

## تأثیر نورد گرم و عملیات حرارتی بر خواص ناهمسانگردی آلیاژ منیزیم LZ71

مصطفی پهلوانی<sup>۱</sup>، جواد مرزبان راد<sup>۲\*</sup>، عباس بیاتی<sup>۳</sup>

۱- دکتر، دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۲- استاد، دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

\*مسئول مکاتبات: marzban@iust.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۷)

**چکیده:** در این مقاله مطالعه‌ای بر روی خواص مکانیکی و متالورژیکی آلیاژ LZ71 که یک آلیاژ ۲ فازی از منیزیم است پرداخته شد. بعد از تهیه آلیاژ به روش ریخته‌گری، با استفاده از نورد گرم قطعه حاصله تا ضخامت ۲ میلی‌متر کاهش ضخامت داده است. سپس به منظور دستیابی به یک ورق با خواص مکانیکی همسانگرد، قطعه حاصل از نورد در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات حرارتی قرار گرفت. ریزساختار نمونه‌ها به کمک میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفت تا نوع تغییرات در دانه بندی مشاهده شود. در این تحقیق، برای اولین بار خواص ناهمسانگردی ورق تولید شده به روش نورد گرم از جنس آلیاژ LZ71 مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور خواص مکانیکی هر سه نمونه ی بعد از ریخته‌گری، بعد از نورد و بعد از عملیات حرارتی در سه راستای طولی و عرضی و ۴۵ درجه به طور کامل بررسی شد و همچنین ضرایب ناهمسانگردی نمونه های بعد از نورد مورد محاسبه و بررسی قرار گرفت. مشخص شد که آلیاژ مذکور قبل و بعد از عملیات حرارتی مشخصات مناسب برای کاربردهای سازه ای دارد اما ناهمسانگردی در نمونه های بدون عملیات حرارتی وجود داشت. در نهایت سطح شکست برای نمونه‌های بعد از نورد و بعد از عملیات حرارتی مورد بررسی قرار گرفت تا به نوعی صحنه گذاری بر نتایج ناهمسانگردی باشد.

### واژه های کلیدی:

LZ71، آلیاژ منیزیم، عملیات حرارتی، ناهمسانگردی، نورد گرم.

### ۱- مقدمه

محققین مختلفی انجام شده است [۷-۹]. در این میان تأثیر عنصر آلیاژی لیتیوم بسیار قابل توجه خواهد بود زیرا با اضافه شدن ۵ تا ۱۱ درصد وزنی عنصر آلیاژی لیتیوم، آلیاژ منیزیم-لیتیوم دارای ساختار دو فازی  $\alpha$ -Mg با شبکه بلوری HCP و فاز  $\beta$ -Li با شبکه بلوری BCC است [۱۰]. هر چند که آلیاژ منیزیم-لیتیوم دارای فرم‌پذیری و قابلیت کارسختی بسیار مطلوب است، تنش نهائی آن پایین است و حتی با روش های تغییر شکل پلاستیک شدید هم به سختی به ۲۰۰ مگا پاسکال می‌رسد [۸، ۱۱-۱۳]. برای رفع این مشکل استفاده از سایر عناصر آلیاژی در ترکیب مانند روی و

استفاده از آلیاژهای منیزیم در صنایع مختلف در حال رشد قابل ملاحظه‌ای است [۱]. با اینکه آلیاژهای منیزیم به عنوان سبک‌ترین آلیاژ مهندسی شناخته می‌شوند که در صنایع خودروسازی، هوافضا و الکترونیک کاربرد دارند، ضریب کار سختی کم و شکل‌پذیری به طور مستقیم بر دامنه کاربرد این آلیاژها تأثیر قابل توجهی گذاشته است [۱-۲]. برای برطرف کردن این مشکل، افزودن عنصر آلیاژی لیتیوم کمک شایانی به فرم‌پذیری و قابلیت کارسختی منیزیم خواهد کرد [۳-۶]. بررسی عناصر مختلف در آلیاژ منیزیم بر خواص فیزیکی و مکانیکی و متالورژیکی توسط

استفاده شده است. دمای ریخته‌گری ۷۷۰ درجه سانتیگراد بوده و برای اختلاط بهتر عناصر آلیاژی لیتیوم و روی در مذاب منیزیم از همزن مغناطیسی استفاده شده است. همچنین جنس قالب ریخته‌گری از فولاد بوده است. ابعاد تقریبی قطعه قالب‌گیری شده ۱۵۰ × ۷۰ × ۱۰ میلی‌متر است و بعد از ریخته‌گری، عملیات حرارتی روی آن صورت نگرفته است.

## ۲-۲- روش آماده‌سازی ورق

در مطالعه حاضر برای تهیه ورق با ضخامت ۲ میلی‌متر از روش نورد گرم استفاده شده است. برای این منظور قطعه مکعبی از جنس آلیاژ LZ71 ابتدا به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد در کوره گرم شده و سپس به کمک دستگاه نورد آزمایشگاهی طی ۱۶ مرحله (در هر مرحله ۰٫۵ میلی‌متر کاهش ضخامت) به ضخامت نهائی ۲ میلی‌متر رسیده است. بعد از هر پاس مجدداً دمای قطعه به ۲۵۰ درجه سانتیگراد رسانده شده است. بعد از تولید ورق به روش نورد گرم، دو سری نمونه برای آنالیزها تهیه شد که یک سری بدون عملیات حرارتی و سری دوم به مدت ۲ ساعت در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند و تا دمای محیط در کوره سرد شدند.

