بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب سجاد رشنو 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 در فهرست منابع و ماخذ ذکر گردیده است . این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه 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 .

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضاء

دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی اثر قلع بر ریزساختار و رفتار خزش فروروندگی آلیاژ MRI153 منیزیم

نگارش

سجاد رشنو

استاد راهنما: دکتر سید مهدی میراسماعیلی

استاد مشاور: دکتر بهرام نامی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مواد

مهرماه ۱۳۹۰

تائیدیه هیات داوران جلسه دفاع پایان نامه

تقدیم به مهربان فرشتگانی که؛
لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن،
جسارت خواستن، شکوه توانستن،
عظمت رسیدن و تمام تجربه‌های یکتا و زیبای زندگیم
مدیون حضور سبز آنهاست.

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که حق ستایش او بالاتر از حد ستایشگران است و نعمت‌هایش فوق اندیشه شمارشگران.

بر خود لازم می دانم که صمیمانه ترین تشکر وقدردانی خود را نسبت به آقای دکتر سید مهدی میراسماعیلی که با نور علم شان مسیر تحقیق را برایم روشن نمودند، داشته باشم.

از آقای دکتر بهرام نامی، استاد مشاور ارجمندم، به خاطر راهنمایی‌های بی شائبه‌شان در طول پژوهش خصوصا راهنمایی‌های ایشان در کار ساخت دستگاه خزش تشکر وقدردانی می نمایم.

همچنین از کمک‌های برادرانه و بزرگوارانه جناب آقای مهندس محمدی و سایر عزیزانی که در مراحل مختلف انجام این تحقیق از کمک‌ها و نظرات ارزنده خود دریغ نکردند، نیز سپاسگذارم.

چکیده:

آلیاژ MRI153[۱] منیزیم توسعه یافته آلیاژ AZ91 بوده که در سال‌های اخیر توسط شرکت فولکس واگن[۲] معرفی گردیده است.

در تحقیق حاضر تاثیر قلع بر ریزساختار و رفتار خزشی آلیاژ MRI153 در حالت ریختگی مورد بررسی قرار گرفته است. رفتار خزشی آلیاژها با استفاده از خزش فروروندگی با فروروندهٔ استوانه‌ای در محدوده تنش $0.025 < \sigma/G < 0.04$ در دمای ^{o}C ۱۵۲ تا ^{o}C ۲۱۷ بررسی شده است.

نتایج نشان می‌دهد که افزودن قلع به آلیاژ MRI153 از پیوستگی فاز $Mg_{17}Al_{12}$ کاسته و با حذف فاز Al_2Ca باعث تشکیل فاز CaMgSn در ریزساختار می‌شود.

همچنین نشان داده شده که مقاومت خزشی آلیاژ MRI153 با حذف فاز Al_2Ca و بدلیل استحکام پایین فاز CaMgSn و نوع مورفولوژی آن کاهش یافته و این فاز نمی‌تواند به عنوان مانعی در برابر لغزش مرزدانه‌ها عمل نماید.

بامحاسبه انرژی اکتیواسیون خزش و توان تنش براساس خزش توانی معلوم شد که خزش نابجایی کنترل شونده بوسیله صعود، مکانیزم غالب در تغییر فرم خزشی آلیاژ MRI153 در حالت ریختگی در شرایط تحقیق بوده و قلع تاثیری بر روی مکانیزم خزشی ندارد.

