۱۳۸۱ /۲/ ۲۹

به نام خدا

بررسی تاثیر میزان آلومینیم و عملیات حرارتی بر ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژهای برنز آلومینیم ریختگی

017142

به وسیلهٔ:

مهدی کلینی

پایان نامه

ارائه شده به معاونت تحصیلات تکمیلی بعنوان بخشی از فعالیت تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشتهٔ:

مهندسی مواد-شناسایی، انتخاب و روش ساخت مواد فلزی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

۴.۴۰۷

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

امضاء اعضاء کمیته پایان نامه:

دکتر عباسعلی نظربلند،
استادیار مهندسی مواد دانشگاه شیراز (رئیس کمیته).....

دکتر محمدعلی گلعذار،
استاد مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان (رئیس کمیته).....

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

دکتر ابوالقاسم دهقان، استادیار مهندسی مواد دانشگاه شیراز.....

اسفند ۱۳۸۰

تقدیم به:

پیشگاه مقدس امام زمان (عج)، شهدای جنگ تحمیلی و خانواده مهربانم.

۴۰۴۰۷

سپاسگزاری

اکنون که به یاری خداوند متعال این پایان نامه را به انجام رسانیده ام، بر خود لازم می دانم که از زحمات اساتید ارجمندم، آقای دکتر عباسعلی نظربلند و آقای دکتر محمدعلی گلعذار، که بدون کمکهای ایشان انجام این پروژه میسر نمی گشت تشکر نمایم. همچنین از اعضاء محترم کمیته، آقای دکتر سیروس جوادپور و آقای دکتر ابوالقاسم دهقان نیز تشکر می نمایم. همچنین از دوستان عزیزم نیز تشکر می نمایم.

از همکاری صمیمانه مسوولین محترم آزمایشگاههای دانشکده مواد دانشگاه صنعتی اصفهان، آقایان مهندس باقری، شیخی، رسولی، رضائی و نوری و آقایان کوزه دانی، نصر، عبادی منش و صادقی که در انجام بخش عملی پایان نامه من را یاری نمودند تشکر می کنم. همچنین از مسوولین محترم آزمایشگاههای بخش مهندسی مواد دانشگاه شیراز خصوصا خانم قهرمانی و آقای کتابچی نیز تشکر می نمایم.

چکیده

بررسی تأثیر میزان آلومینیم و عملیات حرارتی بر ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژهای برنز آلومینیم ریختگی

به وسیله ی:

مهدی کلینی

در این پژوهش تاثیر میزان آلومینیم، نوع عملیات حرارتی و مقدار عناصر آلیاژی بر ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ برنز آلومینیم مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا دو آلیاژ عملیات حرارتی پذیر با میزان آلومینیوم یکسان (۱۰/۲ و ۱۰/۳ درصد) ولی با نسبتهای Ni:Fe >۱ (آلیاژ۱) و Ni:Fe <۱ (آلیاژ۲) و یک آلیاژ تک فاز با ۸ درصد آلومینیم و Ni:Fe <۱ (آلیاژ۳) به روش ریخته گری در قالب ماسه ای تهیه شد. نمونه های کشش، طبق استاندارد دستگاه کشش انگلیسی Tensometer و نمونه های ضربه طبق استاندارد ASTM E23 تهیه گردید. نمونه های آلیاژهای عملیات حرارتی پذیر (آلیاژهای ۱و۲) به مدت یک ساعت در درجه حرارت $950^{\circ}C$ نگهداری و سپس در آب کوئنچ و در دما های ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۵۰ درجه سانتیگراد به مدت نیم ساعت تمپر شدند. نمونه های آلیاژ ۳ نیز به مدت ۲ و ۶ ساعت در درجه حرارت $700^{\circ}C$ تحت عملیات همگن سازی قرار گرفتند. تستهای کشش، ضربه ، سختی، و متالوگرافی با میکروسکوپ نوری و روبشی انجام شد ،همچنین سطح شکست مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی تاثیر نسبت Ni:Fe و مورفولوژی فاز κ بر استحکام، کششی، چقرمگی، افزایش طول نسبی، سختی وریزساختار دو

