



تاثیر عنصر بیسموت بر تحولات ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ منیزیم AZ31 حین فرآیند پرس در کانال زاویه دار همسان

جواد یزدی^۱، محمد حسن فرشیدی^۲، غلامرضا ابراهیمی^۳، حمید مشاور^۴

آدرس پست الکترونیکی نویسنده مسئول: jd.yazdi.2017@gmail.com

چکیده

در پژوهش حاضر به منظور بررسی تاثیر عنصر بیسموت بر تحولات ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ منیزیم AZ31 حین فرآیند پرس در کانال زاویه دار همسان مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از سه آلیاژ AZ31، AZ31+1%Bi و AZ31+3%Bi استفاده شد. تغییر شکل شدید در دمای ۳۰۰ °C و حداکثر با چهار گذر انجام شد. تحولات ریزساختاری به کمک میکروسکوپ نوری و الکترونی روی نمونه‌ها انجام شد. سپس سختی نمونه‌ها اندازه گیری شد. نتایج حاصله نشان می دهد که افزودن بیسموت سبب ادامه دار بودن کاهش اندازه دانه‌ها در گذرهای بالاتر شده در حالی که در آلیاژ AZ31 با کاهش اندازه دانه‌ها مکانیزم لغزش مرز دانه ای حاکم شده و این امر سبب کاهش انرژی ذخیره شده و در نتیجه امکان کاهش اندازه دانه در کرنش‌های بیشتر (۴ گذر)، امکان پذیر نیست. ذرات حاوی بیسموت مانع لغزش مرز دانه‌ای شده و سبب کاهش اندازه دانه‌ها در کرنش‌های بیشتر شده است.

کلمات کلیدی: آلیاژ AZ31، ایکپ، تغییر شکل پلاستیک، مسیر Bc، اصلاح دانه، استحکام

-
- ۱- دانشجو کارشناسی ارشد، گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - ۲- استاد، گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - ۳- استاد، گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - ۴- فارغ التحصیل کارشناس ارشد، گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر استفاده از آلیاژهای منیزیم به دلیل استحکام ویژه بالا (نسبت استحکام به وزن) مورد توجه صنایع قرار گرفته است. استفاده از منیزیم به دلیل دو عامل محدود شده است: ۱- خوردگی سریع، ۲- خواص مکانیکی نسبتاً ضعیف (خواص آنیزوتروپی، استحکام خزشی پایین و انعطاف پذیری ضعیف). به همین دلیل در تولید منیزیم از عناصر آلیاژی به منظور بهبود خواص مذکور استفاده می‌شود. از طرفی به دلیل عواملی مانند ساختار کریستالی هگزاگونال، انرژی نقص چیده شدن پایین و سیستم‌های لغزشی محدود، تغییر شکل منیزیم و آلیاژهای آن در دمای محیط با محدودیت‌هایی مواجه است و تغییر شکل پلاستیک این آلیاژها نیازمند بکارگیری دماهای بالا می‌باشد [۱ و ۲]. در دماهای بالاتر، با فعال شدن سیستم‌های لغزشی دیگر یعنی سیستم‌های لغزشی غیر قاعده‌ای، کارپذیری آلیاژهای منیزیم تا حدودی افزایش می‌یابد [۲] و آلیاژهایی که در معرض تغییر شکل پلاستیک در دماهای بالا از قبیل اکستروژن، فورج یا نورد قرار می‌گیرند، خواص مکانیکی بالاتری ارائه می‌دهند [۳]. در اثر تغییر شکل، استحکام و داکتیلیته آلیاژهای منیزیم به علت الف) ریزدانه‌گی ناشی از تبلور مجدد دینامیکی (DRX)، ب) اتفاقی شدن بافت و ج) رسوب‌گذاری دینامیکی، افزایش قابل توجهی می‌یابد [۴]. تغییر شکل شدید به کمک فرایند ایکپ یکی از متداول‌ترین روش‌های کاهش اندازه دانه است [۵].

یو و همکاران ریزساختار و رفتار مکانیکی آلیاژ AZ31 را حین فرآیند ایکپ مورد بررسی قرار داده‌اند، نتایج حاصله بیانگر این است که اعمال کرنش سبب کاهش اندازه دانه‌ها از طریق مکانیزم تشکیل دوقلوبی‌ها در ریزساختار شده و تغییرات خواص مکانیکی بر اساس رابطه هال-پچ مورد بحث و تحلیل قرار گرفت [۶]. عرب و همکارانش آلیاژ AZ31 را حین فرآیند ایکپ در نمونه‌های نواری شکل مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که کاهش متوسط اندازه دانه از ۳۹ به ۵ میکرومتر در چهار گذر رخ داده است. کاهش اندازه دانه‌ها بیشتر در گذر اول رخ داده است (بیش از ۵۰٪)، که علت آن را بزرگ بودن دانه‌های اولیه و افزایش چگالی نابجایی‌ها در حین تغییر شکل نسبت داده‌اند. همچنین با کاهش اندازه دانه‌ها نرخ افزایش چگالی به دلیل فعال شدن مکانیزم لغزش مرزدانه‌ای، در گذرهای بالاتر، کاهش یافته است [۷].

مورالیدار و همکارانش نیز آلیاژ AZ31 را طی فرآیند ایکپ مورد مطالعه قرار دادند، نتایج میکروسختی نشان داد که میزان سختی در نمونه همگن سازی شده ۵۳ ویکرز بوده و در گذر اول و دوم به ترتیب ۶۰ و ۶۹ ویکرز و در گذر سوم و چهارم ۶۴ و ۶۶ ویکرز بدست آورده‌اند. آنها علت افزایش مقدار سختی را به افزایش استحکام و چگالی نابجایی‌ها در گذرهای اولیه نسبت داده‌اند. افزایش میزان تغییر شکل در گذرهای سه و چهار منجر به کاهش استحکام و سختی به دلیل تغییر بافت شده است [۸].