کلمات کلیدی:

آلیاژ منیزیم MRI153، ریزساختار، خزش فروروندگی، قلع

۱ - Magnesium Research Institute

۲ - Volks wagen

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱- فصل اول: مقدمه ۲

فصل دوم: مروری بر منابع ۶

۲-۱- مقدمه‌ای بر پدیده خزش ۶

۲-۲- مکانیزم های خزش ۸

۲-۳- خزش فروروندگی ۱۲

۲-۴- تحلیل خزش فروروندگی ۱۵

۲-۵- ویژگی‌های عمومی منیزیم و آلیاژهای آن ۱۶

۲-۶- کاربرد منیزیم در صنعت خودرو سازی ۱۷

۲-۷- مروری بر رفتار خزشی منیزیم و آلیاژهای آن ۱۹

۲-۸- مشخصات و ویژگی‌های آلیاژ MRI153 منیزیم ۲۲

۲-۹- ریزساختار آلیاژ MRI153 ..... ۲۴

۲-۱۰ توسعه آلیاژهای منیزیم با مقاومت خزشی بالا ۲۸

۲-۱۱- آلیاژهای ریختگی منیزیم با مقاومت خزشی بالا ۲۹

۲-۱۱-۱- آلیاژ Mg-Al-Si ۲۹

۲-۱۱-۲- آلیاژهای Mg-Al-RE ۳۲

۲-۱۱-۳- آلیاژ Mg-Al-Sr ۳۳

۲-۱۱-۴- آلیاژهای حاوی Zr ,Th ,Y ۳۶

۲-۱۲- تأثیر قلع بر ریزساختار و خواص مکانیکی منیزیم و آلیاژهای آن ۳۹

۲-۱۳- جمع بندی ۴۸

فصل سوم : روش تحقیق..... ۴۹
۳-۱-مقدمه..... ۵۰
۳-۲-آلیاژسازی..... ۵۳
۳-۲-۱- آلیاژسازی MRI153 ..... ۵۳
۳-۲-۲-آلیاژهای حاوی قلع..... ۵۵
۳-۳- تعیین ترکیب شیمیایی آلیاژها..... ۵۵
۳-۴- آماده سازی نمونه های خزش..... ۵۵
۳-۵- آزمایش خزش..... ۵۶
۳-۵-۱- دستگاه خزش فروروندگی..... ۵۶
۳-۵-۲- روش آزمایش..... ۵۷
۳-۶-متالوگرافی کیفی..... ۵۸
۳-۷- آنالیز پراش اشعه X..... ۵۹
۳-۸- میکروسختی سنجی..... ۵۹
فصل چهارم: نتایج و تحلیل آنها..... ۶۰
۴-۱- ترکیب شیمیایی آلیاژهای تولید شده..... ۶۱
۴-۲- ریزساختار آلیاژهای تولید شده..... ۶۱
۴-۲-۱- آلیاژ MRI153 ..... ۶۱
۴-۲-۲- آلیاژ MRI153+0.85Sn و MRI153+1.8Sn ۶۳
۴-۳- رفتار خزشی آلیاژهای MRI153 ، MRI153+0.85Sn و MRI153+1.8Sn ۶۷
۴-۳-۱- بررسی منحنی‌های خزش..... ۶۷
۴-۳-۲- تعیین مکانیزم خزش..... ۷۱
۴-۴- تعیین معادله تغییر فرم خزشی..... ۷۴

۴-۵- ریزساختار نمونه ها پس از خزش..... ۷۷
۴-۵-۱- الگوی تغیر فرم مواد در زیر فرورونده..... ۷۷
۴-۵-۲- آلیاژ MRI153 ..... ۷۸
۴-۵-۳- آلیاژ MRI153+0.85Sn و MRI153+1.8Sn ۸۱
۴-۶- دلایل کاهش مقاومت خزشی با افزودن قلع..... ۸۵
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات..... ۸۹
۵-۱- نتیجه‌گیری..... ۹۰
۵-۲- پیشنهادات جهت تحقیقات آینده..... ۹۲
فهرست منابع..... ۹۳

