

## پژوهش‌نامه ریخته‌گری

### مقاله پژوهشی:

## اثر جوانه‌زاهای پایه سیلیسیم و باریم بر ریزساختار و خواص مکانیکی قطعات ریختگی چدن نشکن فریتی

محمد باقر لیمویی<sup>۱</sup>، شبنم حسینی<sup>۱</sup>، پیمان عمرانیان محمدی<sup>۲</sup>، علی نجاریان<sup>۲</sup>، حمید عمرانی<sup>۲</sup>،  
محمد حسین زاده<sup>۲</sup>، مصطفی افرازیده<sup>۲</sup>

۱- استادیار، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله املی، آمل

۲- دانشگاه جامع علمی کاربردی، مرکز فولادین ذوب آمل، آمل

نویسنده مکاتبه کننده: محمد باقر لیمویی، m.b.limooei@iaumol.ac.ir

### چکیده:

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۳

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۳

در این مقاله اثرات ترکیب شیمیایی و مقدار جوانه‌زا بر مشخصه‌های ریزساختار به ویژه مقدار فریت و تعداد کره‌های گرافیتی و خواص مکانیکی شامل استحکام کششی و سختی چدن نشکن فریتی بررسی شدند. به این منظور از نمونه بدون جوانه‌زا و دو جوانه‌زا پایه سیلیسیم و باریم با مقادیر مختلف ۰/۱ درصد، ۰/۱۵ درصد و ۰/۲ درصد استفاده شد. نتایج نشان داد که به طور کلی افزایش جوانه‌زا باعث افزایش مقدار فریت از ۷۵ درصد به ۹۰ درصد و تعداد کره‌های گرافیتی از ۱۲۵ به ۱۷۵ عدد شد اما استحکام کششی و سختی کاهش یافته است به طوری که استحکام نهایی کشش از ۵۵۰ مگاپاسکال برای شرایط بدون جوانه‌زا در حضور جوانه‌زاهای پایه باریم و سیلیسیم به ترتیب به ۴۶۰ و ۴۴۰ مگاپاسکال و سختی از ۱۷۸ برینل برای شرایط بدون جوانه‌زا در حضور جوانه‌زاهای پایه باریم و سیلیسیم به ترتیب به ۱۶۵ و ۱۶۳ برینل رسیده است. در مقایسه دو جوانه‌زا، تفاوت چندانی از لحاظ ریزساختاری مشاهده نشد اما از لحاظ خواص مکانیکی در نمونه‌های با جوانه‌زا پایه باریم نتایج مطلوب‌تری حاصل شد.

### واژه‌های کلیدی:

چدن نشکن فریتی،  
جوانه‌زا،  
ریزساختار،  
باریم،  
سیلیسیم.

### ارجاع به این مقاله:

محمد باقر لیمویی، شبنم حسینی، پیمان عمرانیان محمدی، علی نجاریان، حمید عمرانی، محمد حسین زاده، مصطفی افرازیده، اثر جوانه‌زاهای پایه سیلیسیم و باریم بر ریزساختار و خواص مکانیکی قطعات ریختگی چدن نشکن فریتی، پژوهش‌نامه ریخته‌گری، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، جلد ۵، شماره ۳، صفحات ۲۱۵-۲۲۲.

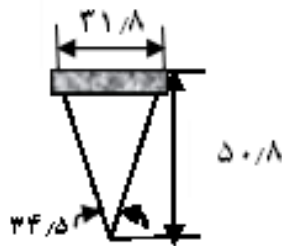
شناسه دیجیتال: (DOI): 10.22034/FRJ.2022.330961.1153

### ۱- مقدمه

شده‌اند [۶-۹]. اما کنترل شرایط انجمادی و سرعت سرد شدن جهت دستیابی به ریزساختار و نهایتاً خواص مطلوب از مشکلات اصلی در ریخته‌گری قطعات چدن نشکن است. [۱۰-۱۳]. عملیات جوانه‌زنی در حل این مشکل بسیار مهم است زیرا یکنواختی ساختار چدن را بهبود داده، به حذف کاربیدها کمک می‌کند و تشکیل گرافیت‌ها در طی انجماد یوتکتیک را ترغیب می‌نماید. در حقیقت باعث رسوب مستقیم گرافیت در طی انجماد شده و در حالی که تعداد سلول‌های گرافیتی را افزایش می‌دهد، منجر به ریز دانه‌شدن ساختار می‌شود [۱۴-۱۷]. روئدتر [۱۸] نشان داد که جوانه‌زایی نقش

