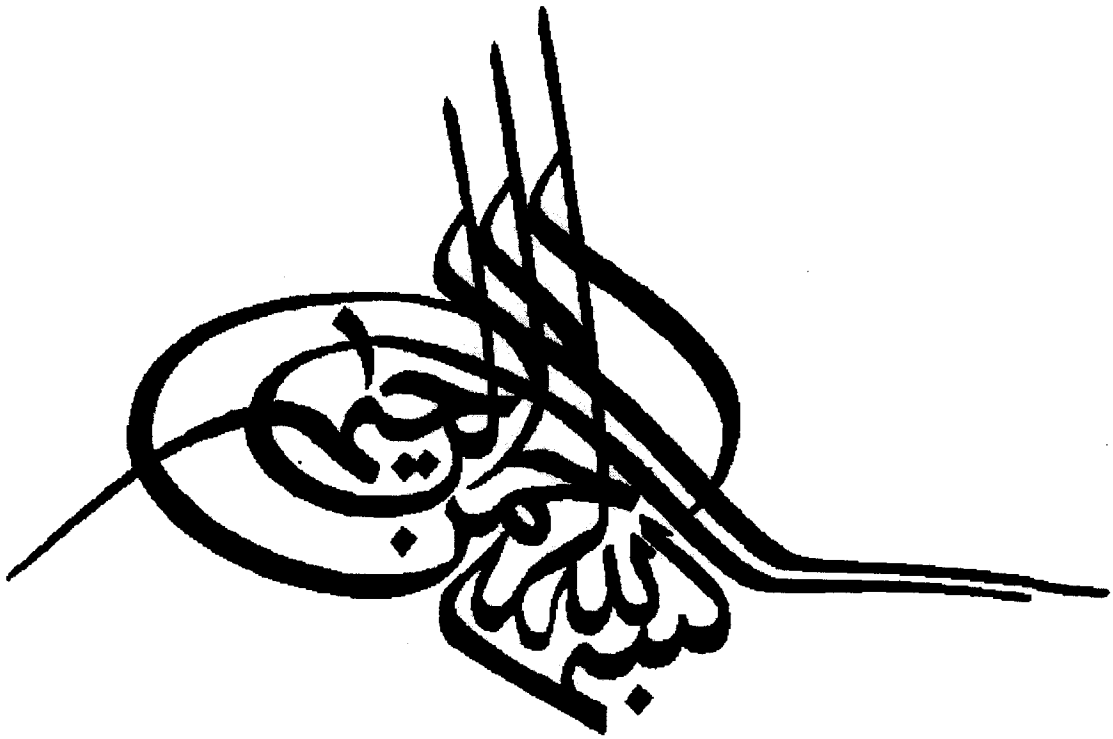

٣٩٩١٦

۱۳۸۰ /۱۲/ ۱۹

دانشکده مواد و متالورژی

تاثیر عملیات ترمومکانیکی بر روی خواص مکانیکی آلیاژ ۷۰۷۵ آلومینیوم

016566

محمد تقی زاده

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

اساتید راهنما:

دکتر شمس الدین میردامادی

دکتر محمد رضا ابوطالبی

۳۹۹۱۶

استاد مشاور:

دکتر حسین عربی

بهمن ۱۳۸۰

۳۹۹۱۶

تقدیم به پیشگاه پدر و مادر بزرگوارم

معلمان تلاش و مهربانی

که بی هیچ آموختن از آنها

پیمودن ره زندگی بسی سخت است

سپاس بیکران نثار سیمای صادق و صمیمیشان باد

چکیده :

پس از یافتن سیکل مناسب ترمومکانیکی برای آلیاژ ۷۰۷۵ ، تأثیر کوئنچ جهت دار بر رفتار پیرسختی ترمومکانیکی ناشی از این سیکل مورد بررسی قرار گرفت. این نوع کوئنچ در نمونهٔ ایجاد تنشهای ترموالاستیکی می نماید که این تنشها باعث افزایش استعداد زمینه جهت جوانه زنی و به دنبال آن رشد می شوند. البته اثر آن بر جوانه زنی بیشتر از رشد بوده است که این تفاوت به ماهیت انرژی محرکه یعنی تنش های ترموالاستیکی بر می‌گردد.

آزمونهای مکانیکی شامل سختی سنجی، کشش، و ریز سختی سنجی بر روی نمونه های پیر سازی شده صورت پذیرفت. نتایج حاصل از این آزمونها نشان داد که کوئنچ جهت دار در مقایسه با کوئنچ معمولی باعث کاهش زمان پیر سازی به میزان ۳۴ درصد، در صد افزایش طول نسبی به میزان ۲۶ درصد و افزایش استحکام کششی به میزان ۷ درصد گردیده‌است.

