دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی رفتار خزش سوپر آلیاژ

Al-۲%Mn-۲%Ni-۱%Mg-(۰–۱–۲) %Si

نگارش

محمدرضا هنرکار

استاد راهنمای اول: دکتر سید مهدی میراسماعیلی

استاد راهنمای دوم: دکتر بهرام نامی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مواد

اردیبهشت ماه ۱۳۹۱

باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب محمدرضا هنرکار متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و فهرست منابع و مأخذ گردیده است. این پایان نامه / رساله قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارایه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می باشد.

محمدرضا هنرکار

امضاء

دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی رفتار خزش سوپر آلیاژ

Al-۲%Mn-۲%Ni-۱%Mg-(۰–۱–۲)%Si

نگارش

محمدرضا هنرکار

استاد راهنمای اول: دکتر سید مهدی میراسماعیلی

استاد راهنمای دوم: دکتر بهرام نامی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مواد

اردیبهشت ماه ۱۳۹۱

تائید و تصویب پایان نامه توسط هیئت داوری

تقدیم به پدر و مادر و همسر عزیزم

تشکر و قدر دانی :

بدون شک انجام این پروژه مرهون زحمات و الطاف بزرگوارانی بوده که در این کوره راه پر مشقت، حقیر را صمیمانه یاری رسانده اند. خانواده عزیزتر از جانم که هیچگاه در این مدت طولانی مرا از محبت و صفای درونشان محروم نساختند. اساتید بزرگوارم آقایان دکتر سید مهدی میراسماعیلی و دکتر بهرام نامی، که در این مدت چراغ راه و راهنمای این رساله و زندگیم بودند و چه صبورانه شاگرد کوچکشان را یاور بوده، کاستی ها و نقص هایم را دلسوزانه بر طرف نموده و مرهم زخم های ناخوش زندگیم بودند.

از جناب آقای دکتر غلامحسن پایگانه ریاست محترم دانشکده مهندسی مکانیک که در این مدت، زحمات زیادی را متقبل گشته و بنده را در انجام این پژوهش یاری و هدایت نمودندکمال تشکر و قدردانی را می نمایم.

همچنین از اساتید و دوستان عزیزم آقایان دکتر امیر عابدی، مهندس محمدی، مهندس رنجبر، مهندس سلطانلو و همکلاسیهای گرامیم که در به اتمام رساندن این پروژه مرا همراهی نمودند کمال تشکر و قدردانی را داشته و از خداوند متعال برای این عزیزان آرزوی توفیق و سربلندی را دارم.

در پایان فرصت را غنیمت شمرده و از کلیه اساتید بزرگواری که افتخار شاگردی آنان را داشته ام، خاضعانه و از صمیم قلب تقدیر و تشکر می نمایم.

چکیده:

در تحقیق حاضر تاثیر سیلیسیم بر ریز ساختار و رفتار خزش فروروندگی سوپر آلیاژ ریختگی Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg در محدوده دمایی ۲۲۰ تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد تحت تنشهای ۵۳۰-۴۲۰ MPa مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات ریز ساختاری نشان می دهد که با افزودن سیلیسیم به سوپر آلیاژ فوق تا ۱/۳ درصد وزنی نرخ های خزش حالت پایدار کاهش یافته و مقاومت به خزش به دلیل تشکیل ترکیب بین فلزی Mg_2Si بهبود می یابد. این در حالی است که افزودن سیلیسیم بیشتر به آلیاژ، علاوه بر اینکه باعث ایجاد تیغه های سیلیسیم با مورفولوژی نوک تیز در زمینه آلیاژ حاوی ۱/۳ درصد وزنی سیلیسیم و افزایش تمرکز تنش می شود، باعث افزایش مقدار و توزیع فاز $Al_xMn_ySi_z$ با پایداری حرارتی نسبتا پایین شده و مقاومت به خزش نیز کاهش می یابد.

