقدار پودرهای ریزتر از 500 میکرومتر..... ۷۵
- شکل ۴-۹- توزیع ذرات پودر آلومینیم تولید شده توسط سیکل e)..... ۷۹
- شکل ۴-۱۰- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-6wt%/Si الف و ب) در گستره زیر 38 میکرومتر، ج و د) $212-106$ میکرومتر و ه) $300-500$ میکرومتر تهیه شده توسط سیکل a)..... ۷۹
- شکل ۴-۱۱- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-6wt%/Si الف و ب) در گستره زیر 38 میکرومتر، ج) $212-106$ میکرومتر و د) $300-500$ میکرومتر تهیه شده توسط سیکل b)..... ۸۱
- شکل ۴-۱۲- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-6wt%/Si الف) در گستره زیر 38 میکرومتر، ب و ج) $212-106$ میکرومتر و د) $300-500$ میکرومتر تهیه شده توسط سیکل c)..... ۸۲
- شکل ۴-۱۳- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-6wt%/Si الف و ب) در گستره زیر 38 میکرومتر، ج و د) $212-106$ میکرومتر و ه و و) $300-500$ میکرومتر تهیه شده توسط سیکل d)..... ۸۴
- شکل ۴-۱۴- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-6wt%/Si الف و ب) در گستره زیر 38 میکرومتر، ج) $212-106$ میکرومتر و د و د و ه و و) $300-500$ میکرومتر تهیه شده توسط سیکل e)..... ۸۵
- شکل ۴-۱۵- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-6wt%/Si الف و ب) در گستره زیر 38 میکرومتر، ج و د) $212-106$ میکرومتر و ه) $300-500$ میکرومتر تهیه شده توسط سیکل f)..... ۸۶
- شکل ۴-۱۶- نمودار تاثیر دمای مذاب بر سیالیت آلیاژ Al-6wt%/Si..... ۸۷
- شکل ۴-۱۷- تاثیر دمای مذاب بر مقدار الف) D_1 ، ب) D_0 ، ج) D_0 ، د) D_m و ه) δ کل پودرها..... ۸۸
- شکل ۴-۱۸- تاثیر دمای مذاب بر درصد وزنی مقدار پودرهای ریزتر از 500 میکرومتر..... ۸۹
- شکل ۴-۱۹- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-6wt%/Si الف) در گستره زیر 38 میکرومتر، ب و ج) $212-106$ میکرومتر و د) $300-500$ میکرومتر تهیه شده در دمای مذاب 640 درجه سانتیگراد..... ۹۰
- شکل ۴-۲۰- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-6wt%/Si الف و ب) در گستره زیر 38 میکرومتر، ج و د) $212-106$ میکرومتر و ه) $300-500$ میکرومتر تهیه شده در دمای مذاب 740 درجه سانتیگراد..... ۹۱
- شکل ۴-۲۱- شمایی از نحوه چسبیدن ذرات ریز بر روی قطرات درشت..... ۹۲
- شکل ۴-۲۲- تاثیر سرعت همزدن بر مقدار الف) D_1 ، ب) D_0 ، ج) D_0 و د) D_m کل پودرها..... ۹۳
- شکل ۴-۲۳- تاثیر سرعت همزدن بر مقدار δ برای کل پودرها..... ۹۵
- شکل ۴-۲۴- تاثیر سرعت همزدن بر درصد مقدار پودرهای ریزتر از 500 میکرومتر..... ۹۶
- شکل ۴-۲۵- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-6wt%/Si الف و ب) در گستره زیر 38 میکرومتر، ج) $212-106$ میکرومتر و د) $300-500$ میکرومتر تهیه شده با سرعت همزدن 600rpm ۹۷
- شکل ۴-۲۶- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-6wt%/Si الف و ب) در گستره زیر 38 میکرومتر، ج) $212-106$ میکرومتر و د) $300-500$ میکرومتر تهیه شده با سرعت همزدن 1000rpm ۹۸

- شکل ۴-۲۷- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si (الف) در گستره زیر ۳۸ میکرومتر، (ب) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر (ج) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر تهیه شده با سرعت همزدن ۱۹۰۰ rpm ۹۸