.نتایج حاصل از شکست نگاری نشان داد که در اثر کوئنچ جهت دار تنش های چند محوره درآزمون کشش به حالت تنش های تک محوره با شکست ۴۵ درجه متمایل می‌گردد.

شکست نگاری توسط میکروسکوپ الکترونی نشان داد که این حالت شکست مربوط به توزیع بیشتر جوانه‌ها و تغییر مکانیزم شکست حاصل از این نوع توزیع بوده‌است.

تقدیر و تشکر

با تشکر فراوان از اساتید محترم آقایان دکتر میر دامادی و دکتر ابوطالبی که باراهنمائیهای ارزنده خود همواره گره گشای مشکلات پیش آمده در این پروژه شدند.
و سپاس فراوان از آقای دکتر حسین عربی که در فصل پنجم از نظریات ارزنده ایشان استفاده نمودم.

و نهایتا از برادر عزیزم که جزو مشوقان اصلی من در دوران تحصیلم بودند، قدردانی می‌نمایم.

فهرست

فصل اول : مقدمه

مقدمه ۱

فصل دوم : مروری بر منابع

۲-۱-خواص آلومینیوم خالص ۴
۲-۲-سیستمهای مختلف آلیاژی ۴
۲-۲-۱-آلومینیوم-مس ۴
۲-۲-۲-آلومینیوم-لیتیوم ۵
۲-۲-۳-آلومینیوم-منیزیم ۵
۲-۲-۴-آلومینیوم-منگنز ۵
۲-۲-۵-آلومینیوم-سیلیسیوم ۵
۲-۲-۶-آلومینیوم-روی ۵
۲-۲-۷-آلومینیوم-منیزیم-روی و آلومینیوم-مس-منیزیم-روی ۶
۲-۳-معرفی آلیاژ ۷۰۷۵ ..... ۹
۲-۳-۱-ترکیب شیمیائی ۹
۲-۳-۲-کاربرد ۹
۲-۳-۳-خواص مکانیکی آلیاژ ۷۰۷۵ ..... ۱۰
۲-۳-۴-ریز ساختار آلیاژ ۷۰۷۵ ..... ۱۲
۲-۳-۴-۱-پارامترهای موثر بر ریز ساختار ۷۰۷۵ ..... ۱۵
الف-عملیات آنیل ۱۵
ب-کار سختی، بازیابی، تبلور مجدد و رشد دانه ۱۸
۲-۴-پیر سازی ترمومکانیکی ۲۱
۲-۴-۱-کلیات ۲۱
۲-۴-۲-تفاوت کارسختی و عملیات ترمومکانیکی بر روی خواص مکانیکی در دمای بالا ۲۶
۲-۴-۳-اثر کار مکانیکی بر روی خواص فیزیکی و شیمیائی ۲۹
۲-۴-۴-تفاوت کارسختی و عملیات ترمومکانیکی بر روی خواص خوردگی تنشی ۳۰
۲-۴-۵-سیکلهای عملیات ترمومکانیکی ۳۱
۲-۴-۵-۱-سیکل عملیات ترمومکانیکی میانی ۳۱
۲-۴-۵-۲-سیکل عملیات ترمومکانیکی نهائی ۳۳
۲-۴-۵-۳-سیکل عملیات ترمومکانیکی مخصوص تغییر فرم سوپر پلاستیک ۳۴
۲-۴-۵-۴-سیکل مختلط ۳۴

فصل سوم : روش پژوهش

مقدمه ۳۷
۳-۱-انتخاب سیکل مناسب ترمومکانیکی ۳۷
۳-۲-کوئنچ جهت دار ۳۸
۳-۳-عملیات کوئنچ ۴۱
۳-۴-عملیات پیر سازی ۴۲
۳-۵-عملیات مکانیکی ۴۲
۳-۶-انجام سیکل ارائه شده در این پروژه ۴۳
۳-۷-عملیات سیکل T6 ..... ۴۴
۳-۸-تعیین خواص مکانیکی ۴۵
۳-۸-۱-سختی سنجی ۴۵
۳-۸-۲-آزمون کشش ۴۵
۳-۸-۳-ریز سختی سنجی ۴۷
۳-۹-تحلیل حرارتی ۴۸
۳-۱۰-تحلیل ترموالاستیکی ۵۱
۳-۱۱-متالوگرافی نوری ۵۴
۳-۱۲-شکست نگاری ۵۴