در سال‌های اخیر، قطعات چدنی در صنایع مختلف از جمله در صنایع خودرویی مانند سیستم تعلیق، ترمز و موتور به طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این پیش‌بینی می‌شود که استفاده از آن‌ها در سال‌های آینده افزایش یابد. تولید فزاینده توربین‌های بادی یا کانسیترها برای پسماندهای هسته‌ای شواهدی بر این ادعا هستند [۱-۵]. به ویژه در چدن‌های نشکن با کاهش ضخامت دیواره‌ها و افزایش نسبت استحکام به وزن و ایجاد خواص مکانیکی بهتر، این مواد جایگزین اقتصادی مناسبی برای قطعات فولادی و آلومینیومی

پروژه از دو جوانه‌زا تجاری با ترکیب شیمیایی متفاوت یکی بر پایه سیلیسیم و دیگری بر پایه باریم با دانه‌بندی ۰/۲ تا ۰/۶ میلی‌متر که در جدول ۲ آمده است، استفاده شد. پس از پایان فرآیند ریخته‌گری از کلیه نمونه‌ها (شکل ۵)، نمونه آزمایش کشش، سختی و متالوگرافی تهیه شد. آزمایش کشش طبق استاندارد ASTM-E08 و با دستگاه GOTECH- GT-7001-LC50 اعمال شد. آزمایش سختی برینل با دستگاه یونیورسال کوپا پژوهش در چهار نقطه مختلف از سطح مقطع نمونه اندازه‌گیری، و میانگین آن در نتایج گزارش آمده است. در بررسی نمونه‌های متالوگرافی از نمونه‌های تهیه شده که مکان آن در شکل (۱) به صورت هاشور خورده نشان داده شده، علاوه بر بررسی مقدار فریت زمینه، تعداد کره‌های گرافیتی (Nodule Count) نیز محاسبه شد. برای بررسی این موارد از نرم‌افزار Image Analyzer ساخت هندوستان استفاده شد.



شکل ۱- ابعاد مدل ریخته‌گری بر اساس استاندارد ASTM-A367 (ابعاد بر حسب میلی‌متر)



شکل ۲- مدل ریخته‌گری مورد استفاده برای قالب‌گیری

کلیدی را در ایجاد تعداد کره‌های گرافیتی بالا بازی می‌کند و در عین حال از جدایش‌های بین سلولی عناصر آلیاژی جلوگیری نموده و تخلخل‌های احتمالی را کاهش می‌دهد. این اتفاق زمانی بهتر صورت می‌گیرد که از جوانه‌زاهای قوی با زمان میرایی بالا در دو مرحله‌ی انتقال ذوب به قالب (In stream) و درون قالب (In-Mould) انجام شود. در مطالعه شیخ [۱۹] مشخص شد که مشکل اصلی در تولید چدن‌های نشکن به ویژه با دیواره‌های نازک، تشکیل سمانتیت و تمایل به تبرید است. اما جوانه‌زایی می‌تواند با افزایش هسته گذاری و کاهش تحت تبرید این مشکل را کاهش دهد [۲۰]. در قطعات چدن داکتیل فریتی با گرید GGG40 که در صنایع خودرویی مورد استفاده قرار می‌گیرند، علاوه بر وجود مقاطع نازک که چالش‌های فوق‌الذکر در آن حائز اهمیت است، محدودیت‌های شرکت خودرو ساز (پژو) نیز باید رعایت شود برای مثال حداکثر مقدار کاربید مجاز ۲ درصد بوده و بنابراین کنترل ساختار عاری از کاربید بسیار مهم است. به همین دلیل در این مطالعه با همکاری شرکت فولادین ذوب آمل به بررسی اثر دو جوانه‌زا مختلف بر پایه باریم و سیلیسیم روی ساختار و خواص چدن نشکن GGG40 پرداخته شد و نتایج حاصل از هر یک علاوه بر مقایسه با استانداردهای مورد پذیرش شرکت خودروساز، با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش تحقیق

در این پژوهش، مدل‌های گوه‌ای شکل (شکل ۱ و ۲) بر اساس استاندارد ASTM-A367 برای قالب‌گیری تهیه شدند. جهت محدود کردن تعداد پارامترهای موثر، کلیه نمونه‌ها با یک ذوب و با ترکیب شیمیایی ثابت که در جدول ۱ آمده است و معادل چدن نشکن گرید GGG40 است، ریخته‌گری شد.

