



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده تحصیلات تکمیلی

سمینار برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “*M.Sc*”  
مهندسی مواد- شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

عنوان :

مطالعه اصلاح ساختاری آلیاژ آلومینیوم-سیلیسیم حاوی ترکیبات بین فلزی  
غنی از آهن و تأثیر آن بر خواص مکانیکی

استاد راهنما :

نگارش:

## فهرست مطالب

شماره صفحه

عنوان مطالب

۱ ..... چکیده

۲ ..... مقدمه

### فصل اول : کلیات

۵ ..... (۱-۱) هدف

۶ ..... (۲-۱) پیشینه تحقیق

۷ ..... (۳-۱) روش کار و تحقیق

### فصل دوم : ترکیبات بین فلزی حاوی آهن در آلیاژهای آلومینیوم - سیلیسیم

#### سیلیسیم

۹ ..... ۱-۲ نقش آهن در آلیاژهای آلومینیوم - سیلیسیم

۹ ..... ۲-۲ تشکیل ترکیبات بین فلزی حاوی آهن و واکنشهای آنها

۱۴ ..... ۳-۲ مورفولوژی ترکیبات بین فلزی حاوی آهن

۱۵ ..... ۴-۲ تأثیر ترکیبات بین فلزی حاوی آهن بر خواص

۱۵ ..... ۱-۴-۲ خواص کششی

۱۵ ..... ۱-۱-۴-۲ تأثیر از طریق حفرات انقباضی

۱۶ ..... ۲-۱-۴-۲ تأثیر از طریق فیلمهای اکسیدی

۱۷ ..... ۲-۴-۲ فرآیند جوش خوردن آلومینیوم در قالبهای دایکاست

### فصل سوم : حفرات در آلیاژهای اصلاح شده

۲۱ ..... ۱-۳ شرایط تشکیل حفرات

۲۳ ..... ۲-۳ بررسی تشکیل حفرات

۲۳ ..... ۳-۳ دلایل تشکیل حفره

۲۴ ..... ۴-۳ انواع حفرات در آلومینیوم

۲۴ ..... ۱-۴-۳ حفرات گازی

۲۵ ..... ۲-۴-۳ حفرات انقباضی

## فصل چهارم : بررسی روشهای بهسازی در آلیاژهای آلومینیوم –

### سیلیسیم

۲۷	۱-۴ روشهای بهسازی ترکیبات بین فلزی حاوی آهن .....
۲۷	۱-۱-۴ بهسازی عنصری .....
۲۷	۱-۱-۱-۴ مکانیزم بهسازی و انواع عناصر بهساز .....
۲۹	۲-۱-۱-۴ منگنز .....
۳۱	۳-۱-۱-۴ کروم .....
۳۳	۴-۱-۱-۴ استرانسیم .....
۳۷	۱-۴-۱-۱-۴ تأثیر استرانسیم بر آلیاژ آلومینیوم ریخته‌گری شده در ماسه .....
۴۱	۵-۱-۱-۴ لیتیم .....
۴۱	۲-۱-۴ بهسازی حرارتی .....
۴۲	۱-۲-۱-۴ نرخ انجماد .....
۴۴	۲-۲-۱-۴ عملیات حرارتی .....
۴۴	۲-۴ بررسی روشهای اصلاح حفرات .....
۴۴	۱-۲-۴ تأثیر عملیات اصلاح بر حفرات .....
۴۷	۲-۲-۴ مورفولوژی حفرات .....
۵۱	۳-۲-۴ گاز زدایی .....
۵۲	۴-۲-۴ رابطه چگالی و گاز حل شده در مذاب .....

### فصل پنجم : مقایسه بهسازهای اینترمتالیکها و حفرات گازی

۵۷	۱-۵ مقایسه سدیم و آنتیموان و استرانسیم .....
۵۸	۲-۵ مقایسه تأثیر بهسازها بر خواص مختلف .....
۵۸	۱-۲-۵ خواص کششی .....
۶۰	۳-۵ تشکیل حفره .....
۶۲	۴-۵ جذب گاز .....
۶۳	۵-۵ رابطه بین میزان هیدروژن و حفرات .....
۶۳	۶-۵ استفاده همزمان از دو اصلاح کننده .....
۶۳	۷-۵ واکنشهای بین آنتیموان و استرانسیم .....

## فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۶۶	..... نتیجه گیری
۶۷	..... پیشنهادات
۶۸	..... منابع و مأخذ
۶۸	..... فهرست منابع فارسی
۶۸	..... فهرست منابع لاتین
۷۵	..... چکیده انگلیسی

## فهرست جدول ها

شماره صفحه

عنوان

---

۱۱	..... ۱-۲ : خلاصه‌ای از بررسیهای تجربی انجام شده
۱۲	..... ۲-۲ : واکنشهای ممکن در آلیاژ Al-7Si- 0.4Mg
۱۴	..... ۳-۲ : ترکیب شیمیایی و ساختار کریستالی اینترمتالیکهای مهم آهن و آلومینیوم..
۲۹	..... ۱-۴ : شمای کلی خرد شدن اینترمتالیک بتا
۴۳	..... ۲-۴ : تأثیر عناصر الیازی بر DAS در آلیاژ ۳۸۰
۵۸	..... ۱-۵ : مقایسه خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیوم با اصلاح کننده‌های مختلف در قالب فلزی و عملیات حرارتی
۵۹	..... ۲-۵ : مقایسه خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیوم با اصلاح کننده‌های مختلف در قالب فلزی
۵۹	..... ۳-۵ : مقایسه خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیوم با اصلاح کننده‌های مختلف در قالب ماسه‌ای

## فهرست نمودارها

شماره صفحه

عنوان

۳۵	۱-۴ : اثر افزایش درصد استرانسیم بر $a$ اندازه، $b$ تعداد و $c$ درصد حجمی ذرات ....
۳۹	۲-۴ : تأثیر درصد استرانسیم بر $(a)$ و $(b)$ اندازه و $(c)$ درصد حجمی اینترمتالیکها
۴۰	۳-۴ : تعداد و نسبت حجمی دو فاز آلفا و بتا نسبت به یکدیگر .....
۴۳	۴-۴ : منحنی سرد شدن آلیاژ ۳۱۹ در دو حالت بهسازی نشده و بهسازی شده با $Sr$
۴۵	۵-۴ : تأثیر استرانسیم بر درصد حفرات .....
۴۶	۶-۴ : درصد حفرات بر حسب اصلاح کننده .....
۴۶	۷-۴ : اندازه متوسط حفرات بر حسب میزان اصلاح کننده .....
۴۷	۸-۴ : چگالی حفرات بر حسب میزان اصلاح کننده .....
۴۹	۹-۴ : منحنی‌های سرد شدن دو آلیاژ اصلاح شده و نشده .....
۵۲	۱۰-۴ : رابطه چگالی بامیزان هیدروژن و میزان گاز زدایی .....
۵۳	۱۱-۴ : رابطه چگالی با میزان گاززدایی برای دو مقدار استرانسیم .....
۵۳	۱۲-۴ : میزان استرانسیم پس از گاززدایی .....
۵۴	۱۳-۴ : رابطه چگالی با گاززدایی با مخلوط نیتروژن و فرون .....
۵۴	۱۴-۴ : اتلاف استرانسیم در هنگام گاززدایی با مخلوط نیتروژن و فرون .....
۵۵	۱۵-۴ : تغییرات دانسیته بر حسب میزان گاززدایی .....
۶۱	۱-۵ : دانسیته بر حسب میزان سدیم و فاصله از مبرد .....
۶۱	۲-۵ : دانسیته بر حسب میزان استرانسیم و فاصله از مبرد .....
۶۱	۳-۵ : دانسیته بر حسب میزان آنتیموان و فاصله از مبرد .....