- شکل ۴-۲۸- الف) تاثیر نسبت نمک به آلومینیم بر مقدار D_{10} ، (ب) D_{50} ، (ج) D_{90} و (د) D_m کل پودرها ۹۹
- شکل ۴-۲۹- تاثیر نسبت نمک به آلومینیم بر مقدار δ برای کل پودرها ۱۰۱
- شکل ۴-۳۰- تاثیر نسبت نمک به آلیاژ بر درصد مقدار پودرهای ریزتر از ۵۰۰ میکرومتر ۱۰۱
- شکل ۴-۳۱- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si (الف و ب) در گستره زیر ۳۸ میکرومتر، (ج) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و د) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر تهیه شده با نسبت وزنی NaCl به آلومینیم برابر با $\frac{1}{1}$ ۱۰۲
- شکل ۴-۳۲- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si (الف) در گستره زیر ۳۸ میکرومتر، (ب) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و ج) و ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر تهیه شده با نسبت وزنی NaCl به آلومینیم برابر با $\frac{2}{1}$ ۱۰۳
- شکل ۴-۳۳- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si (الف) در گستره زیر ۳۸ میکرومتر، (ب) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و ج) و ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر تهیه شده با نسبت وزنی NaCl به آلومینیم برابر با $\frac{3}{1}$ ۱۰۴
- شکل ۴-۳۴- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si (الف و ب) در گستره زیر ۳۸ میکرومتر، (ج) و (د) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر (ه و و) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر تهیه شده با نسبت وزنی NaCl به آلومینیم برابر با $\frac{5}{1}$ ۱۰۵
- شکل ۴-۳۵- تصویر SEM ذرات نمک طعام در اندازه‌های الف) ۵۵۰ میکرومتر، (ب) ۲۵۵ میکرومتر و ج) ۱۱/۱ میکرومتر ... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۶- تصویر SEM ذرات نمک طعام در اندازه‌های الف) ۵۵۰ میکرومتر، (ب) ۲۵۵ میکرومتر و ج) ۱۱/۱ میکرومتر ... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۷- تاثیر اندازه ذرات نمک بر مقدار الف) D_{10} ، (ب) D_{50} ، (ج) D_{90} و (د) D_m کل پودرها ۱۰۸
- شکل ۴-۳۸- تاثیر اندازه ذرات نمک طعام بر مقدار δ برای کل پودرها ۱۰۹
- شکل ۴-۳۹- تاثیر اندازه نمک طعام بر درصد مقدار پودرهای ریزتر از ۵۰۰ میکرومتر ۱۱۰
- شکل ۴-۴۰- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si تهیه شده به روش SAMD با نمک طعام ۱۱/۱ میکرومتری در گستره الف) (کوچکتر از ۳۸ میکرومتر، (ب) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و ج) و (د) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر ۱۱۱
- شکل ۴-۴۱- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si تهیه شده به روش SAMD با نمک طعام ۵۵۰ میکرومتری در گستره الف) (کوچکتر از ۳۸ میکرومتر، (ب) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و ج) و (د) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر ۱۱۲
- شکل ۴-۴۲- شماتیک مکانیزم پیشنهادی برای پودرهای پفکی شکل تهیه شده با نمک طعام با اندازه ۱۱/۱ میکرومتر ۱۱۲