فهرست جداول

جدول (۲-۱) مکانیزم‌های خزش در سطح میکرونی..... ۹
جدول (۲-۲) مقادیر مختلف Q، n و p برای مکانیزم‌های کنترل‌کننده سرعت خزش در آلیاژهای پایه منیزیم..... ۱۱
جدول (۲-۳) نرخ خزش و انرژی اکتیواسیون برای مکانیزم‌های خزشی فعال شونده بوسیله حرارت..... ۲۰
جدول(۲-۴) مقایسه خواص مکانیکی آلیاژ MRI153 با دیگر آلیاژهای منیزیم..... ۲۳
جدول(۲-۵) مقایسه خزش کششی آلیاژهای تحت فشار منیزیم..... ۳۵
جدول (۴-۱) ترکیب شیمیایی آلیاژهای تولید شده و محدوده ترکیب آلیاژ استاندارد MRI153 ..... ۶۱
جدول (۴-۲) ترکیب شیمیایی نقاط مشخص شده بر روی شکل (۴-۲) برحسب درصد اتمی..... ۶۳

جدول (۴-۳) جدول (۴-۳) آنالیز عنصری فاز B نشان داده شده بر روی شکل (۴-۵-ج)..... ۶۵
جدول(۴-۴) مقادیر n و A در معادله (۴-۵) برای آلیاژها در حالت ریختگی..... ۷۷
جدول (۴-۵) ترکیب شیمیایی نقاط مشخص شده بر روی شکل (۴-۱۸)-الف برحسب درصد اتمی..... ۸۱
جدول (۴-۶) ترکیب شیمیایی نقاط مشخص شده بر روی شکل (۴-۲۱)-الف برحسب درصد اتمی..... ۸۴
جدول(۴-۷) میکروسختی مخلوط یوتکتیک در ریزساختار آلیاژ MRI153، MRI153+0.85Sn ۸۷

فهرست تصاویر

شکل(۲-۱) شماتیک دستگاه آزمایش خزش..... ۶

شکل(۲-۲) نمودار ایده ال خزش مواد تحت تأثیر دما و تنش ۷

شکل(۲-۳) نمودار سرعت کرنش خزشی نسبت به دما(نمودار خزش به سه ناحیه اولیه،ثانویه و ثالثیه تقسیم می‌شود..... ۷

شکل(۲-۴) نمودار شماتیک نقشه مکانیزم تغییر شکل..... ۱۱

شکل (۲-۵) تصویر شماتیک خزش فروروندگی با استفاده از فرورونده استوانه ای. ۱۳

شکل (۲-۶) تصویر شماتیک دستگاه خزش فروروندگی..... ۱۴

شکل(۲-۷) برخی از قطعات اتومبیل تولید شده از منیزیم به همراه درصد کاهش وزن در جایگزینی به جای آلیاژهای دیگر..... ۱۸

شکل(۲-۸) برخی از قطعات تولید شده خودرو از آلیاژهای منیزیم..... ۱۹

شکل(۲-۹) مقایسه نرخ کرنش خزشی آلیاژهای155-MRI153 با آلیاژ AZ91 و AE42 ..... ۲۴

شکل(۲-۱۰) نمودار (الف) دوتایی Mg-Al، (ب) بخش غنی از منیزیم دیاگرام فاز سه‌تایی..... ۲۵

شکل(۲-۱۱) تأثیر افزودن کلسیم بر مورفولوژی یوتکتیک آلیاژ AZ91 الف)Ca ۰٪ ، ب)Ca ۰/۲ ٪، ج)Ca ۰/۴٪ ، د) ۱Ca٪..... ۲۶

شکل(2-12) بخش غنی از منیزیم دیاگرام فاز سه تایی Mg-Al-Ca به همراه ترکیبات بین فلزی تشکیل شده در حین انجماد آلیاژهای مختلف..... ۲۷

شکل(۲-۱۳) تأثیر افزودن کلسیم بر اندازه دانه آلیاژ AZ91 ..... ۲۷

شکل(۲-۱۴) تأثیر الف) آلومینیوم و ب) عناصر آلیاژی Sr، Ca، RE برخواص و قیمت آلیاژهای تحت فشار منیزیم..... ۲۹