براساس رابطه خزش توانی حالت پایدار، توان تنشی (n) در اغلب سطوح تنشی در محدوده ۷-۴ بدست آمد. مقادیر انرژی فعالسازی خزش برای آلیاژ بدون حضور سیلیسیم در سطوح تنشی بالا بین ۸۷/۹۷-۸۱/۴۱ kj/mol متغیر بود که با توجه به مقادیر (n)، بیانگر کنترل سرعت صعود نابجایی ها از طریق مکانیزم کانال نابجایی می باشد. این محدوده در سطوح تنشی پایین بین ۱۲۱/۹۴-۹۳/۵ kj/mol بدست آمد که مابین انرژی فعالسازی نفوذ درخود آلومینیم در شبکه (۱۴۲ kj/mol) و درکانال نابجایی ها (۸۲ kj/mol) می باشد. بنابراین سرعت صعود نابجایی ها بوسیله دو مکانیزم نفوذ آلومینیم در شبکه و در کانال نابجایی به صورت موازی و هم زمان کنترل می شود. این در حالی است که مقادیر انرژی فعالسازی برای آلیاژهای حاوی مقادیر ۱/۳٪ Si و ۲/۵٪ Si در تمامی سطوح تنشی بین ۲۲۹/۷ kj/mol-۱۹۶/۹ متغیر بود که با توجه به مقادیر (n)، پیش بینی می شود کنترل سرعت صعود نابجایی ها با مد نظر قرار دادن تعداد زیاد ذرات بین فلزی، توسط نفوذ از طریق شبکه صورت گرفته باشد.

واژگان کلیدی:

سوپر آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg – خزش فروروندگی– انرژی فعالسازی – ریزساختار– سیلیسیم

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

فصل دوم: مروری بر منابع ۴

۲-۱- مقدمه‌ای بر خزش در فلزات..... ۵

۲-۱- ۱- مکانیزم های خزش ۸

۲-۱- ۱-۱- خزش نابجایی ۸

۲-۱-۱-۲- خزش نفوذی ۱۰

۲-۱-۱-۳- لغزش مرزدانه ای ۱۳

۲-۱-۲- فرآیندهای چند تایی..... ۱۶

۲-۱- ۳- تنش آستانه ای ۱۷

۲-۱- ۴- دیاگرام فرآیندهای تغییر شکل..... ۲۰

۲-۱-۵- روشهای بهبود خواص خز شی..... ۲۲

۲-۱-۶- خزش فروروندگی..... ۲۳

۲-۱-۷- تعیین مکانیزم خزش..... ۲۷

۲-۲- ویژگی های عمومی آلومینیم و آلیاژهای آن..... ۳۰

۲-۳- معرفی سوپر آلیاژهای Al-Ni-Mn-Mg..... ۳۱

۲-۳-۱- تاثیر عناصر آلیاژی و ترکیبات ایجاد شده در آلیاژ Al-Ni-Mn-Mg..... ۳۳

۲-۴- مروری بر رفتار خزشی آلومینیم و آلیاژهای آن..... ۳۵

۲-۵- سیستم های آلیاژی سه تایی در آلیاژ Al-Ni-Mn-Mg ۴۰

۲-۵-۱- سیستم آلیاژی Al-Mn-Ni ۴۰
۲-۵-۲- سیستم آلیاژی Al-Mg-Ni ۴۳
۲-۵-۳- سیستم آلیاژی Al-Mg-Mn ۴۴
۲-۵-۴- سیستم آلیاژی Al-Ni-Si ۴۵
۲-۵-۵- سیستم آلیاژی Al-Mg-Si ۴۶
۲-۵-۶- سیستم آلیاژی Al-Mn-Si ۴۹
فصل سوم : روش تحقیق ۵۱
۳-۱- مقدمه ۵۲
۳-۲- آلیاژسازی ۵۴
۳-۲-۱- آلیاژ Al-۱٪Ni-۱٪Mn-۱٪Mg ۵۴
۳-۲-۲- آلیاژ Al-۱٪Ni-۱٪Mn-۱٪Mg حاوی سیلیسیم ۵۵
۳-۳- تعیین ترکیب شیمیایی آلیاژها ۵۶
۳-۴- آماده سازی نمونه های خزش ۵۶
۳-۵- آزمایش خزش ۵۸
۳-۵-۱- دستگاه خزش فروروندگی ۵۸
۳-۵-۲- کالیبراسیون دستگاه ۶۱
۳-۵-۳- روش آزمایش ۶۱
۳-۶- متالوگرافی کیفی و بررسی ریز ساختار ۶۲
۳-۷- سختی سنجی ۶۲
فصل چهارم: نتایج و تحلیل آنها ۶۳
۴-۱- ترکیب شیمیایی آلیاژهای تولید شده ۶۴
۴-۲- ریزساختار آلیاژهای تولید شده در حالت ریختگی ۶۵

