

۲۲
سمینار سالانه
انجمن علمی
ریخته‌گری ایران

۱۴
کنگره سالانه
انجمن مهندسیین
م탈ورژی ایران

چهارمین همایش مشترک مجموعه چکیده مقالات

دانشگاه علم و صنعت ایران
دانشکده مهندسی مواد و متالورژی
۲۴ و ۲۵ آبان ۱۳۸۹

دبیر علمی همایش: دکتر منصور سلطانیه



بسمه تعالی



چهارمین همایش مشترک انجمن مهندسين متالورژي و انجمن علمي ريخته گري ايران

۲۴ و ۲۵ آبان ۱۳۸۹، دانشگاه علم و صنعت ايران

بزهنگران) گرامی

نیما حقدادی، علیرضا کیانی رشید، حمید رضا عرفانیان نظیف طوسی

بدین وسیله ضمن تأیید پذیرش نهایی مقاله شما با عنوان

بررسی تاثیر نوع قالب ریخته‌گری و دمای انحلال بر روی ریزساختار و سختی

چدن نشکن پرآلومینیم

و قدردانی از ارائه آن در چهارمین همایش مشترک انجمن مهندسين متالورژي ايران و انجمن علمي ريخته‌گري ايران، توفيق روزافزون شما را در پيشبرد علمي کشور عزيزمان از درگاه احدیت مسئلت می‌نماییم.

دکتر جلال حجازی

رئیس هیئت مدیره انجمن علمی

ریخته‌گری ایران

دکتر منصور سلطانیه

دبیر علمی همایش

دکتر محمود نیلی احمدآبادی

رئیس هیئت مدیره انجمن

مهندسين متالورژي ايران



بررسی تاثیر نوع قالب ریخته گری و دمای انحلال بر روی ریزساختار و سختی چدن نشکن پر آلومینیوم

نیما حقدادی^۱، علیرضا کیانی رشید، حمید رضا عرفانیان نظیف طوسی

دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این پژوهش ریزساختار و میکروسختی نمونه های چدن نشکن با ۶/۱۶ درصد Al به کمک میکروسکوپ نوری و XRD بررسی شده است. در ابتدا تاثیر دو روش ریخته گری در قالب ماسه ای و ریخته گری در قالب فلزی بر ساختار نهایی نمونه ها در شرایط ریختگی و در ادامه تاثیر ۳ دمای حرارت دهی ۹۲۰، ۹۵۰ و ۹۸۰ درجه سانتی گراد بر کسر حجمی و میکروسختی فازهای مختلف، نوع گرافیت ها، درصد گرافیت زایی، اندازه گرافیت های کروی و نحوه ی توزیع آن ها در ریزساختار نمونه ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج XRD حاکی از وجود ترکیبات بین فلزی مثل Al_6Fe ، Fe_3Al و ... می باشد. تاثیر دمای حرارت دهی بر انحلال ترکیبات بین فلزی و کاربیدها نیز در انتها بررسی شده است. ملاحظه می گردد ریخته گری به روش قالب فلزی باعث بهبود کیفیت ریزساختار و افزایش درصد گرافیت های کروی می شود. همچنین با افزایش دمای حرارت دهی و انحلال کاربیدها و ترکیبات بین فلزی، از سختی فازهای مختلف ریزساختار به طور محسوسی کاسته می شود.

واژه های کلیدی: چدن نشکن پر آلومینیوم، ریزساختار، میکروسختی، گرافیت زایی، ترکیبات بین فلزی.

