

## تأثیر ذرات آلومینا و حباب‌های گاز منواکسید کربن تشکیل شده درون مذاب بر ریخت شناسی

### گرافیت و ریزساختار چدن خاکستری

حمید سازگار<sup>۱\*</sup> و علیرضا کیانی رشید<sup>۲</sup>

#### چکیده

در این پژوهش، تأثیر افزودن ذرات اکسید آلومینیوم و حباب‌های گاز منواکسید کربن از راه سیستم راهگاهی بر ریخت‌شناسی گرافیت و ریزساختار در چدن خاکستری مطالعه شده است. بمنظور افزودن ذرات آلومینا از واکنش ترمیت پودرهای آلومینیوم و اکسید آهن و برای تولید گاز منواکسید کربن از واکنش احیاء اکسید آهن به وسیله کربن درون سیستم راهگاهی استفاده شد. بررسی‌های میکروسکوپ نوری، الکترونی روبشی و اسپکتروسکوپی اشعه ایکس تولید شده به وسیله پرتو الکترونی روی نمونه‌های تولیدی انجام گرفت. ایجاد ماسه‌سوزی در محفظه قرارگیری پودرها اثبات می‌کند که واکنش‌ها بر اساس انتظار انجام گرفته‌اند و حرارت ناشی از آن‌ها موجب ماسه‌سوزی شده است. بررسی‌های میکروسکوپی نشان می‌دهند که افزودن ذرات آلومینا تأثیری زیاد بر ریخت شناسی گرافیت دارد. حضور این ذرات درون مذاب، جوانه‌زنی ناهمگن گرافیت را سبب می‌شود که در نتیجه، گرافیت‌های نوع B و گرافیت‌های نوع کیش ایجاد می‌شوند. ذرات آلومینا تأثیری شدید بر ریزساختار ندارند. حباب‌های گاز منواکسید کربن بر ریخت شناسی گرافیت و ریزساختار تأثیری چندانی ندارند.

واژه‌های کلیدی: چدن خاکستری، ریخت شناسی گرافیت، واکنش ترمیت، ذرات آلومینا، حباب‌های منواکسید کربن.

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

\*- نویسنده مسئول مقاله: Hamid.Sazegaran@gmail.com

## پیشگفتار

بررسی چگونگی جوانه‌زنی و رشد گرافیت در چدن‌ها در دهه‌های فراوانی و به صورت پیوسته مورد مطالعه قرار گرفته است و تئوری‌های گوناگونی در ارتباط با جوانه‌زنی و رشد گرافیت پیشنهاد شده است. بدیهی است که جوانه‌زنی و رشد گرافیت مهم‌ترین عامل موثر بر ریخت شناسی گرافیت می‌باشد و ریخت شناسی گرافیت تأثیری زیاد بر خواص فیزیکی و مکانیکی چدن‌ها دارد. این احتمال وجود دارد که اکسیدهای پیچیده، سولفیدها و هم‌چنین، حباب‌های گازی به عنوان هسته‌های اولیه برای جوانه‌زنی گرافیت عمل کنند [1-3]. در برخی از مطالعات دیگر پیشنهاد شده است که آخال‌های غیرفلزی بیش‌ترین تأثیر به عنوان جوانه‌زا را از خود نشان می‌دهند [4-6]. ریخت شناسی رشد گرافیت و آستینیت در چدن‌ها به یکدیگر وابسته است. افزون بر این، رفتار مکانیکی و مقدار انقباض در فرآیند ریخته‌گری به شدت به ریزساختار دندریتی آستینیت وابسته است. کسر حجمی و آرایش ریزساختار دندریتی و هم‌چنین، ضخامت بازوهای دندریتی بر رفتار مکانیکی چدن‌ها تأثیرگذار است.

بمنظور رسوب یافتن گرافیت به صورت یک ریزساختار پایدار یوتکتیکی، جوانه‌زاها به مذاب افزوده می‌شوند که اغلب فلزات خاکی کمیاب یا اکسیدکننده‌های قوی همانند استرانسیوم و آلومینیوم می‌باشند. این جوانه‌زاها موجب تشکیل اکسیدها و سولفیدها می‌شوند و در نتیجه، جوانه‌زنی ناهمگن گرافیت افزایش می‌یابد. بدیهی است که استفاده از هر کدام از این جوانه‌زاها تأثیری متفاوت بر بازدهی گرافیت‌زایی خواهد داشت [7]. برای مثال، استرانسیوم بازدهی گرافیت‌زایی را نسبت به جوانه‌زایی به وسیله باریوم و کلسیم افزایش می‌دهد. افزون بر این، پژوهشگران دریافتند که ذرات  $(Mn, X)S$  که  $X$  می‌تواند آلومینیوم، استرانسیوم، کلسیم و ... باشد، به عنوان محل‌هایی برای جوانه‌زنی گرافیت عمل می‌کنند [8-11]. این مسئله با وجود ذرات  $MnS$  درون ورقه‌های نازک گرافیت اثبات شده است [12]. باید توجه داشت که نسبت منگنز به گوگرد در مذاب بر جوانه‌زنی گرافیت موثر است [13]. یک مدل ریاضی جوانه‌زنی ناهمگن گرافیت درون چدن بر اساس نظریه انرژی‌های فصل مشترکی و

نبود انطباق شبکه به وسیله اسکالند<sup>1</sup> ارایه شده است و ارتباطی بین نبود انطباق شبکه با تحت تبرید گزارش شده است [14]. در یک مطالعه دیگر نشان داده شده است که انطباق زیادی بین پارامترهای شبکه  $MnS$  و  $CaS$  با گرافیت وجود دارد [15].