۴-۲-۱- مطالعات ریزساختاری قبل از آزمون خزش ۶۵
۴-۲-۱-۱- ریزساختار آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg ۶۵
۴-۲-۱-۲- ریزساختار آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg حاوی ۱/۳ درصد وزنی سیلیسیم ۶۹
۴-۲-۱-۳- ریزساختار آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg حاوی ۲/۵ درصد وزنی سیلیسیم ۷۳
۴-۲-۲- مطالعات ریزساختاری بعد از آزمون خزش ۷۶
۴-۳- نتایج سختی سنجی ۷۹
۴-۴- خزش آلیاژهای Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg بدون سیلیسیم و حاوی مقادیر مختلف سیلیسیم ۸۰
۴-۴-۱- بررسی منحنی های خزش ۸۰
۴-۴-۲- تعیین مکانیزم خزش ۸۸
فصل پنجم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات ۹۳
۵-۱- نتیجه گیری ۹۴
۵-۲- پیشنهادات جهت تحقیقات آینده ۹۶
فهرست منابع ۹۷

فهرست جداول

جدول (۲ – ۱) محدوده دمایی که بالاتر از آن خزش فاکتور محدود کننده‌ای برای استفاده فلزات خالص و آلیاژهای مقاوم به حرارت است..... ۵

جدول (۲ – ۲) خواص مکانیکی(کششی) وسختی آلیاژهای ریختگی Al-Ni-Mn با ترکیب های مختلف.. ۳۲

جدول (۲ – ۳) ترکیب آلیاژ ۲Al۱۲ مورد استفاده در بررسی لیو..... ۳۹

جدول (۲ – ۴) ترکیبات ایجاد شده و مشخصات متالورژیکی آلیاژهای Al-Ni-Mn بررسی شده در دمای ۶۲۰ درجه سانتی گراد..... ۴۲

جدول (۲ – ۵) واکنش های فازی در سیستم سه گانه آلیاژAl-Mg-Si ۴۷

جدول (۲ – ۶) واکنش های محتمل در گوشه غنی از آلومینیم در سیستم آلیاژی Al-Mn-Si..... ۴۹

جدول (۳ – ۱) عیار مواد اولیه استفاده شده برای تولید آلیاژهای مورد نظر ۵۴

جدول (۴ – ۱) آنالیز شیمیایی آلیاژها (درصد وزنی) در تحقیق حاضر ۶۴

جدول (۴ – ۲) ترکیب شیمیایی فازهای زمینه و Al_3Ni در آلیاژ (درصد اتمی)..... ۶۶

جدول (۴ – ۳) واکنشهای محتمل بین عناصر آلیاژی Al، Ni، Mg و Si طبق دیاگرام فاز سه تایی آلیاژهای Al-Ni-Si و Al-Mg-Si در محدوده درصد های مورد نیاز این پژوهش..... ۶۹

جدول (۴ – ۴) ترکیب شیمیایی فازهای A،B،C و D موجود در آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg بر اساس درصد اتمی..... ۷۲

جدول (۴ – ۵) ترکیب شیمیایی فازهای A،B،C و D موجود در آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg بر اساس درصد اتمی..... ۷۵

جدول (۴ – ۶) ترکیب شیمیایی نقاط مشخص شده بر روی شکل(۴-۱۱) برحسب درصد اتمی..... ۷۸

جدول (۴ – ۷) نتایج سختی سنجی آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪ Mg بدون سیلیسیم و حاوی مقادیر مختلف سیلیسیم..... ۷۹