۱- دانشجوی کارشناسی

۲- دانشیار

۳- دانشجوی کارشناسی

بررسی ریزساختار چدن نشکن آستمپر شده حاوی ۲/۱۱٪ آلومینیم

حمیدرضا عرفانیان^۱، علیرضا کیانی رشید^۲، نیما حقدادی^۳

چکیده

حضور آلومینیم به عنوان یک عنصر آلیاژی، نقش مهمی را در کلیه خواص چدن ها ایفا می کند. در همین راستا در این تحقیق ریزساختار چدن نشکن آستمپر شده (ADI) و حاوی ۲/۱۱٪ آلومینیم، توسط میکروسکوپ های نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و مجوری (TEM) مورد بررسی قرار گرفته است. پس از انجام فرآیند ریخته گری، آماده سازی نمونه ها و تعیین ترکیب شیمیایی، نمونه ها به مدت ۶۰ دقیقه تحت عملیات حرارتی آستیتیه کردن در دمای ۹۲۰°C و سپس آستمپر کردن در دمای ۳۵۰°C و زمان های متفاوت قرار گرفتند. نتایج بررسی ها نشان دهند عملیات حرارتی پذیر بودن این آلیاژ و نیز تشکیل بینیت عاری از کاربرد در کنار آستیت باقیمانده و افزایش آن با افزایش زمان آستمپر کردن می باشد. ویژگی های فازهای حاصل توسط میکروسکوپ های الکترونی تحلیل و بررسی شده است.

واژه های کلیدی : چدن نشکن، آستمپر کردن، آلومینیم، ریزساختار، بینیت، میکروسکوپ الکترونی.

۱- دانشجوی مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد E-mail: hamid.r.erfaniaan@gmail.com

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

۳- دانشجوی مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۱. مقدمه

چدن های با گرافیت کروی دارای ترکیب خوبی از استحکام مکانیکی و چقرمگی می باشند [۱،۲]. استحکام چدن های نشکن آستمپر شده دو برابر استحکام چدن های نشکن معمول است و می تواند شبیه برخی از فولادهای کار شده و عملیات حرارتی شده باشد. ساختار زمینه یا استحاله بینیتی به ترکیب، زمان و دماهای استحاله بستگی دارد [۱،۳].

چدن های نشکن آستمپر شده معمولاً در محدوده دمایی 950°C - 825°C آستیت شده، سپس در حمام نمک مذاب، روغن داغ یا فلز مذاب در دمای بین 550°C - 280°C سریع سرد شده و در این دما به مدت معمولاً تا ۲ ساعت نگه داشته می شوند. در نتیجه ساختار فریت بینیتی-آستیتی بدست می آید ولی احتمال تشکیل فازهای مارتنزیت و کاربیدهای مختلف نیز وجود دارد [۱-۳].

عناصر آلیاژی در چدن بیشترین تأثیر را در ویژگی های چدن های نشکن آستمپر شده دارند. بوسیله کنترل ترکیب شیمیایی همانند کنترل عملیات حرارتی، اندازه های مختلف، شکل و توزیع متفاوتی از گرافیت های کروی بدست می آید و ساختار زمینه کنترل می شود. عناصر آلیاژی مانند: سیلیسیم، نیکل، مس، کروم، مولیبدن، وانادیوم و تیتانیوم استفاده می شوند که در این بین Si بیشترین نقش را در افزایش گرافیت زایی و کاهش شکل گیری تیریدی دارد و باید از آن استفاده کرد [۱-۳].

سیلیسیم که بطور مرسوم در چدن های نشکن وجود دارد می تواند با عناصر آلیاژی دیگر مثل آلومینیم برای توسعه کاربردهای ممکن جایگزین شود [۴-۷].

چدن های حاوی آلومینیم در مقایسه با چدن های معمولی دارای قابلیت های بسیار خوبی همچون مقاومت مناسب در برابر اکسیداسیون در دماهای بالا، قابلیت ماشین کاری بهتر، استحکام بالاتر در دمای اتاق و دماهای بالا، وزن مخصوص کمتر و تمایل بالای گرافیت زایی آلومینیم در آن می باشند [۱۰-۱۷].

