

مدل سازی معادلات اساسی تغییر شکل گرم آلیاژ منیزیم AM41

احسان افشاری

مدرس مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه ای، همدان، ایران

محمد مهدی اسکندری

دانشجوی مکانیک خودرو، دانشگاه فنی و حرفه ای، همدان، ایران

چکیده:

در این مدل سازی تغییر شکل گرم آلیاژ منیزیم AM41 در دمای ۲۱۰-۲۳۰ درجه سانتی گراد و تاثیر آن بر روی میزان تغییر تنش - کرنش نسبت به حالت عادی انجام گرفت. میزان تنش های پایدار توسط مدل های منحنی تنش - کرنش با در کنار هم قرار دادن آن با معادلات اساسی در بازه دمایی ذکر شده مدل سازی گردید. نمونه آزمایش از طریق ریخته گری اکستروژن ساخته و عملیات تغییر شکل فشار گرم روی محور عمودی اکستروژن انجام گرفت همچنین از دستگاه Zwick-Roell برای انجام فرایند و معادلات سینوس هیپربولیک و لودینگ برای تحلیل داده ها استفاده شد. نرخ کرنش ها نیز برابر s^{-1} ۰.۰۰۱ و ۰.۰۱ در نظر گرفته شد. نتایج نشان می دهد با افزایش کرنش، تنش سیلان ابتدا افزایش می یابد و پس از رسیدن به یک مقدار بیشینه کاهش می یابد و در نهایت وارد ناحیه پایدار می گردد. رفتار منحنی های سیلان را می توان به وقوع فرایند ترمیم دینامیکی نسبت داد. ریز ساختار حاصل از تغییر شکل گرم نیز به وسیله میکروسکوپ نوری مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی های ریز ساختاری به وضوح وقوع تبلور مجدد دینامیکی در طی تغییر شکل گرم را نشان می دهد. افزایش دما و کاهش نرخ کرنش شرایط را برای وقوع و گسترش فرایند تبلور مجدد دینامیکی فراهم می کند؛ به طوریکه اندازه و میزان دانه های تبلور مجدد با افزایش دما و کاهش نرخ کرنش کاهش می یابد.

کلمات کلیدی: آلیاژ منیزیم، AM41، تغییر شکل گرم، معادلات اساسی

مقدمه

منیزیم به عنوان سبک ترین ماده فلزی ساختاری است که در سال های اخیر بسیار تحت بررسی قرار گرفته است تا به طور گسترده در صنعت خودرو و سایر صنایع وابسته به عنوان جایگزینی برای فولاد سنگین تر و قطعات آلومینیومی مورد استفاده قرار گیرد. (Das, 2003) ، (T.M. Pollock, 2010) ، (A.A.Luo, 2004) ، (A.A.Luo, 2002) ، (Hadadzadeh and Wells, 2014) با این حال، کاربرد منیزیم و آلیاژهای آن برای ساخت خودرو زیر مجموعه های آن، به ویژه در شرایط کار شده، هنوز هم بسیار محدود است. (Gerald.s.cole, 2007) ، (hadadzadeh and Wells, 2013) این امر به دلیل برخی محدودیت های ذاتی منیزیم از جمله شکل پذیری ضعیف در دمای اتاق به دلیل ساختار کریستالی بسته هگزاگونال (HCP) (samman and Gottstein, 2008) و تکامل بافت پایه قوی در طول تغییر شکل پلاستیک است. (Gehramann et al, 2005) مطالعات قبلی نشان داده است که تبلور مجدد دینامیکی (DXR) ناشی از تغییر شکل داغ آلیاژهای منیزیم ممکن است منجر به ضعیف شدن بافت نهایی شوند. (Kin et al, 2007) ، (Samman and Gottstein, 2007) بنا براین فرصتی وجود دارد تا آلیاژهای کار شده منیزیم که با فرآیندهای تولید کار گرم مانند آهنگری ساخته شده اند، در صنعت خودرو مورد استفاده قرار گیرند. در میان آلیاژهای منیزیم موجود، KZ60 به دلیل استحکام و شکل پذیری نسبتا بالا بسیار مورد توجه است. (Li et al, 2008) ، (Cho et al, 2010) ، (Wang et al, 2016) از مهمترین ویژگی های آلیاژهای منیزیم AM41 می توان به نسبت استحکام به وزن بالا، قابلیت جذب ارتعاش و امواج الکترومغناطیسی، قابلیت ماشینکاری عالی و پایداری ابعادی مناسب و همچنین قابلیت بازیافت اشاره کرد. امروزه بیشترین کاربرد آلیاژهای منیزیم در صنایع خودرو سازی، هوا - فضا و ساخت تجهیزات الکترونیکی می باشد. نیاز روز افزون صنعت خودروسازی به آلیاژهای سبک به منظور کاهش وزن خودرو و در نتیجه کاهش مصرف سوخت و آلودگی محیط زیست سبب شده توجه ویژه ای به آلیاژهای منیزیم معطوف گردد. به طوریکه در دهه گذشته منجر به افزایش ۱۵ درصدی در مصرف سالانه آلیاژهای منیزیم شده است. شکل پذیری آلیاژهای منیزیم در دمای محیط با مشکل روبرو است، از این رو بیشتر محصولات منیزیمی را آلیاژهای ریختگی تشکیل می دهند و آلیاژهای کارپذیر تنها ۱ درصد مصرف سالیانه را شامل می شوند در این میان ریخته گری تحت فشار بدلیل نرخ تولید و دقت ابعادی بالا سهم قابل توجهی از محصولات را به خود اختصاص می دهد. با این وجود به دلیل خواص مکانیکی مطلوب تر آلیاژهای کار شده از جمله استحکام و چقرمگی بالاتر و پلاستیسیته بهتر، تلاش های فراوانی جهت گسترش فرآیندهای شکل دهی آلیاژهای منیزیمی صورت گرفته است. بدین ترتیب آلیاژهای کارپذیر منیزیم را می توان به عنوان جایگزینی مناسب برای فولادها و آلیاژهای آلومینیوم و حتی دیگر فلزات سنگین در سازه های مختلف در نظر گرفت. تغییر شکل گرم آلیاژ منیزیم AM41 (هم جهت اکستروژن و هم در جهت عرضی) با استفاده از سیستم تست شبیه سازی حرارتی - مکانیکی GVble 3500 انجام شد. یک روش جدید برای مدل سازی رفتار ساختاری دمای بالای آلیاژ با استفاده از دو معادله معروف در این زمینه (معادلات سینوسی هایپربولیک و لودویگ) به دست آمده که برای این روش، شرایط تغییر شکل گرم به رژیم های دما و نرخ کرنش پایین و بالا (چهار رژیم) تقسیم شده است. (Balaj, et al, 2021)

