بررسی جامع مطالعاتی رفتار خزشی فرورونده آلیاژهای منیزیم - روی

نفيسه ملايي	دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی، دانشکده مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی،
	تهران، ایران، nf.mollaei@yahoo.com
سروش پرویزی [*]	استادیار گروه مواد و متالورژی، دانشکده مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران،
	parvizi@srttu.edu
بهرام نامی	دانشیار گروه مواد و متالورژی، دانشکده مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران،
	bnami56@gmail.com
سیدمهدی میراسماعیلی	دانشیار گروه مواد و متالورژی، دانشکده مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران،
	s.m.miresmaili@srttu.edu
امیر عابدی	استاديار گروه مواد و متالورژي، دانشكده مكانيك، دانشگاه تربيت دبير شهيد رجايي، تهران، ايران،
	amirabedi@srttu.edu

چکیدہ

سیستم آلیاژی Mg-Zn به علت دارابودن قابلیت سختشوندگی از اهمیت زیادی برخوردار است، لذا در راستای افزایش مقاومت خزشی و حفظ استحکام در دمای بالای این سری آلیاژها پژوهشهایی در زمینه اثر عناصر آلیاژی، عملیات حرارتی و بهبود خواص مکانیکی آنها صورت گرفته است. دراین پژوهشها آلیاژهای سری منیزیم-روی با عناصر آلیاژی با درصدهای وزنی متفاوت و تحت عملیات حرارتیهای مختلف قرار گرفتهاند و ریزساختار و خواص مکانیکی عمدتا توسط میکروسکوپ نوری، پراش اشعه ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی، سختی سنجی، تست کشش، خزش فرورونده مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این بررسیها نشان داد عناصر آلیاژی عمدتا میتواند با ایجاد ترکیبات با پایداری حرارتی بالا مقاومت خزشی و افزایش مقاومت خزشی مود محاصل از این بررسیها نشان داد عناصر آلیاژی عمدتا میتواند با ایجاد ترکیبات با پایداری حرارتی بالا مقاومت خزشی را افزایش مقاومت خزشی می و رو محلول سازی و پیرسازی میتواند باعث ریزدانگی و پراکندگی رسوبات شده و با ایجاد موانعی دربرابر حرکت نابجاییها، باعث افزایش مقاومت خزشی میشود. **واژههای کلیدی:** خزش فرورونده، آلیاژهای منیزیم-روی، خواص مکانیکی، ریزساختار.

A Comprehensive Review of Studies on Impression Creep Behavior of Magnesium-Zinc Alloys

N. MollaeiFaculty of MedS. ParviziFaculty of MedB. NamiFaculty of MedS. M. MiresmailiFaculty of MedA. AbediFaculty of Med

Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran Hechanica Engineering, Shahid Rajaee Teacher

Abstract

Mg-Zn alloys system due to the hardening ability have a crucial importance, therefore many researches have been done to increase creep resistance and maintain the alloy strength at elevated temperature. Some researches has been done about the effect of alloying elements, heat treatment and improving mechanical properties. In these studies, the effect of alloying elements with different weight and different heat treatment cycles on microstructure and mechanical properties have been studied. Investigation has been done mainly by optical microscopy, hardness, tensile and impression creep. The results of these study showed that alloying elements can be created high thermal stable compounds with and high creep resistance increase. On the other hand, solutionizing and aging treatment can cause grain refinement and precipitation dispersion. Because, dispersion barriers against motion of dislocations, they can increase creep resistance.

Keywords: impression creep, magnesium-zinc alloys, mechanical properties, microstructure.

۱– مقدمه

آلیاژهای منیزیم به علت چگالی کم، قابلیت ریخته گری و ماشین-کاری بالا، استحکام ویژه بالا و قیمت مناسب در صنایع خودرو، هوافضا و الکترونیک کاربردهای رو به گسترشی یافتهاند[۱, ۲]. علاقمندی به آلیاژهای فلزی با وزن کم در سازههای صنعتی به علت اهمیت آن درکاهش آلودگیهای زیست محیطی و ذخیره انرژی به طور چشم-گیری در حال افزایش است. به ویژه در صنایع اتومبیل آلیاژهای منیزیم به عنوان ماده کلیدی در افزایش راندمان شناخته میشود[۳, ۴]. وجود محدودیتهایی مانند مقاومت به خوردگی پایین، قابلیت شکلپذیری کم، و کاهش استحکام در دمای بالا مانع از افزایش سریع تولید قطعات

