دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مواد و متالورژی

گرایش انتخاب و شناسایی مواد

بررسی تاثیر ریزساختار فلز پایه بر ترک های انجمادی و ذوبی در جوشکاری آلیاژهای آلومینیوم ۲۰۲۴

زینب ملکشاهی

استاد راهنمای اول:

دکتر فرشید مالک

استاد راهنمای دوم:

دکتر امیر عبداله زاده

استاد مشاور:

مهندس محمدجواد ترکمنی

زمستان ۸۸

نهال را باران باید

تا بشوید غبار نشسته بر برگهایش

و سیرابش کند از آب حیات

و آفتاب باید

تا بتاباند نیرو را

و محکم کند شاخه های تازه روییده را

به نام **مادر**

بوسه ای باید زد

دست هایی را که می شویند غبار خستگی روزگار را

و سیراب می کنند روح تشنه را

به نام **پدر**

بوسه ای باید زد

دست هایی را

که می تابانند نیرو را

و محکم می کنند استواری پایه های زیستن را

تقدیم به پدرم باورم از عشق و مادرم باورم از مهر

با امتنان از اساتید بزرگوارم به ویژه **آقای دکتر مالک**

که چراغی بودند روشن، در تاریکی های مسیر آموختن

و با تشکر از

همه دوستانی که را در به پایان رساندن این تحقیق مرا یاری کردند.

فهرست مطالب

چکیده	۱
۱. مقدمه	۲
۲. مروری بر منابع	۵
۲-۱ مقدمه	۶
۲-۲ ترک انجمادی	۷
۲-۲-۱ عوامل موثر بر ترک انجمادی	۸
۲-۲-۱ راه های کاهش ترکهای انجمادی	۱۵
۲-۳ ترک های ذوبی	۱۶
۲-۳-۱ ناحیه ذوب جزئی (PMZ)	۱۷
۲-۳-۲ مکانیزم ذوب مرزدانه ای	۱۹
۲-۳-۳ مکانیزم ترک خوردن ذوبی	۲۲
۲-۳-۴ تاثیر ترکهای انجمادی بر شدت ترک خوردن ذوبی	۲۵
۲-۳-۵ کاهش مشکلات PMZ .	۲۶

۲-۴ جوشکاری لیزر آلیاژهای آلومینیوم	۲۸
۲-۵ فرآیند هم زن اصطکاکی (FSP)	۳۳
۲-۵-۱ مکانیزم تبلور مجدد در فرایند FSP آلیاژ های آلومینیوم	۳۷
۲-۵-۲ اثر پارامترهای فرایند FSP بر ریزساختار	۴۱
فصل سوم روش انجام تحقیق	۴۳
۳-۱ رویکرد در طراحی و مرحله بندی آزمایشات	۴۴
۳-۲ تجهیزات و مواد اولیه	۴۵
۳-۲-۱ آلومینیوم ۲۰۲۴	۴۴
۳-۲-۲ دستگاه فرز سنگین برای عملیاتFSP	۴۶
۳-۲-۳ تجهیزات لیزر	۴۸
۳-۲-۴ آزمایشات متالوگرافی و میکروسکوپ الکترونی	۴۸
۳-۳ انجام فرآیند FSP	۴۹
۳-۳-۱ طراحی ابزار FSP	۴۸
۳-۳-۲ عملیات حرارتی ابزار FSP	۵۰

۳-۳-۳ تعیین پارامترهای بهینه سرعت چرخشی و سرعت عبوری ابزارFSP	۵۰
۳-۴ جوشکاری لیزر روی سطح FSP شده	۵۲
۳-۴-۱ تعیین عامل‌های اصلی جوش لیزری در حالت هدایتی	۵۴
۳-۴-۲ تعیین تاثیر جوش لیزر در حالت هدایتی بر نواحی FSP شده	۵۵
۳-۴-۳ اثرتغییر در پارامترهای FSP و جوشکاری لیزر در حالت هدایتی روی ترک های ذوبی	۵۶
فصل چهارم نتایج و بحث	۵۸
۴-۱ ریزساختار فلز پایه	۵۹
۴-۲ انجام فرآیند FSP روی آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴	۵۹
۴-۲-۱ بررسی نقش سرعت عبوری در فرایندFSP	۶۰
۴-۲-۲ بررسی نقش سرعت چرخشی در فرایند FSP	۶۳
۴-۲-۳ دانه بندی جدید حاصل از فرایند FSP	۶۷
۴-۲-۴ پاسخ کلی رسوبات به فرایند FSP	۶۸
۴-۲-۵ تقسیم بندی عرض نواحی FSP شده	۷۱
۴-۳ تاثیر تغییر ریزساختار روی مکانیزم ترک های ذوبی	۷۵