استحاله آستمپر کردن چدن های نشکن در دو مرحله انجام می شود [۱۱]. در دماهای بالای آستمپر کردن (مرحله اول) محصول اولیه استحاله شامل صفحات کوچک فریت بینیتی و آستیت پر کربن در بین آنها می باشد [۱۲]. تمرکز بالای کربن نتیجه پس زدن آن در هنگام رشد فریت بینیتی به سمت آستیت پر کربن که هنوز استحاله ای انجام نداده می باشد [۱۱]. در مرحله نهایی استحاله، این آستیت پر کربن ناپایدار به فریت و کاربید در زمان های طولانی آستمپر کردن تبدیل می شود و در زمانهای کوتاه آستمپر کردن پس از سریع سرد کردن باقی می ماند یا با توجه به پایداری اش امکان دارد به مارتنزیت هم تبدیل شود [۱۱].

در دمای بالاتر از 330°C ببيت بالایی در اثر جوانه زنی متوالی ورقه های فریت بوجود می آید. ورقه های فریت کربن اضافی را به آستیت پیرامون خود پس می زنند که آستیت درنهایت پایدار می شود و یا کربن به شکل کاربید بین ورقه های فریت رسوب می کند و واکنش ادامه می یابد. Si تشکیل کاربیدهای بیتی را متوقف می سازد که نتیجه آن در فولادها و چدن ها با ریزساختار بیتی بدون کاربید ولی با آستیت باقیمانده غنی از کربن می باشد که می تواند آن را در برابر تجزیه به مارتزیت در اثر سریع سرد کردن مقاوم کند [۱۳،۱۴].

آزمایشات با میکروسکوپ الکترونی نشان میدهد که این ببيت عاری از کاربید تشکیل شده از ورقه های نسبتاً موازی فریت و آستیت باقیمانده پرکربن است که به طور متناوب در کنار هم قرار می گیرند. در تحقیق حاضر نوع خاصی از چدن نشکن حاوی آلومینیم آستمپر شده از نظر ریزساختاری و به ویژه به کمک میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و این نتایج با کار سایر محققین در همین راستا مقایسه شده است.

۲. مواد و روش تحقیق

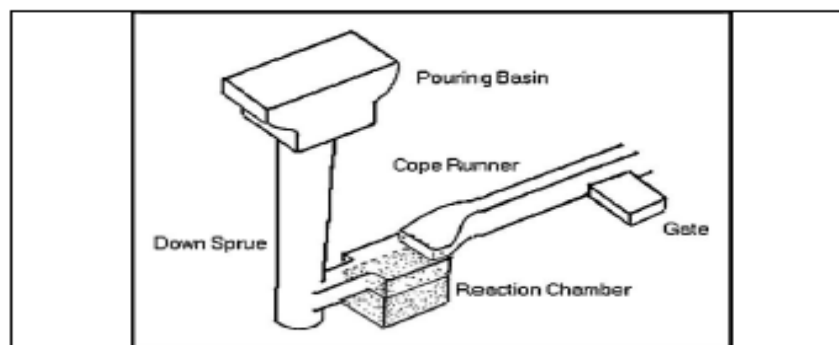
ابتدا با استفاده از کوره های بوته ای (با ظرفیت ۲۵ kg) و القایی (با فرکانس بالا و ظرفیت ۲۰ kg) با بوته کج شونده) ذوب و آلیاژ سازی انجام شد. بعد از ذوب کردن دمای آلیاژ تا 1550°C افزایش یافته و برای جلوگیری از شتاور شدن و اکسید شدن آلومینیم قطعات کوچک آلومینیم به بخش پایین مذاب وارد شد و فرصت کافی به آنها داده شد تا کاملاً ذوب شوند. کروی کردن با آلیاژ $(\text{Mg}/\delta) \text{FeSiMg}$ انجام شد. با توجه به اینکه متیزیم با مذاب با شدت زیادی ترکیب می شود، برای جلوگیری از پاشیده شدن مذاب به اطراف از محفظه خاصی استفاده شد. سپس با استفاده از فرو سیلیسیم حاوی ۷۵ درصد Si عمل جوانه زنی در بوته صورت گرفت. تأثیر مواد جوانه زا و کروی کننده با زمان نگهداری مذاب کاهش می یابد. از این مواد در سیستم راهگامی نیز بهره گرفته شد تا در آخرین مرحله های ورود مذاب به قالب امکان تهیه چدن با گرافیت کروی بیشتر و توزیع مطلوب تر فراهم شود. مشابه شکل ۱ از یک محفظه واکنش در سیستم راهگامی که مواد کروی کننده و جوانه زا نگه داری می کند استفاده شد تا این مواد به تدریج و به طور یکنواخت در حین ورود مذاب به قالب افزوده شده تا تأثیر آن افزایش یابد [۲]. در این پژوهش برای تهیه مذاب از موادی با درصد بسیار پایین گوگرد استفاده شد تا تأثیر مخرب این عنصر در زمینه تبدیل گرافیت کروی به لایه ای کاهش داده شود. همچنین آزمایشات متعدد تأیید کننده تأثیر قابل توجه سرعت سرد کردن در افزایش میزان گرافیت های کروی است که از این خاصیت نیز در