منیزیمی شده است[۵]، لذا افزایش مقاومت خزشی وحفظ استحکام در دمای بالا مهمترین مسئله برای توسعه استفاده منیزیم درصنایع می-باشد[۶, ۲]. آلیاژهای منیزیم با توجه به ساختار هگزاگونال (HCP) تغییرشکل پلاستیکی ضعیفی دردمای اتاق از خود نشان میدهند، درحالیکه آلیاژهای منیزیم در دمای بالا ونرخ کرنش مناسب، به شدت شکل پذیر هستند [۸, ۹].

Mg-Zn آلیاژهای Mg-Zn

آلیاژهای Mg-Al به طور گسترده به علت خواص استحکامی مناسب در دمای اتاق استفاده می شود، ولی در دمای بالاتر از ۲۳ K به علت وجود فاز ناپایدار Mg₁₇Al₁₂ خواص مکانیکی ضعیفی دارند، لذا

^{*} نويسنده مكاتبه كننده، آدرس پست الكترونيكي: parvizi@srttu.edu

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۱

آلیاژهای منیزیم با هدف توسعه پایداری ساختار در دمای بالا مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند [۱۰–۱۲]. سیستم آلیاژی Mg-Zn به علت دارا بودن قابلیت رسوب سخت شوندگی توسط عملیات پیرسازی از اهمیت زیادی برخوردار است[۱۴, ۱۴]، در این آلیاژها عنصر روی در مقایسه با آلومینیوم استحکام محلول جامد بیشتری ایجاد می کند اما حلالیت آن کمتر است[۱۶, ۱۶]. براساس دیاگرام فازی Mg-Zn، مراحل رسوبگذاری در این سیستم به شرح زیر است[۱۴, ۱۸]:

مناطق GP مخلول فوق اشباع حالت جامد $rac{rac}{rac}$ محلول فوق اشباع حالت جامد MgZn₂ ightarrow (میله ای) Mg $_2$ (میله ای) Mg $_2$ (میله ای)

۲-۱- آزمون خزش فرورونده

در آزمون خزش فرورونده از یک فرورونده با شکلهای مختلف استفاده میشود[۱۹]. در این آزمایش میتوان به حالت خزش پایدار با اعمال نیروی ثابت رسید[۲۰, ۲۱]. با توجه به اینکه در حین این آزمون با تغییر شرایط دمایی و نرخ کرنش تغییری در ابعاد نمونه ایجاد نمیشود لذا نسبت به آزمایش خزشی کششی بسیار ساذه تر میباشد[۲۲]. به صورت نمادین در شکل ۱ نحوه کارکرد این دستگاه نشان داده شده است. نمودار عمق فرورونده D برحسب زمان بر روی مانیتور نمایش داده میشود[۲۱]. این آزمایش نسبت به آزمایش کششی خزش مزایایی دارد از جمله: ۱) انجام تست تحت نیروی ثابت. ۲) دما و تنش برای خزش حالت پایدار را میتوان با یک نمونه به دست آورد. ۳) به علت عدم وجود ناحیه سوم خزشی، انجام آزمایش برای مواد ترد نیز امکان پذیر است. ۴) در این روش اطلاعات بیشتر نسبت به تست خزش ساختار جوش یا تاثیر مرزدانهها در تعیین و کنترل مکانیزمهای خزشی این روش آزمایش عملکرد بهتری نشان میدهد[۲۲, ۳].



شکل۱ – شکل شماتیک تست خزش فرورونده [۲۱]

یک پارامتر مشخصه مهم جهت توصیف خزش، توان تنشی (n) برای نرخ خزش حالت پایدار در معادله توان خزشی می باشد که به صورت معادله (۱) میشود [۲۴].