برای تهیه مذاب با دمای ۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰°C از کوره القایی ۶ تنی (شکل ۳-الف) در واحد صنعتی استفاده شد. سپس فرآیند قالب‌گیری (شکل ب) در قالب‌های CO<sub>2</sub> انجام صورت گرفت. فرآیند نشکن‌سازی با افزایش آلیاژ FeSiMg به روش تاندیش کاور انجام، و پس از عملیات نشکن‌سازی در دمای ۱۴۷۰°C، فرآیند تلقیح (جوانه‌زایی) همزمان با فرآیند ذوب‌ریزی و به صورت دستی در دمای ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰°C از پاتیل به قالب (In stream) انجام شد، به طوری که در قالب‌های مختلف ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد وزن مذاب در قالب جوانه‌زا به مذاب اضافه گشت. علاوه بر این‌ها یکی از قالب‌ها بدون جوانه‌زا بود. در این

جدول ۱- ترکیب شیمیایی چدن مذاب بر حسب درصد وزنی

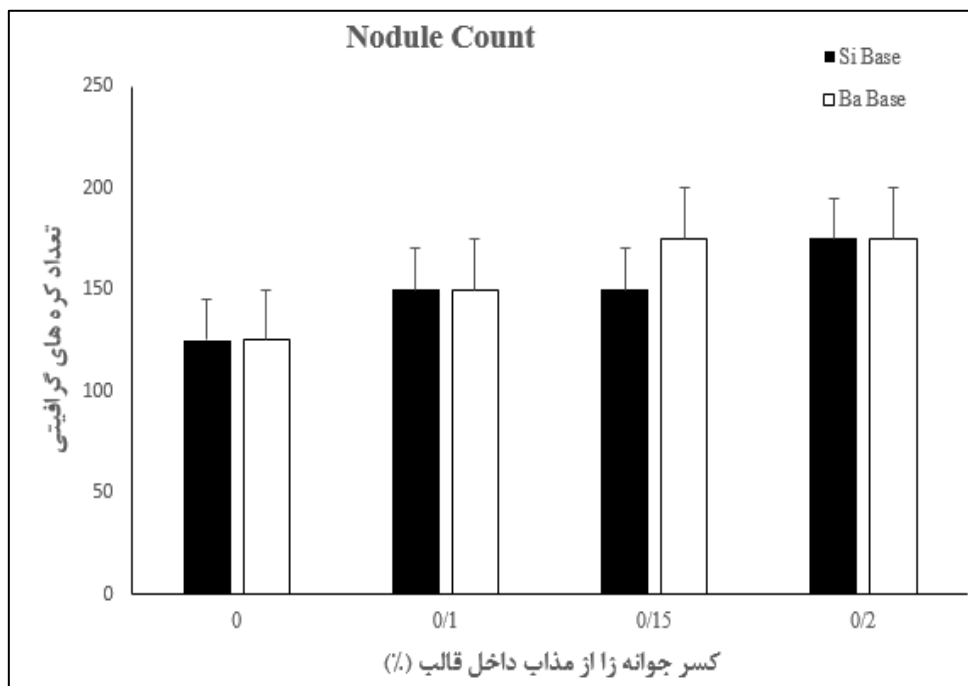
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Mg	Fe
۳/۷۳	۱/۵۴	۰/۲۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۳	باقیمانده

جدول ۲- ترکیب شیمیایی جوانه‌زاها بر حسب درصد وزنی

Inoculant	C	Si	Al	Fe	Ca	Ba
Si Base	۰/۱	۷۰	۰/۷	باقیمانده	-	-
Ba Base	-	۷۸-۷۲	۱/۵	باقیمانده	۲-۱	۳-۲



شکل ۳- الف) کوره القایی ۶ تنی جهت آماده‌سازی ذوب، ب) قالب‌های آماده شده جهت ذوب‌ریزی



شکل ۶- نمودار مقایسه‌ای تعداد کره‌های گرافیت بر حسب مقدار جوانه‌زا برای دو جوانه‌زا پایه سیلیسیم و باریم