تهیه آلیاژها با درصد بالای گرافیت کروی بهره گرفته شد به گونه ای که افزایش ۰/۸۵ درصد وزنی FeSiMg برای تهیه نمونه هایی با بیش از ۹۰ درصد گرافیت کروی کافی تشخیص داده شد. در همین ارتباط از مواد جوانه زا در دو مرحله با روش غوطه وری و سیستم راهگامی و به میزان ۰/۳ درصد وزنی با اندازه ذرات کوچکتر از ۳ mm استفاده شد. نهایتاً نمونه ها در دمای تقریباً 1350°C و در قالب های ماسه ای از نوع بلوک - Y مطابق استاندارد ASTM A ۸۹۷ M-۹۰ و در قالب هایی از جنس ماسه ریخته گری شدند. پس از بریدن و پولیش کردن نمونه ها، ترکیب شیمیایی مربوط با کمک کوانتومتر تعیین شد. که ترکیب آن در جدول شماره یک ارائه شده است. سپس نمونه ها در دمای 920°C و زمان های متفاوت آستیتته شده و در آب تا دمای محیط کوئنچ شدند و زمان ۶۰ دقیقه برای آستیتته کردن انتخاب شد. نمونه های آستیتته شده در این دما و به مدت ۶۰ دقیقه، در دمای 350°C با زمان های متفاوت آستمپر شدند. میکروسکوپ های نوری و الکترونی روبشی و عبوری برای نشان دادن ریزساختار مورد استفاده قرار گرفته است.

از دستگاه SEM از نوع سری ۲ و سری ۴ در اتصال با سیستم میکرو آنالیز ISIS آکسفورد با ولتاژ شتاب دهنده ۲۰ Kv و فاصله کار ۲۵ mm برای مشاهدات میکروسکوپی استفاده شده است. تحلیل های میکروسکوپی و اندازه گیری درصد فازها نیز روی نمونه های ریخته گری شده انجام شد. آماده سازی موفقیت آمیز نمونه های بسیار نازک برای بررسی توسط TEM از چدن ها پیچیده تر از اغلب فلزات آلیاژی و فولادها به علت وجود دو فاز کاملاً متفاوت در چدن ها (گرافیت و آهن) می باشد. وقتی از جت الکتروپولیش استفاده می شود، سطحی تیره ناشی از اکسیداسیون قوی و خوردگی بدست می آید و نیز امکان جدا شدن گرافیت های کروی بزرگ قبل از اینکه نمونه به اندازه کافی نازک شود وجود دارد. آماده سازی نمونه های بسیار نازک از نمونه ها فقط با یک فرآیند پرزحمت پولیش مکانیکی و نازک سازی یونی امکان پذیر است. در تحقیق حاضر برای آزمایش بر روی نمونه های بسیار نازک از دستگاه TEM مدل Philips ۲۰cm با ولتاژ شتاب دهنده ۲۰Kv استفاده شده است.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی چدن نشکن مورد مطالعه (درصد وزنی)

