



پژوهش‌نامه ریخته‌گری

مقاله پژوهشی:

تأثیر متغیرهای ریخته‌گری نیمه جامد در سطح شیب‌دار بر ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ AXE622

هادی زهیری^۱، سید محسن صدرالسادات‌زاده^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مواد، گروه مهندسی مواد، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی مواد، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

* نویسنده مکاتبه کننده: تلفن: ۰۶۱-۳۳۲۲۶۶۰۰، Email: m.sadrassadat@scu.ac.ir

چکیده:

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۹

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۸

در این پژوهش تأثیر دمای بارریزی، مقدار شیب، نوع قالب و لرزش در فرآیند نیمه جامد به روش سطح شیب‌دار خنک‌کننده بر روی آلیاژ AXE622 (منیزیم-آلومینیم-عناصر نادر خاکی) بررسی گردید. متغیرهای مذکور هر کدام در دو سطح تغییر داده شد و ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای و فلزی نیز انجام گردید. شکسته شدن ساختار دندریتی منیزیم آلفا و تبدیل آنها از ساختار دندریتی به کروی و گل برگی شکل، در ساختارهای نیمه‌جامد حاصل شده به‌طور واضحی مشاهده گردید. با افزایش شیب از ۳۰ به ۶۰ درجه ساختار غیردندریتی توسعه یافته و موجب بهبود استحکام نهایی و انعطاف‌پذیری به ترتیب به میزان ۶۲ و ۱۷ درصد شد. همچنین در مقایسه نتایج سه دمای بارریزی ۶۶۰، ۶۸۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد مشخص شد که دمای ۶۶۰ درجه موجب پر نشدن قالب و دمای ۷۰۰ نیز موجب کاهش خواص مکانیکی می‌شود. در این میان، دمای ۶۸۰ نسبت به ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، افزایش ۳۳ درصدی استحکام نهایی و ۵ درصدی ازدیاد طول را نشان داد. همچنین استفاده از قالب فلزی در مقایسه با ماسه‌ای، باعث ریز شدن دانه‌ها (به میزان ۱۳٪)، ایجاد ساختار غیردندریتی‌تر، افزایش استحکام کششی معادل ۸۱٪ و افزایش ازدیاد طول نسبی به مقدار ۱۵٪ شد. اعمال لرزش در سطح شیب‌دار به ریز شدن ساختار، توزیع بهتر فازهای ثانویه، افزایش سختی و استحکام نهایی کمک کرده، به‌طوری‌که در مقایسه با نمونه بدون لرزش، بهبود استحکام نهایی مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی:

آلیاژهای منیزیم-آلومینیم، نیمه‌جامد،

روش سطح شیب‌دار،

آلیاژ AXE622

ارجاع به این مقاله:

هادی زهیری، سید محسن صدرالسادات‌زاده، تأثیر متغیرهای ریخته‌گری نیمه جامد در سطح شیب‌دار بر ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ AXE622، پژوهش‌نامه ریخته‌گری،

پاییز ۱۴۰۱، جلد ۶، شماره ۲، صفحات ۱۰۳-۱۱۲.

شناسه دیجیتال: (DOI): 10.22034/FRJ.2023.374872.1168

۱- مقدمه

استفاده از مواد ریزکننده در فرآیند ریخته‌گری است که سبب به وجود آمدن ترکیبات بین فلزی پیچیده در ساختار شده و هزینه‌های تولید را نیز افزایش می‌دهد [۱، ۲]. یکی دیگر از روش‌های مؤثر کاهش اندازه دانه، استفاده از فرآیند ریخته‌گری نیمه جامد برای شکستن دندریت‌ها و تولید یک ساختار ریزدانه است. روش‌های مختلفی برای تولید قطعات ریخته‌گری به روش نیمه‌جامد وجود دارد از جمله این موارد می‌توان به روش‌های هم زدن مکانیکی یا مغناطیسی، روش آلتراسونیک و استفاده از سطح شیب‌دار خنک‌کننده اشاره کرد [۳، ۴]. در این میان، روش ریخته‌گری در سطح شیب‌دار خنک‌کننده برای آلیاژهای منیزیم کاربرد بیشتری یافته است. این فرآیند با هزینه نسبتاً پایین

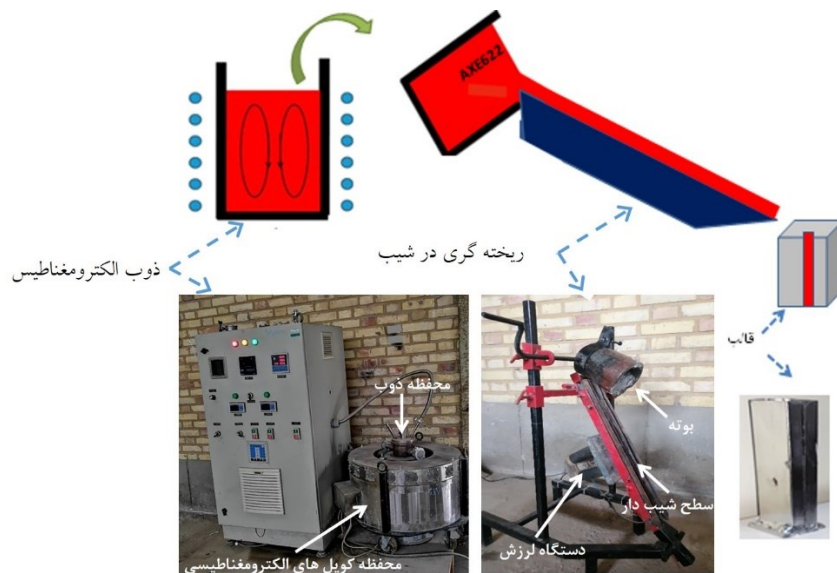
آلیاژهای منیزیم آلومینیم به دلیل خواص خوبی نظیر وزن سبک، استحکام بالا و نسبت سختی به وزن زیاد، به‌طور فزاینده‌ای در صنعت حمل‌ونقل کاربرد یافته‌اند. برای نمونه می‌توان به کاربرد وسیع آلیاژهای منیزیم در صنایع الکترونیک و قطعات تلفن‌های همراه نام برد. همچنین این آلیاژها به دلیل زیست‌سازگاری، در صنایع پزشکی از جمله لوازم ارتوپدی، کاربرد قابل توجهی پیدا کرده‌اند. با این حال، به دلیل استفاده روزافزون آنها، تقویت بیشتر استحکام، امری ضروری است. یکی از روش‌های افزایش استحکام این آلیاژها، ریز کردن آنها است که منجر به افزایش استحکام می‌شود. از جمله روش‌های تحقق هدف یادشده،

در جریان این پژوهش، تأثیر دمای بارریزی، مقدار شیب، نوع قالب و لرزش در فرآیند نیمه جامد به روش سطح شیب‌دار خنک‌کننده بر روی خواص مکانیکی و ریزساختار آلیاژ AXE622 (منیزیم- آلومینیم- عناصر نادرخاکی) بررسی شده است.