دینگ و همکاران آلیاژ AZ31 را ایکپ و میانگین اندازه دانه ۳۷۰ نانومتری بدست آورده‌اند. آنها نشان دادند که مسیر تغییر شکل (A, B_c و C) بر میزان کاهش اندازه دانه‌ها تاثیر ندارد، اما بر تغییرات بافت تاثیر



معنی داری دارد. آنها نشان دادن مسیر های B_c و C سبب تشکیل بافت ضعیف شده و این امر تاثیر کاهش اندازه دانه‌ها، را کاهش داده است [۹].

رضوی و همکاران اندازه دانه 350 نانومتری را از طریق فرآیند ایکپ و تاثیر عملیات حرارتی بین گذرها را بدست آوردند. نتایج حاصله نشان داد که فعال شدن سیستم لغزش منشوری سبب افزایش خواص مکانیکی شده است [۱۰].

آگنو و همکاران اثرات ناهمسانگردی بر میزان کرنش را مورد مطالعه قرار دادند؛ آنها نشان دادند که با افزایش نرخ کرنش، تنش تسلیم فشاری، سرعت سخت کاری و کرنش شکست درجهت نرمال افزایش می‌یابد. همچنین در امتداد مسیرهای طولی و عرضی نورد، تنش تسلیم هیچ وابستگی به میزان نرخ کرنش ندارد و با افزایش نرخ کرنش، سرعت سخت شدن افزایش می‌یابد. افزایش نرخ کرنش، چگالی دوقلوها را در هر سه جهت افزایش داده است [۱۱].

ژائو و همکاران خواص فشاری آلیاژ منیزیم ریختگی AZ31 را در دماهای مختلف و نرخ کرنش مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که علاوه بر استحکام، چقرمگی آلیاژ هم با افزایش نرخ کرنش، افزایش یافته و با افزایش دما در یک فشار ثابت کاهش می‌یابد [۱۲].

یو و همکارانش تاثیر بیسموت بر ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ AZ80 را طی فرآیند اکستروژن مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله بیانگر تاثیر افزودن بیسموت بر کاهش اندازه دانه‌ها است. ذرات Mg_3Bi_2 به صورت میله‌ای شکل در مرز دانه‌ها تشکیل شده و خواص مکانیکی به دلیل کاهش اندازه دانه‌ها افزایش یافته است با افزایش مقدار بیسموت فاز بتا ($Mg_{17}Al_{12}$) درشت شده و سبب کاهش استحکام شده است [۱۳].

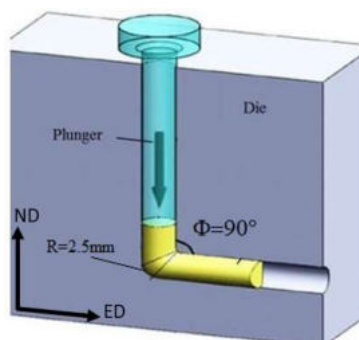
بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت ذرات ثانویه که از قابلیت پایداری حرارتی برخوردار هستند، نقش موثری در کاهش اندازه دانه‌ها دارند. اما تاثیر نقش ذرات بر میزان ریزدانه‌گی در فرایندهای تغییر شکل شدید اطلاعات اندکی وجود دارد. همچنین در فرایندهای تغییر شکل گرم حضور ذرات فاز ثانویه، می‌توانند تبلور مجدد را تحت تاثیر قرار دهند. بنابراین ضروری است با شناخت و کنترل عوامل موثر بر مشخصه‌های ذرات فاز ثانویه، شرایطی اتخاذ گردد که بتوان ضمن حفظ قابلیت شکل پذیری آلیاژها در حین تغییر شکل شدید، اندازه دانه‌های نهایی در ریزساختار را کنترل نمود و آنها را در جهت مطلوب هدایت کرد. در پژوهش حاضر، با شناخت تاثیر مقدار عنصر بیسموت، فرآیند ایکپ و نقش ذرات ثانویه بر تحولات ریزساختار و مکانیزم تغییر شکل در آلیاژ AZ31 از جنبه‌های مختلف کمی و کیفی مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش تحقیق

در پژوهش حاضر به منظور بررسی تاثیر عنصر بیسموت بر تحولات ریزساختار از سه نوع آلیاژ AZ31، AZ31+1% Bi و AZ31+3%Bi استفاده شده است. بعد از مرحله ریخته‌گری با توجه به این که ریزساختار حاصل از ریخته‌گری دارای دانه‌های ریز و درشت بوده همچنین رسوبات متعددی در ریزساختار نمونه‌های ریخته‌گری شده وجود دارد، فرآیند همگن سازی بر روی نمونه‌ها انجام شد. جهت انجام عملیات حرارتی

همگن سازی از نمودار فازی Mg-Al جهت انجام این فرایند و زمان مورد نیاز به منظور حل شدن رسوبات و همچنین یکنواخت شدن اندازه دانه استفاده شد. دما و زمان مورد نیاز جهت عملیات حرارتی به ترتیب 415°C و به مدت ۱۶ ساعت است.

