

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مواد و متالورژی

بررسی جدایش ثقلی ترکیبات بین فلزی پیچیده

در آلیاژ دایکاست AS9U3

۱۳۸۳ / ۱۰ / ۱۲

منیژه کشاورز

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مواد - انتخاب و شناسایی مواد فلزی

رئیس هیات مدیره  
اداره اسناد و کتابخانه مرکزی  
دانشگاه علم و صنعت ایران

استاد راهنما: دکتر سعید شبستری

استاد مشاور: دکتر محمدرضا ابوطالبی

مهر ۱۳۷۹

۷۳۱۵۱

تقدیم:

به روان پاک پدرم  
به مهربانیهای مادرم  
به همدلیهای همسرم

## چکیده

آلیاژ آلومینیم (AS9U3) ۳۸۰ از گروه آلیاژهای Al-Si-Cu بوده و به عنوان معروفترین آلیاژ دایکاست کاربرد وسیعی در تولید انواع قطعات خودرو و از جمله بلوک سیلندر دارد. بدلیل وجود عناصر واسطه مانند Fe، Mn و Cr در آلیاژ، تمایل به تشکیل و جدایش ترکیبات بین فلزی هنگام نگهداری مذاب در کوره نگهدارنده و تحت شرایط دمایی حاکم بر آن وجود دارد. در تحقیق حاضر جدایش وزنی ترکیبات بین فلزی طی زمانهای مختلف و در دمای  $630^{\circ}\text{C}$  مورد بررسی قرار گرفته است. مشاهده شده است که جدایش ثقلی فازهای غنی از آهن، منگنز و کروم با ازدیاد زمان نگهداری و همچنین فاصله از بالای قالب افزایش داشته است. سرعت رسوب عناصر تشکیل دهنده ترکیبات بین فلزی براساس درصد تغییرات شیب غلظتی آنها در مذاب با هم مقایسه شده است. معادله Avrami جهت تعیین درصد حجمی ترکیبات بین فلزی تشکیل شده در مذاب به ازاء زمانهای مختلف، استخراج گردید. علاوه بر آن سرعت رسوب ذرات بین فلزی در مذاب براساس نتایج بدست آمده از آنالیز تصویری و همچنین قانون استوک محاسبه و مقایسه شده که هماهنگی معقولی را بین مقادیر بدست آمده از دو روش نشان داده است.

همچنین تأثیر استرانسیم به میزان ۰/۰۳ درصد وزنی بر جدایش وزنی ترکیبات بین فلزی در آلیاژ AS9U3 مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد که استرانسیم با کاهش دادن درصد حجمی، اندازه متوسط و تعداد ذرات در واحد حجم، مقدار رسوب ترکیبات بین فلزی و در نتیجه رسوب عناصر تشکیل دهنده آنها را به میزان زیادی کاهش می دهد.

## تقدیر و تشکر

در ابتدا از استاد محترم جناب آقای دکتر سعید شبستری که در همه مراحل انجام پروژه از راهنماییها و همراهیهای ایشان برخوردار بوده‌ام تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از ریاست محترم دانشکده مواد و متالورژی جناب آقای دکتر ابوطالبی، کلیه کارکنان کارگاه ریخته‌گری دانشگاه علم و صنعت، گروه مواد دانشکده فنی دانشگاه تهران بالاخص آقایان مهندس رایگان و مهندس علیزاده، مدیریت محترم کارخانه ریخته‌گری شرکت ایران خودرو آقای مهندس سعدیان، مسئول محترم بخش تحقیق و توسعه آقای مهندس سعیدی‌نیا، مسئول آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی شرکت ایران خودرو سرکار خانم عجایی و کلیه کسانی که تسهیلات لازم را جهت انجام این تحقیق برای اینجانب فراهم نموده‌اند کمال سپاسگزاری و تشکر را دارم.