۲- مواد و روش پژوهش

در این مطالعه از آلیاژ AXE622 با ترکیب شیمیایی آلومینیم ۵/۶ درصد، کلسیم ۱/۷، عناصر نادر خاکی ۲/۴ درصد و مابقی منیزیم (برحسب درصد وزنی) استفاده و از روش فلورسانس اشعه ایکس به منظور شناسایی ترکیب دقیق آلیاژ استفاده شد. آلیاژ مذکور با ذوب منیزیم خالص (۹۹/۹۹)، آلومینیم خالص (۹/۹۹)، کلسیم خالص و مش متال (با ترکیب $65\pm 3\%Ce, 35\pm 3\%La$ (درصد وزنی)) در کوره ذوب الکترومغناطیسی مدل EMS-VG1100 مجهز به بوته فولادی و تحت خلأ تهیه گردید (شکل ۱). در این کوره، آلیاژسازی و اختلاط کامل مذاب به کمک جریان القایی ناشی از همزن مغناطیس تعبیه‌شده در اطراف بوته صورت گرفت. به منظور تهیه نمونه آلیاژ اولیه، مذاب در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد آماده‌سازی شده و در قالبی از جنس فولاد ساده کربنی ریخته شده و در دمای محیط سرد شد. همچنین از فرآیند ریخته‌گری در سطح شیب‌دار برای تولید نمونه‌های نیمه جامد استفاده شد (شکل ۱). این دستگاه به گونه‌ای طراحی شد که مذاب با شیب مشخصی روی یک صفحه مسی هدایت شده و در قالب ریخته‌گری می‌گردد. دستگاه از یک چهارپایه فولادی، صفحه مسی شیب‌دار، بوته‌گیر و بخش لرزاننده تشکیل شده و طراحی جایگاه سطح شیب‌دار به گونه‌ای است که زاویه شیب آن قابل تغییر است. با استفاده از یک موتور ایجاد کننده ارتعاش و اتصال آن توسط فنرهای فولادی به قسمت تکیه‌گاه سطح شیب‌دار، امکان ایجاد لرزش در این دستگاه فراهم شده است. با روشن کردن موتور، لرزش از طریق این فنرها و با فرکانس برق شبکه (۶۰-۵۰ هرتز) به سطح شیب‌دار منتقل می‌شود. برای ایجاد امکان مقایسه شرایط ریخته‌گری نیمه‌جامد با غیر نیمه‌جامد (معمولی)، یک نمونه غیر نیمه‌جامد (نمونه شماره ۱) تهیه شد. در جدول (۱)، پارامترهای مربوط به نمونه‌های ریخته شده و همچنین متغیرهای نیمه جامد و معمولی نشان داده شده است. پس از ذوب شارژ و آماده‌سازی مذاب، نمونه‌ها با ریختن مذاب روی سطح شیب‌دار و سپس پر شدن در قالب‌های فلزی فولادی و ماسه‌ای (سیلیسی با چسب CO_2) به ابعاد $100 \times 45 \times 25$ میلی‌متر در شرایط مختلف تهیه شدند.

تجهیزات از سوئی و پتانسیل تولید بالا، به همراه مزیت عدم وجود محدودیت در ابعاد، مطرح است [۵]. در این فرآیند، فلز مذاب با فوق ذوب معینی روی سطح شیب‌دار مسی ریخته شده و پس از مسافت معینی وارد قالب می‌شود و پارامترهایی همچون شیب سطح، دمای بارریزی، طول سطح شیب‌دار و نوع قالب ریختگی، از جمله عوامل تأثیرگذار بر ریزساختار قطعه نهایی می‌باشند [۶]. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد در صورتی که شیب سطح کمتر یا بیشتر از حد مطلوب انتخاب شود، ساختار غیردندریتی مناسبی حاصل نخواهد شد [۷]. همچنین انتخاب دمای بارریزی مناسب، در به دست آمدن آلیاژی با ساختار نیمه جامد تأثیرگذار است [۸]. در خصوص ترکیب نیز مشخص شده که افزودن عناصر نادر خاکی به آلیاژ آلومینیم- منیزیم، باعث بهبود ریزساختار و خواص خزشی آن می‌شود [۹]. به‌طور مثال، در صورت افزودن کلسیم به آلیاژ منیزیم- آلومینیم، به دلیل ایجاد ترکیب‌های بین‌فلزی در مرز دانه‌ها، اصلاح ریزساختار و ریز شدن دانه‌ها روی می‌دهد [۱۰]. وانگ کای و همکاران، پارامترهای ریخته‌گری نیمه جامد به روش سطح شیب‌دار خنک‌کننده را برای تولید ترمز موتورسیکلت مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که در دمای کم بارریزی، هسته‌های زیادی در مذاب نیمه جامد ایجاد شده و ریزساختار غیردندریتی مناسب حاصل می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش زاویه سطح شیب‌دار، اندازه ذرات ریزتر شده و میزان کرویت بیشتری مشاهده شد [۷]. گان و همکاران، با تهیه آلیاژ نیمه جامد AZ31 به روش شیب خنک‌کننده (در دماهای بارریزی مختلف) و ایجاد مکانیزم لرزش در این روش، ریزساختار و خواص کششی این آلیاژ را بررسی کردند. مشخص شد که با ایجاد ارتعاش در سطح شیب‌دار و همچنین وجود سرعت خنک‌کنندگی بالا در این روش، شکسته شدن دندریت‌ها بیشتر رخ داده و ریزساختار زمینه، بیشتر کروی می‌گردد. آنها همچنین نشان دادند که دو سبک رشد دانه، یکی رشد مستقیم ذرات کروی و دیگری رشد دندریت‌ها و شکسته شدن آنها در سطح شیب‌دار اتفاق افتاده و نهایتاً منجر به ایجاد ساختار ظریف غیردندریتی می‌شود. [۱۱]. نوروزی و همکاران [۱۲] در روش شیب خنک‌کننده، تأثیر دماهای مختلف (شامل دمای مذاب‌ریزی، دمای سطح شیب‌دار و دمای قالب) را روی ریزساختار و مورفولوژی آلیاژ آلومینیم A356 مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که با کاهش دمای بارریزی، تشکیل و جدا شدن دانه‌ها روی سطح افزایش یافته که سبب از هم‌گسستگی و خرد شدن هرچه بیشتر ساختار دندریتی فاز جامد آلومینیم آلفا می‌شود.



شکل ۱- مراحل تولید نمونه‌ها، به صورت شماتیک (بالا) و تجهیزات واقعی مورد استفاده در این تحقیق (پایین)

جدول ۱- متغیرهای مورد استفاده در نمونه‌های ریخته شده در این پژوهش

ریختگی نیمه جامد					ریختگی معمولی	پارامترها
نمونه ۶	نمونه ۵	نمونه ۴	نمونه ۳	نمونه ۲*	نمونه ۱	
			✓			درجه شیب ۳۰
✓	✓	✓		✓		درجه شیب ۶۰
✓	✓		✓	✓		دمای بارریزی ۶۸۰
		✓			✓	دمای بارریزی ۷۰۰
	✓					اعمال لرزش
✓		✓	✓	✓		بدون لرزش
✓						قالب ماسه‌ای
	✓	✓	✓	✓	✓	قالب فلزی

* نمونه مبنا

شد. تصاویر ریزساختاری از نمونه‌ها، با استفاده از میکروسکوپ نوری مدل MEIJI و میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل LEO1455 VP مجهز به آنالیز طیف‌سنجی تفکیک انرژی EDS ثبت شد. برای تعیین اندازه دانه، از نرم‌افزار MIP4 استفاده گردید و داده‌ها برحسب میکرومتر گزارش شد. به‌منظور کاهش خطا در محاسبه اندازه دانه، از هر نمونه ۳ تصویر، بررسی و میانگین اندازه دانه مشخص شد. به‌منظور بررسی خواص کششی، آزمون کشش با استفاده از دستگاه STM-50 ساخت شرکت SANTAM، با سرعت جابجایی ۰/۶ میلی‌متر بر دقیقه و در دمای اتاق انجام گردید. همچنین به‌منظور اندازه‌گیری سختی نمونه‌های حاصل از روش ریخته‌گری در شیب، آزمون سختی‌سنجی ویکرز تحت بار ۳۰Kg انجام شد. به‌منظور کاهش خطا در به دست آوردن نتایج، اندازه‌گیری مقادیر سختی برای همه نمونه‌ها، در پنج نقطه مجزا گرفته شده و میانگین آنها گزارش شده است.