فصل چهارم : نتایج

۴-۱-نتایج آزمونهای مکانیکی ۵۶
۴-۱-۱-سختی سنجی ۵۶
۴-۱-۲-آزمون کشش ۵۹
۴-۱-۳-آزمون ریز سختی ۶۲
۴-۲-نتایج حاصل از شکست نگاری ۶۳
۴-۳-نتایج حاصل از متالوگرافی نوری ۷۰
۴-۴-تحلیل ترموالاستیک ۷۳

فصل پنجم : بحث و نتیجه گیری

پیشنهاد ادامه کار ۱۰۱
مراجع ۱۰۱
پیوست ۱۰۴

فهرست اشکال و تصاویر

فصل دوم

جدول ۲-۱-خواص فیزیکی ألومینیوم خالص در دمای محیط ۴
جدول ۲-۲-خواص کششی ألیاژ ۷۰۷۵ ..... ۱۱
جدول ۲-۳-نمادهای مربوط به کیفیت ۱۹

شکل ۲-۱-سطح حد مذاب سیستم ألومینیوم-روی-منیزیم ۷
شکل ۲-۲-فازهای تعادلی در ناحیه پر ألومینیوم سیستم ألومینیوم-روی-منیزیم ۷
در دمای ۴۶۰ درجه سانتیگراد.
شکل ۲-۳-فازهای تعادلی در ناحیه پر ألومینیوم سیستم ألومینیوم-روی-منیزیم ۹
در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد.
شکل ۲-۴-تاثیر دما بر روی خواص کششی ۱۰
شکل ۲-۵-ساختار ألیاژ ۷۰۷۵ در حالت ریختگی ۱۳
شکل ۲-۶-ساختار شمش همگن سازی شده ۱۳
شکل ۲-۷-رسوبات کروم موجود در ساختار الیاژ ۷۰۷۵ ..... ۱۴
شکل ۲-۸-شکل دانه های متبلور شده و متبلور نشده ۱۴
شکل ۲-۹-مفتول اکسترود شده با دو اندازه دانه متفاوت ۱۶
شکل ۲-۱۰-ورق انیل شده ۷۰۷۵ با توزیع تصادفی فازهای نامحلول ۱۶
شکل ۲-۱۱-باندهای تغییر فرم در الیاژ الومینیوم-مس ۱۸
شکل ۲-۱۲-نمایش تاثیر کار سرد بر روی نابجائیها ۲۰
شکل ۲-۱۴-a-ریز ساختار کوئنچ پیر شده 2024-T6 ..... ۲۱
شکل ۲-۱۴-b-ریز ساختار کوئنچ پیر شده 2024-T81 ..... ۲۳
شکل ۲-۱۴-c-ریز ساختار کوئنچ پیر شده 2024-T86 ..... ۲۳
شکل ۲-۱۵-تاثیر کشیدگی بر رفتار پیر شدن ورق ۷۴۷۵ ..... ۲۵
شکل ۲-۱۶-تاثیر کار سرد بر روی سینتیک پیر سازی الیاژ ۷۰۷۵ ..... ۲۵
شکل ۲-۱۷-تاثیر دمای نورد گرم بر روی خواص کششی الیاژ ۵۴۵۶ ..... ۲۶
شکل ۲-۱۸-تصویر TE M ساختار انیل شده ۲۸
شکل ۲-۱۹-یک نمونه از سیکل ترمومکانیکی میانی ۳۲
شکل۲-۲۰-یک نمونه از سیکل ترمومکانیکی نهائی ۳۲
شکل ۲-۲۱-یک نمونه از سیکل ترمومکانیکی مخصوص تغییر فرم سوپر پلاستیک. ۳۵

شکل ۲-۲۲-یک نمونه از سیکل ترمومکانیکی مختلط ۳۵

فصل سوم : روش پژوهش

جدول ۳-۱-زمان محلول سازی بر حسب ضخامت ۴۱
جدول ۳-۲-خواص حرارتی نسوز و الومینیوم ۴۸
چارت ۳-۱-سیکل اعمالی روی نمونه ها ۴۳