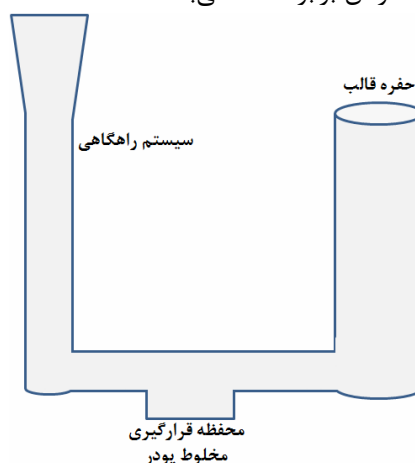
در چدن‌ها، آلومینیوم به عنوان یک عامل اکسیژن‌زدای قوی مطرح است و یک جوانه‌زای مهم در چدن‌های دارای گرافیت ورقه‌ای بشمار می‌رود [16]. مقدار مرسوم افزایش جوانه‌زای حاوی آلومینیوم به مذاب بین 0/5 تا 3/5 درصد است که مقدار آلومینیوم در آن برابر 0/01 درصد است. استفاده از مقادیر بیش‌تر آلومینیوم موجب درشت شدن ورقه‌های گرافیت می‌شود. افزون بر این، آلومینیوم نقشی مهم در جوانه‌زنی آستینیت نیز ایفا می‌کند [17 و 18]. افزودن آلومینیوم، تیتانیوم و وانادیوم سبب افزایش تعداد دندریتها و افزایش طول آن‌ها می‌شود [19]. باید توجه داشت که سیلیسیم نیز بر ریزساختار دندریتی موثر است. با افزایش مقدار سیلیسیم، ریزساختار دندریتی توسعه یافته و بیش‌تر می‌شود. ریخت شناسی گرافیت نوع A به ریزساختار رندوم دندریتی وابسته است و اگر دندریتها آرایش مشخصی پیدا کنند، اغلب گرافیت‌های نوع E ایجاد می‌شوند [20].

حضور ذرات ناخالصی تأثیری فراوان بر ریخت شناسی گرافیت‌ها و ریزساختار چدن‌های خاکستری دارد [21 و 22]. مطالعات فراوانی در مورد تأثیر ذرات سولفیدی بر ریخت شناسی و ریزساختار چدن‌های خاکستری انجام گرفته است، اما بررسی تأثیر ذرات اکسیدی همانند آلومینا و گازها همانند منواکسید کربن به مذاب بسیار محدود است. هدف از انجام این پژوهش مطالعه تأثیر افزودن ذرات آلومینا و گاز منواکسید کربن بر ریخت شناسی گرافیت در چدن خاکستری می‌باشد. در این پژوهش تلاش شده است که نقش اکسید آلومینیوم بر ریخت شناسی گرافیت با استفاده از مطالعات میکروسکوپ نوری و الکترونی و هم‌چنین، اسپکتروسکوپی اشعه ایکس تولید شده به وسیله پرتو الکترونی (EDX) تعیین گردد.

<sup>1</sup> - Skaland

## مواد و روش آزمایش

در این پژوهش، تشکیل ذرات آلومینا درون مذاب چدن خاکستری و هم‌چنین، تاثیرات ایجاد حباب‌های گاز منواکسید کربن بر ریخت‌شناسی گرافیت و ریزساختار مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور، از فرآیند ریخته‌گری ماسه خشک استفاده شده است و تولید ذرات آلومینا درون سیستم راهگامی از راه واکنش ترمیت آلومینیوم و اکسید آهن و هم‌چنین، ایجاد گاز منواکسید کربن در اثر واکنش احیاء اکسید آهن به وسیله کربن صورت گرفته است. تولید مذاب چدن خاکستری به وسیله کوره دوار صنعتی انجام گرفت. ظرفیت کوره مورد استفاده 250 کیلوگرم می‌باشد و ترکیب شیمیایی مذاب مورد استفاده در جدول 1 گزارش شده است. بمنظور تهیه نمونه‌های مطالعاتی، پنج قالب ماسه خشک تهیه شد و فضای خالی مشخصی در سیستم راهگامی هر کدام از آن‌ها بمنظور قرارگیری پودرهای واکنش‌دهنده تعبیه گردید. در شکل 1، سیستم راهگامی، حفره قالب و محل قرارگیری پودرها به تصویر کشیده شده است. قالب‌های ریخته‌گری و نمونه‌های تولید شده به وسیله آن‌ها براساس حروف انگلیسی و به ترتیب نام‌گذاری شدند. گفتنی است که حفره قالب استوانه‌ای شکل است و طول آن برابر 20 cm و قطر آن برابر 4 cm می‌باشد.



شکل 1- شماتیک قالب بکار رفته.

جدول 1- ترکیب شیمیایی (برحسب درصد وزنی) مذاب چدن خاکستری بکار رفته.

Fe	Cu	Mo	Cr	Ni	Mn	P	S	Si	C
باقی مانده	0/052	0/010	0/063	0/037	0/486	0/045	0/091	2/46	2/98

در سیستم راهگامی قالب A، هیچ‌گونه عامل واکنش‌دهنده‌ای قرار داده نشد و نمونه تولید شده در این قالب به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته می‌شود. در سیستم راهگامی قالب B، مقدار 25/92 گرم پودر اکسید آهن ( $Fe_2O_3$ ) و مقدار 8/64 گرم پودر آلومینیوم قرار داده شد. مقدار آلومینای تولید شده در این نمونه در اثر انجام واکنش ترمیت که بر اساس معادله 1 صورت می‌گیرد، برابر 2/5 درصد حجمی می‌باشد. در سیستم راهگامی قالب C، مقدار 51/84 گرم پودر اکسید آهن و 17/28 گرم پودر آلومینیوم قرار داده شد. در نهایت، این نمونه حاوی 5 درصد حجمی آلومینا خواهد بود.



در سیستم راهگامی قالب D، مقدار 51/84 گرم پودر اکسید آهن، 17/28 گرم پودر آلومینیوم و مقدار 32/4 گرم پودر آلومینا قرار داده شد تا نمونه تولیدی حاوی 10 درصد حجمی آلومینا باشد. سیستم راهگامی قالب E دارای 66/84 گرم پودر اکسید آهن، 17/28 گرم پودر آلومینیوم به همراه 3/6 گرم پودر گرافیت می‌باشد. درصد حجمی آلومینای تولید شده در اثر واکنش ترمیت در این نمونه برابر 5 درصد است و افزون بر آن، واکنش احیاء اکسید آهن به صورت معادله 2 درون سیستم راهگامی صورت می‌گیرد که در اثر آن، 0/3 مول گاز منواکسید کربن تولید می‌گردد.



پودرهای اکسید آهن، آلومینیوم و گرافیت به ترتیب دارای خلوص 99/3، 99/9 و 99/0 درصد می‌باشند. اندازه همه پودرهای بکار رفته کوچک‌تر از 45 میکرون می‌باشد. همه نمونه‌های تولید شده به صورت استوانه‌ای با قطر 25mm و طول 25cm می‌باشند که به صورت عمودی درون قالب ماسه‌ای ریخته‌گری شده‌اند. بمنظور ریختن مذاب از بوته واسطه استفاده شد و دمای مذاب ریزی برابر  $1380^\circ C$  به وسیله پیرومتر اندازه‌گیری شد.