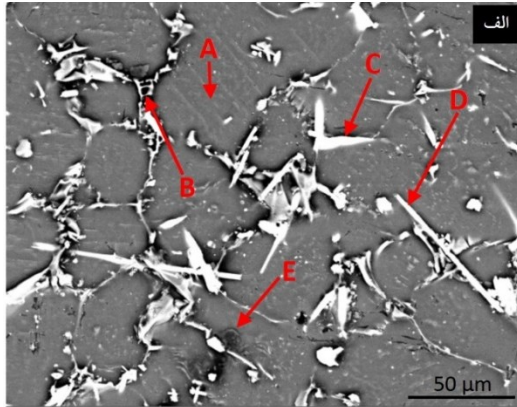
چهار پارامتر شامل زاویه شیب، دمای بارریزی، نوع قالب و اعمال لرزش، استفاده شد. نمونه ۲ به عنوان نمونه مبنا تعیین شد، به گونه‌ای که در ریخته‌گری دیگر نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شماره ۲، فقط کمیت یک متغیر تفاوت داشته باشد. بر این اساس، مقایسه نمونه‌های ۲ و ۳، تأثیر میزان شیب سطح (به‌ترتیب ۶۰ و ۳۰ درجه)، مقایسه نمونه‌های ۲ و ۴، تأثیر درجه حرارت بارریزی مذاب (به‌ترتیب ۶۸۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد)، مقایسه نمونه‌های ۲ و ۵، تأثیر پارامتر لرزش (به‌ترتیب بدون لرزش و با لرزش) و بالاخره، مقایسه نمونه‌های ۲ و ۶ نیز تأثیر جنس قالب (به‌ترتیب فلزی و ماسه‌ای) را نشان می‌دهد.

۲-۳- آزمایش‌های انجام‌شده

نمونه‌هایی با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ میلی‌متر جهت متالوگرافی آماده سازی شد و با محلول اچ (۶۰ میلی‌لیتر گلیکول، ۲۰ میلی‌لیتر اسید استیک، ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱ میلی‌لیتر اسید نیتریک) به مدت ۱۵ ثانیه حکاکی شده، سریعاً شسته و خشک

۳- نتایج و بحث

تحقیقات خود روی آلیاژ منیزیم-آلومینیم حاوی عناصر نادر خاکی، ترکیبات بین فلزی مشابهی را گزارش نموده‌اند [۱۳]. گزارش‌های دیگری نیز حضور این ترکیبات را در ساختار آلیاژهای منیزیم تأیید کرده‌اند [۱۴، ۱۵].



فاز مربوطه	منیزیم	کلسیم	RE	آلومینیم	نقطه آنالیزی
α -Mg	99.3	-	-	0.71	A
$(\text{Mg-AL})_2\text{Ca}$	19.9	38.72	3.7	38.67	B
$\text{Al}_{11}\text{RE}_3$ (سوزنی کوتاه)	25.38	0.67	38.27	35.67	C
$\text{Al}_{11}\text{RE}_3$ (سوزنی بلند)	13.11	0.43	42	34	D
$\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$	68.7	-	-	31.3	E

شکل ۳- الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از ریزساختار نمونه ریخته‌گی معمولی (ب) آنالیز EDS از نقاط مشخص شده در آلیاژ ریخته‌گی معمولی (برحسب درصد وزنی)

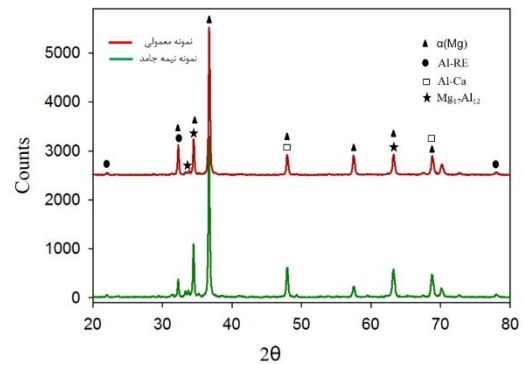
۳-۲- بررسی میکروسکوپی

شکل (۴)، نشان‌دهنده ریزساختار میکروسکوپ نوری نمونه‌های درج شده در جدول (۱) است. شکل (۴ الف و ب) به ترتیب نشان دهنده تصویر میکروسکوپ نوری از ریزساختار آلیاژ مورد پژوهش در دو حالت ریخته‌گری معمولی و نیمه جامد است. همان‌گونه که در شکل نشان داده شده، ساختار فلز ریخته‌گی معمولی به صورت دندریتی و خشن است. در تحقیقی مشابه که بر روی آلیاژ منیزیم-آلومینیم-کلسیم انجام شده، ساختار دندریتی در ریخته‌گی معمولی مشاهده گردید [۱۶]. شکل (۴-ب) تصویر ریزساختار نمونه نیمه‌جامد (نمونه مبنا) را نشان می‌دهد که در این نمونه، مورفولوژی ساختار به صورت غیردندریتی و شامل دانه‌های کروی و گل‌برگی شکل است. در هنگام بارریزی، با عبور جریان مذاب از سطح خنک‌کننده و شیب‌دار، بازوهای دندریتی جوانه‌های در حال رشد، در اثر تلفیق عواملی همچون تلاطم

در این بخش به ترتیب نتایج فازشناسی به کمک پراش اشعه ایکس و آنالیز نقطه‌ای، ارزیابی ریزساختارهای حاصل از میکروسکوپ نوری و الکترونی و مقادیر اندازه دانه ارائه و مورد تحلیل قرار می‌گیرد و در انتها خواص مکانیکی (کشش و سختی سنجی) نمونه‌ها گزارش و متعاقباً مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱- فازشناسی نمونه‌های ریخته‌گی

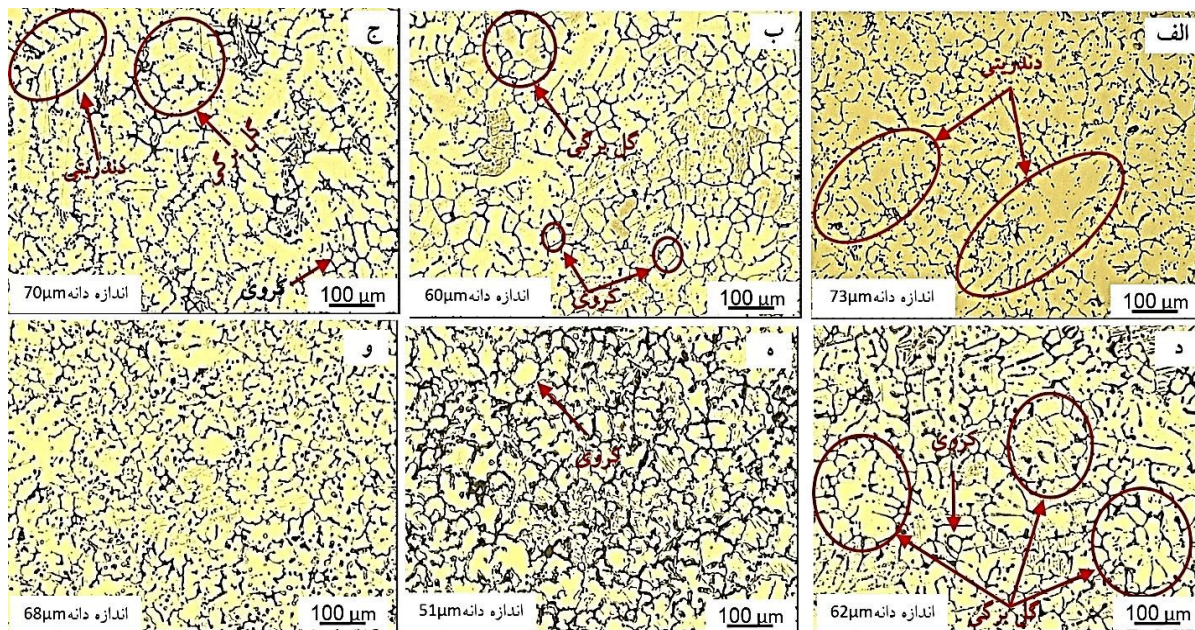
به منظور بررسی فازهای ایجاد شده در ساختار نمونه‌های ریخته‌گی معمولی و نیمه جامد، از پراش اشعه X استفاده گردید (شکل ۲). همان‌گونه که انتظار می‌رفت، فازهای ایجاد شده در ساختار معمولی و نیمه جامد یکسان است. الگوی پراش نشان می‌دهد که ترکیبات حاوی عنصر آلومینیم و عناصر خاکی، محلول جامد منیزیم آلفا و ترکیب $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ در ساختار حضور دارند.



