۱۳۷۹ /۱/ ۲۲

مرکز اطلاعات علمی ایران

بسم الله الرحمن الرحیم

بهسازی خواص و ریزساختار آلیاژ آلومینیوم و سیلیسیم (A356)

توسط

محمد دارایی

پایان نامه

ارائه شده به دانشکدهٔ تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی

از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ

درجهٔ کارشناسی ارشد

در رشتهٔ

مهندسی مواد - شناسایی، انتخاب و روش ساخت مواد فلزی

از

دانشگاه شیراز

شیراز ، ایران

-5147

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیتهٔ پایان نامه با درجهٔ : عالی

امضاء اعضای کمیتهٔ پایان نامه :

دکتر ابوالقاسم دهقان، استادیار مهندسی مواد (رئیس کمیته).....

دکتر سید احمد جنابعلی جهرمی، استادیار مهندسی مواد (رئیس کمیته).....

دکتر محمدمحسن مشکسار، استاد مهندسی مواد.....

دکتر سیروس جوادپور، استادیار مهندسی مواد.....

بهمن ۱۳۷۸

۲۷۹۷۶

تقدیم به

آموزگارانم

۲۷۹۷۶

سپاسگزاری

اکنون که به لطف پروردگار موفق به اتمام این پایان نامه شده‌ام، از زحمات اساتید راهنما آقایان دکتر دهقان و دکتر جهرمی بخـاطر راهنمایی‌هـای ارزنده‌شـان تشـکر و قدردانـی می‌کنم. همچنین از راهنمایی‌ها و پیشنهادات ارزندهٔ اعضای کمیته آقایان دکتر مشکسـار و دکتر جوادپور سپاسگزارم. از طرفی از تمامی دوستان و عزیزانی که بنحوی از انحاء مـرا در اینکار یاری نمودند نیز تشکر می‌کنم.

چکیده

بهسازی خواص و ریزساختار آلیاژ آلومینیوم- سیلیسیم (A356)

توسط

محمد دارایی

بخوبی معلوم گردیده که عملیات بهسازی با Na و Sr تمایل به تشکیل ریزتخلخل را در آلیاژ افزایش می‌دهد. بعبارت دیگر، عناصر بهساز مورفولوژی مکها را تغییر می‌دهند.

در این تحقیق اثر دو عنصر استرانسیوم و آنتیموان بر ریز ساختار و خواص مکانیکی آلیاژ (A356)مورد بررسی قرار گرفته‌است.

نتایج نشان داده‌اند که بیشتر ریزتخلخل‌ها در آلیاژهای بهسازی شده با استرانسیوم، در مقایسه با آلیاژهای بهسازی نشده و آنتیموان‌دار که دارای تخلخل‌های بی‌نظمی (بین دندریتی) هستند، گرد و شبه بی‌نظم می‌باشند.

با استفاده از قالبهایی که از یک طرف به مبرد و از طرف دیگر به تغذیه وصل بودند مشخص شد که ریز تخلخل در آلیاژهای بهسازی شده با استرانسیوم ۳-۲ مرتبه نسبت به آلیاژهای بهسازی نشده و آنتیموان‌دار بیشتر می‌شود. همچنین حجم انقباضی نایچه در آلیاژهای بهسازی شده با استرانسیوم با کاهشی روبرو است.

اندازهٔ دانه و فاصله بازوی دندریتی با افزایش عناصر بهساز کاهش می‌یابند، بقسمی که اثر Sb بیشتر از Sr می‌باشد.

آزمایشات کشش نشان می‌دهندکه با افرایش عناصر بهساز، افزایشی قابل توجهی در استحکام کششی آلیاژ و درصد ازدیاد طول نسبی پدید می‌آید.