روش تحقیق

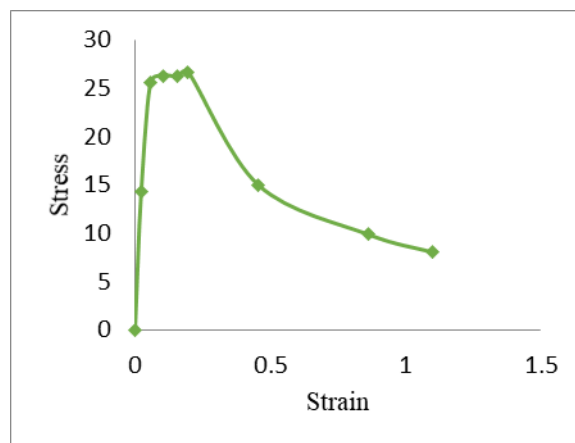
ترکیبات این گروه از آلیاژها شامل منیزیم به عنوان عنصر پایه ، آلومینیوم و منگنز می باشد منیزیم و آلومینیوم با خلوص ۹۹/۸ درصد به صورت شمش و روی به صورت سیم و همچنین منگنز به صورت خالص قابل دسترسی می باشند. برای جذب ناخالصی ها در هنگام ذوب فلزات و ساختن آلیاژ نیاز به سرباره ساز میباشد. برخلاف آلومینیوم و آلیاژهای آن، وجود و حضور یک لایه اکسید بر روی مذاب منیزیم نمی تواند آن را از اکسید شدن بیشتر محافظت کند. بر عکس این لایه اکسیدی باعث تشدید عمل اکسیداسیون میگردد. در دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد و یا حوالی آن عمل ذوب خاتمه می یابد و با افزایش دما نرخ اکسید شدن سطح فلز مذاب به سرعت افزایش مییابد طوری که در دماهای بالاتر از ۸۵۰ درجه سانتیگراد یک سطح مذاب بدون اکسید، بسیار سریع شعله ور می شود. بنابراین در موقع کار با مذاب منیزیم یا آلیاژهای آن لازم است از سرباره ساز یا اتمسفر خنثی استفاده

شود. سرباره ساز ترکیبی از دو ماده کلریدی، کلرید منیزیم ($MgCl_2$) و کلرید سدیم ($NaCl$) با نسبت وزنی به ترتیب ۶۰ درصد و ۴۰ درصد می باشد. بوته های گرافیتی که برای ساخت طلا استفاده می شوند، گزینه مناسبی برای ساخت نمونه به شمار می روند. اگر بوته ها راهگامی برای خروج مذاب داشته باشند استفاده آن راحت تر خواهد بود. همچنین وجود راهگامی که مذاب مورد نیاز از عمق مذاب به جای سطح روی آن تهیه شود، به همگن شدن محصول ریخته شده کمک خواهد کرد. سپس منیزیم را داخل کوره های الکتریکی ذوب می کنند، کوره بایستی قادر باشد تا دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد را ایجاد کند. همچنین باید کنترل دمای مناسبی داشته باشد و در حدود دو ساعت مذاب را ثابت نگه دارد. پس از ریخته گری، و ماشین کاری قطعات ساخته شده و نمونه های آزمایش فشار با ابعاد قطر ۱۰ میلی متر و ارتفاع ۱۲ میلیمتر برای انجام آزمایش آماده شده است. نسبت همه ی نمونه ای تحقیق حاضر برابر با ۱/۲ می باشند. قالب های مورد استفاده از جنس فولاد بوده و باید دارای سطح درونی نسبتاً صافی باشند. شکل مناسب قالب به کاهش هزینه های ساخت نمونه کمک می کند. قالب ها باید ۱۰ دقیقه قبل از ریختن مذاب به داخل آنها تا دمای ۲۵۰-۳۰۰ درجه سانتیگراد پیش گرم شوند. همواره در فرآیندهای شکل دهی برای تحلیل های تجربی، عددی و تحلیلی مختلف، در دست داشتن رفتار تنش- کرنش مواد به شکل دقیق، امری ضروری می باشد. آزمایش فشار برای تعیین منحنی سیلان (منحنی تنش - کرنش حقیقی در ناحیه پلاستیک)، در دماهای مختلف، در شکل دهی حجمی و برای مواد مختلف استفاده می شود، به ویژه وقتی که حالت تنش فشاری باشد، مانند فرآیندهای آهنگری، اکستروژن و نورد (Edvard, 1989). آزمایش فشار را می توان برای شرایط بین سطحی مختلف مانند حالت اصطکاک چسبنده و حالت متوسط انجام داد. در این آزمایش کوبه هایی با صفحات تخت، یک نمونه استوانه ای را فشرده می سازند. در حالت ایده آل و تحت شرایط اصطکاک صفر، هنگام کوبش نمونه استوانه ای، حالت بشکه ای شدن رخ نمی دهد و نمونه به صورت استوانه ای باقی می ماند. (Edvard, 1989) نمونه ها عمود بر جهت اکستروژن قرار میگیرند همچنین تحقیقات پیشین نشان می دهد که وجود بافت مرجع در آلیاژ های منیزیم نقش موثری در تعیین رفتار تغییر شکل آنها ایفا می کنند. بافت غالب همچنان که به آن اشاره شد در مورد قطعات اکستروژن شده منیزیم بیشتر به صورت صفحاتی با قاعده موازی با جهت عمل اکستروژن می باشد. (Yang et al, 2013) بنابر این با توجه به جهت ساخت نمونه ها تنش به صورت فشاری خواهد بود. آزمایش گرم برای بررسی این مطالعه در محدوده دمایی ۲۳۰ - ۲۱۰ درجه سانتی گراد و نرخ کرنش های 10^{-1} - 10^{-2} توسط دستگاه Zwick-Roell انجام گرفت. طبق شرایط استفاده از دستگاه و برای جلوگیری از اکسیداسیون نمونه ها از تفلون به عنوان ماده روانکار استفاده گردید برای اعمال هم دمایی نمونه ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای آزمایش قرار گرفته و بعد از آن آزمایش روی نمونه ها انجام شد. در انتهای آزمایش برای هر نمونه از آب برای خنک کاری آن و اعمال شکل اولیه استفاده شد.