## ۲-۳- متالوگرافی

برای بررسی جهت‌گیری فازها و همچنین مشاهده مرزدانه‌ها و تشخیص نوع تبلور از میکروسکوپ نوری HUVITS HR3-TRF-P استفاده شده است و تصاویر متالوگرافی از صفحات RD-ND و TD برای بررسی‌های کامل‌تر تهیه شده‌اند. راستاهای فرضی در شکل (۱) نشان داده شده است. سطح نمونه‌های توسط سنباده‌های شماره ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ در آب صیقل شده و نهایتاً توسط نمک و خمیر الماسه پولیش شدند و برای مطالعه میکروسکوپی توسط محلول با ترکیب: ۱۵۰ میلی‌لیتر آب، ۱ میلی‌لیتر  $\text{HNO}_3$ ، ۱ میلی‌لیتر  $\text{CH}_3\text{COOH}$  و ۱ گرم  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  به مدت ۲۰ ثانیه اچ شدند.

بیتیریم تأثیرگذار خواهد بود [۱۳]. نورد و اکستروژن دو روش متداول برای تغییر شکل قطعه ریخته‌گری شده هستند که همواره توسط محققین مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۱۴-۱۹]. عملیات نورد بر روی آلیاژهای منیزیم، به دلیل تغییر قابل توجه خصوصیات مکانیکی این آلیاژ از اهمیت برخوردار است. یو و همکاران [۲۰] بر روی عملیات نورد گرم آلیاژ AZT910 تحقیقی انجام دادند. مطالعه آنها بر روی تأثیر دمای نورد بر ریزساختار و خواص مکانیکی نمونه بعد از نورد متمرکز شده است. کاویانی و ابراهیمی [۲۱] تحقیقی در مورد تأثیر پارامترهای ترمومکانیکی بر رفتار بافت آلیاژ AZ63 انجام داده‌اند. در مطالعه آنها آزمون فشار گرم بر روی نمونه‌های اکستروود شده آلیاژ AZ63 صورت گرفت.

در مورد ناهمسانگردی ورق حاصل از نورد مطالعاتی انجام شده است [۲۰، ۲۲-۲۳] که دلیل اصلی تمرکز این تحقیقات بر روی ناهمسانگردی، تأثیر این پارامترها بر نوع شکل‌گیری قطعه در عملیات شکل‌دهی می‌باشد [۲۴-۲۶]. به طور کلی دو نوع ناهمسانگردی در قطعات می‌تواند وجود داشته باشد: (۱) ناهمسانگردی صفحه‌ای<sup>۱</sup>: که معرف اختلاف رفتار ماده در جهات مختلف است [۲۷]. (۲) ناهمسانگردی قائم<sup>۲</sup>: که رفتار کاهش ضخامت ورق‌ها را هنگام کشش مشخص می‌کند و در رفتار ماده حین عملیات کشش عمیق تأثیرگذار است [۲۵].

با توجه به اینکه ناهمسانگردی ورق بر روی رفتار سازه‌ای قطعاتی که از یک ورق تهیه شده‌اند تأثیرگذار است، مطالعه در این مورد بر روی ورق‌هایی که تحت عملیات کارسختی قرار گرفته‌اند حائز اهمیت است. از آنجا که رفتار ناهمسانگردی صفحه‌ای ورق تهیه شده از آلیاژ LZ71 منیزیم به کمک نورد گرم و عملیات حرارتی در مطالعات پیشین صورت نگرفته است، لذا در مقاله حاضر به عنوان نوآوری به طور کامل به بررسی مورد ذکر شده پرداخته شد.

## ۲- مواد و روش انجام تحقیق ۱-۲- تهیه آلیاژ

برای تهیه آلیاژ LZ71 (منیزیم، ۷ درصد وزنی لیتیوم، ۱ درصد وزنی روی) از کوره القایی فرکانس بالا با اتمسفر آرگون SF6

و عرضی نمونه اندازه گیری شده و به کمک رابطه (۱) ضریب ناهمسانگردی محاسبه می شود.

$$r - \text{value} = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} = \frac{\epsilon_w}{-\epsilon_l - \epsilon_w} \quad (1)$$

که در رابطه فوق  $\epsilon_l$ ،  $\epsilon_w$  و  $\epsilon_t$  به ترتیب کرنش های حقیقی در راستای عرضی، طولی و ضخامت است [۲۸]. همچنین مقادیر اختلاف ضرایب و میانگین ضرایب ناهمسانگردی به کمک روابط (۲) و (۳) محاسبه می شود.

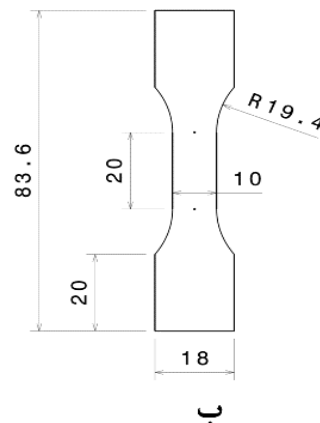
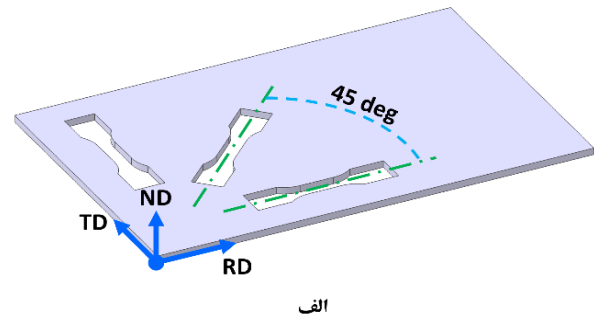
$$\Delta r = \left| \frac{r_{RD} + r_{TD} + 2r_{45}}{4} \right| \quad (2)$$