ماسه‌ای محفظه پودرها این احتمال را رد می‌کند. در اثر ماسه‌سوزی، دیواره‌های محفظه پودرها در همه قالب‌های حاوی پودر کاملاً سیاه شده بود. این امر، بر انجام واکنش‌های ترمیت و احیاء اکسید آهن دلالت دارد. باید توجه داشت که ذرات آلومینای تولید شده درون مذاب به دام می‌افتند و می‌توانند به عنوان عوامل جوانه‌زای خارجی بشمار آیند. حضور ذرات آلومینا موجب می‌شوند که جوانه‌زنی ناهمگن گرافیت به صورت گسترده‌تر صورت گیرد و احتمال ایجاد تغییرات جدی در ریخت شناسی گرافیت‌ها وجود دارد. این در حالی است که احتمال خروج حباب‌های گاز منواکسید کربن از دیواره‌های قالب وجود دارد.

بمنظور بررسی تاثیر ذرات آلومینا و حباب‌های منواکسید کربن بر ریخت شناسی گرافیت، تصاویر بدست آمده میکروسکوپ نوری پیش از اچ در شکل 2 نمایش داده شده است. در شکل 2- الف، ریخت شناسی گرافیت‌ها در نمونه A که بدون ذرات آلومینا است، نمایش داده شده است. بر اساس شکل، ورقه‌های گرافیت نوع A به صورت کاملاً مجزا مشاهده می‌شوند که دارای توزیع یکنواخت می‌باشند. در شکل 2- ب، ریخت شناسی گرافیت‌ها در نمونه B نمایش داده شده است. در اثر واکنش ترمیت، مقدار 2/5 درصد حجمی از ذرات آلومینا در این نمونه تولید شده است. در ارزیابی‌های میکروسکوپی، توزیع ذرات آلومینا تقریباً به صورت یکنواخت مشاهده می‌شود، البته باید توجه داشت که به علت اختلاف چگالی زیاد بین آلومینا و چدن و هم‌چنین فرآیند رشد دندریتی در حین انجماد، به احتمال زیاد، توزیع ذرات آلومینا کاملاً یکنواخت نباشد. در نتیجه، حضور ذرات آلومینا، ریخت شناسی ورقه‌های گرافیت به نوع B تغییر کرده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، ورقه‌های گرافیت به شکل گل رُزهایی در زمینه مشاهده می‌شوند. شکل‌های 2- ج، 2- د و 2- ه نیز ریخت شناسی نوع B را نشان می‌دهند. در این شکل‌ها نیز حضور ذرات آلومینا موجب تغییر در ریخت شناسی گرافیت شده است. این احتمال وجود دارد که حضور ذرات آلومینا درون مذاب بر سرعت جوانه‌زنی و سرعت رشد گرافیت‌ها تاثیرگذار باشد. گفتنی است که افزایش در سرعت انجماد

پس از انجام فرآیند ریخته‌گری، نمونه‌هایی با ابعاد مناسب به صورت عمود بر راستای محور برای بررسی‌های میکروسکوپی با استفاده از وایرکات بریده شدند. پس از مانع کردن نمونه‌های تهیه شده، ابتدا سمباده‌زنی و سپس پولیش کاری صورت گرفت. فرآیند اچ به وسیله محلول نایتال 2 درصد انجام شد. مطالعات میکروسکوپ نوری پیش از اچ و پس از آن اجام گرفت و تصاویر متالوگرافی در بزرگنمایی‌های گوناگون تهیه شدند. پیش از انجام مطالعات میکروسکوپ الکترونی، پوشش طلا روی نمونه‌های مانع اچ شده به وسیله دستگاه پوشش‌دهی Sputter Coater SC7620 ایجاد شد. در این پژوهش از میکروسکوپ الکترونی روبشی LEO 1450VP استفاده شد. افزون بر بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی، اسپکتروسکوپی اشعه ایکس تولید شده با پرتو الکترونی (EDX)، بمنظور شناسایی ذرات آلومینا به صورت نقطه‌ای بکار گرفته شد.

## نتایج و بحث

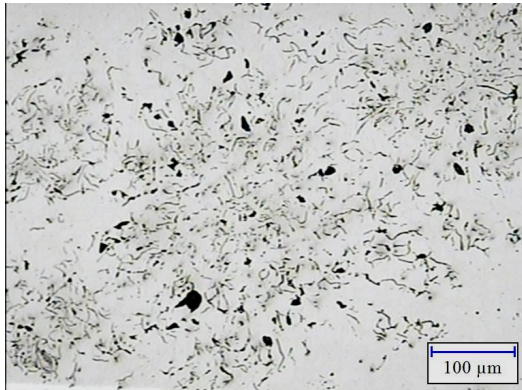
در اثر واکنش پودرهای آلومینیوم و گرافیت با پودرهای اکسید آهن که درون سیستم راهگامی قرار گرفته‌اند، آهن خالص مذاب، آلومینا و گاز منواکسید کربن تولید می‌شود. باید در نظر داشت که انرژی مورد نیاز برای فعال‌سازی واکنش‌های یاد شده به وسیله حرارت مذاب تامین می‌گردد. این انتظار وجود دارد که هنگام تماس مذاب با مخلوط پودرهای قرار گرفته درون سیستم راهگامی، واکنش‌های ترمیت و احیاء اکسید آهن به وسیله کربن صورت گیرد و فرآورده‌ها به وسیله مذاب به درون حفره قالب وارد شوند. در نمونه‌های B، C و D فقط واکنش ترمیت صورت می‌گیرد و در نتیجه، تاثیر ذرات آلومینای تولید شده را می‌توان بررسی کرد. این در حالی است که در نمونه E افزون بر ذرات آلومینا، حباب‌های گاز منواکسید کربن نیز تولید می‌شود. باید در نظر داشت که در شرایط دمایی مذاب‌ریزی، تشکیل منواکسید کربن نسبت به دی‌اکسید کربن از لحاظ ترمودینامیکی پایدارتر است.

این احتمال وجود داشت که واکنش‌ها مطابق با انتظار انجام نشوند، اما مشاهده ماسه‌سوزی در دیواره‌های

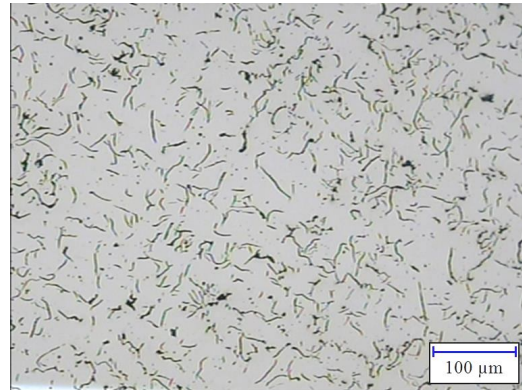
منواکسید کربن درون مذاب در هنگام جوانه‌زنی ارتباط پیدا کند. این احتمال وجود دارد که حضور ذرات آلومینا در نمونه‌های B, C, D و E بر مکانیزم جوانه‌زنی و رشد گرافیت نیز تاثیرگذار باشد.