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- ریزساختار

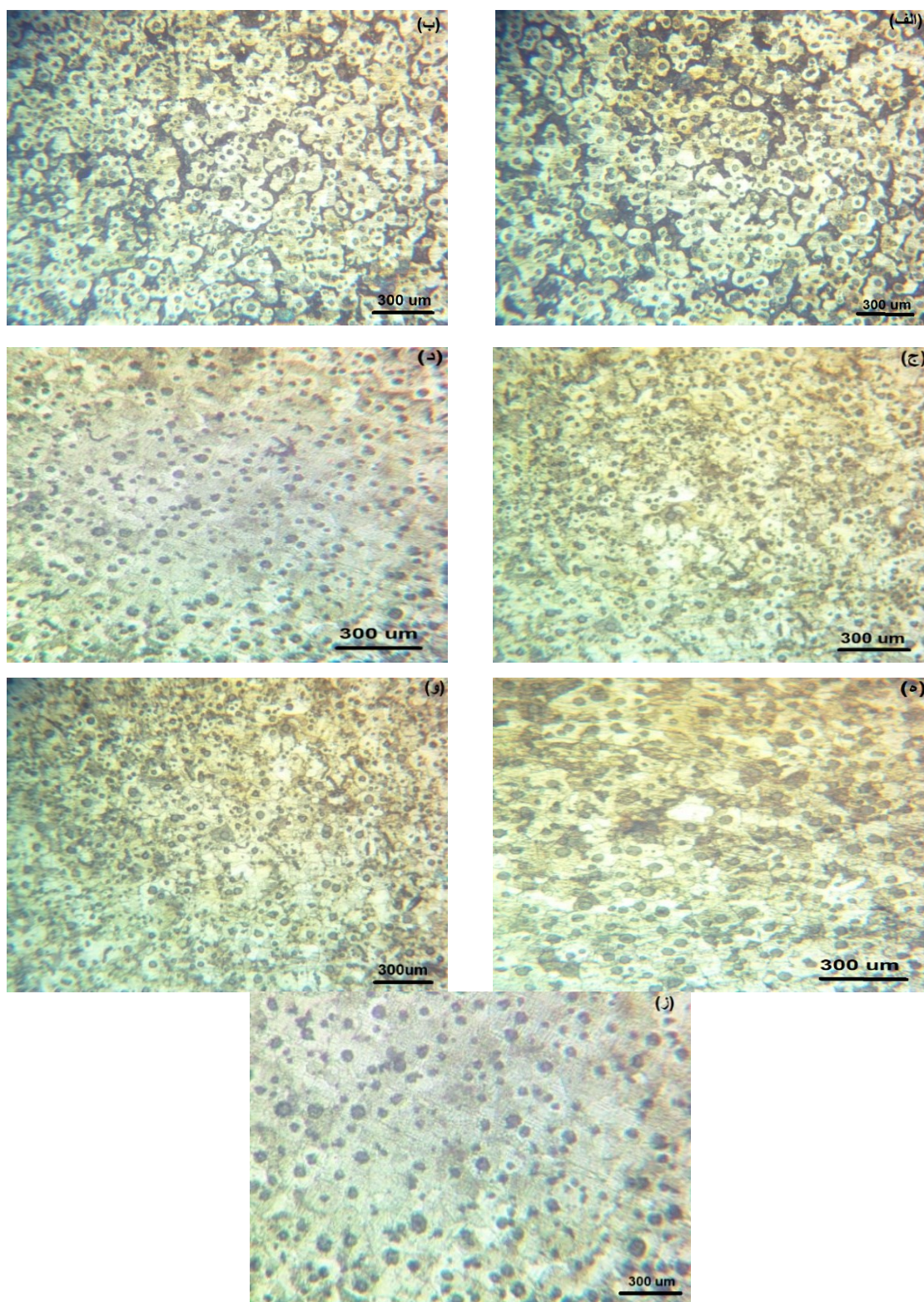
نتایج تحلیل‌های ریزساختاری برای چهار حالت بدون جوانه‌زا، ۰/۱ درصد، ۰/۱۵ درصد و ۰/۲ درصد جوانه‌زا بر پایه سیلیسیم نشان داد که با افزایش مقدار جوانه‌زا، تعداد کره‌های گرافیتی از ۱۲۵ عدد بر  $\text{mm}^2$  برای حالت بدون جوانه‌زا به ۱۷۵ عدد بر  $\text{mm}^2$  در شرایط ۰/۲ درصد جوانه‌زا رسیده است. مشابه این اتفاق در جوانه‌زا پایه باریم نیز مشاهده شد به طوری که با افزایش مقدار جوانه‌زا تعداد کره‌های گرافیتی از ۱۲۵ عدد بر  $\text{mm}^2$  به ۱۷۵ عدد بر  $\text{mm}^2$  رسید. روند افزایشی ذکر شده در شکل ۶ و ۷ قابل مشاهده است. از آن جایی که نقش اصلی و اساسی در فرآیند جوانه‌زایی، افزایش تعداد محل‌های جوانه‌زنی است. لذا با افزایش جوانه‌زا محل‌های مناسب بیشتری برای ایجاد سلول‌های گرافیتی در حین انجماد تشکیل شده و افزایش تعداد کره‌های گرافیتی پدیده‌ای کاملاً منطقی است. به طور کلی تعداد کره‌های گرافیتی بیشتر منجر به افزایش درصد فریت و به تبع آن افزایش نرمی (داکتیلیتی) قطعات می‌گردد. اما محدوده‌ی بهینه‌ای برای مقاطع با اندازه‌های مختلف وجود دارد و خروج از این محدوده منجر به تغییر روند افزایشی نرمی و کاهش استحکام نهایی کشش خواهد شد [۲۱].