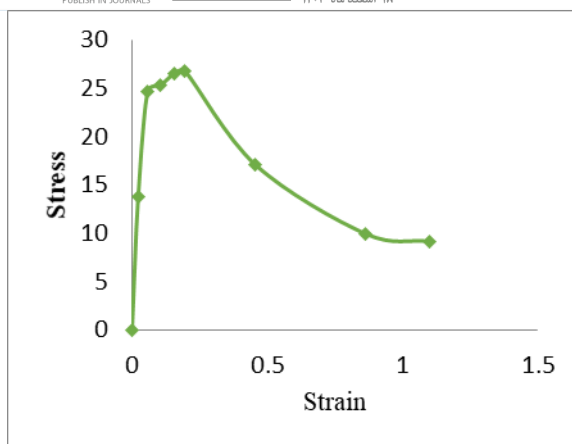
یافته ها

همانطور که از آزمایش و شبیه سازی با روش اجزا محدود مشخص است در آغاز فرآیند تنش به صورت قابل ملاحظه ای رشد و سپس شروع به کاهش می نماید. که علت آن را می توان در کار سختی و کرنش نرمی آلیاژ مورد مطالعه ذکر کرد. که از سرعت بارگذاری و دمای آزمایش نمونه نشأت می گیرد. همچنین در ضریب های اصلاح توجه به ضریب اصلاح عددی و تاثیر آن بر روی نتایج بیشتر از اثرات ضریب اصلاح تحذب می باشد که ناشی از هندسی بودن روابط و معیار ضریب اصلاح تحذب است. نتایج معرف این موضوع است که میزان ضریب اصلاح عددی در مقادیر تنش های پایین و ابتدای آزمایش به یک نزدیک است و در اواخر آزمایش و مقادیر تنش های بالا مقدار آن کاهش می یابد که ارتباط مستقیم با اصطکاک دارد به طوری که در ابتدا اصطکاک کم و مقدار ضریب بالا است. نمودار (۵) تا (۸). مقادیر تنش بالا و نرخ کرنش ارتباط مستقیم با یکدیگر دارند به گونه ای که مقایر تنش بالا در آزمایش در نرخ کرنش بالا بدست خواهند آمد و برعکس مقادیر تنش پایین در نرخ کرنش های پایین به به علت ثابت بودن دمای انجام آزمایش این پدیده روی می دهد. به دلیل انجام آزمایش در نرخ کرنش های ثابت و ناچیز فرض کردن

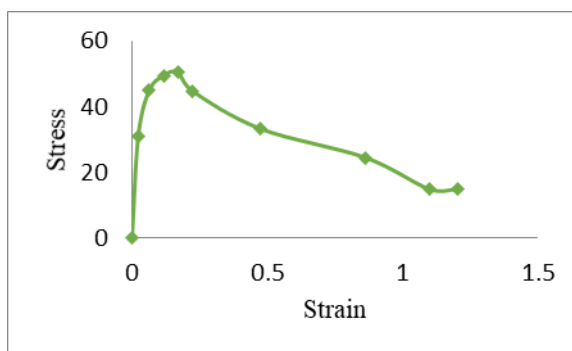
حساسیت انجام آزمایش به نرخ کرنش (حساسیت آلیاژهای منیزیم به نرخ کرنش) فرایند ساخت و شکل‌گیری آلیاژهای منیزیم در دمای بالا انجام می‌گیرد. نمودار (۹) و (۱۰). به علت پدیده تبلور مجدد دینامیکی در ماده تغییر مقادیر تنش در مقادیر بالا را خواهیم دید که به زمان و دمای شکل‌دهی حساسیت نشان می‌دهد. بین محاسبات نرم افزاری و محاسبات تجربی ضریب اصلاح تحذب در کرنش‌های پایین اختلاف کمی مشاهده می‌شود در حالی که در کرنش‌های بالا عکس این قضیه صادق است. در شرایطی که اصطکاک بین قطعه و قالب در نظر گرفته نشود و پدیده بشکه‌ای شدن رخ ندهد، به ازای جابه‌جایی فک بالایی، در همه قطعه کرنشی یکسان ایجاد می‌شود، اما در عمل اصطکاک بین فک و ماده به عنوان مانعی برای حرکت در جهت شعاعی ماده زیر فک عمل کرده و سیلان شعاعی ماده در این ناحیه را دشوار می‌سازد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که با افزایش توان کارسختی و قابلیت سخت شدن ماده میزان بشکه‌ای شدن کاهش می‌یابد زیرا مقدار تنش مؤثر در ناحیه میانی قطعه که تحت کرنش بیشتری قرار گرفته است، بسیار زیاد می‌شود. وجود یک تنش نهایی مشخص برای شرایط تغییر شکل بر روند ارزیابی پارامتر تاثیر می‌گذارد به طوری که یک تنش نهایی فرضی برای دیگر شرایط تغییر شکل پیش‌بینی می‌شود. نمودار (۱۱) تا (۱۵). با رسم لگاریتم نرخ کرنش در مقابل لگاریتم تنش و همچنین لگاریتم نرخ کرنش در مقابل تنش و برازش آنها یک نمودار خطی حاصل می‌شود که به ترتیب پارامترهای n_1 و β به دست خواهند آمد. این روش برای تمام دماهای تغییر شکل انجام و شیب هر گراف محاسبه شد. در نتیجه آن مقدار α از تقسیم n_1 و β به دست آمد. گام بعدی کار محاسبه انرژی فعال سازی تغییر شکل گرم بود که با برازش نمودار و رسم مقادیر آن در برابر هم میانگین شیب نمودار به دست آمد. شکل (۱) و (۲).