در نهایت از آقای مهندس سیروس مالکی و همسرم آقای مهندس پرویز مالکی که با همراهی دلسوزانه خود مرا در به ثمر رساندن این تحقیق یاری نمودند، صمیمانه تشکر می‌کنم.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول : مقدمه
۲	۱-۱- آلیاژهای ریختگی آلومینیم.....
۳	۱-۲- آلیاژهای آلومینیم - سیلیسیم.....
۴	۱-۳- معرفی آلیاژ آلومینیم ۳۸۰.....
۶	۱-۴- تشکیل و جدایش وزنی ترکیبات بین فلزی در آلیاژ ۳۸۰.....
	فصل دوم : مروری بر منابع
۹	۲-۱- تاثیر عناصر آلیاژی بر آلیاژهای آلومینیم - سیلیسیم.....
۹	۲-۱-۱- سیلیسیم.....
۱۲	۲-۱-۲- آهن.....
۱۴	۲-۱-۳- منگنز.....
۱۶	۲-۱-۴- مس.....
۱۷	۲-۱-۵- عناصر آلیاژی دیگر.....
۱۸	۲-۲- ترکیبات بین فلزی.....
۱۸	۲-۲-۱- تعریف ترکیب بین فلزی.....
۱۹	۲-۲-۲- ترکیبات بین فلزی در آلیاژهای Al-Si.....
۲۰	۲-۲-۳- اشکال مختلف ترکیبات بین فلزی حاوی آهن در آلیاژ ۳۸۰.....
۲۲	۲-۲-۴- تأثیر عوامل مختلف بر روی مورفولوژی ترکیبات بین فلزی.....
۲۲	۲-۲-۴-۱- تأثیر عناصر آلیاژی.....
۲۵	۲-۲-۴-۲- تأثیر سرعت سرد کردن.....

۲۷	۳-۲-۲-۲- تأثیر دمای فوق‌گداز
۳۲	۴-۲-۲-۲- بهسازی ترکیبات بین‌فلزی حاوی آهن توسط عنصر استرانسیم
۳۳	۳-۲- تجمع ترکیبات بین‌فلزی پیچیده و اثرات نامطلوب ناشی از آن
۳۶	۴-۲- جدایش وزنی ترکیبات بین‌فلزی
۳۸	۱-۲-۴- فاکتور جدایش
۴۳	۲-۲-۴- کلوخه شدن
۴۴	۳-۲-۴- زدایش آهن به وسیله جدایش وزنی
۴۵	۵-۲- فرآیند انجماد در سیستم Al-Fe-Mn-Si
۴۹	۶-۲- واکنشهای انجام شده در سیستم Al-Fe-Mn-Si

## فصل سوم: روش تحقیق و آزمایش

۵۶	۱-۳- آلیاژسازی
۵۷	۲-۳- ساخت و تهیه قالب
۵۸	۳-۳- انتقال و نگهداری مذاب در کوره
۵۸	۴-۳- شوکه کردن
۵۹	۵-۳- برش و کدگذاری نمونه‌ها
۶۱	۶-۳- آنالیز شیمیایی
۶۱	۷-۳- اندازه‌گیری سختی
۶۱	۸-۳- متالوگرافی
۶۲	۹-۳- آنالیز تصویری
۶۴	۱۰-۳- میکروسکوپ الکترونی SEM

## فصل چهارم: نتایج

۶۶	۴-۱- نتایج کوانتومتری
۶۶	۴-۱-۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ
۶۶	۴-۱-۲- جدایش عناصر
۷۴	۴-۲- آنالیز تصویری
۷۴	۴-۲-۱- تغییرات درصد حجمی ترکیبات بین فلزی
۷۷	۴-۲-۲- تغییرات اندازه متوسط ذرات بین فلزی
۷۹	۴-۲-۳- تغییرات تعداد ذرات بر واحد سطح
۸۲	۴-۳- بررسی ریزساختار و آنالیز فازی
۸۲	۴-۳-۱- متالوگرافی
۸۶	۴-۳-۲- میکروسکوپ الکترونی
۸۶	۴-۳-۲-۱- طیف عنصری (آنالیز کیفی)
۸۷	۴-۳-۲-۲- آنالیز عنصری (آنالیز کمی)
۸۸	۴-۳-۲-۳- آنالیز خطی (آنالیز کیفی)
۸۹	۴-۳-۲-۴- توزیع عنصری (آنالیز کیفی)
۹۱	۴-۴- سختی سنجی
۹۱	۴-۴-۱- ماکرو سختی سنجی
۹۲	۴-۴-۲- میکروسختی