$$r_m = \left| \frac{r_{RD} + r_{TD} - 2r_{45}}{2} \right| \quad (3)$$

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تصاویر متالوگرافی

تصاویر متالوگرافی نمونه های بعد از ریخته گری، بعد از نورد گرم و بعد از عملیات حرارتی به ترتیب در شکل های (۲) تا (۴) نشان داده شده اند. با توجه به شکل (۲) آلیاژ LZ71 یک آلیاژ دو فازی بوده که در تصاویر دو فاز با ساختارهای HCP و BCC به طور کامل مشخص هستند. قسمت های روشن فاز  $\alpha$ -Mg و قسمت های تیره فاز  $\beta$ -Li و  $\beta$ -Mg می باشد که در شکل (۲) مشخص شده اند. این تصاویر نشان می دهد که فاز درشت و کشیده  $\beta$  در زمینه  $\alpha$  بدون جهت گیری خاص قرار گرفته اند و ریزساختار آلیاژ فقط از این دو فاز تشکیل شده است.

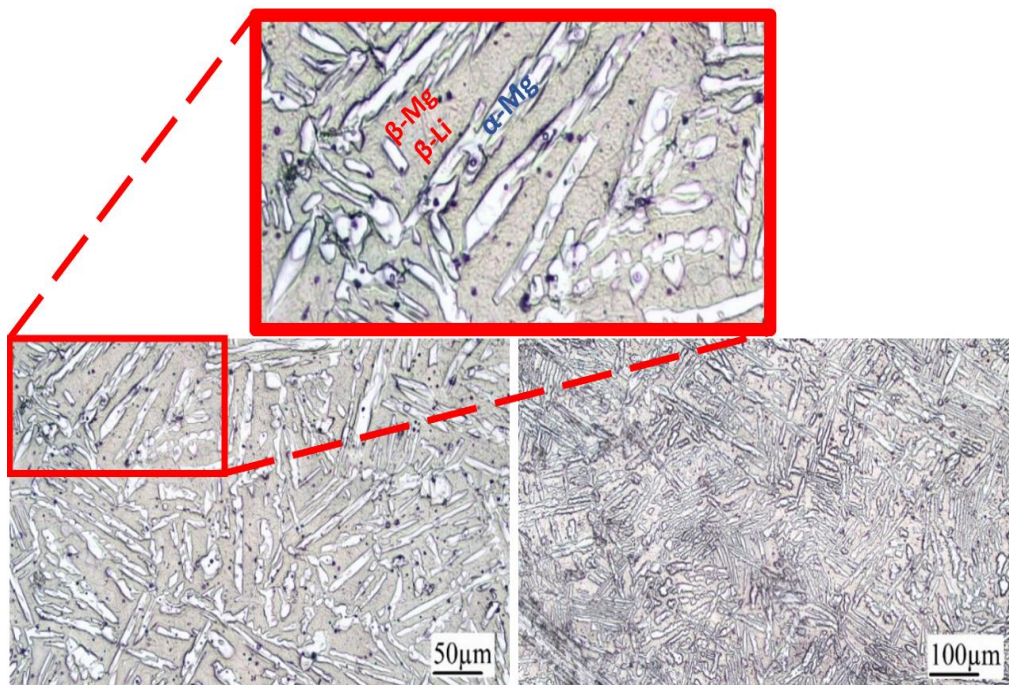


شکل (۱): (الف): راستاهای نمونه برداری برای آزمون کشش و (ب): ابعاد نمونه آزمون کشش

بعد از انجام آزمون های کشش، سطح شکست نمونه ها به وسیله دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با مشخصات TESCAN مدل VEGA II دیده شد تا نوع شکست اتفاق افتاده در نمونه های ذکر شده بررسی شود.

#### ۲-۴- خواص مکانیکی و ناهمسانگردی

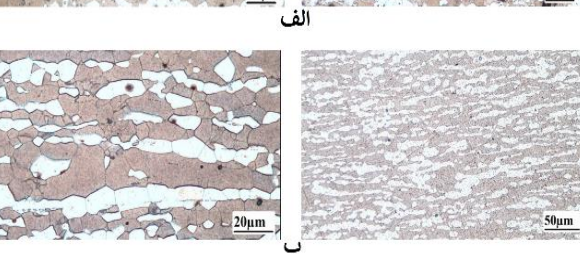
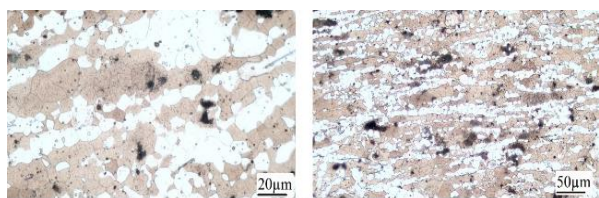
در تحقیق حاضر به منظور بررسی ناهمسانگردی آلیاژ LZ71 بعد از عملیات حرارتی نورد گرم، خواص مکانیکی به کمک دستگاه آزمون کشش SANTAM STM50 با ظرفیت ۵ تن استخراج شده است. نمونه های آزمون کشش مطابق با شکل (۱) در سه راستا شامل راستای نورد (۰ درجه)، راستای ۴۵ درجه و همچنین راستای عرضی (۹۰ درجه) برش داده شده اند. برای محاسبه ضرایب ناهمسانگردی از استاندارد ASTM E517 استفاده شده است. در این روش، بعد از ۱۵ درصد ازدیاد طول نسبی، تغییر در ابعاد طولی