آلیاژ ۱و۲ در حالت ریختگی با هم مقایسه شدند و نیز برای بررسی تـاثیر مـیزان آلومینیـوم دو آلیـاژ تک فاز و عملیـات حرارتی پذیر با نسبت Ni:Fe <۱ باهم مقایسـه شـدند. نتـایج نشـان میدهد که آلیاژ ریختگی ۲ با فاز κ کروی (Ni:Fe <۱) خواص مکانیکی برتری نسبت به آلیـاژ ۱ دارد وافزایش میزان آلومینیوم نیز باعث افزایش استحکام کششی، سختی و کاهش چقرمگـی و افزایش طول نسبی میشود. همچنین بررسـی تـاثیر نـوع عملیـات حرارتـی، تغـیرات خـواص مکانیکی و ریزساختار آلیـاژهای عملیـات حرارتی پذیر در حالت ریختگی، کوئنچ شده و کوئنـچ و تمپر شده در درجه حرارتهای مختلف و نیز تـاثیر زمـان عملیـات همگـن سـازی بـر خـواص مکانیکی و ریزساختار آلیاژ تکفاز نشان میدهد که افزایـش زمـان همگـن سـازی استحکـــام کششی و سختی را کاهش و میزان افزایش طول نسبی را بهبود می بخشد.

فهرست مطالب

فهرست جداول ط

فهرست اشکال ی

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: تئوری ۳

۲-۱- برنز آلومینیم در صنعت ۳

۲-۲- خواص فیزیکی ۳

۲-۳- ذوب و ریخته گری برنز آلومینیم ۵

۲-۴- ریز ساختار و عملیات حرارتی آلیاژهای ریختگی ۶

۲-۴-۱- آلیاژ های دوتایی ۶

۲-۴-۱-۱- سیستم Cu-Al دوتایی ۶

۲-۴-۲- آلیاژهای چند تایی ۸

۲-۴-۲-۱- سیستم Cu-Al-Fe ۹

۲-۴-۲-۲- سیستم Cu-Al-Ni ۱۰

۲-۴-۲-۳- سیستم Cu-Al-Fe-Ni ۱۱

۲-۴-۳- عملیات حرارتی ۱۷

۲-۴-۳-۱- تأثیر سرعت سرد شدن ۱۸

۲-۴-۳-۲- کوئنچ و تمپر ۱۸

۲-۴-۳-۳- عملیات حرارتی برای مقاومت به خوردگی ۱۹

۲-۵-.خواص مکانیکی آلیاژ های ریختگی ۲۰

۲-۵-۱- تأثیر عناصر آلیاژی اصلی برخواص مکانیکی آلیاژهای ریختگی ۲۱
۲-۵-۲- نکاتی در رابطه با تأثیر عناصر آلیاژی اصلی ۲۵
۲-۵-۳- ناخالصیها و تأثیر آنها بر خواص مکانیکی ۲۶
۲-۵-۴- تأثیر عملیات حرارتی بر خواص مکانیکی ۲۶
۲-۵-۴-۱- آلیاژهای دوتایی ۲۶
۲-۵-۴-۲- آلیاژ های چند تایی ۲۹
فصل سوم: روش تحقیق ۳۳
۳-۱- مقدمه ۳۳
۳-۲- تهیه نمونه ۳۳
۳-۲-۱- طراحی سیستم راهگاهی ۳۴
۳-۲-۲- مدل سازی ۳۴
۳-۲-۳- مواد قالبگیری ۳۵
۳-۲-۴- ساخت قالب ۳۵
۳-۲-۵- آماده کردن مواد اولیه ۳۶
۳-۲-۶- عملیات ذوب ۳۶
۳-۲-۷- برشکاری و تراشکاری ۳۷
۳-۳- تعیین ترکیب شیمیایی ۳۷
۳-۴- عملیات حرارتی ۳۷
۳-۵- آزمایش کشش ۳۸
۳-۵-۱- استحکام کششی ۳۸
۳-۵-۲- افزایش طول نسبی ۳۸
۳-۶- آزمایش ضربه ۳۹
۳-۷- آزمایش سختی ۳۹