## فصل پنجم: بحث و بررسی

۹۴	۵-۱- دمای تشکیل ترکیبات بین فلزی در آلیاژ AS9U3
----	---



۵-۲-جدایش وزنی ترکیبات بین فلزی .....	۹۵
۵-۲-۱- بررسی فازهای جدایش یافته .....	۹۷
۵-۲-۲- سینتیک تشکیل ترکیبات بین فلزی .....	۹۸
۵-۲-۳- جدایش عناصر .....	۱۰۲
۵-۲-۴- مطالعه سرعت رسوب ذرات بین فلزی در مذاب .....	۱۰۷
۵-۲-۴-۱- محاسبه سرعت رسوب ترکیبات بین فلزی براساس نتایج بدست آمده از آنالیز تصویری .....	۱۰۷
۵-۲-۴-۲- محاسبه سرعت رسوب ذرات بین فلزی براساس قانون استوک .....	۱۰۹
۵-۳- تأثیر عنصر استرانسیم بر ریزساختار، مورفولوژی و جدایش ثقلی ترکیبات بین فلزی در آلیاژ AS9U3 .....	۱۱۳
فصل ششم : نتیجه گیری .....	۱۲۷
منابع .....	۱۳۲

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

### فصل اول: مقدمه

شکل ۱-۱- آلیاژهای مهم آلومینیم..... ۳

### فصل دوم: مروری بر منابع

شکل ۱-۲- تأثیر سیلیسیم بر برخی از خواص مکانیکی..... ۱۰

شکل ۲-۲- دیاگرام دوتایی Al-Si..... ۱۲

شکل ۲-۳- دیاگرام فازی Al-Fe-Si..... ۱۳

شکل ۲-۴- ارتباط بین %Mn بر بلندای فاز سوزنی شکل  $\beta$  در آلیاژ ۳۱۹..... ۱۵

شکل ۲-۵- دیاگرام فازی آلیاژ دوتایی آلومینیم - مس..... ۱۷

شکل ۲-۶- انواع مورفولوژیهای ترکیبات بین فلزی..... ۲۱

شکل ۲-۷- ارتباط بین درصد فاز  $\beta$  با میزان آهن و سیلیسیم..... ۲۴

شکل ۲-۸- تأثیر میزان آهن و سرعت انجماد بر روی ساختار آلیاژ Al-۱۳Si- فاقد Mn..... ۲۵

شکل ۲-۹- ساختار انجماد یافته آلیاژ Al-۰/۴Fe-۰/۶Si..... ۲۷

شکل ۲-۱۰- ساختار انجمادی آلیاژ Al-۰/۶Si-۰/۴Fe تحت دمای فوق ذوب..... ۲۸

شکل ۲-۱۱- تأثیر میزان آهن و دمای فوق گداز بر روی مورفولوژی ترکیبات حاوی آهن..... ۲۸

شکل ۲-۱۲- تأثیر دمای فوق گداز و میزان آهن بر روی ساختار ترکیبات حاوی آهن..... ۲۹

شکل ۲-۱۳- تأثیر میزان منیزیم بر روی مورفولوژی ترکیبات بین فلزی..... ۳۰

شکل ۲-۱۴- ارتباط بین خواص مکانیکی با میزان آهن..... ۳۱

شکل ۲-۱۵- تأثیر زمان انجماد و دمای فوق گداز بر روی مورفولوژی ترکیبات بین فلزی..... ۳۱