در شکل ۳، تصاویر میکروسکوپ نوری بدست آمده پیش از اچ در مورد نمونه‌های حاوی ذرات آلومینا نمایش داده شده است. بر اساس شکل، گرافیت‌های نوع کیش نیز در این نمونه‌ها مشاهده می‌شود.

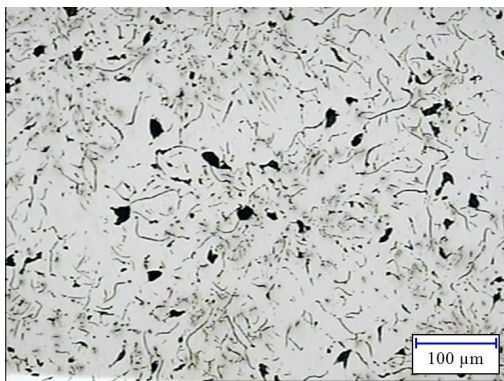
موجب تغییر ریخت شناسی گرافیت از نوع A به نوع B می‌گردد. بنابراین، این گونه می‌توان بیان داشت که حضور ذرات آلومینا درون مذاب بر سرعت انجماد موثر است. در نتیجه، این مسئله موجب تغییر در ریخت شناسی گرافیت‌ها شده است. در شکل ۲- ه که در سیستم راهگامی آن افزون بر ذرات آلومینا، گاز منواکسید کربن نیز تولید شده است، گل رُزهای گرافیت کاملاً از یکدیگر مجزا هستند. این مسئله می‌تواند به حرکت حباب‌های گاز



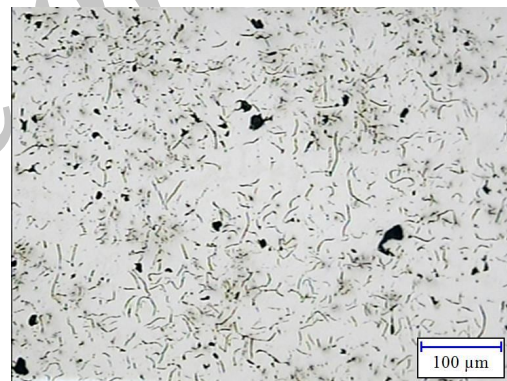
ب



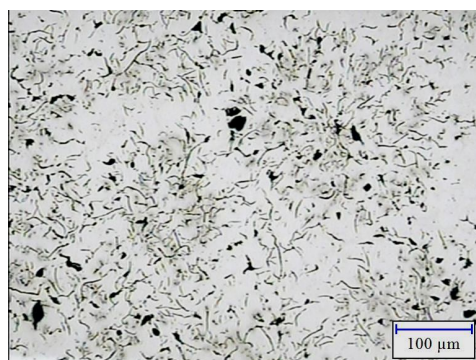
الف



د

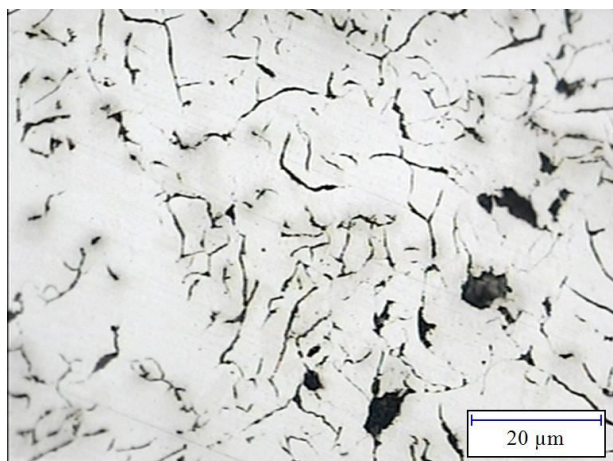


ج

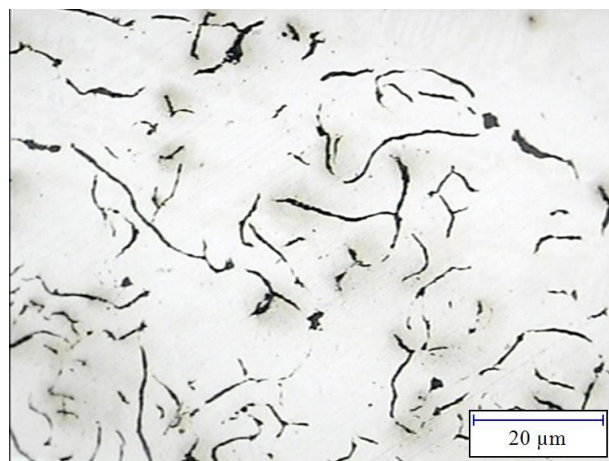


هـ

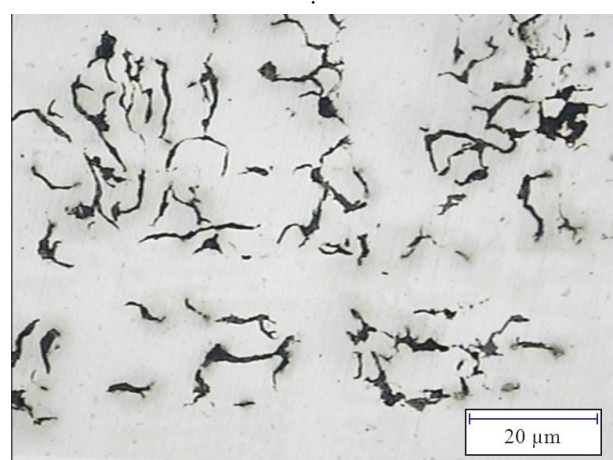
شکل ۲- تصاویر پیش از اچ : الف: نمونه A، ب: نمونه B، ج: نمونه C، د: نمونه D و هـ: نمونه E.