انرژی ضربهٔ آلیاژهای بهسازی شده با استرانسیوم بیشتر از آلیاژهای بهسازی نشده و آنتیموان‌دار می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مورفولوژی فاز سیلیسیم تأثیر خیلی بیشتری بر مقاومت به ضربه نسبت به ریز تخلخل بر جای می‌گذارد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جداول ح

فهرست اشکال ط

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: تئوری و مروری بر کارهای گذشته ۶

۲-۱- مکانیزم بهسازی ۶

۲-۱-۱- تئوری مکانیزم بهسازی ۶

۲-۱-۱-۱- آلیاژ هیپویوتکتیک بدون سدیم و فسفر ۸

۲-۱-۱-۲- آلیاژ هیپویوتکتیک شامل فسفر ۸

۲-۱-۱-۳- آلیاژ هیپویوتکتیک شامل سدیم ۸

۲-۱-۲- مکانیزم بهسازی بر اساس آزمایشات آنالیز گرمایی ۱۶

۲-۲- ارزیابی بهسازی ۲۱

۲-۳- بررسی فیزیکی و شیمیایی عناصر مختلف از نظر بهسازی ۲۸

۲-۳-۱- شعاع اتمی ۲۹

۲-۳-۲- نقطهٔذوب ۲۹

۲-۳-۳- فشار بخار ۲۹

۲-۳-۴- اکسیداسیون ۳۰

۲-۴- تخلخل ۳۱

۲-۴-۱- عوامل موثر بر تشکیل تخلخل ۳۱

۲-۴-۱-۱- اثرات مقدار ئیدروژن بر مقدار تخلخل ۳۲

۲-۴-۱-۲- اثرات تنش سطحی بر میزان تخلخل ۳۵

عنوان	صفحه

۲-۴-۱-۳- اثرات مقدار آخال بر میزان تخلخل	۳۵
۲-۴-۱-۴- تغذیه‌رسانی جرمی ضعیف	۳۶
۲-۴-۱-۵- مشکلات در تغذیه‌رسانی بین‌دندریتی و تئوری تشکیل تخلخل	۳۷
۲-۴-۲- تعیین مقدار تخلخل	۴۴
۲-۵- خواص مکانیکی	۴۶
۲-۵-۱- استحکام کششی	۴۶
۲-۵-۲- استحکام ضربه	۴۸
۲-۶- نقش طراحی سیستم های تغذیه‌گذاری و راهگاهی در جلوگیری از تشکیل تخلخل	۴۸
۲-۶-۱- مکانیزم‌های تغذیه‌رسانی	۵۰
۲-۶-۱-۱- تغذیه‌رسانی مایع	۵۱
۲-۶-۱-۲- تغذیه‌رسانی جرمی	۵۱
۲-۶-۱-۳- تغذیه‌رسانی بین دندریتی	۵۱
۲-۶-۲ گلویی تغذیه	۵۱
۲-۶-۳ اثرات قالب و مبردگذاری بر راندمان تغذیه	۵۲
۲-۶-۴ اجزاء سیستم راهگاهی و طراحی آنها	۵۳
۲-۶-۴-۱ سیستم فشاری	۵۴
۲-۶-۴-۲ سیستم غیر فشاری	۵۵
۲-۶-۴-۳- راهگاه بارریز	۵۵
۲-۶-۴-۴- راهبار	۵۶
۲-۶-۴-۵- راهباره	۵۷
فصل سوم: کارهای آزمایشگاهی	۵۹
۳-۱- اندازه‌گیری دما بر اساس ثبت اطلاعات کامپیوتری	۵۹

عنوان	صفحه

۳-۲- سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری	۶۱
۳-۳- مواد قالبگیری	۶۶
۳-۴- نحوهٔ تهیهٔ مذاب	۶۷
۳-۵- اندازه‌گیری مقدار تخلخل	۶۹
۳-۶- آزمایشات کشش و ضربه	۷۰
فصل چهارم: نتایج و بحث	۷۵
۴-۱- نتایج آزمایشات متالوگرافی	۷۵
۴-۲- نرخ بهسازی	۸۶
۴-۳- اندازهٔ دانه (D) و فاصله بازوی دندریت (DAS)	۸۹
۴-۴- نتایج آزمایشات مربوط به تخلخل	۹۲
۴-۴-۱-۱- نتایج آزمایشگاهی ریزتخلخل	۹۲
۴-۴-۱-۲- نتایج میکروسکوپی ریزتخلخل	۹۶
۴-۴-۲- تخلخل درشت	۱۰۱
۴-۵- نتایج آزمایشات کششی	۱۰۷
۴-۵-۱- نتایج داده‌های استحکام کششی	۱۰۷
۴-۵-۲- نتایج توپوگرافی سطح مقطع شکست	۱۱۷
۴-۶- نتایج آزمایشات ضربه	۱۲۱
۴-۶-۱- نمونه‌های شیاردار	۱۲۱
۴-۶-۲- نمونه‌های بدون شیار	۱۲۶
۴-۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات	۱۲۹
۴-۷-۱- نتیجه‌گیری	۱۲۹
۴-۷-۲- پیشنهادات	۱۳۱
چکیده و صفحه عناوین به انگلیسی	۱۳۳