 $n = \frac{\Delta \ln v_{\rm s}}{\Delta \ln \sigma_{\rm t}} = \frac{\Delta \ln V_{\rm s}}{\Delta \ln \sigma_{\rm i}}$ (1) $V_{\rm s} \quad (i) = V_{\rm s}$

 $\epsilon^{\circ} = \frac{v_s}{d} \approx \frac{v_s}{a} \,, \quad \sigma_i = 3\sigma_t \label{eq:electric}$

در رابطه (۲)، b عمق منطقه پلاستیک در زیر فرورونده می،اشد که با استفاده از روشهای متالوگرافی تعیین شده است که به صورت تقریبی با قطر فرورونده برابر می،اشد. ضریب ۳ در معادله دوم برای مواد همسان گرد مانند منیزیم می،اشد، برای سایر مواد این ضریب ۴–۳/۵ است[۲1].

۲- تاثیر عناصر آلیاژی: ریزساختار وخواص خزشی ۲- آلیاژ Mg-6Zn-3Cu-XRE

گلمکانیون و همکاران اثر ۱-۲-۳ درصد وزنی عناصر نادر خاکی بر ریزساختار و مقاومت خزشی آلیاژ ZC63 توسط تست خزش فرورونده در بازه دمایی ۴۹۸-۴۹۳ تحت تنشهMPa ۲۰۰-۷۰۰ طی زمان ۲۶۰۰۰ ثانیه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مقاومت خزشی آلیاژ پایه به طور قابل ملاحظهای با اضافه کردن عناصر نادر خاکی بهبود مییابد که به ریزدانهشدن توسط عناصر نادر خاکی و تشکیل ترکیبات با پایداری حرارتی بالای Mg-12 RE و MgRE و RE در میشود. این ترکیبات موجب استحکامدهی در مرزدانهها و زمینه، هنگام تغییر شکل میشود. تاثیر عناصر نادر خاکی بر ریزدانگی



شكل ٢- تصاوير ميكروسكوپ نورى الف) ZC63 ب) ZC63 RE ج) ZC63 ج) ZC63 72 E].

اتمههای عناصر نادر خاکی علاوه بر این که موجب افزایش تعداد جوانهزا ها می گردد با حل شدن در زمینه موجب شکل گیری ذرات Mg-RE می شود که به عنوان جوانهزای فاز یوتکتیک عمل کرده و موجب افزایش کسر حجمی این فاز می شود.

همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود با افزایش عناصر نادر خاکی مورفولوژی فاز یوتکتیک به حالت تودهای بی نظم تغییر می یابد و همچنین ذرات بی نظم کروی پراکنده MgRE به عنوان ذرات پایدار در کنار دانهبندی مشاهده می شود. برای ارزیابی بهتر اثر عناصر نادر خاکی بر مقاومت خزشی آلیاژ 2063 نمودارهای خزش ۴ عنصر را در بازه دمایی $\frac{7 mp}{G} < -1/2$ دمایی (۲۵).



شكل ٣- تصاوير ميكروسكوپ الكترونى الف)، ZC63 ب) RE (1% RE [٢۵] ZC63 3% RE (2 ZC63 - 2% RE (2 ZC63

با بررسی نمودارهای آزمایش خزش فرورونده مطابق شکل ۴ (عمق فرورونده بر حسب زمان) به وضوح روشن است که با افزایش عناصر نادر خاکی مقاومت خزشی ZC63 در تمام دماها بهبود می بابد، دلیل این بهبود خواص مکانیکی تغییرات ریزساختاری، ریزدانگی و افزایش کسر حجمی فاز یوتکتیک و تغییر مورفولوژی فازها و ایجاد ترکیبات با پایداری حرارتی بالا که موجب جلوگیری از حرکت نابجاییها و محدود شدن لغزش دانهها بههنگام خزش نابجایی و جلوگیری از مهاجرت مرزدانه ها و لغزش مرزدانه ها به هنگام خزش نفوذی می باشد. گزارش شده است [۲۶, ۲۶].



شکل۴-نمودار های عمق فرورونده بر حسب زمان [۲۵]

۲−۲ آلياژ Mg-4Zn-0.5Ca و Mg-4Zn-0.5Ca

نقدی و همکاران رفتار خزشی آلیاژ Mg – 4Zn – 0.5Ca – 2RE و Mg – 4Zn – 0.5Ca اکسترود شده را توسط آزمون خزش فرورونده در بازه دمایی Mg – 4Zh مورد بررسی قرار دادند. رفتار خزشی هردو و انرژی اکتیواسیون <u>ki</u> mol ، نزدیک به نفوذ در شبکه در (Mg) α به دست آمده است، بنابراین نفوذ در شبکه کنترل شده توسط صعود نابجایی به عنوان مکانیزم غالب در این خزش تعیین شده است. با توجه به شکل (۵) هردو آلیاژ ساختار دندریتی دارند که با اضافه کردن عناصر نادر خاکی اندازه دانهها کاهش می یابد. اجزا تیره رنگ ذرات فاز ثانویه پراکنده در زمینه می باشد [۲۷].