نمونه‌های ریخته‌گری و عملیات حرارتی شده تحت فرایند تغییر شکل شدید ایکپ قرار گرفت. شماتیک فرایند ایکپ در شکل ۱ نشان داده شده است. میزان کرنش معادل محاسبه شده در هر گذر برابر $0/9$ و پس از چهار گذر تغییر شکل کرنش اعمالی به نمونه‌ها معادل $3/6$ می باشد [۵]. نمونه عملیات حرارتی و ماشین کاری شده (با قطر 10 mm و ارتفاع 60 mm)، پس از روانکاری با پودر گرافیت در داخل محفظه ایکپ قرار داده شد. ماده روانکار به منظور کاهش اصطکاک بین نمونه و قالب و همچنین سنبه و قالب استفاده شد. سپس نمونه درون قالب پیش گرم شده در دمای 300°C به مدت زمان ۲۰ دقیقه به منظور همدمای شدن سطح نمونه قرار داده شد و در نهایت تحت یک، دو، سه و چهار گذر فرایند ایکپ انجام شد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده قالب ایکپ با زاویه 90° در پژوهش حاضر استفاده شد. نمونه‌های عملیات حرارتی شده از مسیر (Route) Bc و حداکثر چهار گذر تغییر شکل داده شد.



شکل ۱- شماتیک فرایند و قالب ایکپ وزوایای آن.

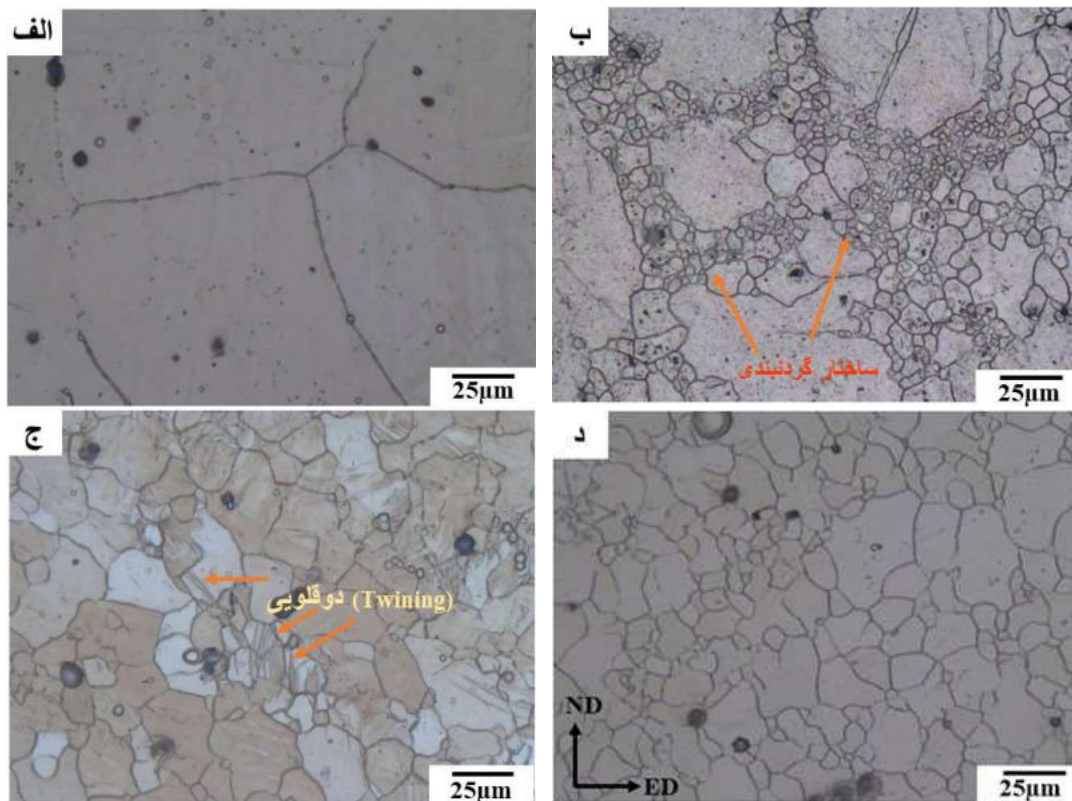
جهت بررسی و مشاهدات تغییر و تحولات ریزساختاری نمونه‌ها تحت شرایط مختلف ابتدا نمونه‌ها در جهت ایکپ (ED-TD) برش داده و سپس سمباده زنی شدند. برای این منظور سمباده‌های 120 تا 3000 مورد استفاده قرار گرفتند. در مرحله بعد به منظور حصول سطح صیقلی فرایند پولیش مکانیکی بر روی نمونه‌ها با استفاده از نمد پولیش و پودر آلومینا 3 میکرون انجام گرفت. سپس جهت بررسی ریزساختار توسط میکروسکوپ نوری مدل Olympus BX60M نمونه‌ها با استفاده از محلول حکاکی پیکرال به درصد حجمی $(\text{H}_2\text{O}, 5\text{ml}; \text{CH}_3\text{OH}, 70\text{ml}; \text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7, 4\text{gr}; \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2, 5\text{ml})$ به مدت زمان 10 ثانیه حکاکی شده است. اندازه دانه‌ها با استفاده از نرم افزار MIP4 و روش تقاطع خطی مطابق با استاندارد ASTM E112-G6 محاسبه شد. همچنین به منظور ارزیابی دقیق تر ریزساختار آلیاژ مورد استفاده در شرایط مختلف میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدان (FESEM, MIRA 3 TESCAN) مورد بررسی قرار گرفت.