فهرست جداول

جدول **صفحه**

جدول (۲-۱) افت دمای هسته‌زنی یوتکتیک توسط استرانسیوم ۲۰

جدول (۲-۲) بعضی از خواص بهسازهای مهم ۲۸

جدول (۲-۳) مقایسهٔ بین بهسازهای سدیم، استرانسیوم و آنتیموان ۳۱

جدول (۲-۴) مقادیر DAS اندازه گرفته شدهٔ آلیاژ A356 کوئنچ شده از دماهای مختلف ۴۳

جدول (۲-۵) مقادیر ضریب جدایش عناصر مختلف تأثیر گذار بر آلیاژ A356 ۴۳

جدول ۳-۱) مقادیر سیستم راهگاهی محاسبه شده ۶۵

جدول (۴-۱) نرخ بهسازی برای ذوب‌های مختلف ۸۶

جدول (۴-۲) مقادیراندازهٔ دانه و DAS برای ذوبهای مختلف. ۸۹

جدول (۴-۳) درصد تخلخل بر حسب فاصله از مبرد برای ذوب‌های مختلف ۹۳

جدول (۴-۴) مقادیر حجم نایچهٔ بدست آمده از ذوبهای مختلف. ۱۰۱

جدول (۴-۵) مقادیر استحکام کششی، استحکام تسلیم و درصد ازدیاد طول نسبی برای سری‌های ذوبی مختلف ۱۰۸

جدول (۴-۶) درصد افزایش استحکام کششی، استحکام تسلیم ٪ ۰/۲ و درصد ازدیاد طول نسبی نسبت به حالت بهسازی نشده ۱۰۹

جدول (۴-۷) مقادیر استحکام ضربهٔ نمونه‌های شیاردار در چهار دمای مختلف ۱۲۲

فهرست اشکال

شکل **صفحه**

شکل (۱-۱) ریزساختار آلیاژ A356 بعد از عملیات حرارتی با میکروسکوپ SEM ۲

شکل (۲-۱) هسته‌زنی در ناحیهٔ یوتکتیک نمودار فازی Al-Si ۷

شکل (۲-۲) مدل رشد برای انجماد یوتکتیک Al- Si بهسازی نشده و بهسازی شده ۹

شکل (۲-۳) تصویر میکروسکوپ الکترونی از ساختار یوتکتیک Al- Si اچ عمیق شده ۱۰

شکل (۲-۴) رشد سیلیسیم بهسازی نشده از مذاب ۱۱

شکل (۲-۵) شاخه‌ای شدن صفحات سیلیسیم بهسازی نشده ۱۲

شکل (۲-۶) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری از ساختار سیلیسیم ۱۳

شکل (۲-۷) ترتیب دوقلویی شدن زیگزاگ در رشد فیبری سیلیسیم یوتکتیک بهسازی شده با استرانسیوم ۱۴

شکل (۲-۸) شاخه‌ای شدن ۹۰ درجه‌ای در سیلیسیم بهسازی شده با استرانسیوم ۱۵

شکل (۲-۹) شماتیک منحنی سرد شدن برای ارائه مادون انجماد هسته‌زنی فاز اول و فاز دوم یوتکتیک ۱۶

شکل (۲-۱۰) تصویر ریز ساختار سیلیسیم کم بهسازی شده با $\Delta T = -0.1^{\circ C}$ و خوب بهسازی شده با $\Delta T = -6.1\,^{\circ}C$ ۱۷

شکل(۲-۱۱) ریز ساختار آلیاژ Al- 7 % Si با خلوص خیلی بالا که در دمای ۵۸۵ $^{\circ}C$ بمدت ۶ ساعت آنیل شده، بزرگنمایی ۶۳۰ برابر ۱۸