گزارش شده است که در دماهای پایین تر و تنش های بالاتر قانون توانی نقض شده است. تنش آستانهای به صورت خطی با افزایش دما کاهش مییابد. آلیاژ شامل عناصر نادر خاکی، آستانه تنشی بالاتر و مقاومت خزشی بهتری از خود نشان میدهند. مقاومت به خزش بالاتر، به علت افزایش کسرحجمی ذرات ثانویه و ایجاد ذرات MgZn)12RE) با پایداری حرارتی بالا میباشد(شکل ۶ و ۷) [۲۷].



شکل ۵ – ساختار میکروسکوپ نوری الف) آلیاژMg-4Zn-0.5Ca ب) Mg-4Zn-0.5Ca-2RE [۲۷]



شکل ۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی: الف و ب) عمود بر جهت اکستروژن و *ج و د*) موازی جهت اکستروژن [۲۷]





Mg-8Zn-4Al-0.5Ca آلياژ –۳–۲

پنگ' و همکاران رفتار خزشی آلیاژ ریختگی -Mg-8Zn-4Al 0.5Ca رسوب سخت شونده با استفاده از آزمایش های خزش فرورونده در بازه دمایی ۲۳ -۶۲۳ K و تحت تنش۱/۶۸-۶۰/۴ مورد مطالعه و بررسی قرارد دادند. نشان دادند که با ً از رابطه توانی بين نرخ فرورونده حالت پايدار و تنش فروروند، الف تغييرات توان تنشی با دما و تنش را به دست آورد. انرژی فعالسازی به عنوان تابعی از تنش از ۲۶/۵ <u>kj</u> ۲۶/۵ در تنش ۱۳/۴ MPa تا ۴۵/۴ تحت تنش ۴۶/۹۵ MPa تغییر میکند. با استفاده از قانون تنشی سینوس هذلولوی بین نرخ فرورونده و تنش فرورونده (معادله ۳)، انرژی اکتیواسیون kj <u>wol</u> به دست آمد (مطابق شکل ۸). نصف انرژی فعالسازی جهت نفوذ در شبکه در منیزیم ی تنها مکانیزم پیشنهادی کنترلکننده رفتار خزشی آلیاژ مورد بررسی در شرایط آزمایش، جریان مرزدانهای گزارش شده است [۲۸]. $v = v_{\circ} \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) \sinh\left(\frac{\Omega\sigma_{p}}{RT}\right)$ (\mathcal{T})



شکل ۸ – وابستگی سینوس هذلولوی تنش به نرخ فرورونده آلیاژ [۲۸] Mg-8Zn-4Al-0.5Ca

۳- تاثیر عملیات حرارتی بر رفتارخزشی و خواص مکانیکی

mg-4Zn آلیاژ Mg-4Zn در حالت ریختگی و پیر شده

رفتار خزش فرورونده آلیاژ Mg-4%Zn در حالت ریخته گری و پیرسازی شده در محدوده دمایی ۵۲۳–۴۲۳ کلوین تحت تنش ثابت

مورد بررسی قرار گرفته است، که عملیات پیرسا، الفی ق نتایج حاصل از شکلهای ۹ و ۱۰ باعث بهبود مقاومت خزشی الیاژ شده است. بعد از انجام تست خزش ومقایسه نمودارهای خزش(شکل ۱۱) باریزساختارهای حاصل از میکروسکوپ نوری و الکترونی (شکل ۹ و ۱۰) می توان به این نتیجه رسید که علت افزایش مقاومت خزشی آلیاژ بعد از عملیات پیرسازی وجود رسوبات ریز Mg₄Zn₇ درامتداد مرزدانهها و در درون دانهها می باشد [۲۹].