به منظور بررسی سختی نمونه‌ها و تاثیر تغییر شکل از دستگاه سختی سنج مدل Avery-denison- 6408/D استفاده شده و آزمون سختی در شرایط اعمال نیرو ۵ کیلو گرم و زمان فروروی ۱۰ ثانیه انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

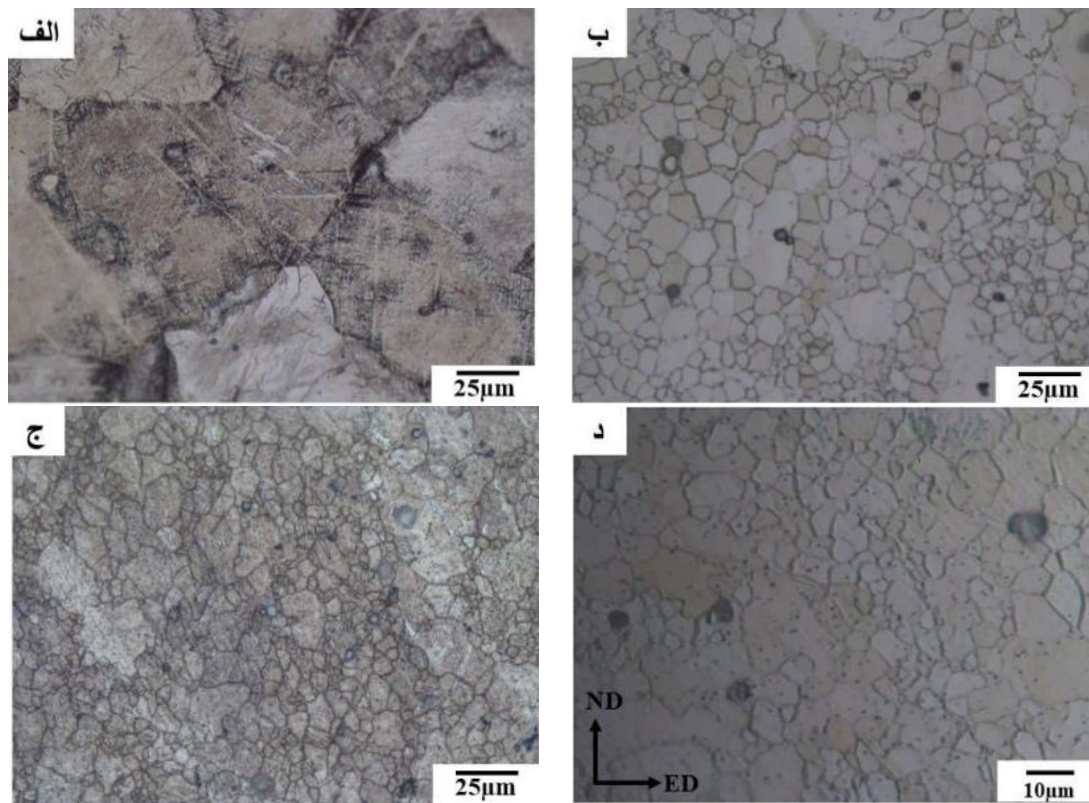
۳-۱- بررسی ریزساختار اولیه و تغییر شکل یافته

شکل ۲ ریزساختار آلیاژ AZ31 اولیه و تغییر شکل یافته به وسیله فرایند ایکپ در یک، دو و چهار گذر را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌کنید اندازه دانه‌های اولیه بسیار بزرگ ($152 \mu\text{m}$) می‌باشد و با تغییر شکل در دمای 300°C به کمک فرایند ایکپ دانه‌های جدید بر روی مرز دانه جوانه زنی کرده و سبب کاهش اندازه دانه‌ها شده است. کاهش اندازه دانه‌ها در حین فرایند تغییر شکل به کمک فرایند تبلور مجدد دینامیکی رخ داده و سبب تشکیل ریزساختار گردنبنندی شده است (شکل ۲ ب). نمونه‌های تغییر شکل یافته در گذر اول در مسیر BC قرار داده و سپس تغییر شکل گرم ادامه یافته است. به منظور یکسان سازی دمای نمونه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای 300°C نگهداری شده و این امر سبب درشت شدن دانه‌های متبلور شده در گذر اولیه شده و به دلیل تغییر شکل شدید و با توجه به محدودیت سیستم لغزش در آلیاژهای منیزیم دوقلویی در ریزساختار ایجاد شده است (شکل ۲ ج). با ادامه تغییر شکل شدید در گذر ۴ اندازه دانه‌ها کاهش یافته ($11 \mu\text{m}$) و به دلیل نگهداری در دمای 300°C رشد دانه‌ها به وقوع پیوسته و سبب هم محور شدن دانه‌ها شده است (شکل ۲ د). لازم به ذکر علت رشد دانه‌های تبلور یافته در گذرهای دوم الی چهار را می‌توان به تحرک مرز دانه‌های منیزیم در دمای تغییر شکل نسبت داد. صادقی و همکارانش نشان داده‌اند که در فرایند تغییر شکل شدید (ایکپ)، اندازه دانه‌های آلیاژ AZ31 در گذر اول به شدت کاهش یافته و این امر سبب فعال شدن سیستم لغزش مرز دانه‌ها، در گذرهای بعدی شده است که دلیل این امر را به کاهش انرژی ذخیره شده در دانه‌های ریز نسبت داده است. آنها همچنین نشان داده‌اند با افزایش تعداد گذرها، نرخ کاهش اندازه دانه‌ها، کاهش یافته است [۱۴ و ۱۵]. نتایج کاهش اندازه دانه در گذرهای تغییر شکل در پژوهش حاضر تطابق کامل با یافته‌های دیگر محققین دارد.