۴-۳-۱تقسیم بندی ترک های ذوبی در جوشکاری لیزر آلیاژهای آلومینیوم	۷۵
۴-۳-۲تقسیم بندی مناطق PMZ حاصل از جوشکاری لیزری روی سطح FSP شده	۷۸
۴-۳-۳ مقایسه ضخامت مذاب مرزدانه ای در حالت FSP شده و FSP نشده	۸۰
۴-۳-۴ اثر تغییر ریز ساختار روی مکانیزم انواع ترک های ذوبی	۸۲
۴-۳-۴-۱ بررسی اثر تغییر ریزساختار روی مکانیزم ریزترک های ذوبی	۸۴
۴-۳-۴-۲ محل های ترجیحی شروع ترک	۸۵
۴-۳-۴-۳ نقش PMZ در محل شروع ترک	۸۹
۴-۳-۴-۴ اثر تغییر ریزساختار روی ماکروترک های ذوبی	۹۱
۴-۳-۵ ارتباط بین ترک های ذوبی و انجمادی	۹۳
۴-۴ تاثیر تعاملی پارامترهای FSPو جوشکاری لیزر روی ترک های ذوبی	۹۶
۴-۴-۲ اثر تغییر عرض پالس روی ترک ذوبی حاصل از جوشکاری لیزر روی سطوح FSP شده	۹۶
۴-۴-۴ اثر تغییر فاکتور هم پوشانی روی ترک ذوبی حاصل از جوشکاری لیزر روی سطوح FSP شده	۱۰۰
نتیجه گیری	۱۰۷
پیشنهادات	۱۰۸

فهرست مراجع	۱۰۹

فهرست اشکال

شکل ۲-۱	۶
شکل ۲-۲	۹
شکل ۲-۳	۱۲
شکل ۲-۴	۱۳
شکل ۲-۵	۱۸
شکل ۲-۶	۱۹
شکل ۲-۷	۲۱
شکل ۲-۸	۲۳
شکل ۲-۹	۲۵
شکل ۲-۱۰	۲۸

شکل ۲-۱۱	۳۰
شکل ۲-۱۲	۳۴
شکل ۲-۱۳	۳۶
شکل ۲-۱۴	۴۰
شکل ۳-۱	۴۵
شکل ۳-۲	۴۷
شکل ۳-۳	۵۱
شکل ۳-۴	۵۳
شکل ۳-۵	۵۳
شکل ۴-۱	۵۹
شکل ۴-۲	۶۰
شکل ۴-۳	۶۱
شکل ۴-۴	۶۲
شکل ۴-۵	۶۳

شکل ۴-۶	۶۴
شکل ۴-۷	۶۴
شکل ۴-۸	۶۸
شکل ۴-۹	۶۹
شکل ۴-۱۰	۷۰
شکل ۴-۱۱	۷۲
شکل ۴-۱۲	۷۳
شکل ۴-۱۳	۷۵
شکل ۴-۱۴	۷۵
شکل ۴-۱۵	۷۶
شکل ۴-۱۶	۷۷
شکل ۴-۱۷	۷۷
شکل ۴-۱۸	۷۹
شکل ۴-۱۹	۸۰

شکل ۴-۲۰	۸۱
شکل ۴-۲۱	۸۲
شکل ۴-۲۲	۸۴
شکل ۴-۲۳	۹۱
شکل ۴-۲۴	۹۲
شکل ۴-۲۵	۹۴
شکل ۴-۲۶	۹۵
شکل ۴-۲۷	۹۶
شکل ۴-۲۸	۹۷
شکل ۴-۲۹	۱۰۲

فهرست جداول و نمودارها

جدول ۲-۱	۲۹
جدول ۳-۱	۴۶
جدول ۳-۲	۵۱
جدول ۳-۳	۵۲
جدول ۳-۴	۵۴
جدول ۳-۵	۵۶
جدول ۴-۱	۶۵
جدول ۴-۲	۶۶
جدول ۴-۳	۶۶
جدول ۴-۴	۶۶
جدول ۴-۵	۶۷
جدول ۴-۶	۹۸
جدول ۴-۷	۹۹