فهرست تصاویر و نمودارها

شکل(۲ – ۱) شماتیک یک منحنی ایده آل خزش..... ۶

شکل(۲ – ۲) شماتیک خزش نابجایی شامل صعود و لغزش نابجایی‌ها..... ۸

شکل(۲ – ۳) الف) خزش قانون توانی شامل شکل‌گیری دانه‌ها توسط صعود ب) نقض قانون توانی..... ۹

شکل(۲ – ۴) اصول خزش نفوذی..... ۱۰

شکل(۲ – ۵) الف) شماتیک خزش نابارو- هرینگ ب) شماتیک خزش کوبل..... ۱۱

شکل(۲ – ۶) شماتیک تغییرات لگاریتیمی نرخ خزش پایدار در برابر تنش اعمالی برای فلزات..... ۱۲

شکل(۲ – ۷) مراحل انجام لغزش مرزدانه‌ای الف) حالت قبل از خزش ب) درحین خزش..... ۱۵

شکل(۲ – ۸) تغییرشکل دانه‌ها در اثر نفوذ در دانه و مرزدانه..... ۱۶

شکل(۲ – ۹) کنترل پدیده خزش با دو فرآیند همزمان A وB در دو حالت سری و موازی..... ۱۷

شکل(۲ – ۱۰) نمودار نرمالیزه شده برای آلومینیم خالص با ابعاد دانه ۱۰ میکرومتر..... ۲۰

شکل(۲ – ۱۱) شماتیک تست خزش فرورونده با فرورونده استوانه‌ای..... ۲۴

شکل(۲ – ۱۲) تصویر شماتیک دستگاه تست خزش فرورونده الف)نمای کلی ب)برش مقطعی کوره..... ۲۵

شکل(۲ – ۱۳) محاسبه الگو کرنش پلاستیک در ناحیه نزدیک به لبه فرورونده..... ۲۶

شکل(۲ – ۱۴) (الف) ریزساختار آلیاژ مقاوم شده با فیبرهای آلومینا در مراحل پایانی آزمایش خزش فرورونده‌گی و (ب) ریزساختار ناحیه مجاور فرورونده با بزرگنمایی بالاتر..... ۲۷

شکل(۲ – ۱۵) نحوه تأثیر سیلیسیم بر خواص مختلف آلومینیم در آلیاژهای Al-Si..... ۳۴

شکل(۲ – ۱۶) نرخ کرنش پایدار به عنوان تابعی از تنش اعمالی برای آلیاژهیپریوتکتیک و کامپوزیت زمینه ۶۰۶۱ در دماهای مختلف..... ۳۷