شکل ۲-۱۶- ترکیبات بین فلزی تجمع یافته در آلیاژ ۴۱۳..... ۳۴

- شکل ۱۷-۲- ارتباط بین درصد منگنز با فاکتور جدایش در آلیاژ ۴۱۳ ..... ۴۱
- شکل ۱۸-۲- ارتباط بین فاکتور جدایش و دما ..... ۴۲
- شکل ۱۹-۲- تشکیل و تجمع ترکیبات بین فلزی به ازاء فاکتور جدایش ۲/۲ و دمای  $660^{\circ}\text{C}$  ... ۴۳
- شکل ۲۰-۲- دیاگرام فازی آلیاژ ۳۵۶ ..... ۴۵
- شکل ۲۱-۲- فازهای تشکیل شده طی انجماد آلیاژ  $13\% \text{Si-Al}$  حاوی Fe و Mn ..... ۴۸
- شکل ۲۲-۲- موقعیت آلومینیوم در گوشه دیاگرام فازی Al - Si - Fe - Mn در دو حالت مایع و جامد. ۵۲

## فصل سوم: روش تحقیق و آزمایش

- شکل ۱-۳- چارت کلی آزمایشات انجام شده ..... ۵۵
- شکل ۲-۳- شمش منجمد شده قبل از برش ..... ۵۹
- شکل ۳-۳- خطوط تقاطع تحت زوایای  $90^{\circ}$  و  $45^{\circ}$  ..... ۶۲
- شکل ۴-۳- تصویر مکان انتخابی و آنالیز تصویری آن ..... ۶۳

## فصل چهارم: نتایج

- شکل ۱-۴- تأثیر زمان نگهداری در کوره و فاصله از سطح بالایی قالب بر غلظت آهن ..... ۶۷
- شکل ۲-۴- تأثیر زمان نگهداری در کوره و فاصله از سطح بالایی قالب بر غلظت منگنز ..... ۶۷
- شکل ۳-۴- تأثیر زمان نگهداری در کوره و فاصله از سطح بالایی قالب بر غلظت کروم ..... ۶۸
- شکل ۴-۴- تأثیر زمان نگهداری در کوره و فاصله از سطح بالایی قالب بر غلظت مس ..... ۶۸
- شکل ۵-۴- مقایسه غلظت آهن در کف ذوب ( $L1L$ ) تحت زمانهای مختلف ..... ۶۹
- شکل ۶-۴- مقایسه غلظت منگنز در کف ذوب ( $L1L$ ) تحت زمانهای مختلف ..... ۷۰
- شکل ۷-۴- مقایسه غلظت کروم در کف ذوب ( $L1L$ ) تحت زمانهای مختلف ..... ۷۰

- شکل ۸-۴- مقایسه غلظت مس در کف ذوب (L1L) تحت زمانهای مختلف ..... ۷۱
- شکل ۹-۴- تأثیر زمان نگهداری و فاصله از سطح بالایی قالب بر غلظت آهن (حاوی Sr) ..... ۷۱
- شکل ۱۰-۴- تأثیر زمان نگهداری و فاصله از سطح بالایی قالب بر غلظت منگنز (حاوی Sr) ..... ۷۲
- شکل ۱۱-۴- تأثیر زمان نگهداری و فاصله از سطح بالایی قالب بر غلظت کروم (حاوی Sr) ..... ۷۲
- شکل ۱۲-۴- تأثیر زمان نگهداری و فاصله از سطح بالایی قالب بر غلظت مس (حاوی Sr) ..... ۷۳
- شکل ۱۳-۴- درصد حجمی ترکیبات بین فلزی جدایش یافته در مکانهای مختلف از قالب (حاوی Sr) ..... ۷۴
- شکل ۱۴-۴- درصد حجمی ترکیبات بین فلزی جدایش یافته در مکانهای مختلف از قالب (حاوی Sr) ..... ۷۵
- شکل ۱۵-۴- تأثیر زمان رسوب بر درصد حجمی ترکیبات بین فلزی ..... ۷۵
- شکل ۱۶-۴- سرعت رسوب ترکیبات بین فلزی در مکانهای مختلف از قالب ..... ۷۶
- شکل ۱۷-۴- ارتباط درصد حجمی ترکیبات بین فلزی تجمع یافته در مقطع L1L ..... ۷۶
- شکل ۱۸-۴- تغییرات اندازه متوسط ذرات بر حسب فاصله از بالای قالب ..... ۷۸
- شکل ۱۹-۴- تغییرات اندازه متوسط ذرات بر حسب فاصله از بالای قالب (E و S) ..... ۷۸
- شکل ۲۰-۴- تغییرات اندازه متوسط ذرات بر حسب زمان نگهداری ..... ۷۹
- شکل ۲۱-۴- تعداد ذرات بین فلزی تشکیل شده در واحد سطح در مکانهای مختلف از مذاب .. ۸۰
- شکل ۲۲-۴- تعداد ذرات بین فلزی تشکیل شده در واحد سطح در مکانهای مختلف (E و S) .. ۸۰
- شکل ۲۳-۴- تعداد ذرات بین فلزی تشکیل شده در واحد سطح مقاطع L1L ..... ۸۱
- شکل ۲۴-۴- ریزساختار آلیاژ AS9U3 ..... ۸۲
- شکل ۲۵-۴- ترکیبات بین فلزی سوزنی شکل ..... ۸۳
- شکل ۲۶-۴- ترکیبات بین فلزی به شکل حروف چینی ..... ۸۳
- شکل ۲۷-۴- ترکیبات بین فلزی به شکل چند ضلعی ..... ۸۴
- شکل ۲۸-۴- ترکیبات بین فلزی به شکل ستاره‌ای ..... ۸۴