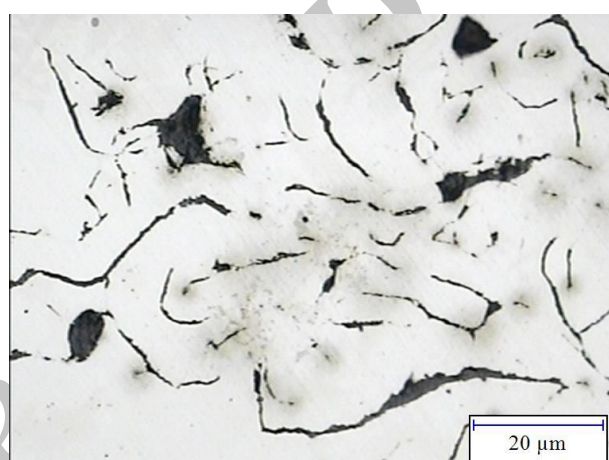
ب



الف



د



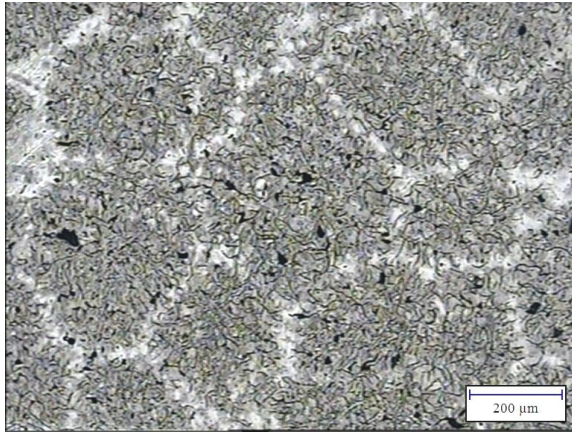
ج

شکل 3- تصاویر پیش از اچ؛ الف: نمونه B، ب: نمونه C، ج: نمونه D و د: نمونه E.

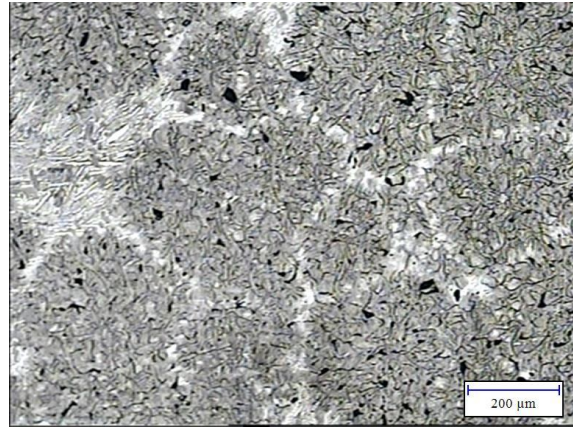
آلومینا به تصویر کشیده شده است. در همه این نمونه‌ها ریزساختار فریتی - پرلیتی حاکم است. نواحی درون دانه‌ها دارای ریزساختار پرلیتی است و در نواحی مرزدانه‌ای، ریزساختار کاملاً فریتی مشاهده می‌شود. در برخی از نواحی مرزدانه‌ای، فریت‌ها درشت‌تر شده و در امتداد جهات بلورشناسی خاصی توسعه یافته‌اند. در همه نمونه‌های مطالعاتی، ریزساختار دندریتی به صورت متمایز مشاهده نمی‌شود. بر اساس تصاویر، گل رُزهای گرافیتی در مرکز دانه‌ها تشکیل شده‌اند و گلبرگ‌های آن‌ها به سمت مرزدانه‌ها گسترش یافته است.

تشکیل این نوع گرافیت‌ها به جوانه‌زنی گرافیت بر روی ذرات آلومینا ارتباط پیدا می‌کند. این احتمال می‌رود که در بخش‌های میانی نواحی سیاه رنگ، ذرات آلومینا وجود داشته باشد. با تغییر بزرگنمایی و فوکوس میکروسکوپ نوری مشخص شد که در بخش‌های میانی نواحی سیاه رنگ حفراتی وجود دارد. می‌توان این گونه استدلال کرد که در اثر پولیش کردن نمونه‌ها، ذرات آلومینای قرار گرفته در بخش‌های میانی نواحی سیاه رنگ به همراه گرافیت اطراف خود از نمونه جدا شده‌اند و این نواحی در زیر میکروسکوپ به صورت حفره مشاهده می‌شوند.

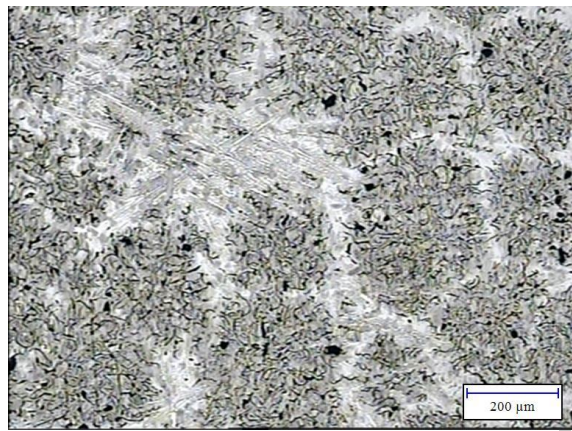
در شکل 4، تصاویر میکروسکوپ نوری پس از اچ به وسیله محلول نایتال 2 درصد برای نمونه‌های حاوی ذرات