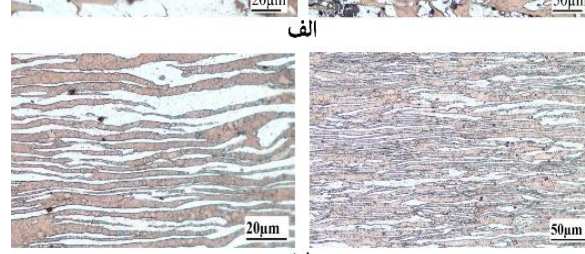
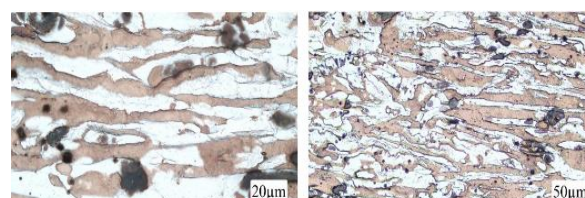
شکل (۲): تصاویر متالوگرافی از نمونه ریخته‌گری شده

استاتیکی<sup>۴</sup> [۳۰-۳۱] به طور کامل در نمونه اتفاق افتاده و مرزدانه‌ها کاملاً مشخص بوده و دانه‌ها نسبت به نمونه قبل از عملیات حرارتی کاملاً منظم شده و اندازه آنها به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرده است.

در شکل (۳) که مربوط به نمونه بعد از نورد گرم است جهت‌گیری فازها و دانه‌ها به طور کامل مشخص است. در این حالت تبلور مجدد دینامیکی<sup>۳</sup> [۱۸، ۲۹] دانه اتفاق افتاده است و دانه‌ها بسیار ریز بوده و در راستای نورد جهت‌گیری کرده‌اند.



شکل (۴): تصاویر متالوگرافی بعد از عملیات حرارتی در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد: (الف): صفحه RD-TD و (ب): صفحه RD-ND



شکل (۳): تصاویر متالوگرافی بعد از نورد گرم: (الف): صفحه RD-TD و (ب): صفحه RD-ND

در شکل‌های (۲) تا (۴) مناطق تیره رنگ به دلیل اچ کردن نمونه ایجاد شده است.

شکل (۴) تصویر متالوگرافی نمونه نورد شده بعد از عملیات حرارتی را نشان می‌دهد با توجه به این شکل تبلور مجدد

۳-۲- نتایج آزمون‌های خواص مکانیکی و ناهمسانگردی

عملیات حرارتی بعد از نورد قرار گرفته است در هر سه راستا کاملاً مشابه بوده و مشخصاً تبلور مجدد به طور کامل در این نمونه اتفاق افتاده است. شکل های (۵) تا (۶) نمونه های ریخته گری، بعد از نورد و بعد از عملیات حرارتی در راستاهای مختلف را قبل و بعد از انجام آزمون نشان می دهند.

نتایج آزمون های کشش نمونه ها در جدول (۱) آورده شده است. همان طور که در این جدول مشخص است خواص مکانیکی بعد از نورد گرم بهبود چشمگیری پیدا می کند اما این خواص در هر سه راستای نمونه برداری شده مشابه نبوده و در نتیجه همسانگرد نمی باشد. دلیل این امر جهت گیری دانه ها در راستای نورد است که در نتیجه آن درصد ازدیاد طول در راستای نورد به طور چشمگیری بیشتر است. خواص مکانیکی نمونه ای که تحت

جدول (۱): خواص مکانیکی آلیاژ LZ71 برای نمونه های ریخته گری شده، بعد از نورد و بعد از عملیات حرارتی

بعد از عملیات حرارتی			بعد از نورد			ریخته گری	عملیات
TD	45	RD	TD	45	RD	ندارد	راستا
۱۳۳/۲	۱۳۰	۱۳۵	۱۶۵	۱۶۸	۱۸۲	۱۱۲	Uts (MPa)
۱۱۳	۱۰۴	۱۱۰	۱۶۰	۱۴۷	۱۶۳	۱۰۳	Ys (MPa)
۷۶	۷۶	۷۴	۳۳	۵۵	۶۴	۲۳	Elongation (Overall) (%)
۲۵/۰۷	۲۴/۱۸	۲۳/۴۰	۸/۴۶	۱۰/۸۱	۱۰/۴۹	۱۳/۰۴	Elongation (at Uts) (%)



شکل (۵): نمونه های پیش از آزمون: (الف): ریخته گری، (ب): بعد از نورد راستای RD، (پ): بعد از نورد راستای ۴۵ درجه، (ت): بعد از نورد راستای TD، (ث): بعد از آنیل راستای RD، (ج): بعد از آنیل راستای ۴۵ درجه و (چ): بعد از آنیل راستای TD

با توجه به اطلاعات جدول (۱) مشخصاً نمونه فقط ریخته گری شده (بدون عملیات دیگر) دارای خصوصیات نامطلوب مکانیکی است. دلیل اصلی این مشکل عیوب ریخته گری و همچنین رفتار خاص عنصر آلیاژی لیتیوم حین ریخته گری می باشد. اضافه شدن عنصر آلیاژی لیتیوم به ترکیب، به دلیل اینکه میل به اکسایش و فشار بخار بالایی دارد، باعث ایجاد تخلخل حین ریخته گری می شود. عملیات نورد عیوب ذکر شده را مرتفع نموده و همان طور که مشخص است خواص مکانیکی را به طور چشمگیری بهبود می بخشد.