شکل **صفحه**

شکل (۲-۱۲) اختلاف ریز ساختار بهسازی شده با سدیم و بهسازی شده باSb ۲۱

شکل (۲-۱۳) تصاویر مربوط به نرخ بهسازی یک آلیاژ از ۱ تا ۶ ۲۴

شکل (۲-۱۴) منحنی نرخ بهسازی بر اساس دمای رشد یوتکتیک آلیاژ A356-2 ریخته شده در ماسه ۲۵

شکل (۲-۱۵) نرخ بهسازی در مقابل مقدار استرانسیوم و درجهٔ بهسازی ۲۶

شکل (۲-۱۶) درصد ازدیاد طول نسبی در مقابل داده‌های افت دمایی (۰= ^0C ۵۷۳) برای میله‌های ریخته شده در ماسه برای آلیاژ A356-T6 ۲۷

شکل (۲-۱۷) درصد ازدیاد طول نسبی در مقابل مقدار استرانسیوم برای تولید میله‌های ریخته شده آلیاژ A356-T6 ۲۷

شکل (۲-۱۸) ارتباط بین مقدار ئیدروژن و درجه حرارت مذاب ۳۳

شکل (۲-۱۹) مقادیر ئیدروژن اندازه گرفته شده قبل و بعد از افزایش استرانسیوم برای آلیاژ A356 ۳۳

شکل (۲-۲۰) حجم نایچه بدست آمده از تست تاتور در درصدهای مختلف ئیدروژن ۳۴

شکل(۲-۲۱) تغییرات سیالیت آلیاژ A356 توسط عناصر بهساز Sr، Sb و نرخ بهسازی ۴۱

شکل (۲-۲۲) توقف جریان مذاب در فلزات خالص با انجماد کامل و در آلیاژهای پردامنه با انجماد جزئی ۴۱

شکل (۲-۲۳) مقادیر استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبی آلیاژ ۳۵۶ ۴۷

شکل (۲-۲۴) سیمای اصلی سیستم راهگاهی ۵۴

شکل(۲-۲۵) نموداری برای محاسبهٔ سیستم‌های راهگاهی الیاژهای آلومینیوم ۵۸

شکل (۳-۱) تصویری از کامپیوتر و اجزاء مربوط به ثبت دما ۶۱

شکل (۳-۲) نمایی از مدل بهمراه نمونه‌های آزمایشات کشش، ضربه، مقدار

شکل **صفحه**

تخلخل و ساختار متالوگرافی ۶۲

شکل (۳-۳) نمایی از مدل، تغذیه و اجزاء سیستم راهگاهی ۶۵

شکل (۳-۴) نمایی از قالبگیری قطعهٔ مورد نظر ۶۶

شکل (۳-۵) تصویری از قالب آماده برای ذوب ریزی ۶۷

شکل (۳-۶) نمایی از ضمائم گاززدا و بوتهٔ مورد استفاده ۶۸

شکل (۳-۷) تصویری از نمونهٔ کششی ساخته شده با طول مشخص شده برای اندازه‌گیری درصد ازدیاد طول نسبی ۷۱

شکل (۳-۸) نمایی از دستگاه کشش مورد استفاده ۷۲

شکل (۳-۹) تصویری از نمونهٔ ضربهٔ ساخته شده ۷۳

شکل (۳-۱۰) دستگاه ضربهٔ پاندولی برای آزمایش نمونه‌های شیاردار ۷۳

شکل (۳-۱۱) دستگاه ضربهٔ مورد استفاده برای نمونه‌های بدون شیار ۷۴

شکل (۴-۱) تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ای از ذوب UM1 در حالت بدون استفاده از مبرد و عنصر بهساز ۷۶

شکل (۴-۲) تصویر میکروسکوپ الکترونی SEM نمونه‌ای از ذوب UM1 در حالت بدون استفاده از مبرد و عناصر بهساز ۷۶

شکل (۴-۳) تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ای از ذوب UM2 در حالت بدون استفاده از عنصر بهساز ۷۷

شکل (۴-۴) تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ای از ذوب UM2 با Sb ٪ ۰/۰۰۱، اچ شده با محلول Tuker ۷۷