۳-۸- متالوگرافی ۴۰
۳-۹- آزمایش ریز سختی (Microhardness) ۴۰
۳-۱۰- بررسی مقاطع شکست بوسیله SEM ۴۰
فصل چهارم: نتایج و بحث ۴۱
۴-۱- مقدمه ۴۱
۴-۲- نتایج آنالیز شیمیایی ۴۱
۴-۳- نتایج حاصل از آزمایشهای مکانیکی ۴۲
۴-۳-۱- نتایج آزمایش کشش ۴۳
۴-۳-۲- نتایج آزمایش ضربه و سختی ۴۴
۴-۴- بررسی نتایج حاصل از آزمایشهای مکانیکی ۴۴
۴-۴-۱- تأثیر میزان آلومینیم بر خواص مکانیکی ۴۴
۴-۴-۲- تأثیر عناصر آلیاژی بر خواص مکانیکی ۴۷
۴-۴-۳-تأ ثیر عملیات حرارتی بر خواص مکانیکی ۴۸
۴-۵- تأ ثیر میزان آلومینیم و عملیات حرارتی بر ریز ساختار ۵۶
۴-۶- نتیجه آزمایش ریز سختی سنجی ۷۰
۴-۷- بررسی مقاطع شکست ۷۰
فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات ۷۳
۵-۱- نتایج ۷۳
۵-۲- پیشنهادات ۷۴

فهرست جداول

جدول ۲-۱: نمونه کاربردهای آلومینیم برنزهای ریختگی. ۴

جدول ۲-۲: دامنه انجماد برخی آلیاژهای تجارتی برنز آلومینیم. ۵

جدول ۲-۳: ترکیب و خواص دو آلیاژ تحت استاندارد بریتانیا. ۲۰

جدول ۲-۴: انواع خواص آلیاژهای ریختگی در ماسه با مقادیر مختلف Fe. ۲۲

جدول ۲-۵: تأثیر Ni و Fe بر خواص قطعات ریخته گری در ماسه. ۲۳

جدول ۲-۶: تأثیر درجه حرارت کوئنچ بر خواص آلیاژ های دوتایی ۹۰/۱۰. ۲۸

جدول ۲-۷: تأثیر عملیات حرارتی کوئنچ و تمپر بر خواص(C u ٪ ۹۰/۵ و Al ٪ ۹/۴). ۲۸

جدول ۲-۸: تأثیر عملیات حرارتی برسختی یک آلیاژ یوتکتوئید Cu-۱۱ / ۸ A l ویک آلیاژ Cu-۱۰/۲Al. ۲۹

جدول ۴-۱: نتیجه آنالیز شیمیایی آلیاژ های تهیه شده. ۴۱

جدول ۴-۲: استحکام کششی و ازدیاد طول نسبی آلیاژهای ۱و۲. ۴۳

جدول ۴-۳: استحکام و ازدیاد طول نسبی آلیاژ ۳. ۴۳

جدول ۴-۴: چقرمگی شکست و سختی آلیاژ های ۱و۲. ۴۴

جدول ۴-۵: چقرمگی شکست و سختی آلیاژ ۳. ۴۴

جدول ۴-۶: نتایج آزمایش ریز سختی سنجی. ۷۰

فهرست اشکال

شکل ۲-۱: نسبت بین میزان آلومینیم و چگالی آلیاژهای برنز آلومینیم. ۴

شکل ۲-۲: قسمتی از دیاگرام تعادلی Cu-Al دوتایی. ۷

شکل ۲-۳: آلیاژ دوتایی حاوی ۹/۸wt ٪Al. ۸

شکل ۲-۴: ریز ساختار آلیاژ ریختگی حاوی ۹wt ٪Al و ۵ wt٪Fe که رسوب های رز شکل Fe_3Al را در زمینه α نشان می دهد. ریز جدایش باعث تشکیل فاز γ_2 غیر تعادلی در ساختار شده است. ۹