شکل ۳-۱-طرح عایق سازی نمونه ها ۳۹
شکل ۳-۲-منحنی سختی بر حسب زمان پیر سازی مصنوعی الیاژ ۷۰۷۵ ..... ۴۴
شکل ۳-۳-استاندارد نمونه های کشش ۴۶
شکل ۳-۴-مکان نمائی ازمون سختی ۴۷
شکل ۳-۵-توزیع دما در عایق و نمونه الومینیومی ۴۹
شکل ۳-۶-تعریف قید برای تحلیل سازه أی ۵۲
شکل ۳-۷-نمایش جهتها در یک نمونه متالوگرافی ۵۳
شکل ۳-۸-مکان نمائی سطح مقطع شکست ۵۴

فصل چهارم : نتایج

شکل ۴-۱-منحنی سختی بر حسب زمان پیر سازی ثانویه برای نمونه های V22وV25 ..... ۵۶
شکل ۴-۲-منحنی سختی بر حسب زمان پیر سازی ثانویه برای نمونه های V32وV35 ..... ۵۶
شکل ۴-۳-منحنی سختی بر حسب زمان پیر سازی ثانویه برای نمونه های H22وH25 ..... ۵۷
شکل ۴-۴-منحنی سختی بر حسب زمان پیر سازی ثانویه برای نمونه های H32وH35 ..... ۵۷
شکل ۴-۵-منحنی سختی بر حسب زمان پیر سازی ثانویه برای نمونه های N32وN35 ..... ۵۸

شکل ۴-۶-منحنی تنش کرنش مهندسی برای نمونه 1H32C5 ..... ۵۹
شکل ۴-۷-منحنی تنش کرنش مهندسی برای نمونه 1H32C8 ..... ۵۹
شکل ۴-۸-منحنی تنش کرنش مهندسی برای نمونه .5H32C5 ..... ۶۰
شکل ۴-۹-منحنی تنش کرنش مهندسی برای نمونه .5H32C8 ..... ۶۰
شکل ۴-۱۰-منحنی تنش کرنش مهندسی برای نمونه T6 ..... ۶۱

شکل ۴-۱۱-شکست نگاری مرکز نمونه T6 ..... ۶۲
شکل ۴-۱۲-شکست نگاری لبه بالائی نمونه T6 ..... ۶۲

شکل ۴-۱۳-شکست نگاری لبه جانبی نمونه T6 ..... ۶۳
شکل ۴-۱۴-شکست نگاری لبه جانبی نمونه 1H32C5 ..... ۶۳
شکل ۴-۱۵-شکست نگاری لبه بالائی نمونه 1H32C5 ..... ۶۴
شکل ۴-۱۶-شکست نگاری مرکز نمونه 1H32C5 ..... ۶۴
شکل ۴-۱۷-شکست نگاری لبه بالائی نمونه 1H32C8 ..... ۶۵
شکل ۴-۱۸-شکست نگاری مرکز نمونه 1H32C8 ..... ۶۵
شکل ۴-۱۹-شکست نگاری لبه بالائی نمونه .5H32C5 ..... ۶۶
شکل ۴-۲۰-شکست نگاری لبه جانبی نمونه .5H32C5 ..... ۶۶
شکل ۴-۲۱-شکست نگاری مرکز نمونه 1H32C8 ..... ۶۷

شکل ۴-۲۲-عکس متالوگرافی مرکز نمونه V35C10 ..... ۶۹
شکل ۴-۲۳-عکس متالوگرافی لبه نمونه V35C10 ..... ۶۹
شکل ۴-۲۴-عکس متالوگرافی مرکز نمونه T6 ..... ۷۰
شکل ۴-۲۵-عکس متالوگرافی لبه نمونه T6 ..... ۷۰

شکل ۴-۲۶-نمایش تنشها برای نمونه با عمق موثر یک سانتی متر ۷۲
شکل ۴-۲۷-نمایش تنشها برای نمونه با عمق موثر نیم سانتی متر ۷۳
شکل ۴-۲۸-نمایش تنشها برای نمونه که به صورت عادی کوئنچ شده اند..... ۷۴
شکل ۴-۲۹-نمایش تنشها برای نمونه با عمق موثر دو سانتی متر ۷۴

شکل ۴-۳۰-منحنی سختی بر حسب فاصله از سطح ۶۲

فصل پنجم

جدول ۵-۱-شعاع اتمی عناصر الیاژی ۸۳
جدول ۵-۲-درصد اتمی عناصر الیاژی ۹۳

شکل ۵-۱-مکانیزم شکست فنجانی مخروطی ۸۷
شکل ۵-۲-تنشها در یک عضو دو نیروئی ۸۶
شکل ۵-۳-نمایش مکانیزم اروان ۸۹

پیوست

جدول ۱-نمادهای عملیات حرارتی ۱۰۵

فصل اول :