شکل (۴-۵) تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ای از ذوب SRM1 با Sr ٪ ۰/۰۱ ۷۹

شکل (۴-۶) تصویر میکروسکوپ نوری از ذوب SRM2 با Sr ٪ ۰/۰۱۳ ۷۹

شکل (۴-۷) تصویر میکروسکوپ الکترونی SEM از ذوب SRM2 با Sr ٪ ۰/۰۱۳ ۸۰

شکل **صفحه**

شکل (۴-۸) تصویر میکروسکوپ نوری از ذوب SRM3 با Sr ٪ ۰/۰۲ ۸۱

شکل (۴-۹) تصویر میکروسکوپ نوری از ذوب SRM4 ۸۱

شکل (۴-۱۰) تصویر میکروسکوپ نوری از ذوب SBM3 با Sb ٪ ۰/۱۶ ۸۳

شکل (۴-۱۱) تصویر میکروسکوپ نوری از ذوب SBM5 با Sb ٪ ۰/۱ ۸۴

شکل (۴-۱۲) تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌ای از ذوب SBM5 با مقدار آنتیموان ٪ ۰/۱ ۸۴

شکل (۴-۱۳) تصویر میکروسکوپ نوری از ذوب SBM6 با Sb ٪ ۰/۰۶ ۸۵

شکل (۴-۱۴) نرخ بهسازی بر حسب مقدار آنتیموان باقی‌مانده در مذاب ۸۷

شکل (۴-۱۵) نرخ بهسازی بر حسب مقدار استرانسیوم باقی‌مانده در مذاب ۸۸

شکل (۴-۱۶) مقدار اندازهٔ دانه برحسب سری ذوبی ۹۰

شکل (۴-۱۷) فاصله بازوی دندریتی بر حسب سری ذوبی ۹۱

شکل (۴-۱۸) مقدار تخلخل بر حسب فاصله از انتهای قالب برای ذوبهای UM1(بدون استفاده از مبرد) وUM2(همان ذوب با قالب مبرددار) ۹۳

شکل (۴-۱۹) مقدار تخلخل بر حسب فاصله از مبرد برای ذوبهای سری آنتیموان ۹۴

شکل (۴-۲۰) مقدار تخلخل بر حسب فاصله از مبرد برای ذوبهای شامل استرانسیوم ۹۴

شکل (۴-۲۱) مقایسهٔ بین مقدار تخلخل برای ذوبهای Sb ٪ ۰/۰۰۱، Sb ٪ ۰/۱ و Sr ٪ ۰/۰۱۳. ۹۵

شکل (۴-۲۲) تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ای از ذوب UM2 (بدون استفاده از عناصر بهساز). ۹۷

شکل (۴-۲۳) تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ای از ذوب SBM5 (با Sb ٪ ۰/۱) ۹۷

شکل **صفحه**

شکل (۴-۲۴) تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ای از ذوب SBM5 (با Sb ٪ (۰/۱) ۹۸

شکل (۴-۲۵) تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ای با ذوب با Sb ٪ ۰/۱ ۹۸

شکل (۴-۲۶) تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ای از ذوب SRM2 (با Sr ٪ (۰/۰۱۳) ۹۹

شکل (۴-۲۷) تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ای از ذوب SRM2 (با Sr ٪ (۰/۰۱۳) ۹۹

شکل (۴-۲۸) تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ای از ذوب SRM2 (با Sr ٪ (۰/۰۱۳) ۱۰۰

شکل (۴-۲۹) تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ای از ذوب SRM2 (با Sr ٪ (۰/۰۱۳) ۱۰۰

شکل (۴-۳۰) مقدارحجم نایچه بر حسب درصد برای ذوبهای مختلف ۱۰۲

شکل (۴-۳۱) تصویر تغذیه‌های سه ذوب مختلف، بترتیب از راست به چپ، Sb ٪ ۰/۱ ، Sb ٪ ۰/۰۰۱ و Sr ٪ ۰/۰۱۳ ۱۰۳

شکل (۴-۳۲) تصویر مقاطع راهگاه‌های سه ذوب Sr ٪ ۰/۰۱۳، Sb ٪ ۰/۱ و Sb ٪ ۰/۰۰۱ بترتیب از راست به چپ ۱۰۳