## ۳-۲- خواص مکانیکی

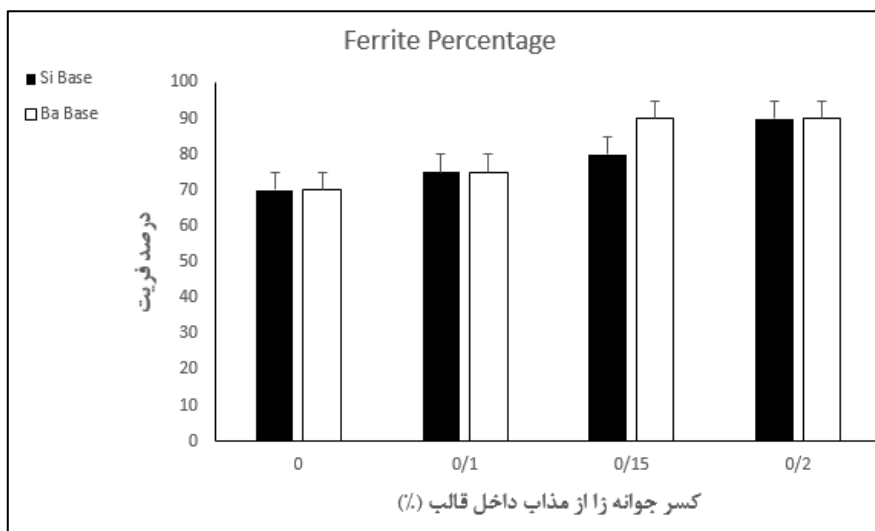
در بررسی‌های انجام شده روی ساختار زمینه مشخص شد که در عدم حضور جوانه‌زا میزان فریت حدود ۷۰ درصد ساختار زمینه را تشکیل می‌دهد در حالی که با افزایش جوانه‌زا پایه سیلیسیم و باریم، مقدار فریت افزایش یافته و نهایتاً در ۰/۲ درصد جوانه‌زا به ۹۰ درصد ساختار زمینه رسیده است (شکل ۶ و ۸). قابل توجه آن که مقدار قابل پذیرش تعیین شده توسط شرکت خودروساز ۷۵ درصد بوده و حضور جوانه‌زا از ۰/۱ درصد تا ۰/۲ درصد جهت تشکیل این مقدار فریت کافی است اما با توجه به در نظر گرفتن ضرایب اطمینان و خطرات ناشی از خطاهای انسانی و تکنولوژی، مقادیر بالاتر اطمینان بیشتری را حاصل می‌نماید. این میزان تغییر در ساختار زمینه ناشی از تغییری است که در تحت تبرید (DT) به واسطه حضور جوانه‌زا اتفاق می‌افتد. در واقع با توجه به مطالعات این طور تصور می‌شود که با افزایش جوانه‌زا تحت تبرید کاهش یافته و خطر

حضور کاربید و همچنین تشکیل ساختار پرلیتی را کاهش می‌دهد. به طوری که در مطالعه سانگامه [۲۲] و همکارانش که روی اثر جوانه‌زایی بر ریزساختار و خواص مکانیکی چدن نشکن کار کردند، آمده است که تحت تبرید با افزایش جوانه‌زا نسبت به شرایط بدون جوانه‌زا از  $130^\circ\text{C}$  به  $50^\circ\text{C}$  کاهش یافته است و به طور منطقی اثر مستقیم روی خواص مکانیکی خواهد داشت. همچنین نشان دادند که با ۴۱ افزایش تعداد کره‌های گرافیتی از مقدار پرلیت کاسته و استحکام نهایی کشش را کاهش و انعطاف پذیری را افزایش داده است.