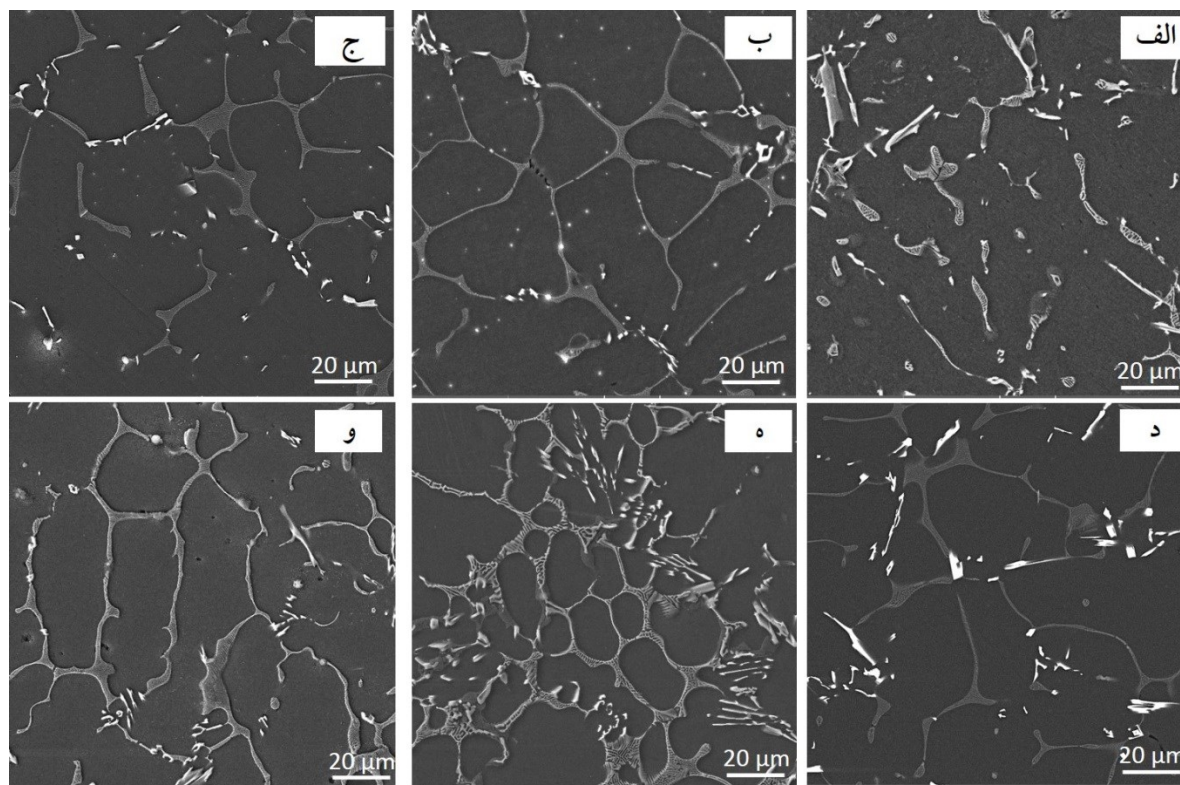
شکل ۲- الگوی پراش XRD از نمونه ریخته‌گی معمولی و نیمه جامد

به منظور اطمینان بیشتر از فازهای آشکار شده (خصوصاً فازهای دارای مقادیر بسیار کم کلسیم و عناصر نادر خاکی)، ریزساختار نمونه‌های ریخته‌گی معمولی با آنالیز EDS متعاقباً مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳).

برای ارزیابی بهتر فازهای موجود، نقاط A تا D روی تصویر ثانویه مشخص شد (شکل ۳-الف) و نتایج آنالیز کمی (EDS) نقاط مذکور به دست آمد (شکل ۳-ب). بررسی جزئیات شکل (۳-الف)، وجود فاز غنی از منیزیم (نقطه A)، فازهای ثانویه (نقاط B، C و D) و فاز یوتکتیکی $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ (نقطه E) را نشان می‌دهد. همان‌گونه که شکل (۳-الف) نشان می‌دهد، مورفولوژی فازهای ثانویه به دو صورت تیغه‌ای (بلند و کوتاه) و شبکه‌ای شکل در ریزساختار حضور دارند. مقایسه ترکیب فازهای یادشده در شکل (۳-ب) نشان می‌دهد که ذرات تیغه‌ای مانند مشاهده شده، فاز $\text{Al}_{11}\text{RE}_3$ بوده در حالی که فازهای با مورفولوژی شبکه‌ای، عمدتاً با ترکیب $(\text{Mg, Al})_2\text{Ca}$ رسوب یافته‌اند. حبیبی و همکاران در



شکل ۴- ریزساختار میکروسکوپ نوری آلیاژ AXE622: الف) نمونه ۱ (ریخته‌گری معمولی)، ب) نمونه ۲ (نمونه مینا)، ج) نمونه ۳، د) نمونه ۴، ه) نمونه ۵، ی) نمونه ۶



شکل ۵- ریزساختار میکروسکوپ الکترونی روبشی آلیاژ AXE622: الف) ریخته‌گری معمولی، ب) نمونه مینا، ج) نمونه ۳، د) نمونه ۴، ه) نمونه ۵، ی) نمونه ۶

مقایسه تک‌تک نمونه‌ها با نمونه مینا (نمونه ۲- شکل ۴-ب)، تأثیر هر یک از متغیرها، بر ساختار مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. مقایسه دو شکل (۴-ب) (۴-ج)، نشان می‌دهد که با افزایش شیب سطح از ۳۰ به ۶۰ درجه، ساختار نظم بهتری به خود گرفته و دانه‌های کروی و گل‌برگی شکل به صورت قابل توجهی افزایش یافته است. اندازه دانه نمونه مینا (نمونه ۲)، ۶۰ میکرومتر درحالی که اندازه دانه نمونه شماره ۳، ۷۰

ایجاد شده، برخورد به صفحه مسی و برخورد جوانه‌های انجمادی به یکدیگر، شکسته شده و در مذاب پخش می‌گردند. در ادامه فرآیند، بازوهای دندردریتی شکسته شده محل‌های جوانه‌زنی جدیدی را به وجود آورده که سبب ایجاد ساختار غیردندردریتی در نمونه‌های نیمه جامد می‌شود [۶]. اعمال فرآیند نیمه‌جامد سبب شده تا متوسط اندازه دانه در نمونه مینا نسبت به نمونه ریخته‌گری معمولی ۲۱ درصد کاهش پیدا کند. در ادامه این بخش، با

میکرومتر است. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که با افزایش شیب، نیروی گرانشی وارد بر مذاب و برخورد ذرات به سطح افزایش یافته که به تبع آن دندریته‌های بیشتری شکسته شده و محل‌های جوانه‌زنی افزایش می‌یابد [۱۷، ۱۸]. بنابراین با افزایش شیب در ریخته‌گری سطح شیب‌دار، با شکستن دندریته‌های اولیه منیزیم آلفا، نیروی محرکه جوانه‌زنی افزایش یافته که در نتیجه سبب کاهش اندازه دانه این فاز می‌شود. در مقابل، ریخته‌گری در شیب ۳۰ درجه (شکل ۴ ج) نه تنها سبب درشت شدن دانه‌ها شده بلکه ساختار دندریتی را نیز در ریزساختار حفظ کرده است. این امر ناشی از ناکافی بودن سرعت حرکت مذاب برای شکستن کامل دندریته‌ها است. در مطالعه‌ای مشابه [۱۹]، با ریخته‌گری آلیاژ AZ91 در سطح شیب‌دار و انتخاب شیب ۳۰ درجه، ساختار دندریتی مشاهده شد.