- شکل ۴-۴۳- سیالیت آلیاژ Al-Si با تغییر درصد سیلیسیم ۱۱۳
- شکل ۴-۴۴- تاثیر درصد سیلیسیم بر مقدار الف) D_{10} ، (ب) D_{50} ، (ج) D_{90} و (د) D_m کل پودرها ۱۱۴
- شکل ۴-۴۵- تاثیر درصد سیلیسیم بر درصد وزنی مقدار پودرهای کوچکتر از ۵۰۰ میکرومتر ۱۱۵
- شکل ۴-۴۶- تاثیر درصد سیلیسیم بر مقدار δ برای کل پودرها ۱۱۶
- شکل ۴-۴۷- تصاویر SEM ذرات پودر آلومینیم خالص تهیه شده به روش SAMD در گستره الف) (کوچکتر از ۳۸ میکرومتر، (ب) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و ج) و (د) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر ۱۱۷
- شکل ۴-۴۸- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ Al-۱۲wt%/Si تهیه شده به روش SAMD در گستره الف) (کوچکتر از ۳۸ میکرومتر، (ب) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و ج) و (د) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر ۱۱۸

- شکل ۴-۴۹- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ $Al-20wt\%/Si$ تهیه شده به روش SAMD در گستره الف) کوچکتر از ۳۸ میکرومتر،
 ب) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و ج و د) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر..... ۱۱۹
- شکل ۴-۵۰- تاثیر درصد سیلیسیم بر مقدار الف) (D_{10} ، ب) (D_{50} ، ج) (D_{90} و د) D_m کل پودرها..... ۱۲۰
- شکل ۴-۵۱- تاثیر درصد سیلیسیم بر درصد وزنی مقدار پودرهای کوچکتر از ۵۰۰ میکرومتر تهیه شده با نمک طعام ۵۵۰ میکرومتری..... ۱۲۱
- شکل ۴-۵۲- تاثیر درصد سیلیسیم بر مقدار δ برای کل پودرها..... ۱۲۲
- شکل ۴-۵۳- تصاویر SEM ذرات پودر آلومینیم خالص تهیه شده به روش SAMD با نمک ۵۵۰ میکرومتری در گستره الف و ب و ج) کوچکتر از ۳۸ میکرومتر، د و ه) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و و ز) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر..... ۱۲۳
- شکل ۴-۵۴- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ $Al-41\%/Si$ تهیه شده به روش SAMD با نمک ۵۵۰ میکرومتری در گستره الف و ب و ج) کوچکتر از ۳۸ میکرومتر، د) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و ه و و) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر..... ۱۲۴
- شکل ۴-۵۵- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ $Al-20wt\%/Si$ تهیه شده به روش SAMD با نمک ۵۵۰ میکرومتری در گستره الف و ب و ج) کوچکتر از ۳۸ میکرومتر، د) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و ه و و) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر..... ۱۲۵
- شکل ۴-۵۶- تغییرات مقدار الف) (D_{10} ، ب) (D_{50} ، ج) (D_{90} و د) D_m کل پودرها بر حسب درصد سیلیسیم در پودرهای تهیه شده با نمک طعام ۵۵۰ میکرومتری و نمک طعام ۲۵۵ میکرومتری..... ۱۲۶
- شکل ۴-۵۷- تاثیر درصد سیلیسیم بر درصد مقدار پودرهای ریزتر از ۵۰۰ میکرومتر تهیه شده با استفاده از نمک طعام ۵۵۰ میکرومتری و نمک طعام ۲۵۵ میکرومتری..... ۱۲۷
- شکل ۴-۵۸- تاثیر درصد سیلیسیم بر مقدار الف) (D_{10} ، ب) (D_{50} ، ج) (D_{90} و د) D_m کل پودرها..... ۱۲۸
- شکل ۴-۵۹- تاثیر درصد سیلیسیم بر مقدار δ برای کل پودرها..... ۱۲۹