شکل۲-۵: ساختار (یوتکتوئیدی) $\alpha + NiAl$ در یک آلیاژ ریختگی حاوی ۸/۵ wt ٪Al و ۵wt ٪Ni. ۱۰

شکل۲-۶: مقطع عمودی سیستم Cu-Al-Ni-Fe در ۵ درصد Fe و ۵ درصد Ni و نمودار دوتایی برای مقایسه. ۱۲

شکل ۲-۷: مقاطع عمودی سیستم Cu-Al-Ni-Fe با مقادیر مختلف Ni , Fe. ۱۳

شکل ۲-۸: مقاطع همدمای سیستم Cu-Al-Fe-Ni در ۸/۵wt ٪Al و ٪ wt ۸-۰ Fe و Ni. ۱۵

شکل ۲-۹: ریز ساختارهای آلیاژ Cu-Al-Fe-Ni با ترکیب ۸/۵wt٪Al و ۴/۵ wt٪Fe و ۵Wt٪Ni کوئنچ شده از دماهای مختلف (الف) 1000^0C $(\alpha+\beta)$، (ب) 900^0C $(\alpha+\beta+\kappa)$، (ج) 800^0C $(\alpha+\kappa)$. ۱۶

شکل ۲-۱۰: ریز ساختارهای با نسبتهای Ni:Fe مختلف و ۸/۵wt٪Al به آرامی سرد شده در 25^0C (الف) Ni:Fe~۱:۶ (ب) Ni:Fe~۶ (ج) Ni:Fe~۱ ۱۷

شکل ۲-۱۱: ریز ساختار حاصل از ریخته گری در ماسه ۱۰۰۰×. ۱۹

شکل ۲-۱۲: ریز ساختار ریختگی در ماسه بعلاوه عملیات حرارتی در 700^0C

به مدت ۶ساعت ۱۰۰۰×. ۱۹
شکل ۲-۱۳: تأثیر مقدار آلومینیم بر خواص مکانیکی برخی آلیاژ های ریخته گری در ماسه. ۲۲
شکل ۲-۱۴: خواص کششی آلیـــاژ .Ni -Al Br ریختگی در ماســـه بـــا ترکیب Al ۸/۵-۹/۵، Mn ۱/۳-۳/۰، Fe ۳-۶ و Ni ۳-۶. ۲۴
شکل ۲-۱۵: انرژی شکست در 25^0Cبرای آلیاژهای برنز آلومینیم با مقادیر متفاوت Ni و Fe .سرعت سرد شدن $10-15^0C$ /hr از 1000^0C است. ۲۵
شکل ۲-۱۶: تأثیر میزان Al بر برخی خواص مکانیکی آلیاژهای دوتایی. ۲۷
شکل ۲-۱۷: خواص مکانیکی آلیاژ ۸/۱۰/۵/۵ پس از سرد کردن آرام از 1000^0C تا دماهای مختلف و سپس کوئنچ. ۳۰
شکل ۲-۱۸: خواص مکـــانیکی آلیاژهای ۸/۱۰/۵/۵ کوئنچ و تمپر شده به مدت ۲ ساعت در درجه حرارتهای مختلف. ۳۱
شکل ۳-۱: سیستم راهگاهی و تغذیه گذاری طراحی شده. ۳۴
شکل ۳-۲: ابعاد نمونه های کشش و ضربه. ۳۷
شکل ۴-۱: تأثیر میزان آلومینیم بر خواص مکانیکی. ۴۵
شکل ۴-۲: تأثیر میزان آلومینیم بر خواص مکانیکی. ۴۶
شکل ۴-۳: تأثیر عناصر آلیاژی بر خواص مکانیکی. ۴۷
شکل ۴-۴: مقایسه خواص مکانیکی آلیاژ ۱ در حالت ریختگی و کوئنچ شده. ۴۹
شکل ۴-۵: مقایسه خواص میکانیکی آلیاژ ۲ در حالت ریختگی و کوئنچ شده. ۴۹
شکل ۴-۶: تأثیر درجه حرارت تمپر بر استحکام کششی آلیاژهای ۱و۲. ۵۰
شکل ۴-۷: تأثیر درجه حرارت تمپر بر ازدیاد طول نسبی آلیاژ های ۱و۲. ۵۱
شکل ۴-۸: تأثیر درجه حرارت تمپر بر چقرمگی شکست آلیاژهای ۱و۲. ۵۱
شکل ۴-۹: تأثیر درجه حرارت تمپر بر سختی آلیاژهای ۱و۲. ۵۲
شکل ۴-۱۰: مقایسه خواص مکانیکی آلیاژ ۱ در حالت ریختگی و عملیات شده. ۵۲