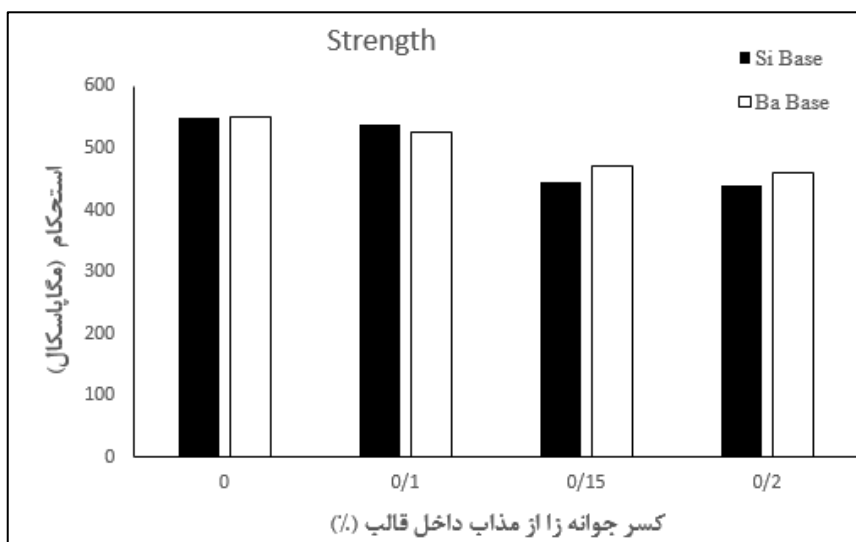
در بررسی نتایج خواص مکانیکی مشخص شد که با افزایش مقدار جوانه‌زا در هر دو جوانه‌زا مقدار استحکام نهایی کشش و سختی کاهش یافته است (شکل‌های ۹ و ۱۰). به طوری که برای نمونه‌های با جوانه‌زا پایه سیلیسیم، استحکام کششی از  $550\text{MPa}$  در عدم حضور جوانه‌زا به  $440\text{MPa}$  با ۰/۲ درصد جوانه‌زا رسیده است و با توجه به اینکه استحکام کششی مورد پذیرش توسط شرکت خودرو ساز  $420\text{MPa}$  بوده، در نتیجه علاوه بر جنبه‌های متالورژیکی، استحکام نیز مورد قبول بوده است. همچنین در رابطه با عدد سختی، مقدار سختی میانگین از ۱۹۸ برینل برای نمونه‌های بدون جوانه‌زا به ۱۶۳ برینل برای نمونه‌های با ۰/۲ درصد جوانه‌زا کاهش یافته است. با توجه به محدوده‌ی ۱۵۶-۱۹۷ برینل که مورد پذیرش شرکت خودروساز بوده، بنابراین این مقدار جوانه‌زا و مقادیر کمتر، شرایط مورد نظر را از لحاظ سختی تامین می‌نماید. در رابطه با جوانه‌زا پایه باریم نیز روند کلی مشابه است با این تفاوت که مقادیر استحکام و سختی حاصل از حضور باریم در مقادیر یکسان، بیش از نمونه‌های مربوط به جوانه‌زا پایه سیلیسیم است. به طوری که در حضور ۰/۲ درصد جوانه‌زا مقدار استحکام و سختی به ترتیب  $460\text{MPa}$  و  $160\text{HB}$  است. این روند کلی تغییرات در هر جوانه‌زا به ساختار زمینه و در واقع مقدار فریت موجود در آن مربوط می‌شود. با افزایش فریت در ساختار زمینه به عنوان یک محلول جامد نرم در مقایسه با سایر ساختارهای مورد انتظار از آهن، خواص مکانیکی مانند استحکام تسلیم، استحکام نهایی کشش و سختی کاهش یافته و خواصی مانند ازدیاد طول افزایش می‌یابد [۷].



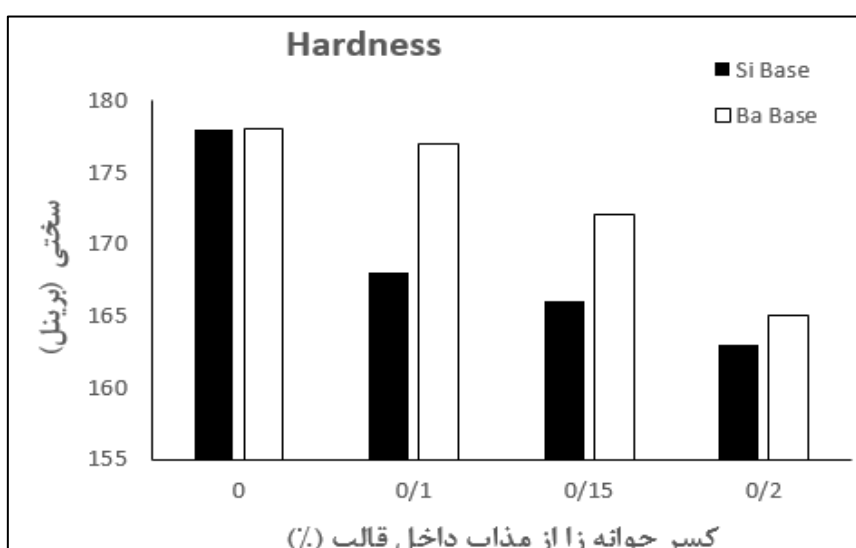
شکل ۷- تصاویر متالوگرافی نمونه با مقادیر مختلف جوانه‌زا برای دو جوانه‌زا پایه سیلیسیم و باریم: الف) بدون جوانه‌زا ب) ۱٪ درصد جوانه‌زا پایه باریم ج) ۱۵٪ درصد جوانه‌زا پایه باریم د) ۲٪ درصد جوانه‌زا پایه باریم ه) ۱٪ درصد جوانه‌زا پایه سیلیسیم و) ۱۵٪ درصد جوانه‌زا پایه سیلیسیم ز) ۲٪ درصد جوانه‌زا پایه سیلیسیم



شکل ۸- نمودار مقایسه‌ای مقدار فریت بر حسب مقدار جوانه‌زا برای دو جوانه‌زا پایه سیلیسیم و باریم



شکل ۹- نمودار مقایسه‌ای مقدار استحکام نهایی کشش بر حسب مقدار جوانه‌زا برای دو جوانه‌زا پایه سیلیسیم و باریم



شکل ۱۰- نمودار مقایسه‌ای مقدار سختی بر حسب مقدار جوانه‌زا برای دو جوانه‌زا پایه سیلیسیم و باریم