- شکل ۴-۶۰- تاثیر درصد سیلیسیم بر درصد وزنی پودرهای کوچکتر از ۵۰۰ میکرومتر تهیه شده با آلومینا..... ۱۳۰
- شکل ۴-۶۱- تصاویر SEM ذرات پودر آلومینیم خالص تهیه شده به روش SAMD با آلومینا ۶۵۰ میکرومتری در گستره الف و ب) کوچکتر از ۳۸ میکرومتر، ج) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و د) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر..... ۱۳۱
- شکل ۴-۶۲- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ $Al-6wt\%/Si$ تهیه شده به روش SAMD با آلومینا ۶۵۰ میکرومتری در گستره الف و ب) کوچکتر از ۳۸ میکرومتر، ج) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و د) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر..... ۱۳۲
- شکل ۴-۶۳- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ $Al-41\%/Si$ تهیه شده به روش SAMD با آلومینا ۶۵۰ میکرومتری در گستره الف و ب) کوچکتر از ۳۸ میکرومتر، ج) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و د) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر..... ۱۳۲
- شکل ۴-۶۴- تصاویر SEM ذرات پودر آلیاژ $Al-20wt\%/Si$ تهیه شده به روش SAMD با آلومینا ۶۵۰ میکرومتری در گستره الف و ب و ج) کوچکتر از ۳۸ میکرومتر، د) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و ه) ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر..... ۱۳۳
- شکل ۴-۶۵- تغییرات مقدار الف) (D_{10} ، ب) (D_{50} ، ج) (D_{90} و د) D_m کل پودرها بر حسب درصد سیلیسیم در پودرهای تهیه شده با نمک طعام و با آلومینا..... ۱۳۴
- شکل ۴-۶۶- تصاویر SEM ماده واسطه مورد استفاده در روش SAMD، الف) نمک طعام، ب) آلومینا..... ۱۳۵
- شکل ۴-۶۷- تاثیر درصد سیلیسیم بر درصد مقدار پودرهای کوچکتر از ۵۰۰ میکرومتر تهیه شده با استفاده از نمک طعام ۵۵۰ میکرومتری و با استفاده از آلومینا ۶۵۰ میکرومتری..... ۱۳۵
- شکل ۴-۶۸- ریزساختار پودر آلیاژ $Al-6wt\%/Si$ در گستره زیر ۵۳ میکرومتر..... ۱۳۶
- شکل ۴-۶۹- ریزساختار پودر آلیاژ $Al-6wt\%/Si$ در گستره ۶۳-۵۳ میکرومتر..... ۱۳۷

- شکل ۷۰-۴- ریزساختار پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si در گستره ۹۰-۱۰۶ میکرومتر ۱۳۷
- شکل ۷۱-۴- ریزساختار پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si در گستره ۱۲۵-۱۵۰ میکرومتر ۱۳۸
- شکل ۷۲-۴- ریزساختار پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si در گستره ۱۵۰-۳۰۰ میکرومتر ۱۳۸
- شکل ۷۳-۴- ریزساختار پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si در گستره ۳۰۰-۵۰۰ میکرومتر ۱۳۸
- شکل ۷۴-۴- تصاویر میکروسکوپ نوری سطح مقطع ذرات تولید شده آلیاژ Al-۶wt%/Si ذرات در گستره الف) ۹۰-۱۰۶ میکرومتر، ب) ۳۰۰-۵۰۰ میکرومتر ۱۳۹
- شکل ۷۵-۴- نمودار وابستگی فاصله بین بازوهای دندریتی با اندازه ذرات پودری آلیاژ Al-۶wt%/Si ۱۴۰
- شکل ۷۶-۴- سرعت سرد شدن در آلیاژ Al-۶wt%/Si در گستره اندازه‌های مختلف ۱۴۱
- شکل ۷۷-۴- تغییرات انحراف استاندارد (Standard Deviation) در مقدار DAS بر حسب اندازه ذرات پودر در آلیاژ Al-۶wt%/Si در گستره اندازه‌های مختلف ۱۴۲