در این پژوهش سه دمای بارریزی ۶۶۰، ۶۸۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز به عنوان دمای بارریزی انتخاب شدند ولی به دلیل ایجاد عیب نیامد مذاب در دمای ۶۶۰ درجه سانتی‌گراد، از دو دمای انتخابی دیگر استفاده گردید. شکل‌های (۴-ب) و (۴-د) نشان دهنده ریزساختار میکروسکوپ نوری آلیاژ AXE622 در دمای بارریزی ۶۸۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد است. همان‌گونه که در شکل (۴-ب) نشان داده شده است، در دمای ریخته‌گری ۶۸۰ درجه سانتی‌گراد دانه‌های کروی و گل‌برگی شکل، شکل گرفته‌اند در حالی که با افزایش دمای بارریزی، ساختار کروی کمتر شده است و ساختار گل‌برگی شکل افزایش یافته است (شکل ۴-د). کم کردن دمای بارریزی باعث کمتر شدن منطقه ستونی می‌شود که این موضوع به کروی شدن دانه‌های انجمادی کمک می‌کند. نمونه‌ای که در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد ریخته‌گری شده، کروی شدن دانه‌ها کمتر دیده می‌شود که از علائم آن می‌توان به باز بودن مرزها اشاره کرد. نمونه‌ای که در دمای ۶۸۰ درجه سانتی‌گراد ریخته‌گری شده، مرزهای بسته بیشتری را در ساختار نشان می‌دهد. در نتیجه در دمای ۶۸۰، فرآیند نیمه جامد به صورت کامل‌تری نسبت به دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام شده است. مطالعه قبلی نشان می‌دهد که برای به دست آوردن بهینه ساختار کروی در فرآیند ریخته‌گری سطح شیب‌دار می‌بایست با افزایش دمای بارریزی، طول سطح شیب‌دار نیز باید افزایش یابد تا کسر جامد کافی جهت اعمال تنش برشی برای شکستن دندریته‌ها فراهم گردد [۲۰]. در نتیجه می‌توان گفت در طول ثابت سطح شیب‌دار، با افزایش دمای بارریزی به ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، شکستن دندریته‌ها به اندازه کافی صورت نگرفته که همین امر سبب کاهش میزان کرویت در نمونه با دمای بارریزی بیشتر است.

شکل‌های (۴-ب) و (۴-ه) به ترتیب نشان دهنده تصویر میکروسکوپ نوری ریزساختار نمونه بدون لرزش (نمونه شماره ۲) و نمونه تحت لرزش (نمونه ۵) در سطح شیب‌دار ریخته‌گری است. مقایسه دو تصویر نشان می‌دهد که ایجاد لرزش در طی فرآیند بارریزی سبب کاهش اندازه دانه و توزیع یکنواخت‌تر دانه‌ها می‌شود. اندازه دانه در نمونه تحت لرزش (نمونه ۵)، ۵۱ میکرومتر است که نسبت به اندازه دانه نمونه مینا (۶۰ میکرومتر) کاهش محسوس داشته است. با اعمال مکانیزم لرزش، علاوه بر نیروی تلاطمی مذاب بر روی سطح شیب‌دار، نیروی جنبشی ناشی از لرزش نیز به کریستال‌های انجمادی و مذاب وارد می‌شود که باعث شکسته شدن بیشتر بازوهای دندریتی فاز اولیه منیزیم آلفا می‌شود [۱۳]. در واقع با ایجاد لرزش، تنش برشی اعمالی به دندریته‌ها بیشتر شده، دندریته‌ها بیشتر شکسته شده و در نتیجه ساختار ریزدانه‌تری حاصل می‌شود. رنگان و همکاران، تأثیر لرزش را بر روی ساختار آلیاژ منیزیم-آلومینیم بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که لرزش باعث جدا شدن کریستال‌های جامد شده از سطح شیب‌دار و وارد شدن آنها به مذاب شده و به صورت مؤثرتری در مذاب توزیع شوند [۲۱].

ریزساختار میکروسکوپ نوری از نمونه ریخته شده در قالب فلزی (نمونه مینا) و ماسه‌ای (نمونه شماره ۶) در شکل (۴-ب)، نشان داده شده است. اندازه دانه نمونه ریخته شده در قالب ماسه‌ای ۶۸ میکرومتر است که در مقایسه با نمونه مینا (قالب فلزی) افزایش ۱۳ درصدی پیدا کرده است. در قالب فلزی به دلیل سریع سرد شدن مذاب، مکان‌های جوانه‌زنی بیشتری ایجاد شده و لذا ساختاری با دانه‌بندی ریزتر ایجاد می‌شود. چنین ریزساختاری معمولاً از یکنواختی بیشتری برخوردار است (شکل ۴-ب). وقتی که مذاب نیمه جامد در قالب ماسه‌ای بارریزی می‌شود، به دلیل اینکه سرعت انتقال حرارت در این قالب کمتر است، مکان جوانه زنی نسبت به قالب فلزی کمتر است. در نتیجه نمونه قالب ماسه‌ای دارای ساختاری با دانه‌های درشت و تقریباً غیریکنواخت خواهد بود. مشابه با مطالعات، با ریخته‌گری آلیاژ نیمه‌جامد آلومینیم-سیلیسیم، ساختار درشت‌دانه را در قالب ماسه‌ای نسبت به قالب فلزی گزارش شد [۲۲].

در شکل (۵) ریزساختار حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌های مختلف (شماره ۱ تا ۶ جدول ۱) نشان داده شده است. شکل ۵ (الف و ب) به ترتیب نشان‌دهنده تصویر الکترونی ساختار نمونه ریختگی شده به روش معمولی (نمونه شماره ۱) و ساختار ریختگی نیمه‌جامد (نمونه شماره ۲) است. مقایسه دو شکل نشان می‌دهد که در ساختار ریختگی نمونه معمولی، فازها و ترکیبات بین فلزی به صورت پراکنده در زمینه آلیاژ پخش شده و دارای

ماسه‌ای نسبت به نمونه مینا (شکل ۵ ب) دارای اندازه‌های بزرگ‌تری هستند که این موضوع با وضوح بیشتری در ریزساختارهای نوری قابل مشاهده است (شکل ۴). سرعت کم انتقال حرارت در قالب ماسه‌ای سبب درشت شدن دانه‌های منیزیم آلفا در این ساختار شده است.