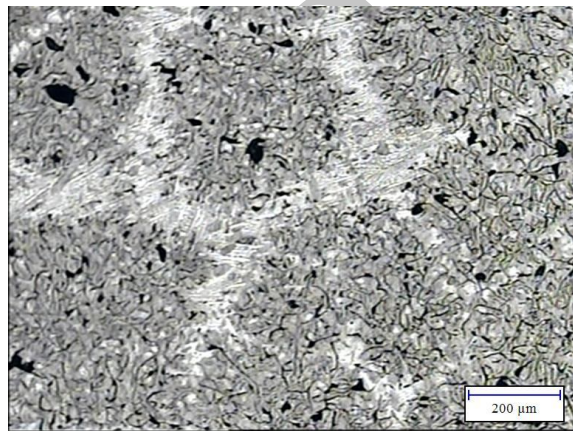
ب



الف



د



ج

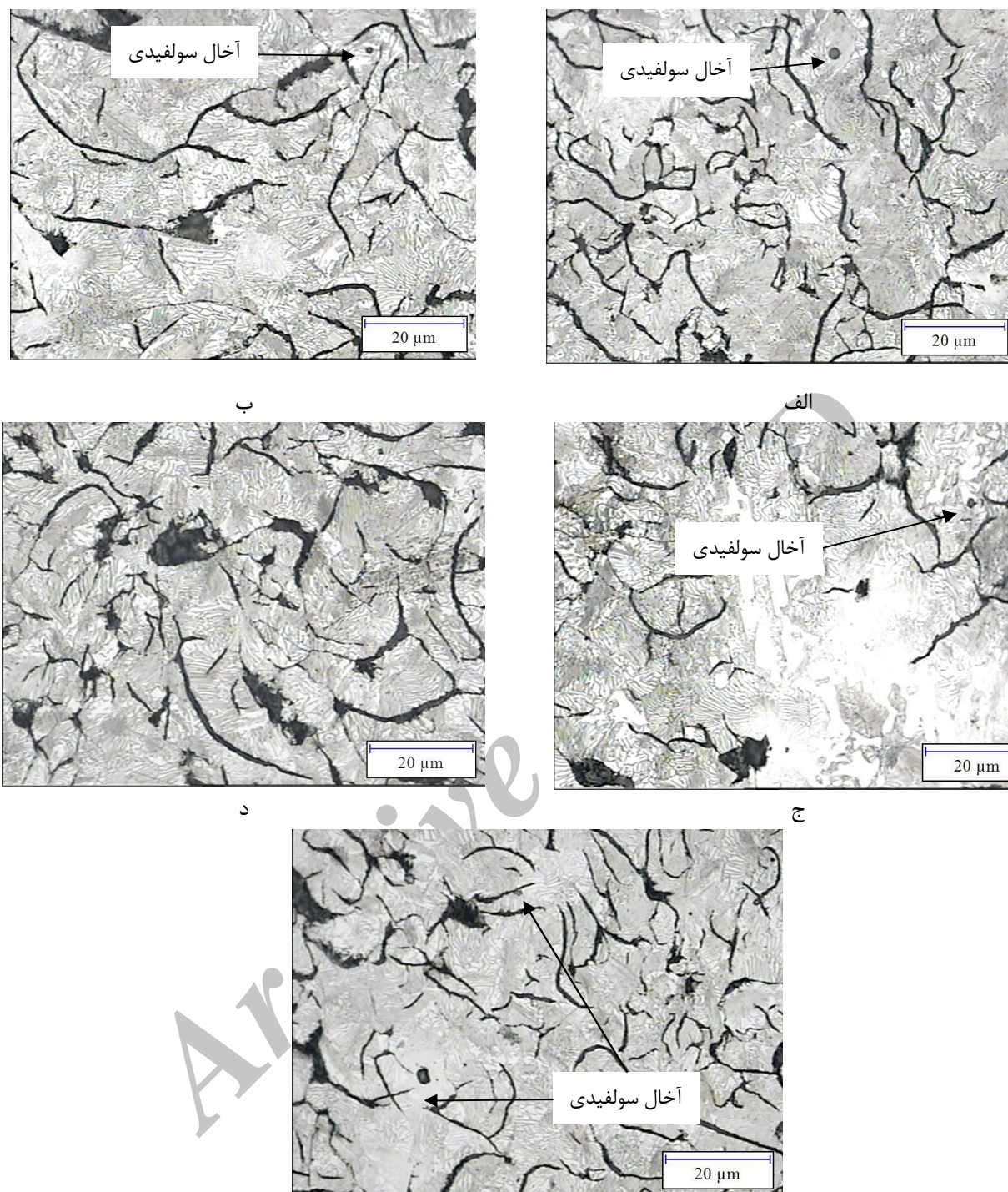
#### شکل 4- تصاویر پس از اچ به وسیله نایتال 2 درصد؛ الف: نمونه B، ب: نمونه C، ج: نمونه D و د: نمونه E.

شد، تشکیل این حفره به احتمال زیاد، به خارج شدن ذره آلومینا و گرافیت‌های اطراف آن در فرآیند پولیش ارتباط پیدا می‌کند. این امر جوانه‌زنی گرافیت روی ذرات آلومینا را اثبات می‌کند. این احتمال وجود دارد که گرافیت بر روی ذرات آلومینا جوانه‌زنی می‌کند و رشد آن در ابتدا به گونه‌ای است که اطراف ذرات به گونه کامل به وسیله گرافیت پوشیده می‌شود و سپس ورقه‌های گرافیتی از این نواحی جوانه‌زنی و رشد می‌کنند. در شکل 6-ج، یک ذره آلومینای درون ناحیه سیاه رنگ مشاهده می‌شود. این ذره به وسیله فرآیند پولیش خارج نشده است. جوانه‌زنی گرافیت روی این ذره و قرار گرفتن در اطراف آن کاملاً مشخص است. در شکل 6-د نیز وجود یک حفره در اثر خارج شدن ذره آلومینایی نشان داده شده است.

در شکل 5، تصاویر میکروسکوپ نوری پس از اچ به وسیله نایتال 2 درصد نمایش داده شده است. در این تصاویر، آخال‌های سولفیدی به شکل کروی مشاهده می‌شوند. این آخال‌ها بر اساس رنگ خاکستری قابل شناسایی هستند.

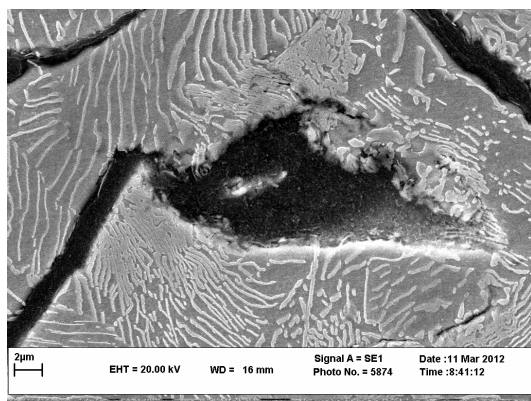
در شکل 6، تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی‌های گوناگون از نمونه‌های حاوی ذرات آلومینا نمایش داده شده است. شکل 6-الف از نمونه B و به وسیله الکترون‌های برگشتی تهیه شده است. در این تصویر، گل رزهای گرافیتی به همراه گرافیت‌های نوع کیش مشاهده می‌شود.