- شکل ۷۸-۴- ارتباط اندازه ذرات و DAS در پودرهای تهیه شده به وسیله ۲ ماده واسط آلومینا و نمک طعام ۱۴۴
- شکل ۷۹-۴- ارتباط اندازه ذرات و سرعت سرد شدن در پودرهای تهیه شده به وسیله ۲ ماده واسط آلومینا و نمک طعام ۱۴۴
- شکل ۸۰-۴- تاثیر نسبت نمک طعام بر DAS ذرات پودر تولیدی به وسیله نمک طعام ۱۴۵
- شکل ۸۱-۴- تاثیر نسبت نمک طعام بر سرعت سرد شدن ذرات پودر تولیدی به وسیله نمک طعام ۱۴۶
- شکل ۸۲-۴- شماتیک نحوه تاثیر نسبت نمک طعام به آلومینیم بر سرد شدن قطرات مذاب آلومینیم ۱۴۶
- شکل ۸۳-۴- تاثیر دمای مذاب بر DAS ذرات پودر تولیدی به وسیله نمک طعام ۱۴۷
- شکل ۸۴-۴- تاثیر دمای مذاب بر سرعت سرد شدن ذرات پودر تولیدی به وسیله نمک طعام ۱۴۷
- شکل ۸۵-۴- مورفولوژی پودر آلیاژ ۱۵wt%/P-۰/۱-۲۰wt%/Si-۰/۱۰ تهیه شده به روش SAMD الف) زیر ۳۸ میکرومتر، ب) ۲۱۲-۱۰۶ میکرومتر و ج) ۳۰۰-۵۰۰ میکرومتر ۱۴۸
- شکل ۸۶-۴- تصاویر میکروسکوپ نوری الف) آلیاژ Al-۲۰wt%/Si، ب) آلیاژ Al-۲۰wt%/Si-۰/۱۰-۱۵wt%/P ۱۴۹
- شکل ۸۷-۴- تصاویر میکروسکوپ نوری آلیاژ ۱۵wt%/P-۰/۱۰-۲۰wt%/Si در گستره اندازه‌های الف) کوچکتر از ۳۸ میکرومتر، ب) ۹۰-۱۰۶ میکرومتر، ج) ۱۲۵-۱۵۰ میکرومتر و د) ۳۰۰-۵۰۰ میکرومتر ۱۵۰
- شکل ۸۸-۴- تصاویر میکروسکوپ نوری آلیاژ Al-۲۰wt%/Si در گستره اندازه‌های الف) کوچکتر از ۳۸ میکرومتر، ب) ۹۰-۱۰۶ میکرومتر، ج) ۱۲۵-۱۵۰ میکرومتر و د) ۳۰۰-۵۰۰ میکرومتر ۱۵۱
- شکل ۸۹-۴- نتایج آنالیز XRD a) پودر آلیاژ Al-۶wt%/Si تهیه شده به روش SAMD به وسیله نمک طعام، b) آلیاژ Al-۶wt%/Si قبل از فرآیند SAMD ۱۵۲
- شکل ۹۰-۴- نتایج آنالیز XRD بوته مورد استفاده در این پژوهش ۱۵۳
- شکل ۹۱-۴- آنالیز MAP از پودرهای زیر ۳۸ میکرومتر آلیاژ Al-۶wt%/Si ۱۵۴
- شکل ۹۲-۴- آنالیز MAP از پودرهای ۱۰۶-۲۱۲ میکرومتر آلیاژ Al-۶wt%/Si ۱۵۴
- شکل ۹۳-۴- آنالیز MAP از پودرهای ۱۰۶-۲۱۲ میکرومتر آلومینیم خالص ۱۵۵
- شکل ۹۴-۴- آنالیز MAP از پودرهای ۱۰۶-۲۱۲ میکرومتر آلیاژ A۴۱۳ ۱۵۵
- شکل ۹۵-۴- آنالیز MAP از پودرهای ۱۰۶-۲۱۲ میکرومتر آلیاژ Al-۲۰wt%/Si ۱۵۶

فهرست جدول‌ها

عنوان.....	شماره صفحه
جدول ۱-۲- ساختارهای حاصل از اضافه کردن فسفر در دماهای متفاوت، سرعت سرد شدن ۱۶۶۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه.....	۳۶
جدول ۲-۲- ساختارهای حاصل از اضافه کردن فسفر در دماهای متفاوت، سرعت سرد شدن ۲۰۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه.....	۳۶
جدول ۳-۲- برخی خواص فیزیکی آلومینیم.....	۳۹
جدول ۴-۲- خواص اکسید آلومینیم.....	۵۲
جدول ۵-۲- خواص نمک طعام.....	۵۳
جدول ۱-۳- ترکیب شیمیایی (درصد وزنی) آلیاژ A۴۱۳.....	۵۶
جدول ۲-۳- مشخصات مواد مورد بررسی در این پژوهش به عنوان مواد واسطه.....	۵۷
جدول ۳-۳- مشخصات نمک طعام مورد استفاده به عنوان ماده واسطه.....	۵۸
جدول ۴-۳- محدوده ترکیب شیمیایی آلومینای ذوبی قهوه‌ای مورد استفاده به عنوان ماده واسطه.....	۵۸
جدول ۱-۴- دانسیته ظاهری و Tap Density پودر NaCl به همراه درصد حجمی ذرات.....	۱۰۷
جدول ۲-۴- مشخصات پودر آلومینا ۶۵۰ میکرومتری مورد استفاده در این پژوهش.....	۱۲۸
جدول ۳-۴- اندازه تیغه‌های سیلیسیم اولیه در اندازه پودرهای مختلف آلیاژ بهسازی شده و بهسازی نشده Al-۲۰Si.....	۱۵۰

فصل اول - مقدمہ