بیشتر از نمونه بعد از نورد است. با توجه به مقادیر ازدیاد طول نمونه بعد از نورد می توان گفت که این آلیاژ حتی بدون عملیات حرارتی دارای خواص سازه ای مناسب و همچنین قابلیت فرم پذیری قابل قبول است. نمونه بعد از عملیات حرارتی برای کاربردهای سازه ای با تغییر شکل های قابل توجه، مانند جاذب های انرژی، کاربرد کاملاً مناسبی خواهد داشت.

ضرایب ناهمسانگردی محاسبه شده به کمک روابط (۱) تا (۳) در جدول (۲) آورده شده است. با توجه به خواص مکانیکی نمونه های بعد از عملیات حرارتی که در ۰ جدول (۱) آورده شده است، همسانگردی در خواص مکانیکی این نمونه ها مشهود بوده و در این بخش صرفاً ضرایب ناهمسانگردی نمونه های بعد از نورد مورد بررسی قرار گرفته است.

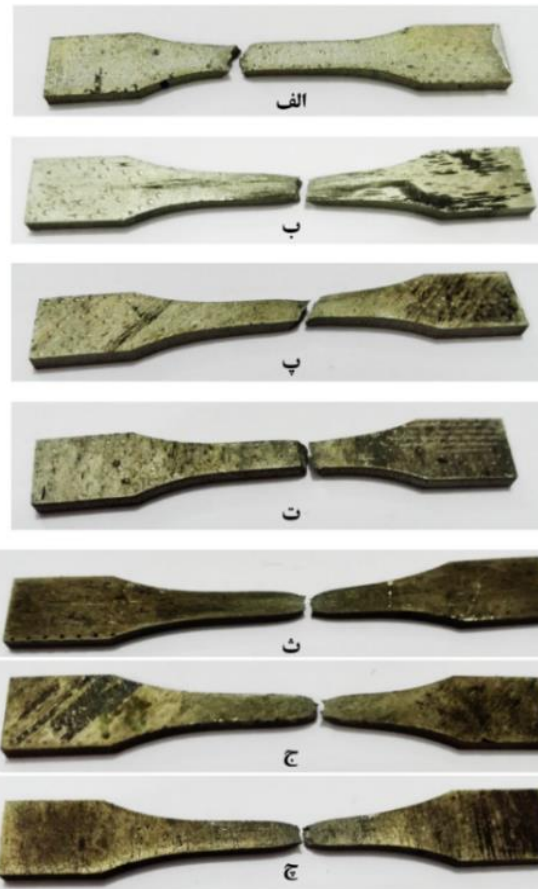
جدول (۲): ضرایب ناهمسانگردی محاسبه شده برای نمونه های ریخته گری و بعد از نورد

بعد از نورد			ریخته گری	عملیات
TD	45	RD	ندارد	راستا
۱/۹۳۱	۴/۱۰۳	۳/۴۹۴	۱/۰۱۸	r-value
۱/۳۹۱			---	$\Delta r$
۳/۴۰۸			---	$r_m$

همان گونه که از داده های جدول (۲) مشخص است بیشترین ناهمسانگردی در راستای ۴۵ درجه اتفاق افتاده است. در مورد نمونه های مطالعه شده در این تحقیق، کمترین ناهمسانگردی مربوط به نمونه عرضی می باشد که این امر با توجه به نوع شکل گیری دانه ها اتفاق افتاده است [۲۸].

### ۳-۳- بررسی سطوح شکست

در شکل (۷) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطوح شکست نمونه های نورد شده شکل (۷-الف تا پ) و آنیل شده شکل (۷-ت تا ج) نشان داده شده است. در مجموع تمامی تصاویر یک شکست کاملاً نرم را بیان می کنند به جز شکل (۷) که نشان می دهد نمونه نسبت به دیگر نمونه ها تا حدی ترد است.



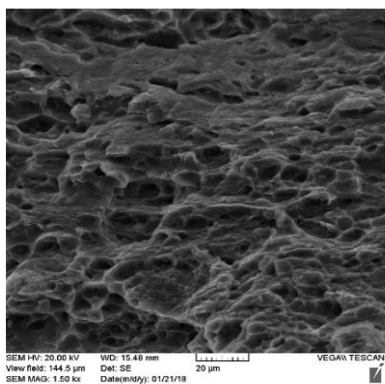
شکل (۶): نمونه های بعد از آزمون: (الف): ریخته گری، (ب): بعد از نورد راستای RD، (پ): بعد از نورد راستای ۴۵ درجه، (ت): بعد از نورد راستای TD، (ث): بعد از آنیل راستای RD، (ج): بعد از آنیل راستای ۴۵ درجه و (چ): بعد از آنیل راستای TD

یکی از نکات بسیار مهم در مورد خواص مکانیکی آلیاژ تهیه شده در این مطالعه، ازدیاد طول زیاد آن در مقایسه با آلیاژهای دیگر منیزیم است. این مورد به خصوص بعد از عملیات حرارتی و تبلور مجدد استاتیکی این آلیاژ بیشتر به چشم می آید هر چند که Uts آن به طور چشمگیری کاهش پیدا می کند. در مقابل کاهش Uts در نمونه های بعد از عملیات حرارتی، ازدیاد طول متناظر با Uts به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد.