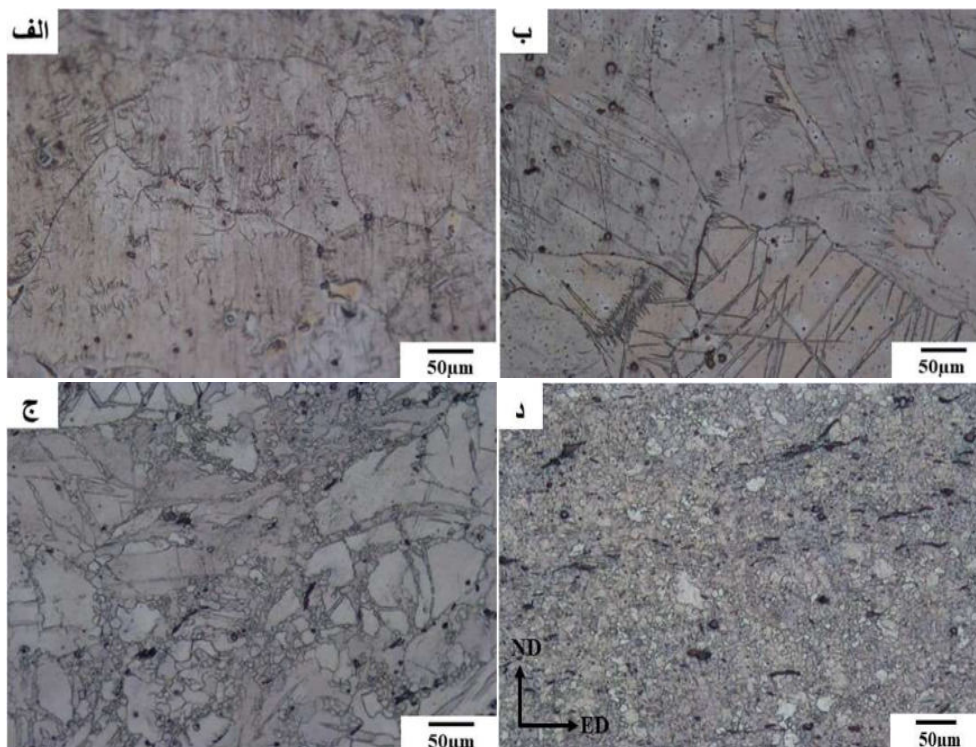
شکل ۲- مقایسه ریز ساختار AZ31 در گذرهای مختلف (الف) صفر گذر (ب) یک گذر (ج) دو گذر (د) چهار گذر.

شکل ۳ ریزساختار آلیاژ AZ31+1% Bi نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اندازه دانه‌های اولیه حدود $110 \mu\text{m}$ می‌باشد و با افزایش تعداد گذرها نسبت به ریزساختار اولیه کاهش یافته است. افزودن عنصر بیسموت به آلیاژ AZ31 سبب کاهش اندازه دانه‌های اولیه شده (مقایسه شکل ۲ الف با ۳ الف). علت کاهش اندازه دانه در آلیاژ AZ31+1% Bi را می‌توان به نقش جوانه زا نسبت داد. ریزساختار در گذر اول تغییر شکل شدید سبب کاهش اندازه دانه‌ها شده ($43 \mu\text{m}$) است (شکل ۳ ب). با افزایش تعداد گذرهای تغییر شکل اندازه دانه‌ها کاهش یافته است (شکل ۳ ج و د). مکانیزم کاهش اندازه دانه‌ها در تغییر شکل شدید به کمک فرایند تبلور مجدد مکانیکی رخ داده است. افزودن عنصر بیسموت سبب تشکیل فازهای میانی Mg_3Bi_2 در ریزساختار شده است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که ذرات بیسموت دار علاوه بر نقش جوانه‌زا در فرایند ریخته‌گری سبب کاهش حرکت مرزدانه‌ها و مانع مهاجرت مرزدانه‌ها در هنگام پیش گرم و حین تغییر شکل گرم شده است (مقایسه شکل ۲ و ۳ ج، د). صرفاً و همکارانش در فرایند تغییر شکل گرم آلیاژ AZ31 و افزودن ذرات تقویت کننده Al-Ti-C نشان دادن که حضور ذرات در ریزساختار علاوه بر کاهش مهاجرت مرزدانه‌ها سبب کاهش اندازه دانه‌ها به کمک مکانیزم جوانه زنی متأثر از ذرات فاز دوم شده است [۱۶].



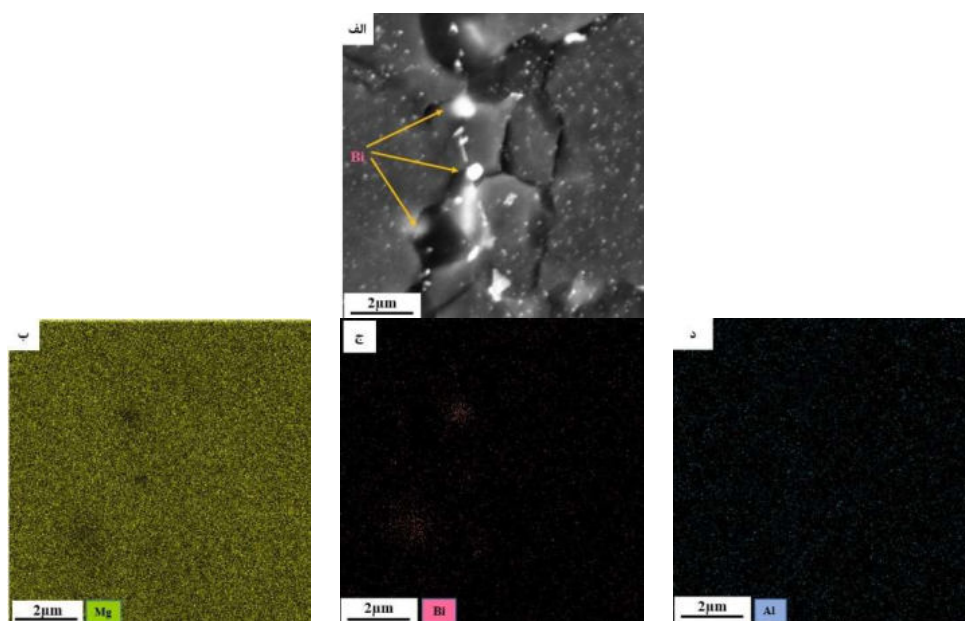
شکل ۳- مقایسه ریز ساختار AZ31+1% Bi در گذرهای مختلف الف) صفر گذر ب) یک گذر ج) دو گذر د) چهار گذر.