مقدمه

اهمیت استفاده بهینه مواد این روزها به حدی است که یکی از مهمترین مسائل در طراحی مهندسی بهینه سازی سیستم به گونه ای است که برای محیط زیست کمترین زیان را داشته باشد و از طرف دیگر کاملاً اقتصادی باشد. در بعضی از طراحی ها نه تنها سبک بودن بلکه استحکام و امکان پذیری استفاده از این آلیاژها از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

یکی از مواردی که در دنیای فلزات و آلیاژها ، به عنوان سازه ای مستحکم و در عین حال سبک مطرح است، آلیاژهای آلومینیوم می باشند. چرا که نسبت به خواصی که دارا می باشند بسیار سبک و ارزان قیمت بوده و علاوه بر تأمین خواسته های فنی ، از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه هستند.

از این رو وقتی که این فلز کشف شد آلیاژهای بسیار متنوعی از آن تهیه گردید. که قدم بعدی در آلیاژ سازی ، بدست آوردن آلیاژ با قابلیت سخت شدن بوسیله عملیات حرارتی بود. عملیات حرارتی های مختلف و در عین حال آلیاژهای مختلف طی چند دهه گذشته بسیار مورد توجه و ارزیابی قرار گرفت و سیکل های متفاوت ، بهینه و معرفی گردید.

با ترکیب کار مکانیکی با این عملیات حرارتی و متحول ساختن سیستم های قبلی باز هم دریچه ای تازه رو به افزایش قابلیت کاربرد و بهینه سازی این آلیاژ گشوده شد. چرا که خواص مکانیکی آلیاژهای با قابلیت پیر سخت شدن را می توان با استفاده مناسب از عملیات ترمومکانیکی بهبود بخشید.. این عملیات شامل ترکیبی از تغییر فرم پلاستیک و عملیات حرارتی بوده که باعث افزایش بهینهٔ خواص می گردد.

با این روش می توان به ریز ساختار و خواص مکانیکی بهتری دست یافت که اگر از تغییر فرم پلاستیکی و یا عملیات حرارتی به تنهایی استفاده می شد چنین نتیجه ای حاصل نمی گردید. علاوه بر تأثیر مثبت روی خواص کششی ،عملیات ترمومکانیکی می تواند بر روی خواص دیگری نظیر استحکام خستگی ، مقاومت به خوردگی تنشی و چقرمگی اثر مطلوب داشته باشد. همچنین ریز ساختار لازم جهت تغییر فرم سوپر پلاستیک در بعضی از آلیاژهای آلومینیوم را می توان تنها با استفاده از عملیات ترمو مکانیکی بدست آورد.

اینکه این عملیات چقدر می تواند بر روی خواص تأثیر بگذارد و یا اینکه بر روی چه خاصیتی تأثیر بیشتری نسبت به بقیهٔ خواص داشته باشد به نوع عملیات انجام شده و سیکل مورد نظربستگی دارد.

هدف از انجام این پروژه بررسی تاثیر عملیات ترمومکانیکی بر روی خواص آلیاژ ۷۰۷۵ با تکیه بر کوئنچ جهت دار بوده است. تجربه در مورد بعضی از آلیاژهای آهنی نشان داد که کوئنچ جهت دار می تواند ، مکانیزم سخت شدن را تحت تأثیر قرار دهد ، و در مدت زمان کوتاهتری نسبت به سیکل های متداول قبلی حتی به خواص بهتری نیز دست یابد. اساس تحول در تغییر مکانیزم استحاله ها در این روش ، بوجود آمدن تنش های الاستیکی در اثر گرادیان دمایی است و به عبارت دیگر وجود تنش های ترمو الاستیکی است. از آنجا که تاکنون این زمینه تحقیقاتی بر روی آلیاژهای آلومنیوم انجام نشده است ، انجام این پروژه گام نخست در این زمینه می باشد تا شاید با کارهای بعدی پنجره دیگری بر توسعه خواص این آلیاژها گشوده شود.

در فصل دوم این پروژه ضمن معرفی ریز ساختار و خواص مکانیکی آلیاژ ۷۰۷۵ در شرایط متداول ، در مورد عملیات پیر سازی ترمومکانیکی نیز بحث شده است. در فصل روش پژوهش ، به انتخاب سیکل ، روش انجام پروژه و آزمون های استفاده شده اشاره شده و نهایتاً در فصل بحث و نتیجه گیری نتایج حاصل از این پروژه مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل دوم:

مروری بر منابع