Fe	Mg	S	P	Mn	Ni	Si	C	Al
باقیمانده	۰/۰۶	<۰/۰۰۵	<۰/۰۰۵	۰/۱۱	۰/۰۴	۱/۲۱	۳/۵۵	۲/۱۱



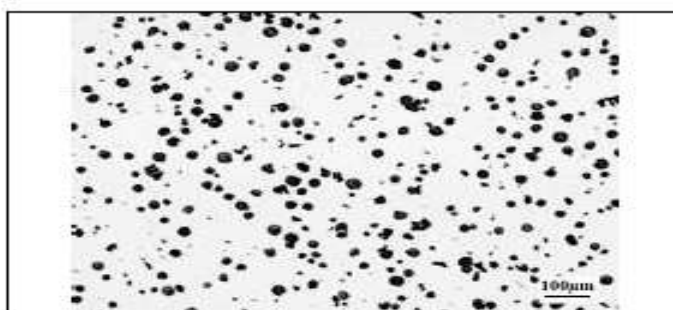
شکل ۱. چگونگی قرار گرفتن یک محفظه برای استفاده از مواد کروی کننده و جوانه زا

۳. نتایج و بحث

در این تحقیق ابتدا ساختار میکروسکوپی نمونه هایی از چدن داکتیل حاوی ۲/۱۱ درصد آلومینیم پس از ریخته گری با دقت مورد بررسی قرار گرفت. شکل های ۲ و ۳ نشان دهنده توزیع کاملاً تصادفی و نسبتاً یکنواختی از گرافیت ها می باشند و روشن می کنند که فرآیند ریخته گری و کروی شدن گرافیت ها بطور کامل و صحیح انجام شده و نیز در توافق کامل با نتایج تحقیقات قبلی است [۱۵] که نشان می دهند افزایش درصد آلومینیم باعث افزایش تعداد گرافیت های کروی و نیز میزان کروی شدن آن ها می شود و همچنین اندازه گرافیت های کروی را کاهش می دهد.

شکل ۳ تصویر میکروسکوپ نوری از حضور گرافیت های کروی در زمینه ای با ساختار فریتی - پرلیتی است. مقدار هر یک از این فازها اندازه گیری شده و در جدول ۲ آمده و همانطور که از شکل نیز پیداست نشان دهنده درصد حجمی بیشتر فاز پرلیت نسبت به فریت است که با نتایج کار تحقیقات قبلی مبنی بر اینکه افزایش درصد حجمی فاز پرلیت و کاهش درصد حجمی فاز فریت با افزایش مقدار درصد آلومینیم صورت می پذیرد تطابق دارد [۱۶].

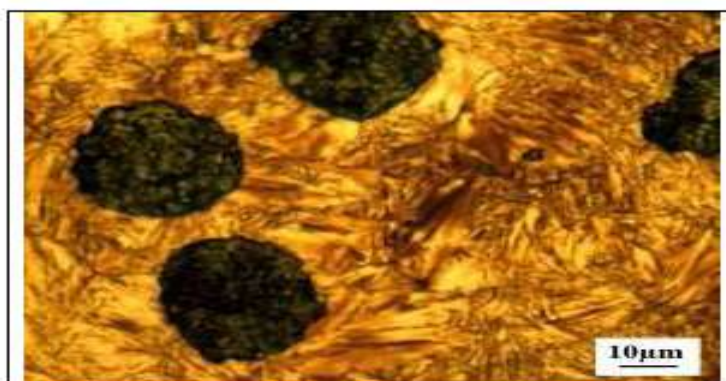
بررسی ریز ساختاری نمونه هایی که در دمای 920°C برای مدت زمان های متفاوت نگه داشته شده اند، نشان دهنده کامل ترین ساختار زمینه مارتنزیتی برای مدت زمان نگهداری ۶۰ دقیقه در این دما می باشد (شکل ۴). انجام سختی سنجی بر روی نمونه ها نشان می دهد که زمان های کم آستیتیته کردن به دلیل آستیتیته نشدن کامل نمونه، توزیع غیریکنواخت عناصر آلیاژی و جدایش بوجود آمده ناشی از آن، سختی پایین تر است. با افزایش زمان آستیتیته کردن این شرایط تغییر کرده و سختی افزایش می یابد ولی در زمان های زیاد آستیتیته کردن به علت رشد دانه های آستیتیت سختی مجدداً کاهش می یابد (شکل ۵).