## فهرست شکل‌ها

شماره صفحه

عنوان

- ۱۰ ..... ۱-۲ : نمودارهای مقطع عمودی در (a) ۱۰ درصد Si و (b) ۱ درصد Fe
- ۱۱ ..... ۲-۲ : مقاطع همدمای محاسبه شده در دمای  $660^{\circ}\text{C}$ ، (a) ۱۴ درصد Si و (b) ۱۰ درصد Si
- ۱۳ ..... ۳-۲ : ریز ساختارهای متداول آلیاژ  $\text{Al-7Si-0.3Mg}$  در قالب دائم با (a)  $0.18$  درصد آهن و (b) با بزرگنمایی بالاتر
- ۱۶ ..... ۴-۲ : تصویر الکترون‌های ثانویه SEM از کریستالهای  $\beta\text{-Fe}$  نشان دهنده ترک مرکزی
- ۱۷ ..... ۵-۲ : تصویر میکروسکوپی از وجود تخلخل در نمونه به علت حضور فاز بتا
- ۱۸ ..... ۶-۲ : شماتیکی از مکانیزم جوش خوردن
- ۲۲ ..... ۱-۳ : میزان حفرات در بازه‌های مختلف انجماد بین A و B کویچ، B آغاز یوتکتیک و C پایان انجماد
- ۲۸ ..... ۱-۴ : دندریتهای  $\alpha\text{-Fe}$  به همراه حفرات که در انتهای قالب ته نشین شده در آلیاژ ۴۱۳ بهسازی شده با Cr
- ۲۹ ..... ۲-۴ : تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از تیغه‌های فاز بتا
- ۳۰ ..... ۳-۴ : تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از فاز چند وجهی آلفا
- ۳۰ ..... ۴-۴ : تصویر میکروسکوپی از فاز بتای خمیده
- ۳۲ ..... ۵-۴ : گونه‌های مختلف از فاز  $\alpha\text{-Fe}$  در آلیاژ ۴۱۳ در حضور Cr : (a) فاز حروف چینی  $\alpha\text{-Fe}$  و (b) دندریتهای  $\alpha$
- ۳۳ ..... ۶-۴ : نمایش تعداد زیادی صفحات  $\beta\text{-Fe}$  در آلیاژ  $\text{Al-Si}$  نیمه بهسازی شده، شامل حروف چینی  $\alpha\text{-Fe}$  و Si اولیه در آلیاژ ۴۱۳ بهسازی شده با Cr
- ۳۴ ..... ۷-۴ : سیکل دمایی ریخته‌گری
- ۳۶ ..... ۸-۴ : مورفولوژی اینترمتالیک‌ها (a) قبل و (b) بعد از اضافه کردن Sr
- ۳۷ ..... ۹-۴ : ساختار قطعه ریختگی (a) قبل و (b) بعد از اضافه کردن Sr
- ۳۸ ..... ۱۰-۴ : تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از شکسته شدن فاز بتا

- ۴۷ ..... انواع مورفولوژی حفرات ..... ۱۱-۴
- ۴۸ ..... اصلاح شده ..... ۱۲-۴ : حفره گرد در (a) آلیاژ اصلاح نشده و حفره بین دندریتی در (b) آلیاژ
- ۴۹ ..... اصلاح شده ..... ۱۳-۴ : حفره گرد در (a) آلیاژ اصلاح نشده و حفره بین دندریتی در (b) آلیاژ
- ۵۰ ..... ۱۴-۴ : ساختار کوینچ شده قبل از یوتکتیک .....
- ۶۰ ..... ۱-۵ : نقاط مورد آزمایش .....



## چکیده :

آلیاژهای پایه آلومینیوم - سیلسیم بطور وسیعی در قطعات ریختگی در قالب‌های دائمی مانند قطعات و دایکست و ثقلی، در صنایع هوایی و اتومبیل بکار می‌روند و به همین دلیل خواص مکانیکی این آلیاژها برای مهندسان دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. آهن بعنوان یکی از مهمترین عناصر ناخالصی در آلیاژهای ریختگی آلومینیوم مطرح می‌باشد که ترکیبات بین فلزی پیچیده‌ای با کروم، منگنز، سیلسیم و آلومینیوم می‌دهد.

فاز شامل آهن با فرمول  $\beta - Al_5FeSi$  و با مورفولوژی سوزنی، مضرترین این ترکیبات بر روی خواص مکانیکی این آلیاژها می‌باشد. یکی از روش‌های کاهش این تاثیر، استفاده از عناصر بهساز، مانند: منگنز، کروم، مولیبدن، لیتیم و استرانسیم بمنظور تغییر مورفولوژی آنها می‌باشد. همچنین حفرات و مورفولوژی، اندازه و تعداد آنها بر روی خواص این آلیاژها تاثیر بسزایی دارد. هدف از این تحقیق، بررسی اثر منفی وجود فاز بتا و نیز حفرات بر روی خواص مکانیکی آلیاژهای ریختگی آلومینیوم - سیلسیم و معرفی روشهای مختلف اصلاح و بهسازی آنها می‌باشد.