شکل ۴ ریزساختار اولیه و تغییر شکل یافته، آلیاژ AZ31+۳%Bi را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌کنید با افزایش تعداد گذرهای تغییر شکل گرم به کمک فرایند ایکپ، اندازه دانه‌ها کاهش یافته است (مقایسه شکل ۴ ب الی ۴ د). افزایش میزان ذرات بیسموت دار در ریزساختار اولیه (ریخته‌گری) برخلاف انتظار سبب کاهش اندازه دانه‌ها نشده است (مقایسه شکل ۳ الف و ۴ الف). همچنین مقایسه ریزساختار تغییر شکل یافته در هر دو آلیاژ ۱٪ و ۳٪ بیسموت (شکل ۳ و ۴) نشان دهنده افزایش اندازه دانه‌ها با افزایش عنصر بیسموت می‌باشد که علت آن را می‌توان به عدم یکنواختی توزیع ذرات دارای بیسموت در ریزساختار اولیه نسبت داد. توزیع غیر یکنواخت ذرات سبب رشد دانه‌ها در زمان پیش گرم شده و با افزایش اندازه دانه‌ها مکانیزم دوقلوبی شدن فعال شده است (شکل ۴ ج).



شکل ۴- مقایسه ریز ساختار $AZ31+3\%Bi$ در گزرهاى مختلف الف) صفر گذر ب) یک گذر ج) دو گذر د) چهار گذر.

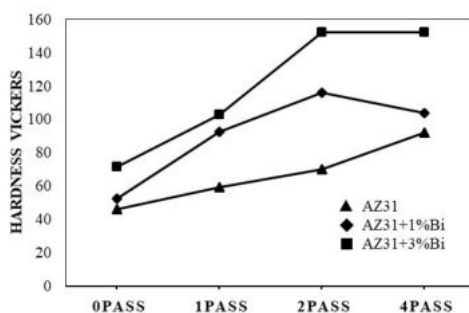
شکل ۵- توزیع ذرات Mg_3Bi_2 در آلیاژ $AZ31+3\%Bi$ را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود ذرات حاوی بیسموت در مرزخانه‌ها و بعضاً داخل دانه‌ها حضور دارند.



شکل ۵- تصویر توزیع عناصر در آلیاژ اولیه $AZ31+3\%Bi$ ، الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، ب) توزیع منیزیم، ج) توزیع بیسموت، د) توزیع آلومینیم.

۲-۳- بررسی سختی نمونه های اولیه و تغییر شکل یافته

شکل ۶ نتایج سختی سنجی ویکرز آلیاژ مورد استفاده در پژوهش حاضر قبل و بعد از تغییر شکل شدید را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش تعداد گذرها، مقدار سختی به دلیل افزایش چگالی نابعی‌ها افزایش یافته است. همچنین با افزایش درصد بیسموت مقدار سختی در شرایط یکسان افزایش پیدا کرده که بیانگر تاثیر ذرات حاوی بیسموت و کاهش اندازه دانه‌ها است. نکته بسیار جالب در این است که نمونه های حاوی ذرات Mg_3Bi_2 در گذرهای بیش از دو گذر، نرخ افزایش سختی کاهشی یا متوقف شده است، در حالی که در آلیاژ AZ31 سختی همچنان در حال افزایش است. با توجه به مطالب بالا می توان چنین نتیجه گرفت که با کاهش اندازه دانه‌ها آلیاژهای حاوی ذرات بیسموت مکانیزم تغییر شکل شدید در گذرهای بیشتر (از سه گذر) تغییر یافته و مکانیزم لغزش دانه‌ها غالب شده و این امر سبب کاهش چگالی نابعی‌ها و انرژی ذخیره شده در ریزساختار شده و در نتیجه نرخ افزایش سختی کاهش یافته است. همچنین کاهش سختی در گذرهای بالا در آلیاژهای حاوی بیسموت ممکن است ناشی از تغییر بافت باشد که در حال بررسی است.



شکل ۶- نمودار سختی ویکرز نمونه اولیه و ایکپ شده آلیاژ مورد استفاده.

۳-۳- بررسی تغییرات اندازه دانه‌ها

اندازه دانه‌های اولیه و تغییر شکل یافته در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در گذر اولیه تغییر شکل اندازه دانه‌ها به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. با کاهش اندازه دانه‌ها اعمال کرنش یا به عبارت دیگر افزایش تعداد گذرهای تغییر شکل، تاثیر کمتری بر کاهش اندازه دانه‌ها دارد.