شکل(۲ – ۱۷) محاسبه تنش آستانه‌ای در دماهای مختلف برای دو دمای مختلف..... ۳۸

شکل(۲ – ۱۸) گوشه غنی از آلومینیم دیاگرام فازی آلیاژ Al-Mn-Ni..... ۴۱

شکل(۲ – ۱۹) دیاگرام فاز سه تایی آلیاژ Al-Mn-Ni..... ۴۱

شکل(۲ – ۲۰) دیاگرام فاز سه تایی آلیاژ Al-Mg-Ni..... ۴۳
شکل(۲ – ۲۱) دیاگرام فاز سه تایی آلیاژ Al-Mg-Mn..... ۴۵
شکل(۲ – ۲۲) دیاگرام فاز سه تایی آلیاژ Al-Ni-Si(برش مقطع لیکوییدوس)..... ۴۶
شکل(۲ – ۲۳) دیاگرام فاز سه تایی آلیاژ Al-Mg-Si الف)تصویر لیکوئیدوس ب)تصویر سالیدوس ج)گوشه غنی از آلومینیم..... ۴۸
شکل(۲ – ۲۴) دیاگرام فاز آلیاژ Al-Mn-Si (الف) مقطع لیکوئیدوس (ب) توزیع فازها در حالت جامد.. ۵۰
شکل(۳ – ۱) طرح نموداری آزمایشات و مراحل انجام شده جهت تولید آلیاژها و نمونه ها..... ۵۳
شکل(۳ – ۲) کوره ذوب و فرآیند تولید آلیاژ..... ۵۴
شکل(۳ – ۳) نمونه اصلی شمش های تولید شده جهت انجام آزمایشات خزش..... ۵۷
شکل(۳ – ۴) شماتیک شمشهای نهایی تولید شده در این پژوهش برای انجام آزمایشات..... ۵۷
شکل(۳ – ۵) دستگاه خزش فروروندگی به همراه سیستم‌های کنترل..... ۵۸
شکل(۳ – ۶) تصویر LVDT مورد استفاده در دستگاه خزش فرورونده ۶۰
شکل(۳ – ۷) تصویر محوراصلی به همراه فرورونده..... ۶۰
شکل(۴ – ۱) تصاویر میکروسکوپ نوری آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg در دو بزرگنمایی مختلف..... ۶۵
شکل(۴ – ۲) (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg و (ب) نتایج طیف نگاری اشعه x از زمینه(Al)α و(ج) نتایج طیف نگاری اشعه x از فاز Al_3Ni..... ۶۶
شکل(۴ – ۳) تصویر میکروسکوپ الکترونی آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪ Mg بدون سیلیسیم به روش BSE به همراه نقشه توزیع عناصر..... ۶۷
شکل(۴ – ۴) تصاویر میکروسکوپ نوری آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg حاوی ٪ ۱/۳ وزنی سیلیسیم در دو بزرگنمایی مختلف..... ۶۹
شکل(۴ – ۵) تصویر میکروسکوپ الکترونی آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪ Mg حاوی ۱/۳ درصد وزنی سیلیسیم به روش BSE به همراه نقشه توزیع عناصر..... ۷۱
شکل(۴ – ۶) نتایج طیف نگاری اشعه x توسط تصویر میکروسکوپ الکترونی آلیاژ Al-۱/۶٪Ni- Mg

٪Mn-١ ١/۶٪Mn-١ حاوی ١/٣ درصد وزنی سیلیسیم از (الف)فاز A ، (ب)فاز B، (ج)فاز C و (د)فاز زمینه D..... ٧٢

شکل(۴ – ٧) تصاویر میکروسکوپ نوری آلیاژMg٪Mn-١٪Ni-١/۶٪Al-١/۶ حاوی ٪ ٢/۵ وزنی سیلیسیم در دو بزرگنمایی مختلف..... ٧٣

شکل(۴ – ٨) تصویر میکروسکوپ الکترونی آلیاژ Mg٪Mn-١٪Ni-١/۶٪Al-١/۶ حاوی ٢/۵ درصد وزنی سیلیسیم به روش BSE به همراه نقشه توزیع عناصر..... ٧۴

شکل(۴ – ٩) نتایج طیف نگاری اشعه x توسط تصویر میکروسکوپ الکترونی آلیاژ Mg٪Mn-١/۶٪Ni-١/۶٪Al- ١/۶٪Mn-١٪Mg حاوی ٢/۵ درصد وزنی سیلیسیم از (الف)فاز A ، (ب)فاز B، (ج)فاز C و (د)فاز زمینه D..... ٧۵

شکل(۴ – ١٠) تصویر میکروسکوپ نوری منطقه زیر فرورونده پس از خزش در دمای ^{o}C ٢۵٠ و تحت تنش ۴٩٠ مگاپاسکال همراه با مناطق سه گانه..... ٧۶

شکل(۴ – ١١) تصویر میکروسکوپ الکترونی منطقه زیر فرورونده پس از خزش در دمای ^{o}C ٢۵٠ و تحت تنش ۴٩٠ مگاپاسکال همراه با مناطق سه گانه..... ٧٧

شکل(۴ – ١٢) تصویر میکروسکوپ الکترونی منطقه زیر فرورونده پس از خزش در دمای ^{o}C ٢۵٠ و تحت تنش ۴٩٠ مگاپاسکال..... ٧٨