## مقدمه :

آلیاژهای ریختگی آلومینیوم در دهه های اخیر بطور فزاینده ای در کاربریهای مهم وایمن، عمدتاً در صنایع خودرو و همچنین در صنایع هواپیمایی، موتورها، سازه های زیر دریایی و نیز کاربردهای کوچک، ابزارهای دستی و ماشینی بکار می روند.

صنایع خودرو بزرگترین بازار برای قطعات آلومینیومی است و تقریباً بیش از نیمی از قطعات آلومینیومی در خودروها از محصولات ریختگی استفاده میشود. بیشتر محصولات آلومینیومی در محفظه های موتور، سر سیلندرها، چرخها و پیستونها بکار میروند. آلیاژهای Al-Si، به خصوص آلیاژهای ریختگی در قالب دائمی مانند روش دایکست و روش ثقلی به طور گسترده جهت تولید تعداد زیادی از قطعات صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین، خواص محصولات آلومینیومی بسیار مهم و تحت تاثیر مواردی مانند عملیات مذاب، روش ریخته گری، حالت انجماد و ریزساختار می باشد. در نتیجه به منظور تولید قطعات ریختگی با کیفیت کافی، درک مکانیزم های تشکیل عیوب در مذاب آلومینیوم و همچنین در اختیار داشتن روشهای معتبر و ساده برای آشکار سازی آنها بسیار مهم می باشد. خواص مکانیکی در فلزات و آلیاژهای آن رابطه مستقیمی با ریز ساختار دارد و عوامل مختلفی ساختارهای متالورژیکی را تحت تاثیر قرار می دهد.

در گذشته تخلخل معمولاً تنها عامل مسئول شکستها در آلیاژهای آلومینیوم محسوب می شد و هیدروژن بعنوان یک دلیل برای ایجاد حفرات بود. اما اکسیدهای (bifilm)، حتی می توانند شروع کننده و هیدروژن، کمک کننده فرایند تشکیل حفرات باشد. که امروزه این دو، عوامل اصلی بیشتر شکستها، خواص مکانیکی و خستگی پایین و درصد ازدیاد طول کم محسوب می شوند. درحین تولید شمشها و قطعات آلومینیوم، اکسیدهای سطحی واقع بر روی مذاب خم می شود و عیوبی شبیه ترک (bifilms) و بسیار نازک و وسیع ایجاد می کنند که در عین حال بطور جدی میتوانند عیوب خطرناکی باشند.

روش تست فشار کاهش یابنده (PRT)، تستی ساده، کاملاً شناخته شده و بسیار مؤثر برای بررسی حفرات در کارگاههای ریخته گری میباشد.

شکل و اندازه دانه ، مورفولوژی فاز سیلیسیم و ترکیبات بین فلزی، فاصله بین بازوهای دندریتی نیز از عوامل مهم بر روی خواص مکانیکی آلیاژها می باشند . آهن به عنوان یکی از مهمترین عناصر ناخالصی در آلیاژهای ریختگی آلومینیوم مطرح می باشد ، زیرا باعث تشکیل ترکیبات بین فلزی پیچیده ای از آهن ، سیلیسیم و آلومینیوم می شود . این ترکیبات معمولاً صفحات نازکی را تشکیل داده که بسیار سخت و شکننده بوده و استحکام و پیوند ضعیفی با زمینه ایجاد می کند و باعث کاهش خواص مکانیکی آلیاژ از جمله استحکام کششی و در صد ازدیاد طول می شوند. ترکیبات بین فلزی غنی از آهن در مذاب آلومینیوم دارای مورفولوژیهای حروف چینی ، پلی هدرال ، ستاره ای و سوزنی شکل می باشند . مضرترین مورفولوژی ترکیبات غنی از آهن ، مورفولوژی سوزنی یا فاز  $\beta$  می باشد . حضور ذرات سوزنی غنی از آهن در ساختار باعث کاهش قابلیت تغییر شکل آلیاژ شده و مقاومت به خستگی آلیاژ را به دلیل ایجاد مراکز مستعد برای جوانه زنی و نشر ترک کاهش می دهد .