شکل ۲. تصویر میکروسکوپ نوری از شکل، اندازه و توزیع گرافیت های کروی چدن فشکن حاوی Al ۲/۱۱٪ پس از ریخته گری، اچ نشده.



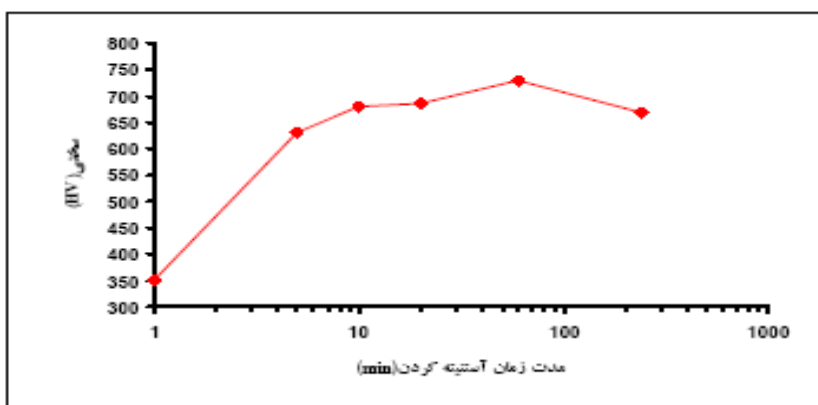
شکل ۳. تصویر میکروسکوپ نوری از چدن فشکن حاوی ۲/۱۱ درصد Al پس از ریخته گری، اچ شده در نایتال ۲٪.



شکل ۴. تصویر میکروسکوپ نوری از چدن فشکن حاوی ۲/۱۱ درصد Al، آستنیت شده در دمای ۹۲۰°C به مدت ۶۰ دقیقه، اچ شده در نایتال ۲٪

جدول ۲. درصد حجمي و نوع فازهاي بوجود آمده در چدن نشکن حاوي ۲/۱۱ درصد Al.

نوع فاز	گرافيت	فريت	پرليت
درصد حجمي	۱۱/۸	۲۳/۷	۶۴/۵



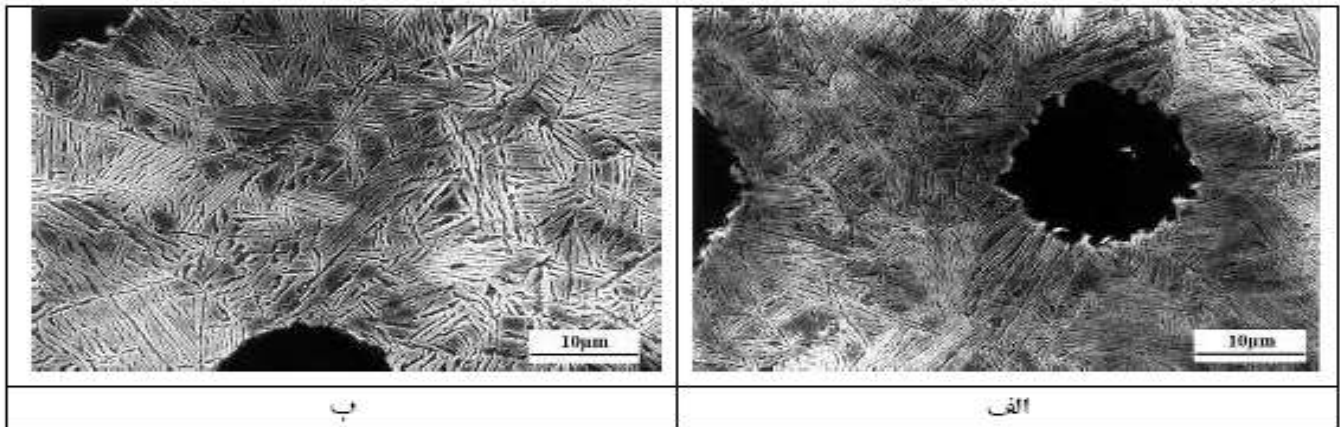
شکل ۵. نمودار سختي چدن نشکن حاوي ۲/۱۱ درصد Al آستیتته در دمای 920°C به مدت زمان هاي متفاوت.