شکل (۲-۱۵) ریزساختار آلیاژ AS21 تولید شده به روش ریخته گری تحت فشار..... ۳۱

شکل (۲-۱۶) تنش لازم برای ایجاد ۰/۱ درصد خزش در مدت ۱۰۰ ساعت در دماهای مختلف برای آلیاژهای سیستم Mg-Al و همچنین آلیاژ ریختگی A380 آلومینیم..... ۳۱

شکل (۲-۱۷) ریزساختار آلیاژ (الف)AJ51، (ب)AJ62L، (ج)AJ52، (د)AJ62..... ۳۴

شکل(۲-۱۸) نمودار خزشی آلیاژهای AJ,AJC, AE42 در دمای ۱۷۵ °C و تنش ۷۰Mpa در مدت زمان ۱۰۰ ساعت..... ۳۶
شکل (۲-۱۹) (الف) اثر دما بر استحکام کششی نهایی آلیاژهای سری WE در مقایسه با دیگر آلیاژهای منیزیم (ب) مقایسه استحکام خزشی ۰/۰۲٪ آلیاژهای سری WE در ۱۰۰ ساعت در دمای ۲۰۰°C در مقایسه با دیگر آلیاژهای منیزیم ۳۸
شکل (۲-۲۰) تصویر میکروسکوپ از آلیاژMg-Sn. (الف)Mg–1Sn، (ب)Mg–3Sn، (ج) Mg–5Sn، (د) Mg –7Sn، (ه) Mg–10Sn..... ۴۰
شکل (۲-۲۱) مقایسه نرخ خزش فروروندگی آلیاژ Mg-Sn با آلیاژ AE42 در دمای ۱۵۰°C..... ۴۱
شکل (۲-۲۲) تصویر میکروسکوپ الکترونی و مورفولوژی فازهای مختلف در آلیاژهای (الف) Mg–5Sn ، (ب) Mg–5Sn-0.7Ca، (ج) Mg–5Sn-1.4Ca، (د) Mg–5Sn-2Ca..... ۴۲
شکل (۲-۲۳) تصاویر میکروسکوپ الکترونی شبکه ذرات فاز ثانویه در زمینه(Mg)α (الف) Mg-5Sn، (ب) Mg-5Sn-0.15Sb،(ج) Mg-5Sn-0.4Sb ، (د) Mg-5Sn-0.7Sb و در بزرگنمایی بالاتر (ه) Mg-5Sn متشکل از یوتکتیک Mg-α+ Mg_2Sn، (و) Mg-5Sn-0.15Sb متشکل از Mg_3Sb_2 همراه با ذرات لایه‌ای و کروی Mg_2Sn، (ز) Mg-5Sn-0.4Sb متشکل از Mg_3Sb_2 و ذرات کروی Mg_2Sn، (ح) Mg-5Sn-0.7Sb متشکل از Mg_3Sb_2، SnSb و ذرات کروی Mg_2Sn..... ۴۳
شکل(۲-۲۴) نمودار خزش فشاری آلیاژ Mg-5Sn در حالت ریختگی و پیرسازی شده..... ۴۴
شکل(۲-۲۵) تصویر میکروسکوپ الکترونی آلیاژ ریختگی (الف) Mg-5Sn، (ب) Mg-5Sn-2La، (ج) Mg-6.5Sn-2La ، (د) Mg-8.5Sn-2La..... ۴۵
شکل (۲-۲۶) رفتار خزش فشاری آلیاژ Mg-5Sn، Mg-5Sn-2La ، Mg-6.5Sn-2La،-Mg-8.5Sn-2La در دمای ۴۷۳K و تنش ۳۵Mpa..... ۴۵
شکل(۲-۲۷) مقایسه نرخ خزش فروروندگی برای آلیاژ Mg-5Sn ، Mg-5Sn-2Di ، AE42 (الف) در دمای ۱۵۰ °C ، (ب) در دمای۱۷۵ °C..... ۴۶
شکل (۳-۱) طرح نموداری مراحل ساخت و ریخته‌گری آلیاژهای مورد استفاده دراین پروژه ۵۱
شکل (۳-۲) طرح نموداری مراحل آماده سازی نمونه ها و آزمایش خزش..... ۵۲
شکل(۳-۳) تصویر شماتیک محفظه ایجاد گاز So_2 ..... ۵۴
شکل(۳-۴) تصویر شماتیک سیستم مورد استفاده برای تولید شمش‌های اولیه..... ۵۴