جدول ۱- اندازه دانه‌های نمونه اولیه و تغییر شکل یافته در گذرهای مختلف

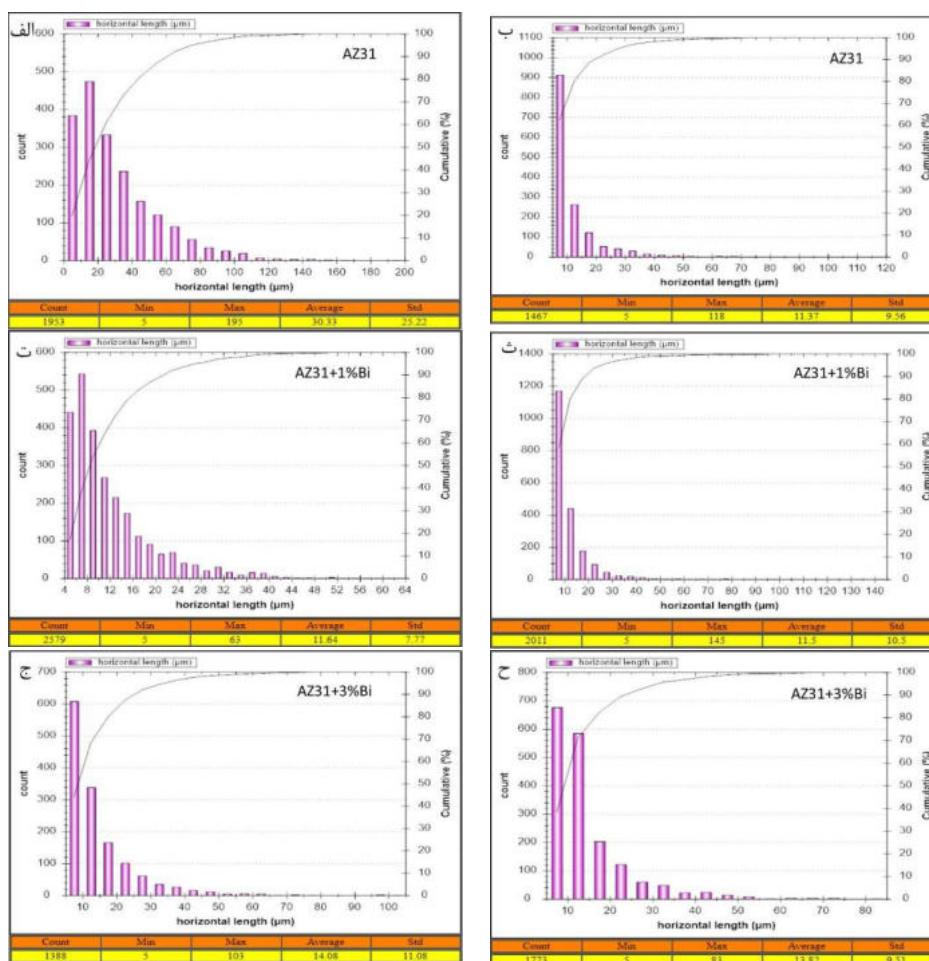
	نمونه اولیه	نمونه گذر اول	نمونه گذر دوم	نمونه گذر چهارم
AZ31	۱۵۲	۷۳	۳۰	۱۱
AZ31 1%Bi	۱۱۰	۴۳	۱۲	۱۱
AZ31 3%Bi	۱۳۰	۷۵	۱۴	۱۴



شکل ۷ توزیع اندازه دانه های آلیاژهای مورد استفاده در گذر دوم و چهارم را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود در آلیاژهای AZ31 و AZ31+1% Bi اعمال کرنش بیشتر (۴ گذر) سبب کاهش اندازه دانه‌ها نسبت به دو گذر شده است (مقایسه شکل ۷ الف با ب، و ت با ث). افزودن عنصر بیسموت سبب تشکیل ذرات Mg_3Bi_2 شده و در نتیجه حضور ذرات با پایداری حرارتی منجر به مکان‌های جوانه‌زا در فرایند ریخته‌گری شده است. تفاوت آماری در اندازه دانه‌ها و کسر بالای دانه‌های ریز نشان می‌دهد که طی تغییر شکل در فرآیندهای بعدی ریزساختار به راحتی ریزتر شده است. همچنین ذرات Mg_3Bi_2 مانع لغزش مرزدانه‌ها در کرنش‌های بالا شده و این امر سبب کاهش اندازه دانه‌ها می‌شود (مقایسه شکل ۷ ب با ث). افزودن مقادیر زیاد بیسموت (۳٪) باعث تجمع ذرات در ریزساختار و توزیع غیر یکنواخت شده بنابراین می‌توان نتیجه گرفت تاثیر ذرات بر کاهش اندازه دانه‌ها کاهش یافته است.

2 PASS

4 PASS



شکل ۷- توزیع اندازه دانه‌ها در نمونه‌های تغییر شکل یافته در ۲ و ۴ گذر، الف و ب) آلیاژ AZ31، ت و ث) آلیاژ AZ31+1% Bi، ج و ح) آلیاژ AZ31+3% Bi.

توزیع غیریکنواخت اندازه دانه‌ها باعث تسریع در موضعی شدن کرنش می‌شود، زیرا ساختار با دانه‌های بزرگتر کرنش پلاستیک بزرگتری را در مقایسه با دانه‌های کوچکتر در خود جا می‌دهد که باعث تنزل میزان کرنش و انرژی ذخیره شده، می‌شود [۱۷].