شکل(۴ – ١٣) منحنی تغییرات عمق فرورونده برحسب زمان در دمای K ۵٠٣ تحت تنشهای Mpa ۵٣٠– ۴٢٠ برای (الف) آلیاژ Mg٪Mn-١٪Ni-١/۶٪Al-١/۶، (ب) آلیاژ-Mg٪Mn-١٪Ni-١/۶٪Al-١/۶ ١٪Mg حاوی ١/٣ درصد وزنی سیلیسیم و (ج) آلیاژ Mg٪Mn-١٪Ni-١/۶٪Al-١/۶ حاوی ٢/۵ درصد وزنی سیلیسیم..... ٨٢

شکل(۴ – ١۴) منحنی تغییرات عمق فرورونده برحسب زمان در تنش ثابت Mpa ۴٢٠ و تحت دماهای K ۵٢٣–۴٩٣ برای (الف) آلیاژ Mg٪Mn-١٪Ni-١/۶٪Al-١/۶، (ب) آلیاژ -Mg٪Mn-١٪Ni-١/۶٪Al-١/۶ ١/۶٪Mn-١٪Mg حاوی ١/٣ درصد وزنی سیلیسیم و (ج) آلیاژ -Mg٪Mn-١٪Ni-١/۶٪Al-١/۶ ١٪Mg حاوی ٢/۵ درصد وزنی سیلیسیم..... ٨٣

شکل(۴ – ١۵) منحنی تغییرات عمق فرورونده برحسب زمان برای آلیاژ Mg٪Mn-١٪Ni-١/۶٪Al-١/۶

بدون حضور سیلیسیم و حاوی مقادیر ۱/۳ و ۲/۵ درصد وزنی سیلیسیم در (الف) تنش ثابت Mpa ۴۶۰ و دمای ثابت K ۵۰۳ (ب) تنش ثابت Mpa ۴۹۰ و دمای ثابت K ۴۹۳..... ۸۴

شکل(۴ – ۱۶) شکل(۴-۱۶) منحنی تغییرات نرخ کرنش خزشی ($\dot{\varepsilon}$) بر حسب زمان تحت تنش های مختلف در دمای K ۵۰۳..... ۸۵

شکل(۴ – ۱۷) مقایسه نرخ خزش حالت پایدار تحت تنش های فشاری مختلف برای آلیاژهای بدون سیلیسیم و حاوی مقادیر مختلف سیلیسیم..... ۸۷

شکل(۴ – ۱۸) تغییرات Ln (V_{imp}) برحسب Ln (σ_{imp}) در دماهای ثابت برای آلیاژ بدون سیلیسیم و حاوی مقادیر مختلف از درصد وزنی سیلیسیم در حالت ریختگی (الف) آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg بدون سیلیسیم ، (ب) آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg حاوی ۱/۳ درصد وزنی سیلیسیم، (ج) آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg حاوی ۲/۵ درصد وزنی سیلیسیم..... ۹۰

شکل(۴ – ۱۹) تغییرات Ln(V_{imp}) برحسب ۱/T تحت تنش های ثابت برای آلیاژ بدون سیلیسیم و حاوی مقادیر مختلف از درصد وزنی سیلیسیم در حالت ریختگی (الف) آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg بدون سیلیسیم ، (ب) آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg حاوی ۱/۳ درصد وزنی سیلیسیم، (ج) آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg حاوی ۲/۵ درصد وزنی سیلیسیم..... ۹۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

آلیاژهای پایه آلومینیم به واسطه خواص منحصر به فردی که دارند از پر کاربردترین آلیاژهای صنعتی در جهان محسوب می شوند که از جمله این خواص می توان به چگالی پایین ، قدرت هدایت حرارتی و مقاومت به خوردگی بالا اشاره کرد[۱]. نقطه ضعف اصلی برخی آلیاژهای آلومینیم مقاومت خزشی کم و یا استحکام کم در دماهای بالای کاری است که با توجه به کاربرد آلیاژهای جدید که کار در دماهای بالاتر را ضروری کرده است، تلاش بسیار زیادی طی سال‌های اخیر در رفع این نقیصه صورت پذیرفته است[۲]. همچنین استفاده از آلیاژهای آلومینیم در صنایع هوافضا و کاربردهای نظامی و حتی در تولید ظروف آشپزخانه که بایستی محصولات در دمای بالا نسبت به کاهش خواص مکانیکی، مقاومت نشان دهند نیاز به تحقیقات را بیشتر نمایان می‌کند.