شکل (۳-۵) تصویر دستگاه خزش فروروندگی ساخته شده..... ۵۷
شکل (۳-۶) تصویر شماتیک نمونه‌های خزش (الف)نمونه پولکی، (ب) نمونه‌های نهایی..... ۵۸
شکل(۴-۱) تصویر میکروسکوپ نوری آلیاژ MRI153 ..... ۶۲
شکل (۴-۲) نتایج SEM آلیاژ MRI153 به همراه طیف EDX فازهای نشان داده شده..... ۶۲
شکل (۴-۳) الگوی پراش اشعه X آلیاژ MRI153 ..... ۶۳
شکل (۴-۴) تصویر میکروسکوپ نوری آلیاژ MRI153+0.85Sn..... ۶۴
شکل(۴-۵) نتایج SEM آلیاژ MRI153+0.85Sn به همراه طیف EDX فازهای نشان داده شده..... ۶۴
شکل (۴-۶) الگوی پراش اشعه X آلیاژ MRI153+0.85Sn ۶۵
شکل (۴-۷) تصویر میکروسکوپ نوری آلیاژ MRI153+1.8Sn ۶۶
شکل(۴-۸) نتایج SEM آلیاژ MRI153+1.8Sn به همراه طیف EDX فازهای نشان داده شده..... ۶۶
شکل (۴-۹) الگوی پراش اشعه X آلیاژ MRI153+1.8Sn ۶۷
شکل(۴-۱۰) تغییرات عمق فرورونده برحسب زمان در دمای ۱۹۷ ^{o}C در تنش های نرماله (σ/G) مختلف (الف) آلیاژ MRI153 (ب) آلیاژ MRI153+0.85Sn (ج) آلیاژ MRI153+1.8Sn..... ۶۸
شکل(۴-۱۱) منحنی خزش آلیاژ MRI153 ، MRI153+0.85Sn و MRI153+1.8Sn تحت ۰۲۸/ ۰ = σ/G، (الف) ۱۹۷ ^{o}C، (ب) ۲۱۷ ^{o}C ۶۸
شکل (۴-۱۲) تغییرات نرخ کرنش خزشی برحسب زمان در دمای ۲۱۷ ^{o}C تحت تنش های نرماله (σ/G) مختلف (الف) آلیاژ MRI153 (ب) آلیاژ MRI153+0.85Sn (ج) آلیاژMRI153+1.8Sn .. ۷۱
شکل (۴-۱۳) تغییرات $\left(\frac{V_{imp}T}{G}\right)$ برحسب تنش نرماله برای هر سه آلیاژ..... ۷۲
شکل (۴-۱۴) تغییرات $\mathrm{Ln}\left(\frac{\mathrm{V_{imp}T}}{\mathrm{G}}\right)$ برحسب 1/T تحت تنش های نرماله (σ/G) ثابت برای هرسه آلیاژ..... ۷۴
شکل (۴-۱۵) تغییرات نرخ کرنش خزشی نرماله برحسب تنش نرماله برای آلیاژهای MRI153، MRI153+0.85Sn و MRI153+1.8Sn در حالت ریختگی..... ۷۶
شکل (۴-۱۶) ریزساختار آلیاژ MRI153+1.8Sn پس از خزش در دمای ۲۱۷ ^{o}C تحت ۰/۰۲۸= σ/G..... ۷۸