۳-۳- بررسی خواص کششی

خواص کشش نمونه‌های ریختگی شده تحت متغیرهای متفاوت ریختگی، در شکل (۶-الف) نشان داده شده است. همچنین نتایج عددی آزمون‌های صورت گرفته در جدول شکل (۶-ب) آورده شده است. مقایسه داده‌های جدول موجود در شکل نشان می‌دهد که نمونه نیمه جامد (مینا) در مقایسه با نمونه غیر جامد، استحکام تسلیم به میزان ۲۱ درصد، استحکام نهایی به میزان ۱۵۵ درصد و درصد ازدیاد طول به میزان ۵۹ درصد، افزایش نشان می‌دهد. از جمله عواملی که باعث کاهش استحکام در قطعات ریختگی غیر نیمه جامد می‌شود، وجود عیوب مانند مک‌های گازی در ریزساختار است، در حالی که در ریخته‌گری نیمه‌جامد، عیوب ذکر شده به شکل قابل توجهی کاهش می‌یابند. از سویی، تحت تأثیر فرآیند نیمه‌جامد، تشکیل دانه‌های کروی و گل‌برگی شکل و همچنین ریز شدن دانه در اثر شکست بازوهای اولیه و ثانویه دندریته‌ها سبب بهبود استحکام کششی، استحکام نهایی و درصد ازدیاد طول نمونه نیمه‌جامد می‌گردد [۱۰، ۲۴].

با توجه به نمودار مقایسه‌ای نمونه ۲ و ۳ در شکل (۶-الف)، با دو برابر شیب قالب، استحکام کششی و درصد ازدیاد طول به ترتیب ۶۲ و ۱۷ درصد بهبود پیدا کرده است در حالی که استحکام تسلیم تغییر چشم‌گیری نداشته است. همان‌گونه که در بخش ریزساختاری بیان گردید، با افزایش شیب ریخته‌گری، اندازه دانه به‌صورت قابل قبولی کاهش می‌یابد. این عامل تأثیر به‌سزایی در بهبود خواص مکانیکی فلز نیمه جامد دارد. همچنین نمونه تولید شده در شیب ۳۰ درجه درصد ازدیاد طول کمتری را نشان می‌دهد (جدول ۶-ب). در واقع می‌توان گفت به دلیل اینکه ساختار به درستی کروی نشده، انعطاف‌پذیری نمونه ۳ کمتر از نمونه مینا است. مقایسه خواص کششی نمونه‌های ریختگی شده در دماهای بارریزی ۶۸۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد در شکل ۶ الف نشان داده شده است. داده‌های جدول شکل (۶-ب) نشان می‌دهد که استحکام نهایی و درصد ازدیاد طول نمونه ریخته‌گری شده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به نمونه مینا به ترتیب به میزان ۲۳ و ۵ درصد کاهش یافته است.

نظم خاصی نیستند. در تحقیقی که چائوبی و همکارانش روی آلیاژ منیزیم-آلومینیم انجام دادند، توزیع فازهای ثانویه این آلیاژ به‌صورت مشابهی، پراکنده و نیمه‌پیوسته گزارش شده است [۱۶]. ترکیبات بین فلزی در نمونه نیمه‌جامد، بیشتر در زمینه و در مرزخانه‌ها پخش شده و سبب ایجاد ساختارهای کروی و گل‌برگی شکل شده است. نامی و همکاران [۱۴] نیز با بررسی ساختار آلیاژ منیزیم-آلومینیم، مورفولوژی کروی و به‌صورت پیوسته و نیمه‌پیوسته را در ساختار آلیاژ مشاهده کردند.

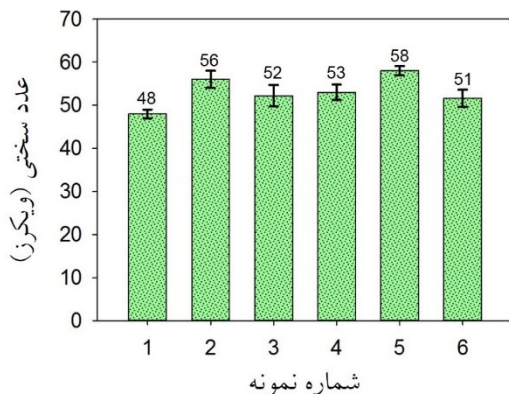
تصویر میکروسکوپ الکترونی از ریزساختار نمونه ریخته‌گری شده در شیب ۳۰ و ۶۰ درجه در شکل (۵-ب و ج) نشان داده شده است. همان‌گونه که در تصویر نشان داده شده است با افزایش شیب ریخته‌گری، نرخ برش اعمالی به فازهای $Al_{11}RE_3$ و Mg (Ca_2Al) افزایش یافته و شکسته می‌شوند. فازهای ثانویه شکسته شده برای کاهش انرژی سطح خود در مرزهای عمدتاً کروی و گل‌برگی شکل قرار می‌گیرند. در نتیجه ریخته‌گری در شیب ۶۰ درجه، ریزساختار بهتری را نسبت به ۳۰ درجه نشان می‌دهد. ژانگ و همکاران، در نتایج شبیه‌سازی و عملی خود، شیب ۶۰ درجه را برای ریخته‌گری آلیاژ AZ91 به‌منظور دستیابی به ساختار مناسب‌تر یافتند [۲۳]. اثر دمای بارریزی بر توزیع فازهای ثانویه در شکل (۵-ب و د) به ترتیب ۶۸۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل (۵-د) دیده می‌شود، یکنواختی توزیع یکنواخت فازهای ثانویه در مرزها نسبت به نمونه مینا کاهش یافته است. با افزایش دمای بارریزی میزان کسر جامد روی شیب سردکننده کمتر می‌شود، از این رو بیشتر مذاب درون قالب مایع است. در نتیجه با کاهش کسر جامد، شکسته شدن فازهای ثانویه نیز کمتر رخ می‌دهد. شکل (۵-ب و ه) به ترتیب تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از ساختار نمونه تحت لرزش و نمونه بدون لرزش را نشان می‌دهد. مکانیزم لرزش به‌گونه ایست که نحوه توزیع و مورفولوژی دانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با ایجاد لرزش، امکان شکسته شدن بازوهای دندریته‌ی فاز زمینه منیزیم آلفا افزایش یافته که خود عاملی جهت ایجاد مکان‌های جدید جوانه‌زنی است، از سویی ارتعاش سبب توزیع بهتر فازهای ثانویه مانند $Al_{11}RE_3$ و Mg (Ca_2Al) در مرزها می‌شود که در نتیجه آن، ساختار کروی توسعه یافته است و مرزهای دانه‌ها بیشتر بسته می‌شوند. مطالعه قبلی نشان می‌دهد که لرزش باعث افزایش انرژی جنبشی مذاب شده که در نتیجه آن ذرات برای کاهش این انرژی به سمت کروی شدن خواهند رفت [۱۳]. در شکل (۵-و) تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌ی قالب ماسه‌ای نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود دانه‌های تشکیل شده در نمونه قالب

۴۵ مگاپاسکال بیشتر یافته که دلیل اصلی ریز شدن دانه‌ها بر اثر اعمال لرزش ذکر شده است. [۲۶].

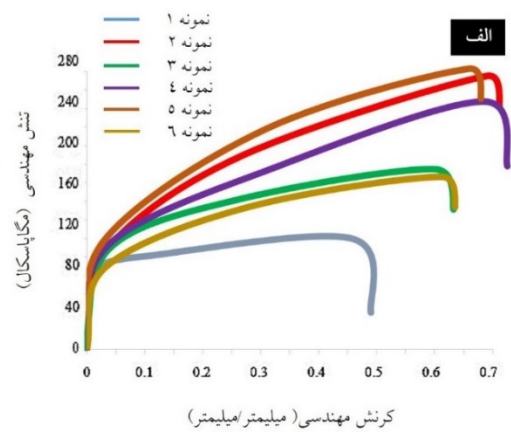
نتایج آزمون کشش در دو قالب فلزی و ماسه‌ای (شکل ۶-الف) نشان می‌دهد که خواص کششی نمونه تولیدی در قالب ماسه‌ای کمتر از قالب فلزی است. همان‌گونه که قبلاً بیان گردید ساختار نمونه ریخته شده در قالب ماسه‌ای شامل دانه‌های درشت است در حالی که نمونه نیمه جامد حاوی دانه‌های گلوبولار و گل‌برگی شکل منیزیم آلفا است. در نتیجه ساختار غیردندریتی نمونه تولید شده در قالب فلزی و همچنین وجود عیوب کمتر در این نمونه، سبب افزایش ۸۱ درصد استحکام نهایی و ۱۵ درصدی ازدیاد طول آن شده است. مطالعه قبلی نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده است [۲۲].