حضور عناصری مثل منگنز و منیزیم باعث افزایش مقاومت به خوردگی آلیاژهای آلومینیم می شود و بالطبع آن سوپر آلیاژهای Al-Ni-Mn-Mg دارای خاصیت مقاومت به خوردگی بسیار مطلوبی می باشند. خاصیت یاد شده به همراه ثبات ابعادی بالا و عدم تغییر رنگ تحت دما و تنشهای بالا در دراز مدت باعث استفاده از این آلیاژ در تولید قطعات خودرو و فضاپیما و همچنین برخی از ملزومات از جمله شعله پخش کن های اجاق گاز شده است[۲]. حضور عنصر نیکل با تشکیل ترکیب بین فلزی Al_3Ni با پایداری حرارتی بالا و کاهش ضریب انبساط حرارتی، منگنز با دارا بودن انرژی نقص در چیده شدن پایین و تشکیل محلول جامد و همچنین منیزیم با تشکیل محلول جامد، باعث افزایش استحکام و مقاومت به خزش آلومینیم می شوند. در حضور سیلیسیم ترکیبات رسوبی و بین فلزی Mg_2Si و $Al_xMn_ySi_z$ تشکیل می شوند. افزودن سیلیسیم تا ۲/۵ درصد وزنی برمقدار و اندازه ذرات فاز Mg_2Si تأثیری ندارد، درحالیکه بر مقدار و توزیع ترکیب $Al_xMn_ySi_z$ در ریزساختار اثر بسزایی دارد.

بر اساس پیش‌بینی ها افزودن سیلیسیم بیشتر به آلیاژ، علاوه بر اینکه باعث ایجاد تیغه های غنی از سیلیسیم در زمینه آلیاژ Al-۱/۶٪Ni-۱/۶٪Mn-۱٪Mg-۱/۳ ٪Si و ایجاد تمرکز تنش و مقاومت به خزش آلیاژ می شود، باعث افزایش مقدار و توزیع فاز $Al_xMn_ySi_z$ با پایداری حرارتی کم شده و مقاومت به خزش کاهش می یابد. با این وجود پیش بینی می شود در اثر افزودن مقادیر کمتر سیلیسیم (تا ۱/۳ درصد

وزنی) خواص مقاومت به خزشی این آلیاژ نیز باتوجه به کاهش تعداد ترکیبات با پایداری حرارتی کمتر در برابر نفوذ، لغزش و صعود نابجایی‌ها، افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. بنابراین در این پژوهش تلاش بر آن است که با افزودن مقادیر مختلف سیلیسیم، رفتار خزشی آلیاژ بررسی شده و مکانیزم‌های حاکم بر خزش آن تعیین شود.

فصل دوم با عنوان مروری بر منابع شامل پنج مبحث مقدمه ای بر خزش در فلزات ، ویژگی های عمومی آلومینیم و آلیاژهای آن، معرفی سوپر آلیاژهای Al-Ni-Mn-Mg، مروری بر رفتار خزشی آلومینیم و آلیاژهای آن و سیستم های آلیاژی سه تایی در آلیاژ Al-Ni-Mn-Mg می باشد. در فصل سوم با عنوان روش تحقیق، آلیاژسازی، مراحل انجام آزمایش‌ها و آنالیزها، معرفی دستگاه تست خزش فرورونده و مطالعات ریزساختاری توضیح داده شده است. در فصل چهارم که با عنوان نتایج و تحلیل آنها مطرح شده است در سه بخش کلی بررسی ریزساختاری قبل و بعد از آزمایشات، بررسی منحنی های خزش و تحلیل آنها و تعیین مکانیزم خزش ارائه شده است. در فصل پنجم و انتهایی هم نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات آورده شده است.

فصل دوم

مروری بر منابع