جدول ۳- نتایج مقایسه‌ای کلیه نمونه‌ها به همراه حد نصاب پذیرش شرکت خودروساز

نوع جوانه‌زا	درصد جوانه‌زا	استحکام (MPa)	سختی (HB)	درصد فریت	تعداد کره‌های گرافیتی
بدون جوانه‌زا	۰	۵۵۰	۱۷۸	۷۰	۱۲۵
پایه سیلیسیم	۰/۱	۵۳۷	۱۶۸	۷۵	۱۵۰
	۰/۲	۴۴۶	۱۶۶	۸۰	۱۵۰
	۰/۳	۴۴۰	۱۶۳	۹۰	۱۷۵
پایه باریم	۰/۱	۵۲۵	۱۷۷	۷۵	۱۵۰
	۰/۲	۴۷۱	۱۷۲	۹۰	۱۷۵
	۰/۳	۴۶۰	۱۶۵	۹۰	۱۷۵
حد نصاب پذیرش خودروساز	-	۴۲۰ <	۱۹۷-۱۵۶	۷۵ <	-

[4] Boldyrev D., Dema R., and Kalugina O., Research of phase composition of graphitizing ferro silicon barium inoculants. *Materials Today: Proceedings*, 2019, 11, 510-515.

[۵] سجادی س.م، بوتراپی س.م.ع. و محمدعلیها م، بررسی تاثیر افزودنی‌های CeO<sub>۲</sub> و Hf به عنوان جوانه‌زا بر ریزساختار و سختی فولاد منگنزی آستنیتی هادفیلد، پژوهشنامه ریخته‌گری، ۱۴۰۰، ۵ (۳) ۱۶۵-۱۷۴.

[6] Upadhyaya R., et al., Study on the effect of austempering temperature on the structure-properties of thin wall austempered ductile iron. *Materials Today: Proceedings*, 2018, 5(5, Part 2) 13472-13477.

[7] Upadhyaya R. and Kumar Singh K., Effect of some inoculants on the structure and properties of thin wall ductile iron. *Materials Today: Proceedings*, 2018, 5 (2, Part 1) 3595-3601.

[8] Hou Y., et al., Influence of rare earth nanoparticles and inoculants on performance and microstructure of high chromium cast iron. *Journal of Rare Earths*, 2012, 30(3) 283-288.

[9] Mojisola T., et al., Effect of preconditioning on the microstructure and mechanical properties of ductile cast iron, *Materials Today: Proceedings*, 2022.

[10] Ferro P., Lazzarin P., and Berto F., Fatigue properties of ductile cast iron containing chunky graphite. *Materials Science and Engineering: A*, 2012, 554 122-128.

[11] Källbom R., et al., On the solidification sequence of ductile iron castings containing chunky graphite. *Materials Science and Engineering: A*, 2005, (413-414) 346-351.

[12] Borsato T., et al., Effect of in-mould inoculant composition on microstructure and fatigue behaviour of heavy section ductile iron castings, *Procedia Structural Integrity*, 2016, 2 3150-3157.

[۱۳] رحیم‌پور بصرار، ترابی کفشگری م. و عباسی م، تأثیر جوانه‌زا و مدول ریختگی بر ریزساختار انجمادی چدن آستنیتی منگنزی با گرافیت کرووی، پژوهشنامه ریخته‌گری، ۱۴۰۰، ۱۵ (۱) ۱۹-۳۰.

[14] Yeung C.F., Zhao H., and Lee W.B., The morphology of solidification of thin-section ductile iron castings, *Materials Characterization*, 1998, 40(4) 201-208.

[15] Li Z. and Li Y., Evaluation of melt quality and graphite degeneration prediction in heavy section ductile iron, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2005, 36(9) 2455-2460.

می‌توان این طور نتیجه‌گیری نمود که با توجه به محدوده‌های مورد پذیرش شرکت خودروساز از جنبه‌های ریزساختاری و خواص مکانیکی و همچنین با توجه به ملاحظات فنی سازنده و نیز ملاحظات اقتصادی مقدار ۰/۱۵ درصد جوانه‌زا ضمن تامین خواسته‌های مذکور، از لحاظ اقتصادی نیز به صرفه‌تر بوده و در میان مقادیر مورد آزمایش، مقدار بهینه‌ای خواهد بود. جهت مقایسه نتایج با یکدیگر، کلیه نتایج به همراه حد نصاب مورد پذیرش شرکت خودروساز در جدول (۳) آمده است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

۱- افزایش جوانه‌زاهای پایه سیلیسیم و باریم در کاهش تحت تبرید و ایجاد فاز فریت در چدن نشکن بسیار موثر بود.

۲- افزایش جوانه‌زاهای پایه سیلیسیم و باریم در افزایش تعداد کره‌های گرافیتی اثر به‌سزایی داشته‌اند.