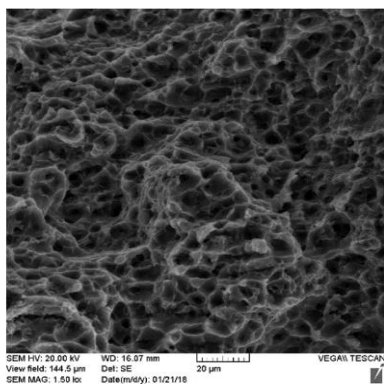
مقادیر Uts و Ys برای نمونه نورد شده بدون عملیات حرارتی به طور میانگین به ترتیب به میزان ۲۹٪ و ۴۴٪ از نمونه آنیل شده بیشتر است در حالی که درصد ازدیاد طول در نقطه Uts و ازدیاد طول نهائی نمونه آنیل شده به طور میانگین به ترتیب ۱۴۷/۷٪ و ۶۱٪

نرم را بیان می کنند (به جز شکل (۷-پ)) عدم تشابه در سطوح شکست مشهود است که خود بیانگر عدم همسانگردی ماده در این شرایط است.

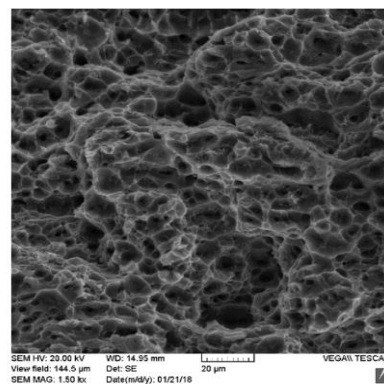
تصاویر مربوط به نمونه بعد از عملیات حرارتی تشابه کامل سطوح را نمایان می کنند که این خود یک صحنه گذاری بر همسانگرد شدن نمونه های بعد از عملیات حرارتی می باشد. از سوی دیگر تصاویر مربوط به نمونه های بعد از نورد با اینکه یک شکست کاملاً



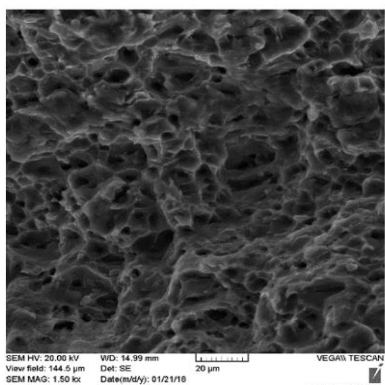
پ



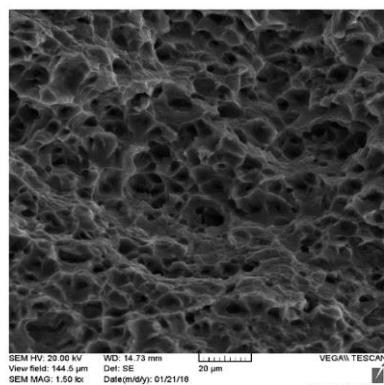
ب



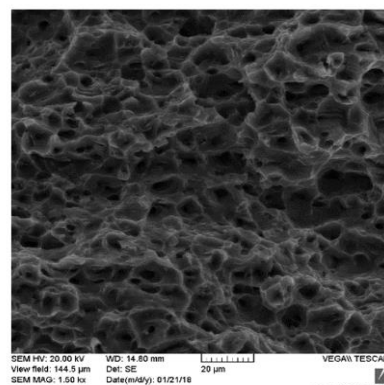
الف



ج



ث



ت

شکل (۷): تصاویر سطوح شکست نمونه های: (الف): راستای RD بعد از نورد، (ب): راستای ۴۵ درجه بعد از نورد، (پ): راستای TD بعد از نورد، (ت): راستای RD بعد از عملیات حرارتی، (ث): راستای ۴۵ درجه بعد از عملیات حرارتی و (ج): راستای TD بعد از عملیات حرارتی

قرار گیرد. با توجه به نتایج، میزان تنش تسلیم در دو راستای طولی و عرضی نمونه بعد از نورد (بدون عملیات حرارتی) تفاوت قابل ملاحظه ای نداشته است در حالی که تنش نهائی آنها با هم تفاوت قابل توجهی دارد. این در حالی است که نمونه های بعد از عملیات حرارتی خواص مکانیکی بسیار مشابهی داشته و با توجه به این نتایج نمونه های بعد از عملیات حرارتی دارای همسانگردی خواص مکانیکی می باشند.

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق برای اولین بار به تاثیر عملیات نورد گرم و همچنین عملیات حرارتی بر روی آلیاژ پایه منیزیم LZ71 پرداخته شد. مشخص شد که بهبود چشمگیری در خواص مکانیکی این آلیاژ دو فازی در اثر عملیات نورد گرم، حاصل خواهد شد. با این حال با مطالعه بر روی خواص ناهمسانگردی این آلیاژ مشخص شد که برای همسانگردی بعد از عملیات نورد باید مورد عملیات حرارتی

- [7] D. K. Xu, C. Q. Li, B. J. Wang & E. H. Han, "Effect of icosahedral phase on the crystallographic texture and mechanical anisotropy of duplex structured Mg-Li alloys", *Materials & Design*, Vol. 88, pp. 88-97, 2015.
- [8] T. C. Chang, J. Y. Wang, C. L. Chu & S. Lee, "Mechanical properties and microstructures of various Mg-Li alloys", *Materials Letters*, Vol. 60, pp. 3272-3276, 2006.