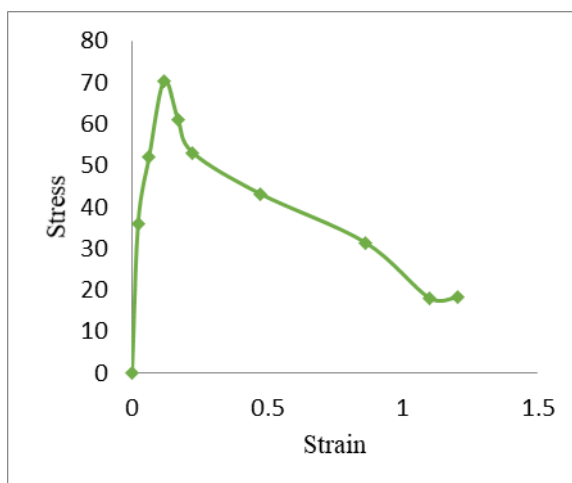
نمودار ۱ منحنی تنش-کرنش در دمای ۲۲۰°C و نرخ کرنش 0.001 s^{-1}



نمودار ۲ منحنی تنش-کرنش 230°C و نرخ کرنش 0.001 s^{-1}



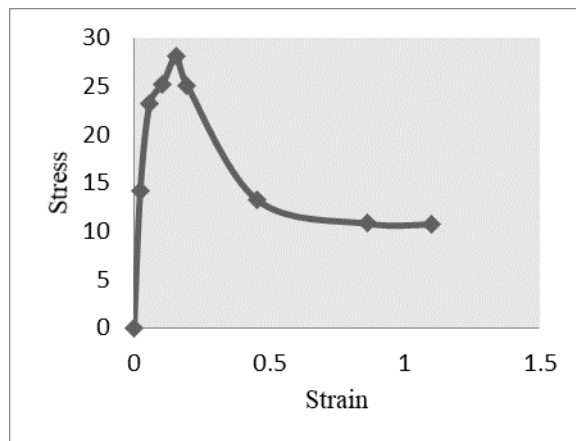
نمودار ۳ منحنی تنش-کرنش 210°C و نرخ کرنش 0.001 s^{-1}



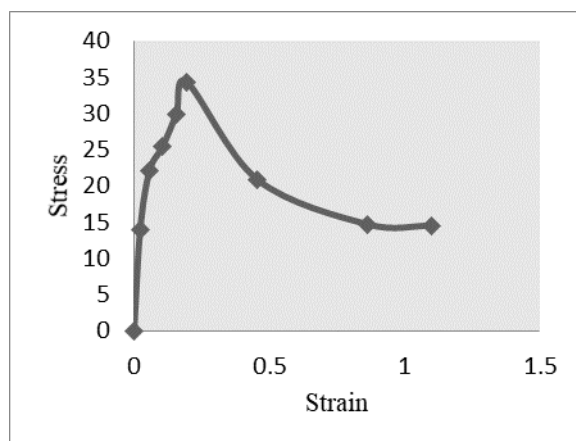
نمودار ۴ منحنی تنش-کرنش 210°C و نرخ کرنش 0.001 s^{-1}



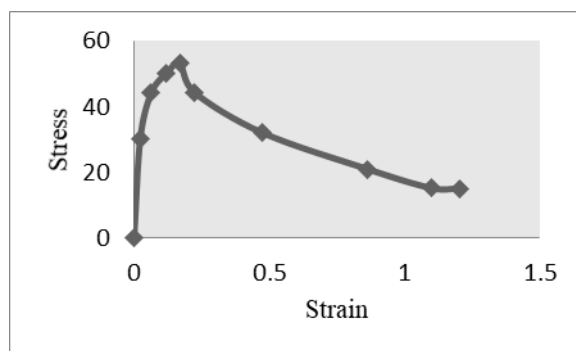
نتایج حاصل از شبیه سازی با روش اجزا محدود



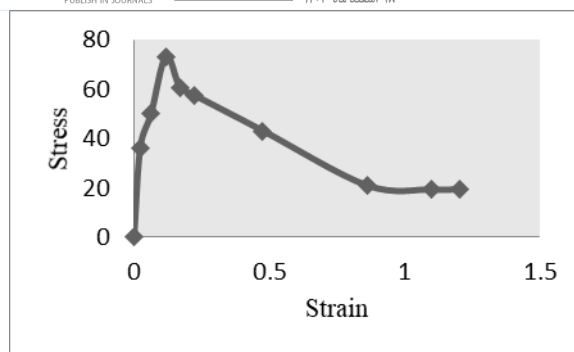
نمودار ۵ منحنی تنش-کرنش شبیه سازی با روش اجزا محدود حاصل از مقادیر نمودار ۱



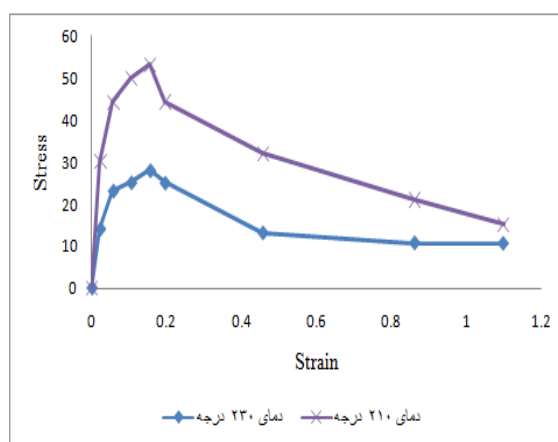
نمودار ۶ منحنی تنش-کرنش شبیه سازی حاصل از مقادیر نمودار ۲



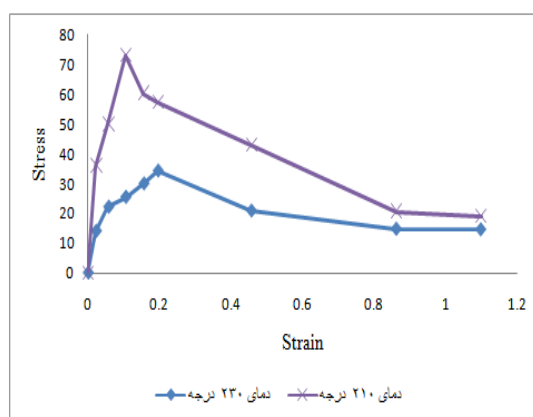
نمودار ۷ منحنی تنش-کرنش شبیه سازی حاصل از مقادیر نمودار ۳