شکل (۴-۱۷) تصویر میکروسکوپ نوری آلیاژ MRI153 در زیر فرورونده پس از خزش در دمای ۲۱۷ °C و تحت تنش σ/G =۰/۰۳ در دو بزرگنمایی متفاوت..... ۷۹
شکل (۴-۱۸) تصویر میکروسکوپ الکترونی آلیاژ MRI153 در زیر فرورونده پس از خزش در دمای ۲۱۷ °C و تحت تنش σ/G =۰/۰۳ در دو بزرگنمایی متفاوت..... ۸۰
شکل (۴-۱۹) طیف EDS گرفته شده از نقاط A و B در شکل (۴-۱۸)-الف..... ۸۱
شکل (۴-۲۰) تصویر میکروسکوپ نوری آلیاژ MRI153+0.85Sn در زیر فرورونده پس از خزش در دمای ۲۱۷ °C و تحت تنش σ/G =۰/۰۳ در دو بزرگنمایی متفاوت..... ۸۲
شکل (۴-۲۱) تصویر میکروسکوپ الکترونی آلیاژ MRI153+0.85Sn در زیر فرورونده پس از خزش در دمای ۲۱۷ °C و تحت تنش σ/G =۰/۰۳ در دو بزرگنمایی متفاوت..... ۸۳
شکل (۴-۲۲) طیف EDS گرفته شده از نقاط A و B در شکل (۴-۲۱)-الف..... ۸۴
شکل (۴-۲۳) تصویر میکروسکوپ نوری آلیاژ MRI153+1.8Sn در زیر فرورونده پس از خزش در دمای ۲۱۷ °C و تحت تنش σ/G =۰/۰۳..... ۸۵
شکل (۴-۲۴) تصویر میکروسکوپ الکترونی آلیاژ MRI153+1.8Sn در زیر فرورونده پس از خزش در دمای ۲۱۷ °C و تحت تنش σ/G =۰/۰۳ در دو بزرگنمایی متفاوت..... ۸۶
شکل (۴-۲۵) نحوه قفل شدن مرزدانه توسط یک فاز با جهت گیری و شکل متفاوت..... ۸۸

فصل اول
مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه استفاده از قطعات ریختگی منیزیم در صنایع خودروسازی به منظور کاهش مصرف سوخت و کاهش انتشار گازهای آلاینده با رشد سریعی مواجه شده است. با وجود اینکه آلیاژهای گوناگونی از منیزیم توسعه یافته است، هنوز آلیاژهای سری AZ یکی از قدیمی‌ترین و پرمصرف‌ترین آلیاژهای منیزیم در صنایع خودروسازی است. این موضوع به دلیل خواص مکانیکی و شیمیایی مناسب این آلیاژ از یک سو و قابلیت بالای ریخته‌گری آن از سوی دیگر است.

در حال حاضر آلیاژ AZ91(Mg-9Al-0.8Zn-0.2Mn) مهم‌ترین آلیاژ پایه منیزیم است بطوریکه هم اکنون بالغ ۹۰٪ از قطعات ریختگی منیزیمی از این آلیاژ تولید می‌شوند. علیرغم خواص خوب فوق الذکر،عیب اصلی این آلیاژ استحکام تسلیم پایین و خواص خزشی نامطلوب در درجه حرارت‌های بالاتر از°C ۱۲۰ است که باعث محدودیت استفاده این آلیاژ در کاربردهای دما بالا می‌شود.

تحقیقات زیادی جهت تولید آلیاژهای ریختگی منیزیم با استحکام بالا در دهه گذشته انجام شده است. در همین راستا آلیاژهای جدیدی بر پایه سیستم‌های آلیاژهای Mg-Al-Ca، Mg-Al-Ca-RE، Mg-Al-Sr، Mg-Sn-Zn، همانند AC52، AJ52، AJ62، MRI153، MRI230 توسعه یافته‌اند. با وجود خواص خزشی مناسب و

استحکام گرم زیاد، استفاده از این آلیاژها به دلیل خواص ریخته‌گری نامطلوب، ازقبیل سیالیت کم و همچنین حساسیت زیاد به ترک گرم محدود شده است.