نمودار ۴-۱	۹۹
جدول ۴-۸	۱۰۲
جدول ۴-۹	۱۰۴
نمودار ۴-۲	۱۰۵

چکیده

هدف از این تحقیق رسیدن به درک بهتری از نقش ریزساختار ناحیه ذوب جزیی[1] (PMZ) روی ارتباط بین ترک ذوبی و ترک انجمادی در آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ بود. بدین منظور برای تغییر ویژگی‌های ریزساختار فلز پایه از فرایند همزن اصطکاکی[2] (FSP) استفاده شد. با استفاده از فرایند FSP روی سطح آلیاژ آلومینیوم قبل از جوشکاری لیزری، ترک‌های ذوبی به شدت کاهش یافتند. FSP با تغییر سه ویژگی مهم ریزساختاری فلز پایه شامل اندازه و توزیع رسوبات بین فلزی و اندازه دانه پایه روی تغییر رفتار ترک-های ذوبی تاثیر گذاشت. مشخص شد کاهش اندازه دانه‌ها و افزایش ضخامت فاز مذاب مرزدانه‌ای PMZ حاصل از جوشکاری لیزری روی نمونه‌های FSP شده، به توزیع یکنواخت کرنش و انعطاف‌پذیری PMZ و در نتیجه کاهش حساسیت به ترک ذوبی و انجمادی کمک می‌کند. در نتیجه با فرایند FSP، تمایل ترک ذوبی در PMZ و ایجاد ترک انجمادی در فلز جوش در ادامه ترک ذوبی، به وسیله جایابی تنش‌ها کاهش می‌یابد.

این نتیجه که با کاهش تمایل ترک‌های ذوبی تمایل ترک‌های انجمادی نیز کاهش می‌یابد، به بهبود نظریه های مربوط به ارتباط ترک ذوبی و انجمادی در جوشکاری لیزری آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ کمک می‌کند.

کلمات کلیدی : آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴، جوشکاری لیزری، ترک ذوبی، ترک انجمادی، فرایند همزن اصطکاکی، ناحیه ذوب جزیی، لیزر Nd:YAG ضربانی

[1] - Partially melted zone

[2] - Friction stir processing

فصل اول

مقدمه

۱. مقدمه

آلیاژ ۲۰۲۴ از رایج ترین آلیاژهای تجاری استحکام بالای قابل عملیات حرارتی است. آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ به ترک انجمادی و ترک ذوبی در طول جوشکاری ذوبی حساس است[۱].

روش رایج برای کاهش ترک‌های انجمادی، اصلاح ترکیب شیمیایی حوضچه جوش با استفاده از فلز پرکننده است[۲، ۳]. ولی مشکل ترک در ناحیه ذوب جزیی پیچیده تر از ترک‌های انجمادی است. ترک ذوبی در فلز پایه اتفاق می‌افتد و در فلز پایه کنترل ترکیبی معمولا خارج از محدوده فرایند جوشکاری است. بنابراین برای کاهش ترک ذوبی در مقایسه با ترک انجمادی محدودیت بیشتری وجود دارد[۲، ۴، ۵، ۶]. یکی از اهداف این تحقیق کنترل ترک‌های ذوبی در جوشکاری آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ می‌باشد، اما این تحقیق اهداف با الویت بالاتری را نیز دنبال می‌نماید. هدف اصلی این تحقیق مطالعه بر روی مکانیزم ترک‌های گرم در جوشکاری آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ است.

با توجه به تحقیقات اخیر در دانشگاه تربیت مدرس که در آن ارتباط میان ترک‌های انجمادی و ذوبی در جوشکاری آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ نشان داده شده است[۱، ۲]، سوالات و فرضیاتی در مورد اینکه آیا ترک‌های ذوبی منشأ ترک‌های انجمادی هستند یا بر عکس و یا مجموعه ای از هر دوی این حالت‌ها مطرح گردید. اما دریافت پاسخهای قطعی به سوالات و ارتقاء سطح نظریات متالورژیکی نیازمند تحقیقات جدیدی بود. قطعا پاسخگویی به موارد فوق به درک بهتری از مکانیزم حاکم بر بروز ترک‌های گرم حداقل در مورد آلیاژهای آلومینیم خواهد انجامید. اما تحقیقی دیگر در دانشگاه تربیت مدرس که در آن اثر آماده سازی فلز پایه از طریق تغییر شکل شدید سطحی بر کاهش تمایل به ترک ذوبی در سوپر آلیاژ پایه نیکل IN738 نشان داده شد[۷]، باعث گردید که ایده‌ای جدید برای جستجو در زمینه پدیده های حاکم بر مکانیزم ترک‌های گرم در آلیاژهای آلومینیم مطرح گردد. لازم به ذکر است که سوپر آلیاژ پایه نیکل