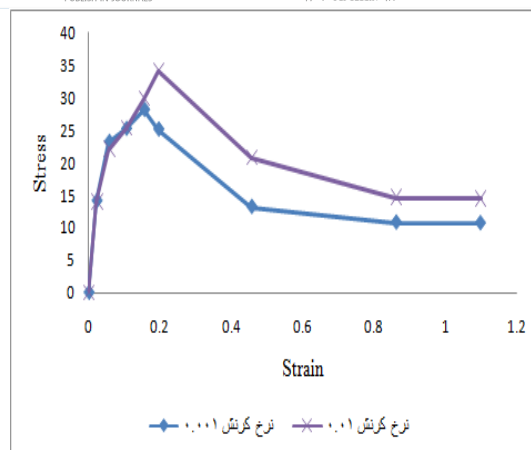
نمودار ۸ منحنی تنش-کرنش شبیه سازی حاصل از مقادیر نمودار ۴



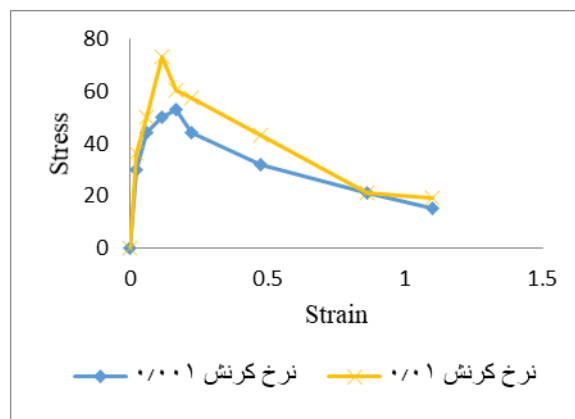
نمودار ۹ اثر دما بر تنش سیلان آلیاژ در نرخ کرنش 0.001 s^{-1}



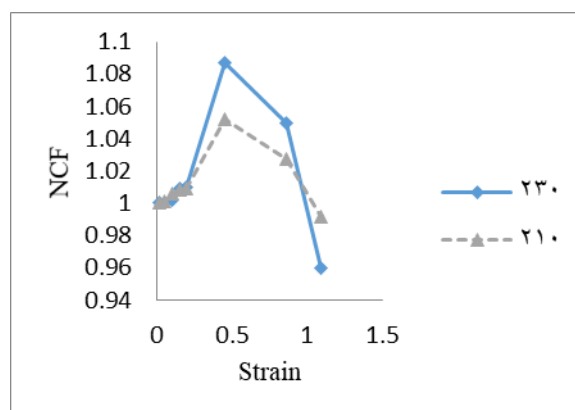
نمودار ۱۰ اثر دما بر تنش سیلان آلیاژ در نرخ کرنش 0.1 s^{-1}



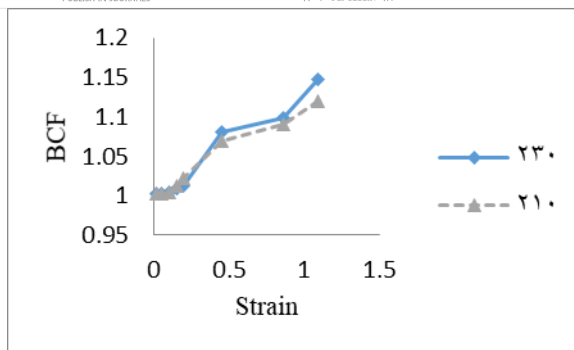
نمودار ۱۱ اثر نرخ کرنش بر تنش سیلان آلیاژ در دمای ۲۳۰°C



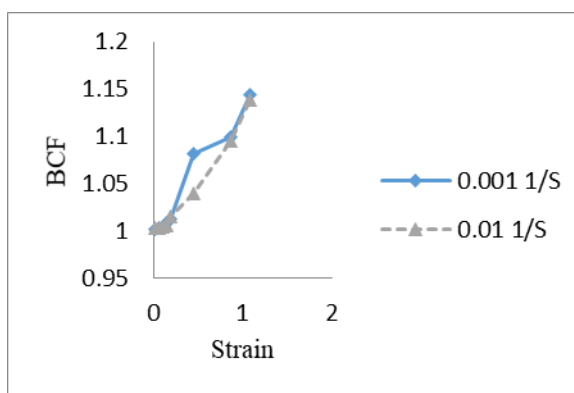
نمودار ۱۲ اثر نرخ کرنش بر تنش سیلان آلیاژ در دمای ۲۱۰°C



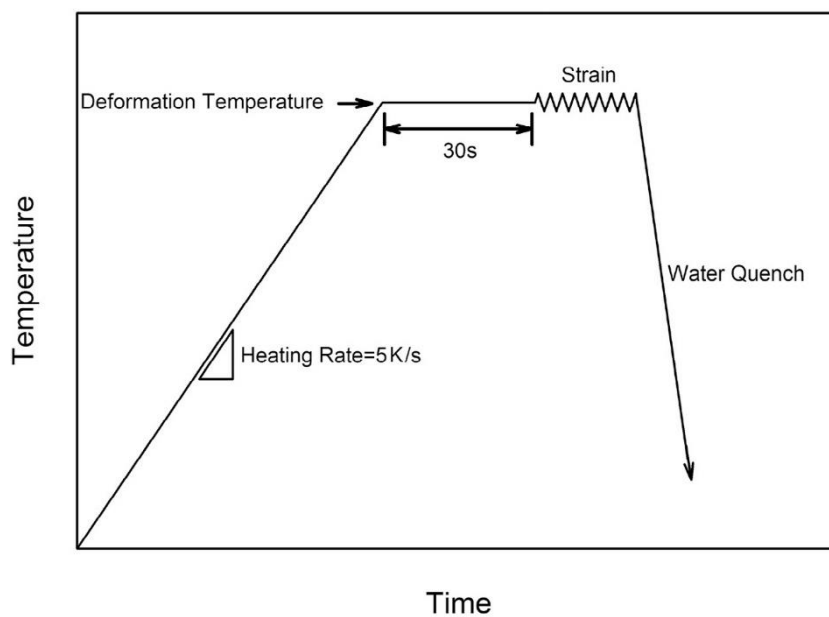
نمودار ۱۳ اثر دما بر ضریب اصلاح عددی در نرخ کرنش ۰/۰۰۱ s⁻¹