۳-۴- تأثیر پارامترهای سطح شیب‌دار بر سختی

نتایج سختی‌سنجی از نمونه‌های ریخته‌گری شده، در شکل (۷) نشان شده است. همان‌گونه که در جدول دیده می‌شود، کمترین سختی مربوط به نمونه ریخته‌گری معمولی (۴۸ ویکرز) است در حالی که فرآیند نیمه جامدسازی سبب بهبود سختی آلیاژ AXE622 شده است. عواملی همچون درشت شدن دانه‌ها و وجود عیوب ریخته‌گری ماسه‌ای سبب کاهش قابل توجه سختی نمونه غیر نیمه جامد شده است. مقایسه سختی نمونه‌های نیمه جامد تولید شده نشان می‌دهد که ایجاد لرزش در سطح شیب‌دار (نمونه ۵) سبب تولید آلیاژی با بیشترین سختی (۵۸ ویکرز) می‌شود. زیرا لرزش سبب اصلاح ریزساختار فلز نیمه‌جامد و توزیع یکنواخت‌تر فازهای ثانویه در مرز دانه به صورت قابل توجهی شده است. همچنین افزایش دمای بارریزی از ۶۸۰ به ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد سبب کاهش جزئی در مقادیر سختی شده است. افزایش شیب قالب از ۳۰ به ۶۰ درجه به بهبود ساختار و افزایش سختی منجر شده است. مقایسه عدد سختی نمونه تولید شده در قالب ماسه‌ای و فلزی نشان‌دهنده کاهش جزئی در سختی نمونه شده است [۹، ۱۶].



شکل ۷- سختی نمونه‌های ریخته‌گری شده در روش‌های مختلف



نمونه	استحکام تسلیم (مگاپاسکال)	استحکام نهایی (مگاپاسکال)	درصد ازدیاد طول (%)
۱	۷۰	۱۰۱	۴۲
۲	۸۵	۲۵۸	۶۶۷
۳	۸۸	۱۵۹	۵۷
۴	۸۰	۲۱۰	۶۳۴
۵	۸۰	۲۶۶	۶۱
۶	۷۷	۱۴۲	۵۸

شکل ۶- مقایسه نتایج آزمون کشش: الف) نمونه‌های ۱-۶، ب) جدول نتایج استحکام تسلیم، کششی و درصد ازدیاد طول نمونه

جی ماوو و همکاران [۲۵]، تأثیر دمای بارریزی را بر استحکام آلیاژ منیزیم-آلومینیم-کلسیم تهیه شده به روش رئودایکست بررسی کردند. آنها نشان دادند که با افزایش دمای بارریزی از ۵۹۳ به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل تغییرات مورفولوژی در ساختار منیزیم آلفا استحکام آلیاژ کاهش یافت. در نتیجه با افزایش دمای بارریزی، کسر جامد اولیه برای شکستن دندریت‌ها و ایجاد ساختار کروی و گلبرگی کاهش یافته که می‌تواند سبب کاهش خواص مکانیکی آلیاژ در دماهای بارریزی بالاتر شود. مقایسه مقادیر مربوط به استحکام کششی، استحکام تسلیم و درصد ازدیاد طول نمونه بدون لرزش (نمونه مینا) و نمونه با لرزش (شکل ۶ الف) نشان می‌دهد که با اعمال لرزش، خواص مکانیکی آلیاژ بهبود یافته است. مقادیر استحکام نهایی به میزان ۳ درصد افزایش یافته در حالی که انعطاف‌پذیری به میزان ۹ درصد نسبت به حالت بدون لرزش کاهش یافته است. با اعمال لرزش در سطح شیب‌دار، هسته‌های انجمادی بیشتری شکسته و ریزساختار آلیاژ ریزدانه خواهد شد که این پدیده در مقایسه تصاویر متالوگرافی، پیش‌تر مشاهده شد (شکل ۴-۵). به این ترتیب بر اساس رابطه هال-پچ با ریز شدن ذرات، استحکام افزایش خواهد یافت. در تحقیقی که بر روی آلیاژ A356 انجام گردیده، خواص مکانیکی آلیاژ، افزایش قابل توجهی نسبت به حالت بدون لرزش پیدا کرد. به‌طور مثال استحکام نهایی به میزان

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، تأثیر متغیرهای ریختگی بر ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ منیزیم AXE622 تولید شده به روش ریخته‌گری در سطح شیب‌دار خنک‌کننده بررسی شد. نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱. آلیاژ مذکور به طور موفقیت‌آمیزی با استفاده از ذوب در کوره الکترومغناطیس و ریخته‌گری در سطح شیب‌دار تولید و ساختار نیمه‌جامد (غیردندریتی با دانه‌های کروی و گل‌برگی)، حاصل شد.
۲. افزایش شیب قالب، سبب شکسته شدن بیشتر دندریته‌ها، افزایش کرویت فاز منیزیم آلفا و تشکیل دانه‌های گل‌برگی و نیز کروی شکل شد. افزایش شیب از ۳۰ به ۶۰ درجه، موجب بهبود استحکام نهایی و انعطاف‌پذیری، به ترتیب به میزان ۶۲ و ۱۷ درصد شد.
۳. کاهش دمای ذوب به زیر ۶۸۰ درجه سانتی‌گراد، باعث انجماد زودرس شده و انتخاب دمای بالاتر از ۶۸۰ نیز موجب کاهش استحکام شد. انتخاب دمای ۶۸۰ نسبت به ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، افزایش ۳۳ درصدی استحکام نهایی و ۵ درصدی ازدیاد طول را نشان داد و در نتیجه، دمای ۶۸۰ درجه سانتی‌گراد به عنوان دمای مناسب ریخته‌گری در سطح شیب‌دار برای این آلیاژ، تعیین شد.
۴. استفاده از لرزش، سبب اعمال تنش برشی مضاعف به دندریته‌ها، شکسته شدن آن‌ها و در نتیجه حصول ساختار همگن‌تر شد و موجب بهبود استحکام نهایی در مقایسه با نمونه بدون لرزش گردید.
۵. حضور بیشتر ساختار کروی و گل‌برگی منیزیم آلفا و نیز ریزدانه‌تر شدن آن در قالب فلزی نسبت به قالب ماسه‌ای سبب افزایش استحکام نهایی و درصد ازدیاد طول به میزان ۸۱ و ۱۵ درصد شد.
۶. اصلاح ریزساختاری در نمونه‌ها سبب شده تا نمونه متأثر از لرزش، بیشترین سختی (معادل ۵۸ ویکرز) را داشته باشد، در حالی که نمونه ریختگی معمولی، کمترین سختی (۴۸ ویکرز) را دارد. کاهش شیب قالب، افزایش دمای بارریزی و استفاده از قالب ماسه‌ای به ترتیب سبب کاهش ۷، ۵/۶ و ۸/۵ درصدی در سختی نمونه‌ها، نسبت به نمونه مبنا شد.