۳- افزایش جوانه‌زها باعث کاهش سختی و استحکام نهایی کشش شد اما در محدوده پذیرش شرکت خودروساز قرار گرفت.

۴- مقدار ۰/۱۵ درصد وزنی جوانه‌زا به ازای وزن مذاب داخل قالب به شرایط بهینه نزدیک‌تر است.

#### مراجع

- [1] Ferro P., et al., Effect of inoculant containing rare earth metals and bismuth on microstructure and mechanical properties of heavy-section near-eutectic ductile iron castings, *Journal of Materials Processing Technology*, 2013, 213(9) 1601-1608.
- [2] Asenjo I., et al., Effect of mould inoculation on formation of chunky graphite in heavy section spheroidal graphite cast iron parts. *International Journal of Cast Metals Research*, 2007, 20(6) 319-324.
- [3] Xue W. and Li Y., Pretreatments of gray cast iron with different inoculants. *Journal of Alloys and Compounds*, 2016, 689 408-415.

- Beijing, Mineral, Metallurgy, Material, 2008, 15(5) 552-555.
- [20] Labrecque C., et al., Production and properties of thin wall ductile iron castings, International Journal of Cast Metals Research, 2003, 16(1-3) 313-317.
- [21] Bočkus S., Dobrovolskis A., Peculiarity of producing ferritic ductile iron castings, Carbon, 2003, (1) 2.
- [22] Sangame B., and Shinde V., The effect of inoculation on microstructure and mechanical properties of ductile iron, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 2013, 5(6) 17-23.
- [16] Vicente A.D.A., et al., Nucleation and growth of graphite particles in ductile cast iron, Journal of Alloys and Compounds, 2019, 775 1230-1234.
- [۱۷] پیرنجم‌الدین ن.، محمدصادقی ب.، بوتراپی س.م.ع.، تاثیر افزودن آنتیموان و مدول ریختگی بر مورفولوژی گرافیت، ریزساختار و خواص مکانیکی چدن نشکن، پژوهشنامه ریخته‌گری، ۱۴۰۰، ۵(۲) ۶۷-۷۷.
- [18] Roedter H., Gagne M., Ductile iron for heavy section wind mill castings: a European experience. Europe, 2003, (5000) 6000.
- [19] Sheikh M.A., Production of carbide-free thin ductile iron castings, Journal of University of Science and Technology



IRANIAN FOUNDRYMEN'S  
SOCIETY

## Founding Research Journal

### Research Paper:

### Effect of Inoculant Containing Si and Ba on Microstructure and Mechanical Properties of Ferritic Ductile Iron Castings

Mohammad Bagher Limooei<sup>1\*</sup>, Shabnam Hosseini<sup>1</sup>, Peiman Omranian Mohammadi<sup>2</sup>,  
Ali Najarian<sup>2</sup>, Hamid Omrani<sup>2</sup>, Mohammad Hosseinzadeh<sup>2</sup>, Mostafa Afrazideh<sup>2</sup>

1. Assistant Professor, Department of Materials Engineering, Amol Branch, Islamic Azad University Ayatollah Amoli, Iran.

2. Department of Materials Engineering, Applied Science and Technology, FZA Center.

Corresponding Author: Mohammad Bagher Limooei (m.b.limooei@iauamol.ac.ir)

#### Paper history:

Received: 22 Feb. 2022

Accepted: 24 June 2022

#### Keywords:

Ferritic ductile iron,  
Inoculant,  
Microstructure,  
Barium,  
Silicon.

#### Abstract:

The effect of chemical composition and amount of inoculant on microstructure especially ferrite phase and graphite nodule count and mechanical properties containing ultimate tensile strength (UTS) and hardness of ferritic ductile iron were considered. In this project, three conditions were evaluated. They were without inoculants, barium and silicon base inoculants were used. Inoculant percentages were 0.1, 0.15, and 0.2 percent. The results show that inoculation encourages the ferrite formation from 75 percent to 90 percent in the matrix, increasing the nodule count from 125 to 175, decreasing the hardness from around 200 HB to close to 160 HB, and decreasing the UTS from more than 500 MPa to close the 400 MPa. In comparison between barium and silicon base inoculants, it was seen that the effect of inoculants on the microstructure was the same but on the mechanical properties was different and barium base inoculant had a more appropriate effect in comparison with silicon base inoculant.

#### Please cite this article using:

Mohammad Bagher Limooei, Shabnam Hosseini, Peiman Omranian Mohammadi, Ali Najarian, Hamid Omrani, Mohammad Hosseinzadeh, Mostafa Afrazideh, Effect of Inoculant Containing Si and Ba on Microstructure and Mechanical Properties of Ferritic Ductile Iron Castings, in Persian, Founding Research Journal, 2021, 5(3) 215-222.

DOI: 10.22034/FRJ.2022.330961.1153