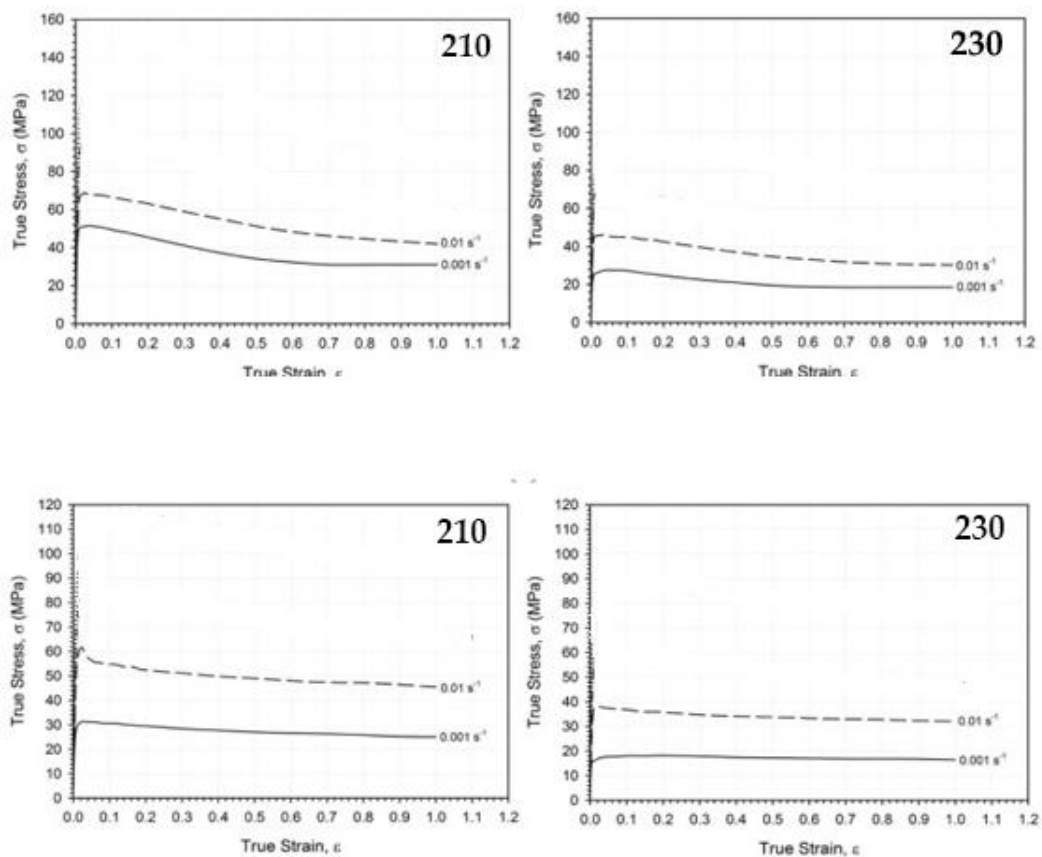
نمودار ۱۴ اثر دما بر ضریب اصلاح تحذب در نرخ کرنش 0.001 s^{-1}



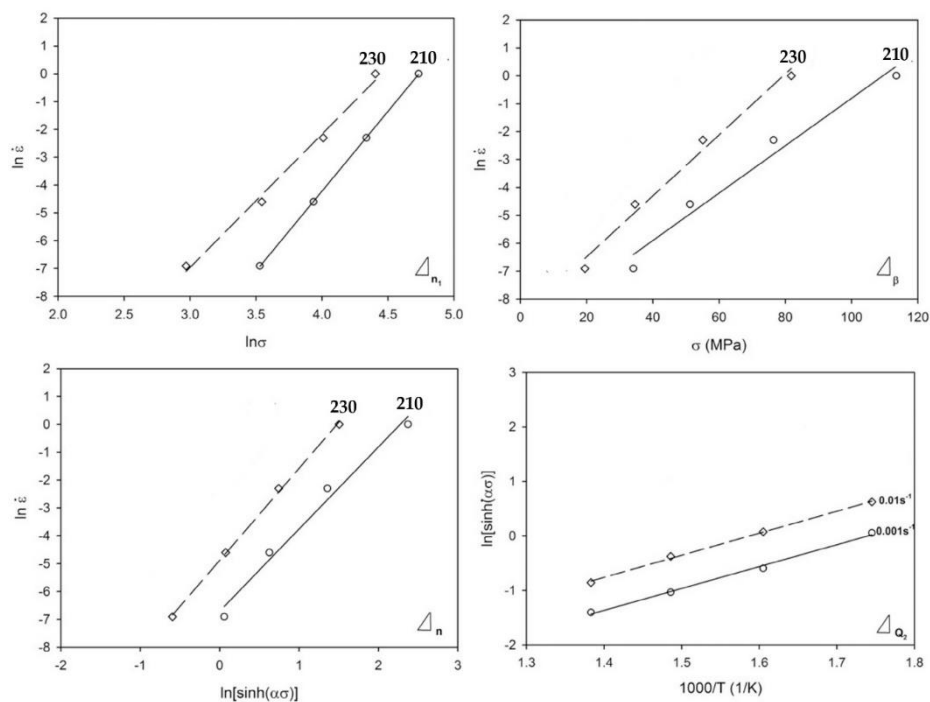
نمودار ۱۵ اثر نرخ کرنش بر ضریب اصلاح تحذب در دمای 230°C



شکل ۱ نمودار شماتیک فرآیند تغییر شکل



شکل ۲ منحنی های سیلان تصحیح شده (تنش حقیقی - کرنش حقیقی) نمونه ها در دما و نرخ کرنش های آزمایش



شکل ۳ روند ارزیابی ثابت برای نمونه های در کرنش واقعی $\varepsilon = 0.5$ با تکرار روند برای کل محدوده ها

فرمول ها و روابط ریاضی

$$\bar{\varepsilon} = \ln \frac{h_0}{h} = \ln \frac{A_0}{A} \quad (1)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{P}{A} \quad (2)$$

$$\sigma_r = \bar{\sigma} \ln \left(\frac{a^2 - 2aR - r^2}{-2aR} \right) = -\bar{\sigma} \ln \left(\frac{2aR}{2aR - a^2 + r^2} \right) \quad (3)$$

$$\sigma_z = \bar{\sigma} \left[1 + \ln \left(\frac{a^2 - 2aR - r^2}{-2aR} \right) \right] = \bar{\sigma} \left[1 + \ln \left(\frac{2aR}{2aR - a^2 + r^2} \right) \right] \quad (4)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_z - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2]^{1/2} \quad (5)$$

$$p = \pi \bar{\sigma} (2Ra - a^2) \ln \left(\frac{2R}{2R - a} \right) \quad (6)$$