- شکل ۲۹-۴- ترکیبات بین فلزی تجمع یافته در کف نمونه B ..... ۸۵
- شکل ۳۰-۴- ترکیبات بین فلزی تجمع یافته در کف نمونه E ..... ۸۵
- شکل ۳۱-۴- طیفهای مربوط به عناصر موجود در ترکیبات بین فلزی ..... ۸۷
- شکل ۳۲-۴- طیف مربوط به عناصر موجود در ترکیبات بین فلزی پیچیده ..... ۸۷
- شکل ۳۳-۴- آنالیز خطی بر روی ذره بین فلزی پلی هدرال ..... ۸۹
- شکل ۳۴-۴- X-Ray mapping عناصر در ترکیب بین فلزی ..... ۹۰
- شکل ۳۵-۴- توزیع سختی در طول نمونه‌های A، B و C ..... ۹۱
- شکل ۳۶-۴- توزیع سختی در طول نمونه‌های E و S حاوی Sr ..... ۹۲

## فصل پنجم: بحث و بررسی

- شکل ۱-۵- تعیین دمای بحرانی تشکیل ترکیبات بین فلزی در آلیاژ AS9U3 ..... ۹۴
- شکل ۲-۵- آگلومره شدن ذرات بین فلزی با مورفولوژی چند ضلعی ..... ۹۶
- شکل ۳-۵- رگرسیون خطی رابطه Avrami در آلیاژ AS9U3 در  $630^{\circ}\text{C}$  ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۵- تغییرات درصد حجمی ترکیبات بین فلزی در آلیاژ AS9U3 بر حسب زمان نگهداری ..... ۱۰۱
- شکل ۵-۵- درصد شیب غلظتی عناصر بر حسب زمان نگهداری در  $T=630^{\circ}\text{C}$  ..... ۱۰۶
- شکل ۶-۵- سرعت رسوب ترکیبات بین فلزی بعنوان تابعی از زمان ..... ۱۱۲
- شکل ۷-۵- مقایسه سرعت رسوب ترکیبات بین فلزی با برخی از آنها با چگالی‌های مختلف ..... ۱۱۲
- شکل ۸-۵- ریزساختار آلیاژ AS9U3 حاوی Sr ..... ۱۱۳
- شکل ۹-۵- مقایسه درصد حجمی ترکیبات بین فلزی در فواصل مختلف از بالای قالب ..... ۱۱۵
- شکل ۱۰-۵- مقایسه درصد حجمی ترکیبات بین فلزی در کف نمونه‌های بدون Sr و حاوی Sr ..... ۱۱۵
- شکل ۱۱-۵- مقایسه تعداد ذرات بین فلزی در واحد سطح بین نمونه‌های حاوی Sr ..... ۱۱۶