مراجع

- [3] Kolahdooz A., Nourouzi S., Bakhshi Jooybari M., Hosseinipour S.J., Experimental investigation of the effect of temperature in semisolid casting using cooling slope method, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 2016, 230, 316-325.
- [4] Schmid S.R., Hamrock B.J., Jacobson B.O., Fundamentals of machine elements, CRC Press, 2013.
- [5] عمادی ر.، هاشمی م.ح.، فرآیندهای پیشرفته ریخته‌گری، دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ اول، ۱۳۹۴.
- [6] Kumar S.D., Mandal A., Chakraborty M., Cooling slope casting process of semi-solid aluminum alloys: a review, Int. J. Eng. Res. Technol., 2014, 3, 269-283.
- [7] Wang K., Liu C.M., Han Z.T., Cao J., Zhang Z., Research on semi-solid thixoforming process of AZ91D magnesium alloy brackets for generators in JH70-type motorbikes, Rare Metals-Beijing-English Edition, 2005, 24, 381.
- [8] Zhang Y., Xie S.S., Geng M.P., Guo H.M., Zhao H.B., Xu J.H., Coupled numerical simulation of process in Rheocasting-rolling for semi-solid magnesium alloy used by slope, Advanced Materials Research, Trans Tech Publ, 2010, 681-686.
- [9] Roodposhti P. S., Sarkar A., Murty K.L., Scattergood R.O., Effects of microstructure and processing methods on creep behavior of AZ91 magnesium alloy, Journal of Materials Engineering and Performance, 2016, 25, 3697-3709.
- [10] Khosravani A., Aashuri H., Davami P., Narimannezhad A., Foroughi A., Kiani M., Microstructural evolution of AZ91 alloy containing 3% Ca prepared by cooling slope, Solid State Phenomena, Trans. Tech. Publ., 2008, 427-432.
- [11] Guan R.G., Zhao Z.Y., Cao F.R., Sun X.P., Zhang Q.S., Microstructure formation and mechanical properties in AZ31 alloy processed by continuous rheo-extrusion, Advanced Materials Research, Trans Tech Publ, 2011, 353-360.
- [12] Nourouzi S., Bakhshi M., Kolahdooz A., Hosseinipour S.J., Effect of temperature on the Microstructure of semi-solid casting in cooling slope method, Aerospace Mechanics Journal, 2013, 9, 55-65.
- [13] Eftekhari A.H., Sadrossadat S.M., Reihanian M., Microstructural investigation and high temperature mechanical behavior of AXE622 cast Mg alloy, Metals and Materials International, 2022, 28, 1062-1074.
- [14] Nami B., Shabestari S., Razavi H., Mirdamadi S., Miresmaeili S., Effect of Ca, RE elements and semi-solid processing on the microstructure and creep properties of AZ91 alloy, Materials Science and Engineering: A, 2011, 528, 1261-1267.
- [15] Kondori B., Mahmudi R., Effect of Ca additions on the microstructure and creep properties of a cast Mg-Al-Mn magnesium alloy, Materials Science and Engineering: A, 2017, 700, 438-447.
- [16] Chaubey A., Scudino S., Prashanth K., Eckert J., Microstructure and mechanical properties of Mg-Al-based alloy modified with cerium, Materials Science and Engineering: A, 2015, 625, 46-49.
- [17] Qin Q., Zhao Y., Cong P., Zhou W., Xu B., Semisolid microstructure of Mg₂Si/Al composite by cooling slope cast and its evolution during partial remelting process, Materials Science and Engineering: A, 2007, 444, 99-103.
- [18] Salarfar S., Akhlaghi F., Influence of pouring conditions in the inclined plate process and reheating on the microstructure of the semisolid A356 aluminum alloy, Proc of Int. Conf. on Semisolid Proc of Alloys and Composites, 2004.
- [1] Musfirah A., Jaharah A., Magnesium and aluminum alloys in automotive industry, Journal of Applied Sciences Research, 2012, 8, 4865-4875.
- [2] Mizutani Y., Tamura T., Miwa K., Microstructural refinement process of pure magnesium by electromagnetic vibrations, Materials Science and Engineering: A, 2005, 413, 205-210.

- [23] Du X., Zhang E., Microstructure and mechanical behaviour of semi-solid die-casting AZ91D magnesium alloy, *Materials Letters*, 2007, 61, 2333-2337.
- [24] Jiang J.F., Luo S.J., Preparation of semi-solid billet of magnesium alloy and its thixoforming, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2007, 17, 46-50.
- [25] Mao J., Liu W., Wu G., Fan J., Cheng D., Wei G., Zhang L., Ding W., Xie C., Semi-solid slurry preparation, rheo-die casting and rheo-squeeze casting of an AZ91-2Ca-1.5 Ce ignition-proof magnesium alloy by gas-bubbling process, *Journal of Materials Research*, 2017, 32, 677-686.
- [26] Kund N., Effect of tilted plate vibration on solidification and microstructural and mechanical properties of semisolid cast and heat-treated A356 Al alloy, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2018, 97, 1617-1626.
- [19] Chen T., Jiang X., Ma Y., Li Y., Hao Y., Effect of initial as-cast microstructure of AZ91D magnesium alloy on its semisolid microstructure, *Journal of alloys and compounds*, 2010, 505, 476-482.
- [20] Kolahdooz A., Dehkordi S.A., Effects of important parameters in the production of Al-A356 alloy by semi-solid forming process, *Journal of Materials Research and Technology*, 2019, 8, 189-198.
- [21] Guan R.G., Zhao Z.Y., Dai C.G., Lee C.S., Liu C.M., A novel semisolid rheo-rolling process of AZ31 alloy with vibrating sloping plate, *Materials and manufacturing processes*, 2013, 28, 299-305.
- [22] Mabrouk W., Moussa M., Abdelwahab S., Ali A., Effect of the pouring temperature on microstructure and tensile properties of A356 aluminum alloy via semisolid casting using slope cooling plate, *The Bulletin Tabbin Institute for Metallurgical Studies (TIMS)*, 2021, 109, 12-24.



IRANIAN FOUNDRYMEN'S
SOCIETY

Founding Research Journal

Research Paper:

Effect of Slope Casting Parameters on the Microstructure and Mechanical Properties of AXE622 Alloy

Hadi Zahiri¹, Seyed Mohsen Sadrossadat^{*2}

1. M.Sc. Student, in Materials Engineering, Faculty of Materials Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2. Assistant Professor, Division of Materials Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

* Corresponding author, m.sadrossadat@scu.ac.ir

Paper history:

Received: 30 November 2022

Accepted: 28 April 2023

Keywords:

Magnesium-Aluminum Alloys,
Semi-Solid Processing,
Slope Casting,
AXE622 alloy.

Abstract:

In this study, the effect of slope casting parameters including pouring temperature, slope angle, mold material, and vibration on the microstructure and mechanical properties of AXE622 alloy (Mg-Al-RE) was investigated. The mentioned parameters were changed at two levels. It is clearly observed that in this process, the shape of the α -Mg dendrites changes to the globular and rosseta shape morphology in the matrix. Increasing the slope from 30 to 60°, caused the development of non-dendritic (spherical) structure, increased the ultimate strength (62%), and improved the elongation by 17%. Selecting the melting temperature of 680 and 700 °C caused the short run and decreased the ultimate strength, respectively. In this regard, by pouring the melt at 680 °C, the semi-solid casting was successfully completed and the mechanical properties of the alloy were improved. Comparing to the pouring temperature of 700 °C, at the pouring temperature of 680 °C, ultimate strength and elongation increase by 33% and 5%, respectively. The results indicated that the mold material change from sand to metal, led to decrease in the average of grain size (13%), less dendritic structures, increasing ultimate strength and elongation by 81% and 15% respectively. Applying vibration to the slope surface, led to reduce average grain size, increase hardness and ultimate strength, so that the ultimate strength increased by 3% compared to the sample without vibration.

Please cite this article using:

Hadi Zahiri, Seyed Mohsen Sadrossadat, Effect of slope casting parameters on the microstructure and mechanical properties of AXE622 alloy, in Persian, *Founding Research Journal*, 2022, 6(2) 103-112.

DOI: 10.22034/FRJ.2023.374872.1168

Journal homepage: www.foundingjournal.ir