در شکل 6-ب، یکی از نواحی سیاه رنگ در نمونه C مورد مطالعه قرار گرفته است. مشاهده می‌شود که در این بخش یک حفره ایجاد شده است. همان گونه که پیش‌تر بیان

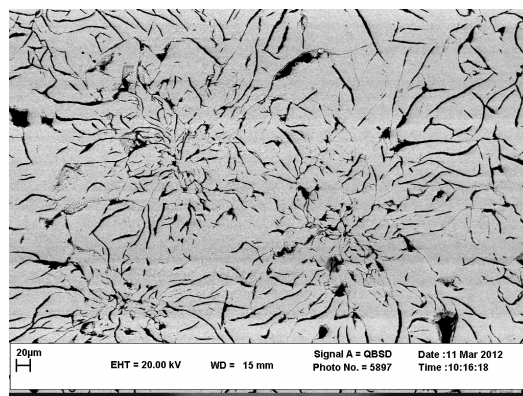


شکل 5- تصاویر پس از اچ به وسیله نایتال 2 درصد؛ الف: نمونه A، ب: نمونه B، ج: نمونه C، د: نمونه D و ه: نمونه E.

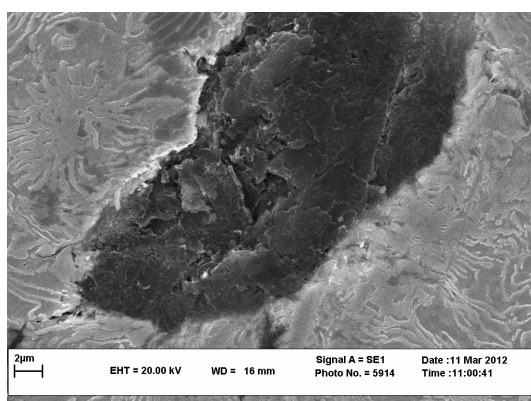




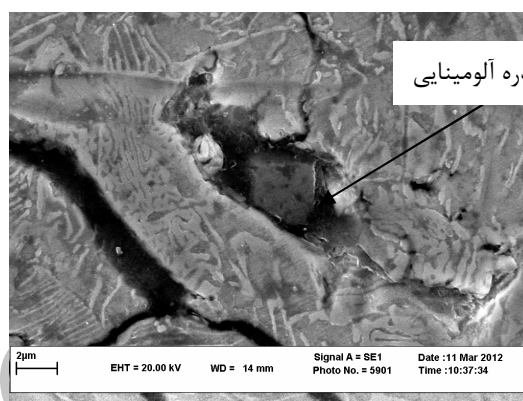
ب



الف



د



ج

شکل 6- تصاویر میکروسکوپ الکترونی؛ الف: نمونه B به وسیله الکترون‌های برگشتی، ب: نمونه C به وسیله

الکترون‌های ثانویه، ج: نمونه D به وسیله الکترون‌های ثانویه و د: نمونه E به وسیله الکترون‌های ثانویه.

راهگاهی به مذاب چدن خاکستری افزوده شدند و نتایج کلی زیر را می‌توان بیان داشت.

➤ انجام واکنش ترمیت آلومینیوم و اکسید آهن و هم‌چنین، احیاء اکسید آهن به وسیله کربن درون سیستم راهگاهی امکان‌پذیر است.

➤ ذرات آلومینای افزوده شده به مذاب موجب ایجاد گرافیت‌های نوع کیش و هم‌چنین، تغییر ریخت شناسی گرافیت از نوع A به نوع B می‌شود.

➤ افزودن ذرات آلومینا تاثیر چندانی بر ریزساختار ندارد.

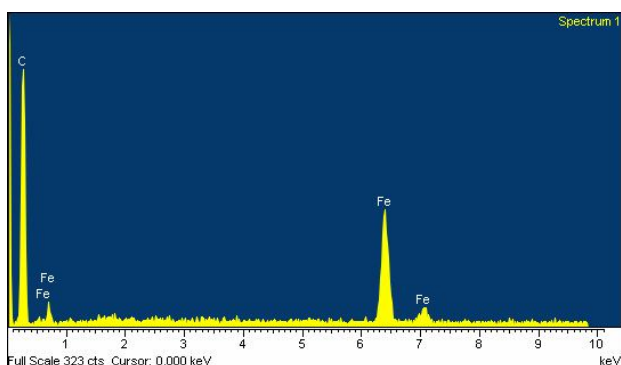
➤ حباب‌های گاز منواکسید کربن تشکیل شده درون مذاب تاثیری بر ریخت شناسی گرافیت و ریزساختار چدن

خاکستری ندارند.

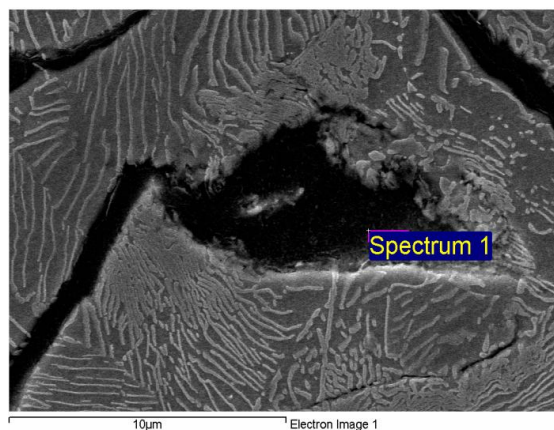
در شکل 7 نتایج بدست آمده از آنالیزهای EDX نمایش داده شده است. نتایج EDX در حفرات مشاهده شده در بیش‌تر موارد فقط وجود عناصر آهن و کربن را نشان می‌دهد (اشکال 7- الف و 7- ب). علت این امر را می‌توان به خارج شدن ذرات آلومینا در فرآیند پولیش مرتبط دانست. در شکل 7- ج، محل آنالیز EDX شکل 6- ج نشان داده شده است. بر اساس آنالیز EDX بدست آمده وجود ذره آلومینا اثبات می‌شود (شکل 7- د). گفتنی است که وجود طلا و مس در آنالیز ذکر شده به پوشش قرار گرفته بر روی نمونه‌های مانده ارتباط دارد.