شکل (۴-۳۳) نمودارهای مختلف استحکام کششی نهایی، استحکام تسلیم ٪ ۰/۲ و درصد ازدیاد طول نسبی در ۱ اینچ برای ذوبهای بدون مبرد (سری ۱) و با مبرد (سری ۲) ۱۰۹

شکل (۴-۳۴) نمودار استحکام کششی نهایی در درصدهای مختلف آنتیموان. ۱۱۰

شکل (۴-۳۵) استحکام کششی نهایی در درصدهای مختلف استرانسیوم ۱۱۱

شکل (۴-۳۶) استحکام تسلیم ٪ ۰/۲ در درصدهای مختلف آنتیموان ۱۱۲

شکل (۴-۳۷) استحکام تسلیم ٪ ۰/۲ در درصدهای مختلف استرانسیوم ۱۱۳

شکل **صفحه**

شکل (۴-۳۸) درصد ازدیاد طول نسبی در ۱ اینچ در درصدهای مختلف آنتیموان ۱۱۳

شکل (۴-۳۹) درصد ازدیاد طول نسبی در ۱ اینچ در درصدهای مختلف استرانسیوم ۱۱۴

شکل (۴-۴۰) مقایسهٔ بین استحکام کششی نهایی برای ذوبهای UM2 (Sb ٪ ۰/۰۰۱)، SBM5 (Sb ٪ ۰/۱) و SRM2 (Sr ٪ ۰۱۳) ۱۱۴

شکل (۴-۴۱) مقایسهٔ بین استحکام تسلیم ٪ ۰/۲ برای ذوبهای UM2 (Sb ٪ ۰/۰۰۱)، SBM5 (Sb ٪ ۰/۱) و SRM2 (Sr ٪ ۰۱۳) ۱۱۵

شکل (۴-۴۲) مقایسهٔ بین درصد ازدیاد طول نسبی در ۱ اینچ برای ذوبهای UM2 (Sb ٪ ۰/۰۰۱)، SBM5 (Sb ٪ ۰/۱) و SRM2 (Sr ٪ ۰۱۳) ۱۱۶

شکل (۴-۴۳) نمودار درصد ازدیاد طول نسبی بر حسب استحکام کششی بر حسب داده‌های بدست آمده برای آلیاژ A356 ۱۱۷

شکل (۴-۴۴) سطح مقطع شکست نمونه‌ای از ذوب UM1 (بدون مبرد) با میکروسکوپ SEM. ۱۱۸

شکل (۴-۴۵) سطح مقطع شکست نمونه‌ای از ذوب UM2 با Sb ٪ ۰/۰۰۱ با میکروسکوپ SEM. ۱۱۸

شکل (۴-۴۶) سطح مقطع شکست نمونه‌ای از ذوب SRM2 با Sr ٪ ۰/۰۱۳ با میکروسکوپ SEM ۱۱۹

شکل (۴-۴۷) سطح مقطع شکست نمونه‌ای از ذوب SBM5 با Sb ٪ ۰/۱ با میکروسکوپ SEM. ۱۱۹

شکل (۴-۴۸) سطح مقطع شکست نمونه‌ای از ذوب SRM2 با Sr ٪ ۰/۰۱ با میکروسکوپ SEM. ۱۲۰

شکل (۴-۴۹) نمودار ضربه برحسب دما برای ذوبهای بهسازی نشده ۱۲۲

شکل **صفحه**

شکل (۴-۵۰) مقادیر انرژی ضربه بر حسب دما برای ذوبهای آنتیموان‌دار ۱۲۳

شکل (۴-۵۱) نمودار انرژی ضربهٔ نمونه‌های شیاردار با Sr ٪ ۰/۰۱۳ ۱۲۴

شکل (۴-۵۲) انرژی ضربه نمونه‌های شیاردار برای ذوبهای مختلف ۱۲۵

شکل (۴-۵۳) انرژی ضربه نمونه‌های شیاردار برای ذوبهای مختلف ۱۲۵

شکل (۴-۵۴) انرژی ضربهٔ نمونه‌های بدون شیار برای ذوبهای مختلف بهسازی
نشده، بهسازی شده با استرانسیوم و آنتیموان در دمای ^{0}C ۲۸ ۱۲۶