کياني رشيد [۱۶] نشان داده که زمان آستیتته کردن برای چدن نشکن با افزایش دما کاهش می یابد و نیز نرخ آستیتته شدن تحت تاثیر میزان Al می باشد و به همین دلیل دما و زمان بهینه آستیتته کردن برای چدن های نشکن حاوي مقادير متفاوت آلومیتيم متفاوت می باشد.

نمونه ها در دمای 920°C به مدت ۶۰ دقیقه آستیتته شده و در دمای 350°C و در زمان های متفاوت از ۱ تا ۶۰ دقیقه آستمپر شده و به کمک میکروسکوپ های الکتروني مورد بررسی قرار گرفتند. استحاله بینیت در این دما و در کسري از ثانیه شروع می شود. شکل ۶ تصویر تهیه شده توسط میکروسکوپ الکتروني روبيشي را نشان می دهد که ورقه های فريت بینيتي و آستيت پرکربن بصورت متوالي در کنار هم و پس از گذشت یک دقیقه می باشند. همانطور که از تصویر پیداست کسر حجمي کمی از زمينه به بینیت تبدیل شده و مابقي آستيت که در استحاله شرکت نداشته است پس از کوئنچ در آب به مارتنزیت تبدیل می شود. افزایش زمان آستمپر کردن باعث افزایش مقدار بینیت تشکیل شده و همچنین کاهش مقدار مارتنزیت می شود (شکل ۷). همانطور که در شکل ۷ دیده می شود از آنجایی که همچنان مقداری آستيت بصورت استحاله نکرده باقی مانده است نتیجه می شود که در صورت افزایش زمان آستمپر کردن بینیت بیشتری قادر به تشکیل خواهد بود.