شکل ۹- تصاویر میکروسکوپ نوری آلیاژ Mg-4%Zn الف) در حالت ریختگی ب) در حالت پیرشده [۲۹]



شکل ۱۰- تصاویر میکروسکوپ SEM آلیاژ Mg-4%Zn/*اف)* در حالت ریختگی*ب*) در حالت پیرشده [۲۹]



Mg-4%Zn شکل ۱۱- نمودار های عمق فرورونده برحسب زمان آلیاژ Mg-4%Zn *الف)* در حالت ریختگی ب) در حالت پیرشده [۲۹]

T-۳- آلیاژ Mg-6Zn-3Cu به همراه عناصر نادر خاکی La و Ce

تاثیر عملیات پیرسازی بر روی ریزساختار، مقاومت خزشی و خواص مکانیکی دمای بالای آلیاژ ZC63 به همراه عناصر نادر خاکی Ce و La توسط تست خزش فرورونده در بازه دمایی ۴۳۸–۴۹۸ کلوین و تحت تنش MPa ۲۰۰ – ۱۵۰ و در زمان ۳۶۰۰ ثانیه توسط محمودی و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است. با مقایسه نتایج ریزساختاری (شکل های ۱۲ و ۱۳) در حالت ریخته گری و عملیات حرارتی شده (محلول سازی در دمای ۷۱۳ کلوین به مدت ۸ ساعت و کوئنچ در آب سرد و پیرسازی در دمای ۴۷۳ کلوین به مدت ۶ ساعت) و نیز نمودارهای تست خزش فرورونده (شکل ۱۴)، نتیجه گرفته شده که فرآیند پیرسازی باعث افزایش کسر حجمی فاز یوتکتیک و ایجاد پیوسته مرزدانه شکسته شده و ذرات ناپیوسته در مرزدانهها تشکیل می شود. استحکام خزشی آلیاژ مورد بررسی در نتیجه عملیات پیرسازی به درلیل شکستگی ساختار شبکهای مرزدانه تضعیف شده است [۳۰].



Mg(ZnCu) Mg(ZnCu)a



شکل ۱۳– تصاویر SEM نمونه پیرسازی شده (a,d) نمونه ZC63 ، (b,e) نمونه ZC63-1%La ، نمونه (c,f)) نمونه (b,e

magnesium alloy. Materials Science and Engineering: A, 566: pp. 30-39, 2013.

[10] Gibson M.A., et al., The effect of precipitate state on the creep resistance of Mg–Sn alloys. Scripta Materialia, 63(8): pp. 899-90, 2010

[11] Badri M., Miresmaeili S.M. and Nami B., Microstructure and Impression Creep Properties of Ca-Containing AS31 Magnesium Alloy. Acta Metallurgica Sinica (English Letters), 29(12): pp. 1089-1097,2016.

[12] Mohammadi Mazraeshahi E., et al., Effect of Si on the creep properties of AZ61 cast magnesium alloy. Materials & Design, 76: pp. 64-70, 2015.

[13] Buha, J. and T. Ohkubo, Natural Aging in Mg-Zn(-Cu) Alloys. Metallurgical and Materials Transactions A, 2008. 39(9): pp. 2259-2273.

[14] Ye J., et al., Study on Aging Strengthening of Mg-Zn-Cu Alloy Based on Component Optimization Design. Materials Science Forum, 873: pp. 33-37, 2016.

[15] Wen Q., et al., Effect of Ca addition on the microstructure and tensile properties of Mg-4.0Zn-2.0Gd alloys. Materials Science and Engineering: A, 609: pp. 1-,. 2014.

[16] S. Li, H. Izui, M. Okano, W. Zhang, and T. Watanabe, "Microstructure and Mechanical Properties of ZrO," vol. 10, no. 2, pp. 111–116, 2009.

[17] Polmear I. and John D.S., Light alloys: from traditional alloys to nanocrystals. 2005: Butterworth-Heinemann.

[18] Chen J., et al., Effects of Sn addition on microstructure and mechanical properties of Mg–Zn–Al alloys. Journal of Alloys and Compounds, 461(1-2): pp. 209-215, 2008.

[19] Mathew, M.D., Characterisation of Mechanical Properties Using Ball Indentation, Small Punch Creep and Impression Creep Methods. 2017: p. 79-94.

[20] Yang F. and Li J.C.M., Impression test—A review. Materials Science and Engineering: R: Reports, 74(8): pp. 233-25, 2013.

[21] Sastry D., Impression creep technique—an overview. Materials Science and Engineering: A, 409(1): pp. 67-7, 2005.