$$\bar{S} = \frac{P}{p(2Ra - a^2) \ln \left(\frac{2R}{2R - a} \right)} \quad (7)$$

$$\bar{\sigma} = (\sigma_z)_{\text{ave}} c', \quad c' = \left[\left(1 - \frac{2R}{a} \right) \ln \left(1 - \frac{a}{2R} \right) \right]^{-1} \quad (8)$$

$$R = \frac{h^2 + (d_2 - d_1)^2}{4(d_2 - d_1)} \quad (9)$$

$$Z = A [\sinh(a\sigma)]^n \quad (10)$$

$$Z = \varepsilon \exp \left(\frac{a}{RT} \right) \quad (11)$$

$$\varepsilon = A_1 \sigma^m \quad (12)$$

$$\varepsilon = A_2 \exp(\beta \sigma) \quad (13)$$

$$\alpha = \frac{\beta}{n_1} \quad (14)$$

$$\ln \varepsilon = A_2 + \beta \sigma \quad (15)$$

$$n = \left\{ \frac{\partial \ln \varepsilon}{\partial \ln [\sinh(a\sigma)]} \right\}_T \quad (16)$$

$$Q = Rn \left\{ \frac{\partial \ln [\sinh(a\sigma)]}{\partial (1000/T)} \right\}_\varepsilon \quad (17)$$

$$\sigma = \frac{1}{a} \ln \left\{ \left(\frac{Z}{A} \right)^{1/2} + \left[\left(\frac{Z}{A} \right)^{2/n} + 1 \right]^{1/2} \right\} \quad (18)$$

در روابط بالا A و A_0 به ترتیب سطح مقطع لحظه‌ای و اولیه، h و h_0 به ترتیب ارتفاع لحظه‌ای و اولیه نمونه، و به ترتیب کرنش موثر و تنش موثر بوده و P نیروی وارد بر نمونه آزمایش می‌باشد. (Edvard, 1989) در جهت شعاعی r و با استفاده از شرایط هندسی و معادلات پلاستیسیته، معادلات (۱) و (۲) با استفاده از محاسبات ریاضی به دست می‌آید. (Edvard, 1989) که در روابط بالا، پارامترهای مختلف عبارتند از: روابط (۳) و (۴) که به ترتیب تنش‌های اصلی در جهت‌های محیطی و محوری و شعاعی، a شعاع مقطع میانی نمونه، r شعاع مربوط به موقعیت المان مورد نظرو (R) شعاع انحنای سطح جانبی بشکهای شده

نمونه است. و تنش موثر $\bar{\sigma}$ از طریق رابطه (۵) و نیروی فشاری (P) در هر مقطع نمونه آزمایش توسط رابطه (۶) محاسبه می شود. تنش سیلان ماده ($\bar{\sigma}$) از رابطه (۷) و رابطه میان تنش سیلان ($\bar{\sigma}$) و تنش متوسط محوری یعنی $(\sigma_z)_{ave}$ از رابطه (۸) بدست می آید. که در آن C' ضریب اصلاح تحدب نامیده می شود. مقدار R ، (شعاع انحنای نمونه بشکته‌ای شده) است. شعاع مزبور را می توان بر اساس اندازه بخش‌های مختلف نمونه بشکته‌ای شده به دست آورد. برای این منظور از رابطه (۹) استفاده می گردد. (Edvard, 1989) معادله سینوسی هایپربولیک (۱۰)، رابطه بین تنش، نرخ کرنش و دمای تغییر شکل را با استفاده از رابطه Zener – Hollomon (۱۱) بیان خواهد کرد. که در آن n و A ثابت های مواد مستقل از دما هستند. در رابطه Zener – Hollomon پارامتر Q انرژی فعال سازی تغییر شکل گرم بر حسب (kJ/mol) و T دمای تغییر شکل بر حسب (K) و همچنین R بر حسب (kJ/mol) ثابت جهانی گاز هستند. با توجه به مطالعات انجام شده رابطه بین نرخ کرنش و تنش در تنش‌های پایین توسط یک معادله توانی توصیف می شود و در تنش‌های بالا این رابطه از یک معادله نمایی پیروی می کند که در معادلات نشان داده شده است. رابطه (۱۲) و (۱۳) که در آن n_1 و A_1, A_2 ثابت‌های مواد مستقل از دما هستند. رابطه بین α و β توسط رابطه (۱۴) بیان می گردد. روند ارزیابی ثابت‌های ماده در معادلات با گرفتن لگاریتم طبیعی از هر دو طرف معادله شروع می شود. رابطه (۱۵). مقدار ثابت ماده که وابسته دما است (n) از رابطه (۱۶) و انرژی فعال سازی تغییر شکل گرم از رابطه (۱۷) به دست خواهد آمد. و از طریق رابطه (۱۸) پیشبینی تنش سیلان در هر کرنش، نرخ کرنش و دما به دست خواهد آمد. (Hadadzadeh and Wells, 2017)

بحث و نتیجه گیری

از طریق آزمایش و روش اجزا محدود ابتدا تنش افزایش و بعد از آن کاهش می یابد که علت آن در کار سختی ماده بود. در انجام آزمایش و مطابق نتایج آن باید ضریب اصلاح عددی در نظر گرفته شود. که وابسته به اصطکاک بود. همچنین مقادیر تنش بالا و نرخ کرنش ارتباط مستقیم با یکدیگر داشتند. به علت پدیده تبلور مجدد دینامیکی در ماده تغییر مقادیر تنش در مقادیر بالا را خواهیم دید که به زمان و دمای شکل دهی حساسیت نشان می دهد. در عمل اصطکاک بین فک و ماده به عنوان مانعی برای حرکت در جهت شعاعی ماده زیر فک عمل کرده و سیلان شعاعی ماده در این ناحیه را دشوار می سازد. نتایج بدست آمده نشان می دهند که با افزایش توان کارسختی و قابلیت سخت شدن ماده میزان بشکته‌ای شدن کاهش می یابد زیرا مقدار تنش مؤثر در ناحیه میانی قطعه که تحت کرنش بیشتری قرار گرفته است، بسیار زیاد می شود. اصطکاک سطحی بین سطح نمونه و انویل ها در طول تغییر شکل گرم بر رفتار جریان ماده تاثیر می گذارد. روش تصحیح بارلینگ در مطالعات قبلی به خوبی سندی بر این نتیجه است. به عنوان یک روند معمول برای تغییر شکل گرم فلزات، تنش بالاتر در نرخ‌های کرنش بالاتر برای یک دمای معین یا دمای پایین تر در یک نرخ کرنش ثابت به دست خواهد آمد.