بنابراین برای رسیدن به خواص مکانیکی مطلوب ، سرد نمودن سریع آلیاژ، تاثیر عناصر آلیاژی کبالت ، منگنز، استرانسیم، منیزیم و عملیات حرارتی مناسب و در دمای بالا و افزایش دمای مذاب، نیز میتواند بکار گرفته شوند.

# فصل اول

## کلیات

## فصل اول : کلیات

### ۱-۱) هدف

بدلیل اهمیت و وسعت کاربرد آلیاژهای آلومینیوم – سیلیسیم در صنایع مختلف، تحقیقات وسیعی در مورد بررسی اثر عوامل مختلف بر روی خواص، از جمله خواص مکانیکی این آلیاژها صورت گرفته است.

عامل ریز ساختار را می‌توان عمده‌ترین مشخصه تأثیر گذار بر خواص مکانیکی بشمار آورد که از اجزاء مهم ریز ساختار، فازهای ترکیبات بین فلزی غنی از آهن و همچنین حفرات موجود در آن می‌باشد.

ترکیبات بین فلزی غنی از آهن که به فاز بتا با ترکیب شیمیایی  $Al_5FeSi$  شناخته شده است. بدلیل مورفولوژی تیغه‌ای و در نتیجه ایجاد تمرکز تنش در نقاط تیز آن، فازی بسیار مضر برای تخریب خواص کششی قطعه می‌باشد. همچنین حفرات باعث کاهش چگالی قطعه و تمرکز تنش در نقاط مختلف در جدایش فازی ایجاد شده می‌شوند.

هدف از این تحقیق بررسی روش‌های اصلاح و بهسازی این عیوب در ریز ساختار آلیاژهای مذکور می‌باشد. علاوه بر معرفی این روش‌ها، مزایا و معایب هر کدام مورد بررسی قرار گرفته است.

این پژوهش، شامل شش فصل می‌باشد که پس از کلیات، در فصل دوم به معرفی اینترمتالیکهای غنی از آهن و نحوه تشکیل و تاثیر آنها بر خواص قطعه، پرداخته شده و در فصل سوم، حفرات و چگونگی ایجادشان در ساختار، مورد بررسی قرار گرفته است، روشهای اصلاح و بهسازی اینترمتالیکها و حفرات در ریز ساختار در فصل چهارم، بررسی شده و فصل پنجم به استفاده همزمان از روشهای اصلاح ساختاری، اختصاص یافته است و در نهایت در فصل ششم، نتایج و پیشنهادات مربوط به مباحث گذشته ارائه شده است.

## ۲-۱) پیشینه تحقیق

تحقیقات بسیاری در قالب مقالات و پایان نامه در مورد معرفی و روش‌های اصلاح ترکیبات بین فلزی غنی از آهن و همچنین حفرات گازی و انقباضی صورت گرفته است. در مقالات متعددی، نتایج وجود درصدهایی از آهن و انواع واکنش‌ها و ترکیبات موجود در آلیاژ معرفی شده است. همچنین مزایای حضور آهن، از جمله جلوگیری از جوش خوردن در قالب‌های دایکست و نیز افزایش استحکام، علاوه بر معایب و مشکلات ناشی از آن، بیان شده است. فیلم‌های اکسیدی ایجاد شده بر روی مذاب و فرآیندهای همراه آن و نیز خود فازهای اینترمتالیک شامل آهن که هر دو می‌توانند موجب ایجاد حفراتی در ساختار شوند، در کتابها و مقالات مورد بررسی قرار گرفته است. در منابع مذکور به روش‌های مختلف بهسازی برای تغییر شکل اینترمتالیکها و حفرات، نسبت‌های ترکیبی بهینه و آنالیزهای مختلفی از ترکیب شیمیایی و تصاویر میکروسکوپی ارائه شده است.

### ۱-۳) روش کار و تحقیق

به منظور تهیه این سمینار، از مقالات موجود در مجلات معتبر کتبی و نیز الکترونیکی و همچنین از کتب مربوط به این موضوع که منابعی برای متون درسی نیز محسوب می‌شوند، استفاده شده است.

برای ارائه بهتر مطلب، تصاویر موجود در مقالات و کتاب‌ها چه به صورت اینترنتی و چه بصورت اسکن از صفحات کتبی، با انجام اصلاحاتی برای وضوح بهتر آنها نیز بکار گرفته شده است.