۴- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، ریزساختار و خواص مکانیکی سه نوع آلیاژ AZ31، AZ31+1% Bi و AZ31+ 3%Bi مورد بررسی قرار گرفت تا تاثیر افزودن عنصر بیسموت بر تحولات ریزساختاری و خواص مکانیکی مشخص شود. خلاصه نتایج حاصل به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- با افزایش تعداد گذرهای فرآیند اندازه دانه‌ها کاهش می‌یابد که این کاهش اندازه دانه متناسب با اندازه دانه اولیه است.
- ۲- اعمال گذرهای اولیه سبب کاهش بیشتر اندازه دانه‌ها شده و علت آن موضعی شدن کرنش و افزایش چگالی نابجایی‌ها می‌باشد.
- ۳- افزودن بیسموت تا یک درصد سبب کاهش اندازه دانه‌ها در نمونه‌های ریخته‌گری و تغییرشکل یافته شده است.
- ۴- افزودن بیسموت به آلیاژ AZ31 سبب کاهش مقدار دوقلوبی‌ها در گذر اول و دوم شده است.
- ۵- مقدار سختی نمونه‌ها با افزایش کرنش (تعداد گذرها) به خصوص پس از گذر دوم افزایش می‌یابد.

مراجع

- 1- C. Xu, M.Y. Zheng, S.W. Xu, K. Wu, E.D. Wang, G.H. Fan, S. Kamado, X.D. Liu, G.J. Wang, X.Y. Lv, "Microstructure and mechanical properties of Mg-Gd-Y-Zn-Zr alloy sheets processed by combined processes of extrusion, hot rolling and ageing", Materials Science and Engineering A, 2013, 559, 844-851.
- 2- X. Xiangsheng, Ch. Qiang, Z. Kui, Z. Zude, Ma, Minglong, L. Xinggang, L. Yongjun, "Hot deformation behavior and processing map of coarse-grained Mg-Gd-Y-Nd-Zr alloy", Materials Science and Engineering A, 2013, 587(0), 283-290.
- 3- D.K. Xu, and E.H. Han, "Effects of icosahedral phase formation on the microstructure and mechanical improvement of Mg alloys", A review Progress in Natural Science: Materials International, 2012, 22(5), 364-385.
- 4- N.K. Thommo, and S. Kamado, "Fabrication of extraordinary high-strength magnesium alloy by hot extrusion", Scripta Materialia, 2009, 61(6), 644-647.
- 5- Y. Iwahashi, J. Wang, Z. Horita, M. Nemoto, T.G. Langdon, "Principle of equal-channel angular pressing for the processing of ultra-fine-grained materials", Scripta materialia, 1996, 35(2), 143-146.
- 6- X. Yu, Y. li, Q. Wei, Y. Guo, T. Suo, F. Zhao, "Microstructure and mechanical behavior of ECAP Processed AZ31B over a wide range of loading rates under compression and tension", Mechanics of Materials, 2015, 86, 55-70.



- 7- S. M. Arab, A. Akbarzadeh, "The Effect of Equal Channel Angular Pressing Process on the microstructure of AZ31Mg alloy strip shaped specimens", Journal of Magnesium and Alloys, 2013, 1, 145-149.
- 8- A. Muralidhar, H.S. Nayaka, S. Narendranath, "Effect of channel angular pressing on Az31 wrought magnesium alloys", Journal of Magnesium and Alloys, 2013, 1, 336-340.
- 9- S.X. Ding, W.T. Lee, C.P. Chang, L.W. Chang, P.W. Kao, "Improvement of strength of magnesium alloy processed by equal channel angular extrusion", Scripta Materialia, 2008, 59, 1006–1009.
- 10- S.M. Razavi, D.C. Foley, I. Karaman, K.T. Hartwig, O. Duygulu, L.J. Kecskes, S.N. Mathaudhu, V.H. Hammond, "Effect of grain size on prismatic slip in Mg–3Al–1Zn alloy". Scripta Materialia, 2012, 67, 439–442.
- 11- S. Agnew, W. Whittington, A. Oppedal, H. Kadiri, M. Shaeffer, K.T. Ramesh, J.Bhattacharyya, R. Delorme, B. Davis, "Dynamic behavior of a rare-earth-containing Mg alloy, WE43B-T5, plate with comparison to conventional alloy, AM30-F", JOM, 2014, 66, 277–290.
- 12- F. Zhao, Y. L. Li, T. Suo, W.D. Huang, J.R. Liu, "Compressive deformation behavior of AZ31 magnesium alloy under quasi-static and dynamic loading", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2010, 20, 1316–1320.
- 13- H. Xue, X. Li, W.Zhang, Z. Xing, J. Rao, F. Pan, "Effect of Bi on Microstructure and Mechanical Properties of Extruded AZ80-2Sn", High Temperature Materials and Processes, 2017, 37(1), 97–103.
- 14- K. Nakashima, Z. Horita, M. Nemoto and T. G. Langdon, "Influence of channel angle on the development of ultrafine grained in equal -channel angular pressing", Acta Materialia, 1998, 46, 1588-1599.
- ۱۵- علیرضا صادقی، عباس اکبرزاده، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شریف، ۱۳۸۶
- 16- S.A. Torbati-Sarraf, R. Mahmudi, "Microstructure and mechanical properties of extruded and ECAPed AZ31 Mg alloy, grain refined with Al-Ti-C master alloy", Materials Science and Engineering A, 2010, 527, 3515–3520.
- 17- K. Kim, and J. Yoon, "Evolution of the microstructure and mechanical properties of AZ61 alloy processed by half channel angular extrusion (HCAE), a novel severe plastic deformation process", Materials Science and Engineering A, 2013, 578, 160-166.