[۹] ا. عبداللهزاده، ع. شکوهفر، ح. امیدوار، م. صفرخانیان و م. نادری، "بررسی تاثیر افزودن نانوذرات کاربید سیلیسیم بر خواص مکانیکی آلیاژ منیزیم AZ31 جوشکاری شده به روش اصطکاکی اغتشاشی"، فصلنامه علمی پژوهشی فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، سال دهم، شماره چهارم، صفحه ۵۵-۷۱، زمستان ۱۳۹۴.

- [10] M. C. Lin, S. Q. Lin & J. Y. Uan, "Effect of annealing temperature on the microstructure and mechanical properties of an as-rolled Mg-9wt.% Li-3wt.% Al-1wt.% Zn alloy sheet", *Frontiers of Materials Science*, Vol. 8, pp. 271-280, 2014.
- [11] H. Dong, F. Pan, B. Jiang & Y. Zeng, "Evolution of microstructure and mechanical properties of a duplex Mg-Li alloy under extrusion with an increasing ratio", *Materials & Design*, Vol. 57, pp. 121-127, 2014.
- [12] H. Y. Wu, J. Y. Lin, Z. W. Gao & H. W. Chen, "Effects of age heat treatment and thermomechanical processing on microstructure and mechanical behavior of LAZ1010 Mg alloy", *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 523, pp. 7-12, 2009.
- [13] D. K. Xu, L. Liu, Y. B. Xu & E. H. Han, "The strengthening effect of icosahedral phase on as-extruded Mg-Li alloys", *Scripta Materialia*, Vol. 57, pp. 285-288, 2007.
- [14] Z. Zeng, N. Stanford, C. H. J. Davies, J. F. Nie, & N. Birbilis, "Magnesium extrusion alloys: a review of developments and prospects", *International Materials Reviews*, pp. 1-36, 2018.

با بررسی سطح شکست نمونه‌ها، مشخص شد که شکست نمونه‌های بعد از عملیات حرارتی از نوع شکست نرم است و تشابه سطوح شکست مشهود است. سطوح شکست نمونه‌های بعد از عملیات نورد مشخص کرد که تفاوت در این سطوح وجود داشته است به طوری که نمونه عرضی، بر خلاف دو نمونه دیگر، شکست تقریباً ترد را تجربه کرده است زیرا در نواحی قابل توجهی شکست باعث شکل‌گیری حفره نشده است.

## ۵- مراجع

- [1] B. L. Mordike & T. Ebert, "Magnesium: Properties — applications — potential", *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 302, pp. 37-45, 2001.
- [2] D. K. Xu, L. Liu, Y. B. Xu & E. H. Han, "The relationship between macro-fracture modes and roles of different deformation mechanisms for the as-extruded Mg-Zn-Zr alloy", *Scripta Materialia*, Vol. 58, pp. 1098-1101, 2008.
- [3] D. K. Xu, B. J. Wang, C. Q. Li, T. T. Zu & E. H. Han, "Effect of icosahedral phase on the thermal stability and ageing response of a duplex structured Mg-Li alloy", *Materials & Design*, Vol. 69, pp. 124-129, 2015.
- [4] D. K. Xu, T. T. Zu, M. Yin, Y. B. Xu & E. H. Han, "Mechanical properties of the icosahedral phase reinforced duplex Mg-Li alloy both at room and elevated temperatures", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 582, pp. 161-166, 2014.
- [5] R. Mahmudi, M. Shalbafi, M. Karami & A. R. Geranmayeh, "Effect of Li content on the indentation creep characteristics of cast Mg-Li-Zn alloys", *Materials & Design*, Vol. 75, pp. 184-190, 2015.
- [6] Q. Z. Peng, H. T. Zhou, F. H. Zhong, H. B. Ding, X. Zhou, R. R. Liu & et al., "Effects of homogenization treatment on the microstructure and mechanical properties of Mg-8Li-3Al-Y alloy", *Materials & Design*, Vol. 66, pp. 566-574, 2015.