مذکور تمایل به ترک انجمادی کمتری داشته ولی آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ همزمان تمایل زیادی به ترک انجمادی و ترک ذوبی دارد. لذا این سوال مطرح گردید که آیا می‌توان با تغییر ریز ساختار فلز پایه تمایل به ترک ذوبی در آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴را نیز کاهش داد؟ همچنین این سوال مطرح گردید که آیا کاهش تمایل به ترک ذوبی در آلومینیوم ۲۰۲۴ به کاهش ترک انجمادی نیز خواهد انجامید؟

در این تحقیق نقش تغییر ریزساختار فلز پایه روی مقدار مذاب مرزدانه‌ای PMZ و ارتباط ترک ذوبی و انجمادی حاصل از جوشکاری لیزری روی آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ بررسی می‌شود. برای تغییر ریزساختار فلز پایه از FSP که اغلب برای اصلاح ریزساختار و ریزدانه کردن به کار می‌رود، استفاده شده است[۸]. با استفاده از فرایند هم‌زن اصطکاکی اندازه دانه‌ها و اندازه و توزیع رسوبات که از عوامل موثر بر مکانیزم ذوب مرزدانه ای هستند، تغییر داده می‌شود[۷]. در جوشکاری لیزری آلیاژهای آلومینیوم به دلیل حرارت ورودی پایین، PMZ نازکی ایجاد می‌شود که با توجه به عرض پایین مورد انتظار حاصل از فرایند هم‌زن اصطکاکی می‌تواند از مناسب ترین روش‌های جوشکاری برای مطالعه بر این موضوع باشد .

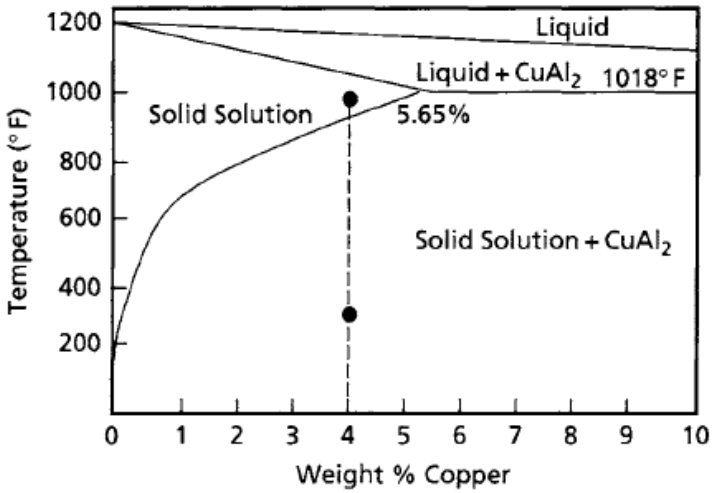
فصل دوم

مروری بر منابع

۲. مروری بر منابع

۲-۱ مقدمه

آلیاژهای آلومینیوم گروه ۲۰۰۰ (Al-Cu) از آلیاژهای عملیات حرارتی پذیر کار شده هستند که می‌توانند برای ایجاد سطوح بالایی از استحکام، رسوب سخت شوند. شکل (۲-۱) نمودار فازی آلیاژی Al-Cu را نشان می‌دهد. از بین آلیاژهای آلومینیوم گروه۲۰۰۰ آلیاژ ۲۰۲۴ به طور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد[۹] . آلیاژ ۲۰۲۴ یکی از آلیاژهای عملیات حرارتی پذیر تابکاری – کار شده است که دارای ۴/۵ درصد مس ، ۱/۵ درصد منیزیم و ۰/۶ درصد منگنز است . این آلیاژ نسبت استحکام به وزن بالایی دارد و از این رو در صنایع حمل و نقل ، صنایع نظامی و صنایع هوافضا کاربرد دارد[۱۰، ۱۱، ۱۲].



شکل (۲-۱) نمودار فازی آلیاژی Al-Cu[۹].

در جوشکاری ذوبی این آلیاژ مشکلات زیادی وجود دارد . مهم ترین این مشکلات حساسیت بالا به ایجاد ترک گرم در فلز جوش و ناحیه ذوب جزیی است [۱۰، ۱۱، ۱۲].