شکل ۴-۱۱: تأثیر عملیات حرارتی بر خواص مکانیکی آلیاژ ۳. ۵۵

شکل ۴-۱۲: ریز ساختار آلیاژ ۱ درحالت ریختگی؛ مناطق سفید رنگ α پرویوتکتوئید و مناطق تیره $\alpha+\gamma_2$ پرلیتی هستند ذرات فاز κ در تمامی ریز ساختار و بخصوص در فاز سفید رنگ α مشخص هستند. ۵۶

شکل ۴-۱۳: ریز ساختار آلیاژ ۱؛ مدت یک ساعت در ^0C ۹۵۰ نگهداری شده وسپس در آب کوئنچ گردیده است. ۵۷

شکل ۴-۱۴: ریز ساختار آلیاژ ۱؛ کوئنچ از ^0C ۹۵۰و تمپر به مدت نیم ساعت در ^0C ۳۰۰ صورت گرفته. مناطق تیره رنگ غنی از γ_2 با سختی ۴۴۱HV و مناطق روشن غنی از α با سختی ۲۳۷ HV هستند که جدایش این مناطق مشهود است بطوریکه به نظر میرسد در دمای تمپر فوق دیفوزیون محصولات تجزیه مارتنزیتی به خوبی صورت نگرفته. ۵۸

شکل ۴-۱۵: ریز ساختار آلیاژ ۱؛ کوئنچ از ^0C ۹۵۰و تمپر به مدت نیم ساعت در ^0C ۴۰۰ صورت گرفته. در این حالت دیفوزیون بهتر انجام گرفته وساختار همگن تری بدست آمده. ۵۹

شکل ۴-۱۶: ریز ساختار آلیاژ ۱؛ کوئنچ از ^0C ۹۵۰ و تمپر به مدت نیم ساعت در ^0C ۵۰۰ صورت گرفته. ساختاری همگن از کلنی های ریز پراکنده پرلیتی و باندهای ظریف مختلف الجهت α دیده می شود. ۶۰

شکل ۴-۱۷: ریزساختار آلیاژ ۱؛ کوئنچ از ^0C ۹۵۰ و تمپر به مدت نیم ساعت در ^0C ۶۵۰ انجام گرفته است. دیده می شود که افزایش درجه حرارت باعث خشن شدن ریز ساختار گردیده است. ۶۱

شکل ۴-۱۸: ریز ساختار آلیاژ ۲ در حالت ریختگی؛ مناطق سفید رنگ α پرویوتکتوئید و مناطق تیره رنگ $\alpha+\gamma_2$ پرلیتی می باشند. ذرات