با توجه به استحکام کششی خوب در دمای اتاق، قابلیت ریخته‌گری عالی و خواص خوردگی مناسب آلیاژ AZ91 در مقایسه با سایر آلیاژهای ریختگی منیزیم، تحقیقات بسیاری جهت بهبود خواص خزشی این آلیاژ با استفاده از عناصر آلیاژی انجام شده است. گزارش شده است که رفتار خزشی آلیاژ Mg-Al-Zn می‌تواند به وسیله افزودن عناصری از قبیل Sb، Ca، RE، Sr، Si و از طریق تشکیل ترکیبات بین فلزی پایدار در دمای بالا بهبود پیدا کند.

در سال‌های اخیر شرکت فولکس واگن یک آلیاژ ریختگی جدید تحت نام اختصاریMRI153 را معرفی کرده است. این آلیاژ از یک سو حاوی۹٪ وزنی آلومینیوم و۱٪ وزنی روی به منظور تضمین‌کردن استحکام تسلیم و قابلیت ریخته‌گری است. از سوی دیگر حضور ۱٪ وزنی کلسیم و۰/۱٪ وزنی استرانسیم با تشکیل ترکیبات بین فلزی پایدار در مرزدانه و درون دانه سبب بهبود مقاومت خزشی آلیاژ گردیده است.

همچنین قابل ذکر است که کلسیم در این آلیاژ باعث کاهش اکسیداسیون در هنگام ذوب، افزایش خواص عملیات حرارتی پذیری، افزایش مقاومت به خوردگی و بهبود خواص مکانیکی در دمای بالا می‌شود. با وجود اثرات مثبت کلسیم بر خواص خزشی این آلیاژ، کاهش سیالیت و افزایش حساسیت به ترک گرم نیز از اثرات جانبی حضور این عنصر می‌باشد.

در این پژوهش به بررسی تاثیر قلع بر ریزساختار و رفتار خزش فروروندگی آلیاژ MRI153 پرداخته شده است. در واقع انتظار می‌رود که قلع با تشکیل فازهای پایدار حرارتی با منیزیم و کلسیم بتواند خواص خزشی را بهبود دهد.

پژوهش حاضر از پنج فصل مقدمه، مروری بر منابع، روش تحقیق، نتایج و تحلیل آنها و فصل نتیجه‌گیری تشکیل شده است. در فصل دوم یا مروری بر منابع به معرفی آلیاژ MRI153 و ریزساختار آن به همراه آلیاژهای منیزیم با مقاومت خزشی بالا پرداخته شده است. تأثیر قلع بر خواص مکانیکی و ریزساختار آلیاژهای منیزیم نیز مورد بحث قرار گرفته است.

در فصل سوم روش تحقیق تشریح گردیده است. در این فصل روش تولید آلیاژها و آزمایشات انجام گرفته شرح داده شده است. همچنین خواص خزشی آلیاژها با روش خزش فروروندگی با فروروندهٔ استوانه‌ای در دماها

و تنش‌های مختلف مورد تحقیق قرار گرفته است. همچنین ریزساختار آلیاژها با استفاده از میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی بررسی شده است.

در فصل چهارم نتایج پژوهش مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در ابتدا ترکیب شیمیایی و ریزساختار آلیاژها ارائه شده است. در ادامه با استفاده از معادلات تغییر فرم و محاسبه انرژی اکتیواسیون و توان تنش، مکانیزم خزش آلیاژها مشخص شده است. همچنین با بررسی‌های ریزساختاری پس از خزش، مکانیزم کاهش مقاومت خزشی آلیاژ MRI153 در حضور قلع شرح داده شده است. در فصل پنجم نتایج تحقیق جمع بندی و چند تحقیق برای ادامه کار ارائه و پیشنهاد شده است.

فصل دوم
مروری بر منابع