برای ادامه کار به منظور در نظر گرفتن اثر Ovaling در روند اصلاح تنش، شعاع کوچک و بزرگ نمونه‌ها پس از تغییر شکل اندازه گیری شود. فرض بر این احتمال گذاشته شود که شعاع اولیه به تدریج به شعاع اصلی و فرعی در طول تغییر شکل تبدیل می شود و مساحت سطح لحظه‌ای بیضی محاسبه خواهد شد. در بررسی شرایط دیگر تنش هایی و نرم شدگی آلیاژ نیز نیاز به بررسی و مدل سازی دارد. دما نیز برای آلیاژ نیاز به تغییر به میزان بالاتر دارد تا تمامی احتمالات برای مناسب بودن این آلیاژ برای صنعت کاملاً مورد ارزیابی قرار گیرد.



منابع

- [1] S. Das. (2003). Magnesium for automotive applications: Primary production cost assessment. JOM 55, 22–26
- [2] T.M. Pollock. (2010). Weight Loss with Magnesium Alloys: New design and processing approaches for Magnesium-based alloys are offering a variety of opportunities in lightweight and energy-efficient applications Science 328 986–987.
- [3] A.A. Luo. (2004). International Materials Reviews: Recent magnesium alloy development for elevated temperature applications. Int. Mater. Rev. 49-113–30
- [4] A.A. Luo. (2002). Magnesium: Current and potential automotive applications. JOM 54 (2) 42–48.
- [5] A. Hadadzadeh, M.A. Wells, V. Jayakrishnan. (2014). The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Volume 73, pages 449–463.
- [6] Gerald S. Cole. (2007). Magnesium Technology : “Magnesium Vision 2020: A North American Automotive Strategic Vision for Magnesium” pp 35–40
- [7] A. Hadadzadeh, M.A. Wells. (2013). International Journal of Cast Metals Research: Thermal fluid mathematical modelling of twin roll casting (TRC) process for AZ31 magnesium alloy. Volume 26, 2013 - 4
- [8] T. Al-Samman, G. Gottstein. (2008). Materials Science and Engineering A: Room temperature formability of a magnesium AZ31 alloy: Examining the role of texture on the deformation mechanisms. Volume 488, 1–2. Pages 406-414
- [9] R. Gehrmann, M.M. Frommert, G. Gottstein. (2005). Materials Science and Engineering A: Texture effects on plastic deformation of magnesium. Volume 395, 1–2. Pages 338-349
- [10] W.J. Kim, J.B. Lee, W.Y. Kim, H.T. Jeong, H.G. Jeong. (2007). Scripta Materialia: Microstructure and mechanical properties of Mg–Al–Zn alloy sheets severely deformed by asymmetrical rolling. Volume 56, 4. Pages 309-312
- [11] T. Al-Samman, G. Gottstein. (2008). Materials Science and Engineering: A : Dynamic recrystallization during high temperature deformation of magnesium. Volume 490, 1–2. Pages 411-420
- [12] B. Li, E. Ma, K.T. Ramesh. (2008). Metallurgical and Materials Transactions A : Dislocation Configurations in an Extruded ZK60 Magnesium Alloy. Volume 39. pages 2607–2614
- [13] J.H. Cho, H.M. Chen, S.H. Choi, H.W. Kim, S.K. Kang. (2010). Metallurgical and Materials Transactions A : Aging Effect on Texture Evolution during Warm Rolling of ZK60 Alloys Fabricated by Twin-Roll Casting. Volume 41. pages 2575–2583.
- [14] Y. Wang, Y. Xin, A. Chapuis, H. Yu, Q. Liu. (2016). Metallurgical and Materials Transactions A : Developing a Basal Texture with Two Peaks Tilting Towards the Transverse Direction in Hot Rolled Mg-5.7Zn-0.5Zr Plates. Volume 4. pages 4276–4286
- [15] V. Balaji, V.K. Bupesh Raja, K. Palanikumar, Ponshanmugakumar, Narayana Aditya, V. Rohit. (2021). Materials Today, Proceedings : Effect of heat treatment on magnesium alloys used in automotive industry: A review. Volume 46, Part 9. Pages 3769-3771.
- [16] Mielnik, Edward. (1989). Metal forming, Mac grahil, 165
- [17] Fei Yan, G. W., Chunming Wang, Xiyuan Hu, Yajun Wang, Yun Tan, Zhichun Chen, Shuo Li. (2013). Materials and Design : Microstructures and properties of laser welding joint of super-eutectic ZA alloy. Volume 43. Pages 25-30.
- [18] Amir Hadadzadeh, Mary A. Wells (2017). Journal of Magnesium and Alloys: Analysis of the hot deformation of ZK60 magnesium alloy. Volume 5, 4. Pages 369-387.



Modeling of basic equations of hot deformation of AM41 magnesium alloy

Ehsan Afshari

Lecture of Mechanical Engineering , Technical and
Vocational University, Hamadan, Iran

Mohamad Mahdi Eskandari

Automechanic student, Technical and Vocational
University, Hamadan, Iran

Abstract:

In this modeling, the hot deformation of magnesium alloy AM41 at 210-230 degrees Celsius and its effect on the amount of strain stress change compared to the normal state was done. The amount of stable stress was modeled by stress-strain curve models by putting it together with the basic equations in the mentioned temperature range. The test sample was made through extrusion casting and hot pressure deformation was performed on the vertical axis of extrusion. Also, the Zwick-Roell device was used to perform the process and hyperbolic sine equations and loading for data analysis. The strain rates were also considered equal to 0.001 and 0.01. The results show that with the increase of the strain, the silane stress first increases and after reaching a maximum value, it decreases and finally enters the stable region. The behavior of Ceylon curves can be attributed to the occurrence of dynamic restoration process. The microstructure resulting from hot deformation was also studied by light microscope. Microstructural investigations clearly show the occurrence of dynamic recrystallization during hot deformation. An increase in temperature and a decrease in the strain rate provide the conditions for the occurrence and expansion of the dynamic recrystallization process; So that the size and amount of recrystallization grains decreases with increasing temperature and decreasing strain rate

Keywords: Magnesium alloy, AM41, Hot Deformation , Basic equations