- [23] J. Kang, D. S. Wilkinson, R. K. Mishra, W. Yuan & R. S. Mishra, "Effect of inhomogeneous deformation on anisotropy of AZ31 magnesium sheet", *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 567, pp. 101-109, 2013.
- [24] F. K. Chen & T. B. Huang, "Formability of stamping magnesium-alloy AZ31 sheets", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 142, pp. 643-647, 2003.
- [25] W. Tang, S. Huang, D. Li & Y. Peng, "Mechanical anisotropy and deep drawing behaviors of AZ31 magnesium alloy sheets produced by unidirectional and cross rolling", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 215, pp. 320-326, 2015.
- [26] L. Zhang, G. Huang, H. Zhang & B. Song, "Cold stamping formability of AZ31B magnesium alloy sheet undergoing repeated unidirectional bending process", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 211, pp. 644-649, 2011.
- [27] L. Delannay, M. A. Melchior, J. W. Signorelli, J. F. Remacle & T. Kuwabara, "Influence of grain shape on the planar anisotropy of rolled steel sheets – evaluation of three models", *Computational Materials Science*, Vol. 45, pp. 739-743, 2009.
- [28] H. Yan, R. Chen & E. Han, "Room-temperature ductility and anisotropy of two rolled Mg–Zn–Gd alloys", *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 527, pp. 3317-3322, 2010.
- [29] C. Ha, S. Yi, J. Bohlen, X. Zhou, H. G. Brokmeier, N. Schell, D. Letzig & K. U. Kainer, "Deformation and Recrystallization Mechanisms and Their Influence on the Microstructure Development of Rare Earth Containing Magnesium Sheets", in *TMS Annual Meeting & Exhibition*, pp. 209-216, 2018.
- [30] W. Cheng, L. Wang, H. Zhang & X. Cao, "Enhanced stretch formability of AZ31 magnesium alloy thin sheet by pre-crossed twinning lamellas induced static recrystallizations", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 254, pp. 302-309, 2018.
- [15] J. U. Lee, S. W. Song, Y. Kim, S. H. Kim, Y. J. Kim & S. H. Park, "Effects of {10–12} Twins on Dynamic Torsional Properties of Extruded AZ31 Magnesium Alloy", *Metals and Materials International*, Vol. 24, pp. 283-289, 2018.
- [16] Y. Liu, F. Li, X. W. Li & W. Y. Shi, "Properties of Rolled AZ31 Magnesium Alloy Sheet Fabricated by Continuous Variable Cross-Section Direct Extrusion", *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 2, pp. 1334-1342, 2018.
- [17] W. Wang, W. Chen, W. Zhang, G. Cui & E. Wang, "Effect of deformation temperature on texture and mechanical properties of ZK60 magnesium alloy sheet rolled by multi-pass lowered-temperature rolling", *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 712, pp. 608-615, 2018.
- [18] J. Jiang, J. Wu, S. Ni, H. Yan & M. Song, "Improving the mechanical properties of a ZM61 magnesium alloy by pre-rolling and high strain rate rolling", *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 712, pp. 487-484, 2018.
- [19] L. Guo & F. Fujita, "Modeling the microstructure evolution in AZ31 magnesium alloys during hot rolling", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 255, pp. 716-723, 2018.
- [20] Z. P. Yu, Y. H. Yan, J. Yao, C. Wang, M. Zha, X. Y. Xu & et al., "Effect of tensile direction on mechanical properties and microstructural evolutions of rolled Mg-Al-Zn-Sn magnesium alloy sheets at room and elevated temperatures", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 744, pp. 211-219, 2018.
- [۲۱] م. کاویانی و غ. ابراهیمی، "تأثیر پارامترهای ترمومکانیکی بر رفتار بافت آلیاژ منیزیم"، فصلنامه علمی پژوهشی فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، سال یازدهم، شماره ۱ اول، صفحه ۱۱۱-۱۲۱، بهار ۱۳۹۴.
- [22] M. G. Lee, R. H. Wagoner, J. K. Lee, K. Chung & H. Y. Kim, "Constitutive modeling for anisotropic/asymmetric hardening behavior of magnesium alloy sheets" *International Journal of Plasticity*, Vol. 24, pp. 545-582, 2008.

- [31] D. Griffiths, B. Davis & J. Robson, "The Influence of Strain Path on Rare Earth Recrystallization Textures in a Magnesium-Zinc-Rare Earth Alloy", Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 49, pp. 321-332, 2018.

۶- پی نوشت

- 
- [1] Planar Anisotropy  
[2] Normal Anisotropy  
[3] Dynamic Recrystallization (DRX)  
[4] Static Recrystallization (SRX)

## Effect of hot rolling and heat treatment on anisotropy properties of LZ71 Mg alloy

Mostafa Pahlavani<sup>1</sup>, Javad Marzbanrad<sup>2, \*</sup>, Abbas Bayati<sup>3</sup>

1- Ph. D., School of Automotive Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

2- Professor, School of Automotive Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

3- Undergraduate Student, School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

\*Corresponding Author: marzban@iust.ac.ir

---

### Abstract

In this paper, a study was carried out on the mechanical and metallurgical properties of magnesium-lithium dual phase alloy. After casting the alloy, the thickness of primary billet is reduced from 10 mm to 2 mm using hot rolling. Then, in order to achieve an isotropic sheet, the rolled part was heat treated at 350 °C. The microstructure of samples was studied using optical microscope to observe the type of grain size variation. In the present survey, anisotropy of hot rolled LZ71 sheet has been studied for the first time. For this purpose, Mechanical properties of all three samples: after casting, after rolling and after heat treatment in three directions of longitudinal and transverse and 45 degrees were completely investigated. Moreover, the anisotropy coefficients of the rolled samples were calculated and evaluated. Results were found that, the alloy had suitable specifications for structural applications before and after heat treatment, but anisotropy was observed in samples without heat treatment. Finally, the failure level for samples after rolling and after heat treatment process was examined to confirm the anisotropy results.

**Keywords:** LZ71, Mg Alloy, Heat Treatment, Anisotropy, Hot Rolling.

---

Journal homepage: [ma.iaumajlesi.ac.ir](http://ma.iaumajlesi.ac.ir)

### Please cite this article using:

Mostafa Pahlavani, Javad Marzbanrad, Abbas Bayati, Effect of hot rolling and heat treatment on anisotropy properties of LZ71 Mg alloy, New Process in Material Engineering, 2020, 14(1), 73-83.