توجه است. ذرات کروی فـــاز K و همچنین ذرات بسیار ریز K در
دانه های α را می توان دید. ۶۸
شکل ۴-۲۵: ریز ساختار آلیاژ ۳ که به مدت ۶ ساعت در دمای 700^0C نگهداری
شده. مقدار فاز پرلیتی $\alpha+\gamma_2$ غیر تعادلی در مناطق مرزی دانه های
α به میزان قابل توجهی کاهش یافته. ۶۹
شکل ۴-۲۶: مقطع شکست آلیاژ ۱ درحالت کوئنچ از 950^0C وتمپر در 300^0C
در مدت نیـم ساعت؛ صفحات سفید رنگ کلیـواژ و ساختـار پله ای به
وضوح دیده می شوند. ۷۱
شکل ۴-۲۷: مقطع شکست آلیاژ ۳ در حالت ریختگی. ۷۲

فاز κ در تمامی ریز ساختار بخصوص فـاز سفید رنگ α مشخص هستند. ۶۲

شکل ۴-۱۹: ریز ساختار آلیاژ ۲؛ مدت یک ساعت در 950^0C نگهداری شده و سپس در آب کوئنچ گردیده است. دانه های بزرگ سفید رنگ فاز α هستند یعنی در دمای 950^0C آلیاژ در منطقه $\alpha+\beta$ قرار گرفته. در نتیجه با کوئنچ کردن فاز β به مارتنزیت تبدیل شده و فاز α به همان صورت باقیمانده است ۶۳

شکل ۴-۲۰: ریزساختار آلیاژ۲؛ کوئنچ از 950^0C و تمپر به مدت نیم ساعت در 400^0C دانه های درشت فاز α ریزتر و پراکنده شده اند. ۶۴

شکل۴-۲۱: ریز ساختار آلیاژ ۲؛ کوئنچ از 950^0C و تمپر به مدت نیم ساعت در 500^0C انجام گرفته است. هنوز دانه های سفید رنگ α دیده می شوند ولی در اینجا دانه های ظریف α نیز به چشم می خورند به طوریکه گویا دانه های α بوسیله دیفوزیون به باند های ظریف و مختلف الجهت α می پیوندند. ۶۵

شکل ۴-۲۲: ریز ساختار آلیاژ ۲؛ کوئنچ از 950^0C و تمپر به مدت نیم ساعت در 650^0C انجام گرفته است. باندهای ظریف و مختلف الجهت α همراه با کلنی های ریز و پراکنده $\alpha+\gamma_2$ پرلیتی یا شاید β باقیمانده مشهودند. ۶۶

شکل ۴-۲۳: ریز ساختار آلیـــاژ ۳ در حالت ریختگی؛ دانه های سفید رنگ فاز α و مناطق پرلیتی $\alpha+\gamma_2$ غیر تعادلی در مز دانه ها و ذرات کروی وبعضاً لایه ای κ و همچنین ذرات بسیار ریز κ در دانه های α را به وضوح می توان دید. ۶۷

شکل ۴-۲۴: ریز ساختار آلیاژ ۳ که به مدت ۲ ساعت در دمای 700^0C نگهداری شده. کاهش فـــاز پرلیتی $\alpha+\gamma_2$ غیر تعادلی در مناطق مرزی قابـل

توجه است. ذرات کروی فـــاز κ و همچنین ذرات بسیار ریز κ در
دانه های α را می توان دید. ۶۸
شکل ۴-۲۵: ریز ساختار آلیاژ ۳ که به مدت ۶ ساعت در دمای 700^0C نگهداری
شده. مقدار فاز پرلیتی $\alpha+\gamma_2$ غیر تعادلی در مناطق مرزی دانه های
α به میزان قابل توجهی کاهش یافته. ۶۹
شکل ۴-۲۶: مقطع شکست آلیاژ ۱ درحالت کوئنچ از 950^0C وتمپر در 300^0C
در مدت نیـم ساعت؛ صفحات سفید رنگ کلیـواژ و ساختـار پله ای به
وضوح دیده می شوند. ۷۱
شکل ۴-۲۷: مقطع شکست آلیاژ ۳ در حالت ریختگی. ۷۲