[22] Chu, S. and J. Li, Impression creep; a new creep test. Journal of Materials Science, 1977. 12(11): pp. 2200-2208.

[23] Kondori, B. and R. Mahmudi, Impression Creep Characteristics of a Cast Mg Alloy. Metallurgical and Materials Transactions A, 40(8): pp. 2007-2015, 2009.

[24] Nayyeri G. and Mahmudi R., Effects of Sb additions on the microstructure and impression creep behavior of a cast Mg–5Sn alloy. Materials Science and Engineering: A, 527(3): pp. 669-678, 2010.

 $\label{eq:stars} \begin{array}{ll} \mbox{[25Jun]} & J. H., Kim J. M., Park B. K., Kim K. T. and Jung W. \\ J., Effects of rare earth elements on microstructure and \end{array}$

high temperature mechanical properties of ZC63 alloy,

J. Mater. Sci., Vol. 40, No. 9-10, pp. 2659-2661, 2005.

[26] Michael Kassner, Fundamental of creep in metals and alloys,

[27] Naghdi F. and Mahmudi R., Impression creep behavior of the extruded Mg-4Zn-0.5Ca and Mg-4Zn-0.5Ca-2RE alloys. Materials Science and Engineering: A, 2014. 616: pp. 161-170.

[28] Peng L., et al., Impression creep of a Mg-8Zn-4Al-0.5Ca alloy. Materials Science and Engineering: A, 410-411: pp. 42-47, 2005.

[29] Alizadeh R., Mahmudi R. and Langdon T.G., Creep mechanisms in an Mg-4Zn alloy in the as-cast and aged conditions. Materials Science and Engineering: A, 564: pp. 423-43.,2013.

[30] Golmakaniyoon S. and Mahmudi R., Effect of aging treatment on the microstructure, creep resistance and high-temperature mechanical properties of Mg–6Zn–3Cu alloy with La- and Ce-rich rare earth additions. Materials Science and Engineering: A, 620: pp. 301-308, 2015.



۴- نتیجه گیری

با توجه به استحکام به وزن بالای آلیاژهای منیزیم و کاربرد گسترده آنها در صنایع اتومبیل و هوایی در راستای بهبود خواص مکانیکی دمای بالای این آلیاژها، پژوهشهایی صورت گرفته است که از جمله به بررسی اثر عناصر آلیاژی و نیز عملیات حرارتی میتوان اشاره کرد. به صورت کلی عناصر آلیاژی میتواند با ایجاد ترکیبات با پایداری حرارتی بالا در مرزدانهها از لغزش مرزدانهای و در درون دانهها از لغزش نابجایی جلوگیری کرده و مقاومت خزشی را افزایش دهد. از طرفی انجام عملیات محلولسازی و پیرسازی میتواند باعث ریزدانگی و پراکندگی رسوبات شده و به عنوان موانع دربرابر حرکت نابجاییها عمل کند که باعث کاهش نرخ خزش و افزایش مقاومت خزشی میشود.

۵- مراجع

[1] Roberts C.S., Magnesium and its Alloys. 1960: Wiley.

[2] Rashno S., Nami B., and Miresmaeili S.M., Impression creep behavior of a cast MRI153 magnesium alloy. Materials & Design, 2014. 60: pp. 289-294.

[3] Avedesian M.M. and Baker H., ASM specialty handbook: magnesium and magnesium alloys. Vol. 274. ASM international Materials Park, OH, 1999.

[4] Mordike B. and Ebert T., Magnesium: Properties applications—potential. Materials Science and Engineering: A, 302(1): pp. 37-45, 2001.

[5] Yu H., et al., Hot deformation behavior and processing maps of Mg–Zn–Cu–Zr magnesium alloy. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 23(3): pp. 756-7642013.

[6] Haughton J.L and Prytherch W.E., Magnesium and its Alloys. 1937: HM Stationery Office London.

[7] Srinivasan, A., et al., Creep Behavior of AZ91 Magnesium Alloy. Procedia Engineering, 55: pp. 109-113, 2013.

[8] Deng J., et al., Hot tensile deformation and fracture behaviors of AZ31 magnesium alloy. Materials & Design, 49: pp. 209-219, 2013.

[9] Mahmudi R. and Moeendarbari S., Effects of Sn additions on the microstructure and impression creep behavior of AZ91