- شکل ۱۲-۵- مقایسه تعداد ذرات بین فلزی بر واحد سطح در کف نمونه‌های بدون Sr و حاوی Sr .. ۱۱۷
- شکل ۱۳-۵- مقایسه اندازه متوسط ذرات بین فلزی در فواصل مختلف از بالای قالب بین نمونه‌های بدون Sr و حاوی Sr .. ۱۱۸
- شکل ۱۴-۵- مقایسه اندازه متوسط ذرات بین فلزی در کف نمونه‌های بدون Sr و حاوی Sr ... ۱۱۸
- شکل ۱۵-۵- ارتفاع ترکیبات تجمع یافته در کف مذاب و مقایسه آن در نمونه‌های حاوی Sr و عاری از Sr .. ۱۱۹
- شکل ۱۶-۵- مقایسه افزایش درصد وزنی آهن با ازدیاد فاصله از بالای قالب در نمونه‌های حاوی Sr و بدون Sr .. ۱۲۰
- شکل ۱۷-۵- مقایسه افزایش درصد وزنی منگنز با ازدیاد فاصله از بالای قالب در نمونه‌های حاوی Sr و بدون Sr .. ۱۲۱
- شکل ۱۸-۵- مقایسه افزایش درصد وزنی کروم با ازدیاد فاصله از بالای قالب در نمونه‌های بدون Sr و حاوی Sr .. ۱۲۲
- شکل ۱۹-۵- مقایسه افزایش درصد وزنی مس با ازدیاد فاصله از بالای قالب در نمونه‌های بدون Sr و حاوی Sr .. ۱۲۳
- شکل ۲۰-۵- افزایش سختی برحسب فاصله از بالای قالب و مقایسه آنها بین نمونه‌های بدون Sr و حاوی Sr .. ۱۲۴
- شکل ۲۱-۵- مقایسه درصد تغییرات شیب غلظتی بین نمونه‌های بدون Sr و حاوی Sr .. ۱۲۵

## فهرست جداول

عنوان صفحه

### فصل اول : مقدمه

- جدول ۱-۱- نامگذاری آلیاژ ۳۸۰ طبق استانداردهای مختلف جهانی..... ۴
- جدول ۱-۲- ترکیب شیمیایی گروه آلیاژهای ۳۸۰..... ۴
- جدول ۱-۳- خواص مکانیکی آلیاژ ۳۸۰..... ۶

### فصل دوم : مروری بر منابع

- جدول ۲-۱- درصد عناصر در بالا و پائین مذاب  $T = 680^{\circ}C$ ، A۳۸۰..... ۳۸
- جدول ۲-۲- درصد عناصر در بالا و پائین مذاب A۳۸۰ تحت عملیات هم زدن در  $T = 700^{\circ}C$ ..... ۳۸
- جدول ۲-۳- حداکثر مقدار آهن و منگنز پیشنهادی در شرایط مختلف..... ۴۰
- جدول ۲-۴- آلیاژهای A و B..... ۴۰
- جدول ۲-۵- ترکیب شیمیایی آلیاژ ۳۸۰..... ۴۶
- جدول ۲-۶- ترتیب فازهای رسوبی در حین سرد شدن در آلیاژهای هیپریوتکتیک آلومینیم - سیلیسیم .. ۴۷
- جدول ۲-۷- واکنشهای انجام شده در سیستم Al - Si - Fe - Mn..... ۵۱

### فصل سوم : روش تحقیق و آزمایش

- جدول ۳-۱- آنالیز شیمیایی آلیاژ ۳۸۰/۳ تهیه شده از شرکت ایرالکو..... ۵۶
- جدول ۳-۲- مشخصات آمیزانهای مصرفی..... ۵۶
- جدول ۳-۳- شماره گذاری نمونه ها..... ۶۰
- جدول ۳-۴- کدگذاری نمونه های حاوی Sr..... ۶۰