### نتیجه‌گیری

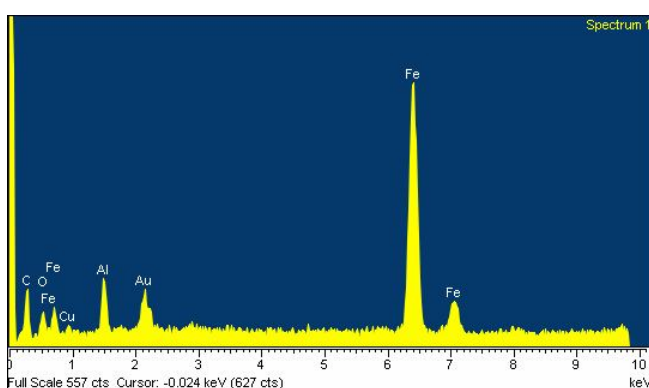
در این پژوهش، ذرات آلومینا و حباب‌های گاز منواکسید کربن از راه واکنش‌های شیمیایی درون سیستم



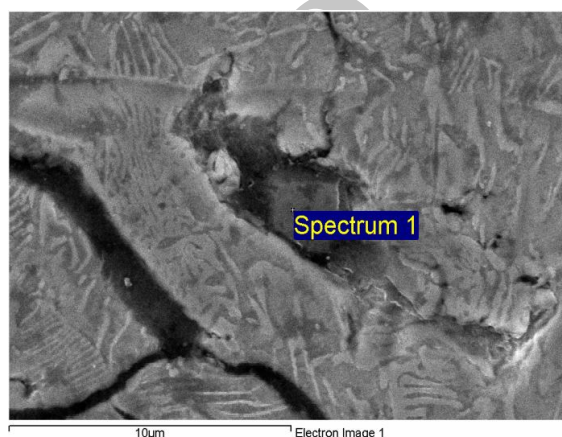
ب



الف



د



ج

شکل 7- تصاویر میکروسکوپ الکترونی و نتایج آنالیزهای EDX از نواحی سیاه رنگ، الف: تصویر میکروسکوپ الکترونی از یک ناحیه سیاه رنگ در نمونه C، ب: آنالیز EDX مرتبط با شکل الف، ج: تصویر میکروسکوپ الکترونی از یک ناحیه سیاه رنگ در نمونه D و د: آنالیز EDX مرتبط با شکل ج.

### References

- 1- R.J. Warrick, "Spheroidal Graphite Nuclei in Rare Earth and Magnesium Inoculated Irons," AFS Trans., vol. 74, pp. 722-33. 1966.
- 2- K.M. Muzmudar and J.F. Wallace, "Effect of Number of Nuclei on the Microstructure of Cast Irons," AFS Trans., vol. 80, pp. 317-28. 1972.
- 3- K.M. Muzmudar and J.F. Wallace, "Nucleation and Growth of Graphite in the Cast Irons," AFS Trans., vol. 81, pp. 412-23. 1973.
- 4- M.H. Jacobs, T.J. Law, D.A. Melford, and M.J. Stowell, "Basic Processes Controlling of Nucleation and Growth Graphite Flake in Cast Iron," Met.Technol vol. 1, p. 490-500. 1974.
- 5- M.A. Gadd and H.H.J. Bennett, "Physical Metallurgy of Cast Iron," 3rd International

- Symposium on the Physical Metallurgy of Cast Iron, Elsevier, Stockholm, p. 99. 1984.
- 6- T. Kusakawa, S. Okimoto, K.Koayashi, KazooIDE, and H. Okita, "Graphite Nucleation and Growth in Irons," Report of the Casting Research Laboratory, Waseda University, n. 39, pp. 25-32. 1988.
- 7- I. Riposan, M. Chisamera, S. Stan, and D. White, "Chilling Properties of Ba/Ca/Sr Inoculated Grey Cast Irons," Int. J. Cast Met. Res., vol. 20, pp. 90-7. 2007.
- 8- I. Riposan, M. Chisamera, S. Stan, and T. Skaland, "Graphite Nucleants (Microinclusions) Characterization in Ca/Sr Inoculated Grey Irons," Int. J. CastMet. Res, vol. 16 (1-3), pp.105-11., 2003.
- 9- I. Riposan, M. Chisamera, S. Stan, and D. White, "The Importance of Rare

- Earthcontribution from Nodulizing Alloys and Their Subsequent Effect on the Inoculation of Ductile Iron," *China Foundry*, vol. 6 (4), pp. 352–57. 2009.
- 10- I. Riposan, M. Chisamera, S. Stan, C. Hartung, and D. White, "New Developments in High Quality Grey Cast Irons, Three-Stage Model for the Nucleation of Graphite In Grey Cast Iron," *Mater. Sci. Technol.*, vol. 26 (12), pp. 1439–47. 2010.
- 11- I. Riposan, M. Chisamera, S. Stan, E. Stefan, and C. Hartung, "Control of Surface Graphite Degeneration in Ductile Iron for Wind Mill Applications," *KeyEng. Mater.*, vol. 457, pp. 19–24. 2011.
- 12- A. Velickhko and F. Mu'cklich, "Quantitative 3D Characterisation of Graphite morphology in Cast Iron – Correlation between Processing, Microstructure and Properties," *Int. J. Mater. Res.*, vol. 100(8), pp. 1031–37. 2009.
- 13- A. Sommerfeld and B. Tonn, *J. Mater.*, "Graphite Nucleation in Cast Iron Melts Based on Solidification Experiments and Microstructure Simulation," *Sci. Technol.*, vol. 24(3), pp. 321–24. 2008.
- 14- T. Skaland, Ph.D. Thesis, Metallurgisk Institutt, Trondheim, Norway, 1992.
- 15- H. Gu and L. Weidong, "Graphite Formation in Cast Irons," *Adv. Mater. Res.*, vols. 299–300, pp. 576–79. 2011.
- 16- H. M. Muhmond, and H. Fredriksson, "Inoculating Influence of Recarburisers in Grey Cast Iron," *Metall Mater Trans.* doi:10.1007/s11663-012-9768-6. 2012.
- 17- T. Carlberg, and Fredriksson, H. "Solidification and Casting of Metals," in *ProcIntConf Solidification*, Metals Soc., London, p. 115. 1977.
- 18- حمید سازگاران و علیرضا کیانی رشید، تاثیر افزودن 6/2 درصد آلومینیوم بر ریزساختار و خواص مکانیکی چدن خاکستری هیپوئوتکتیک، مجله علمی- پژوهشی مواد نوین (دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت)، جلد 4، شماره 1، پیاپی 13، (صفحات 13- 20). پاییز 1392.
- 19- G. F. Ruff, and J. F. Wallace, "Control of Graphite Structure and its Effect on Mechanical Properties of Gray Iron," *Trans AFS* 84 705. 1976.
- 20- B. Lux, and W. Kurz, *Solidification of Metals*, "The Solidification of Metals," Brighton ISI Publication, vol. 19, pp. 141-149, 1967.
- 21- H. M. Muhmond and H. Fredriksson, "An Investigation on the Effect of S and Al on the Austenite Growth Morphology in Gray Cast Iron, Using Thermal Analysis and Etching Technique", *Trans Indian Inst Met*, 66(2), pp.185–192. April 2013.
- 22- H.M. Muhmond and H. Fredriksson, "Relationship between Inoculants and the Morphologies of MnS and Graphite in Gray Cast Iron", *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol. 44B, pp. 283-298. 2013.