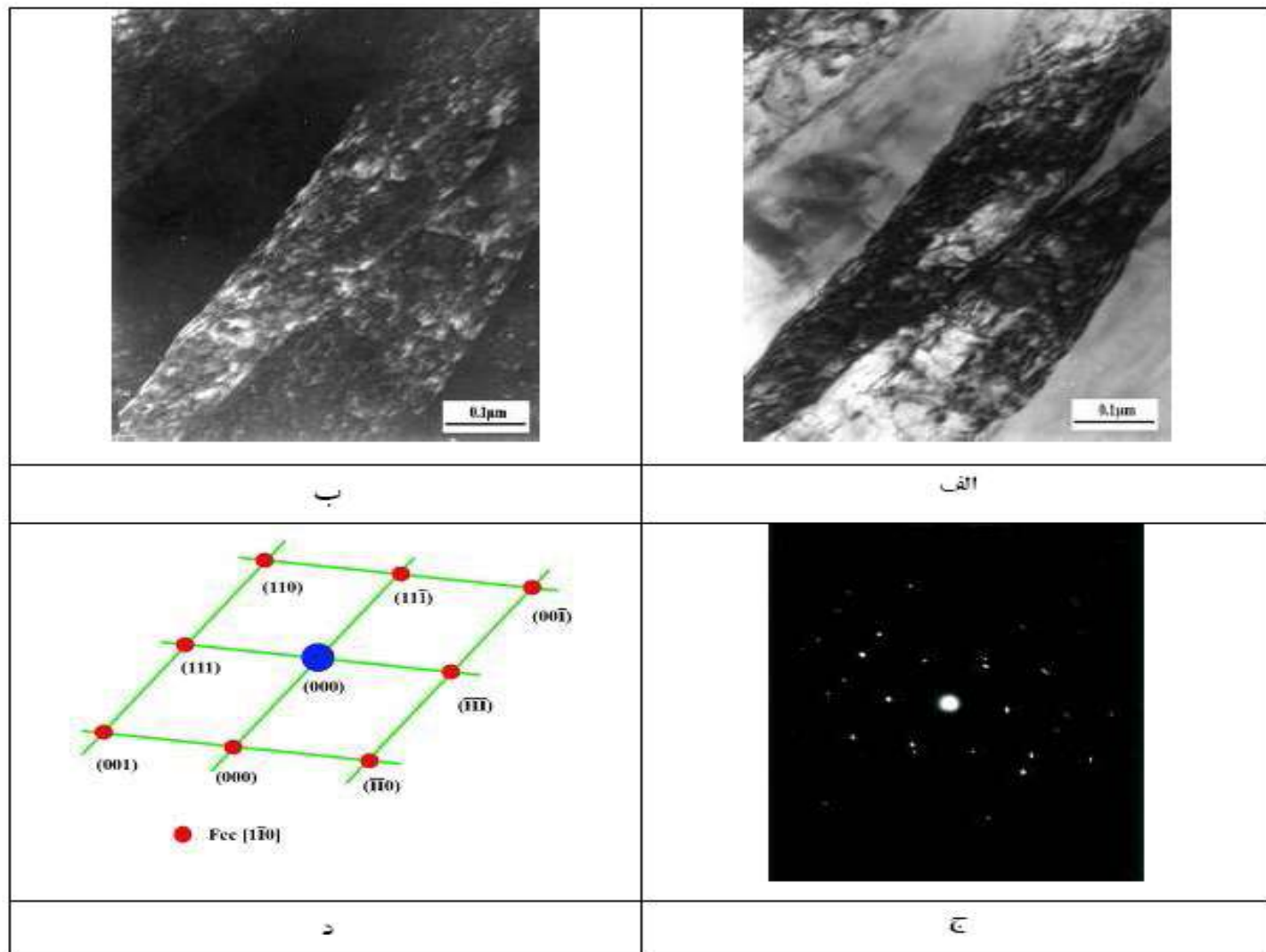
شکل ۶. تصویر SEM از چدن نشکن حاوی ۲/۱۱ درصد Al، آستنیت شده در دمای ۹۲۰°C به مدت ۶۰ دقیقه، آستمپر شده در دمای ۳۵۰°C به مدت ۱ دقیقه.



شکل ۷. تصویر SEM از چدن نشکن حاوی ۲/۱۱ درصد Al، آستنیت شده در دمای ۹۲۰°C به مدت ۶۰ دقیقه آستمپر شده در دمای ۳۵۰°C به مدت: الف) ۲۰ دقیقه ب) ۶۰ دقیقه.

مدت زمان آستمپر کردن در مورد چدن های نشکن از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا در زمان های کم که مارتزیت تشکیل می شود از میزان انعطاف پذیری چدن نشکن کاسته شود و در زمان های طولانی نیز کاربیدها شکل می گیرند و نتیجه آن چقرمگی کمتر چدن نشکن در برابر افزایش استحکام آن است [۱۷].

تشکیل این کاربیدها را کیانی رشید [۱۸] برای چدن نشکن حاوی ۴/۸۸ درصد آلومینیم آستنیت شده در دمای ۹۲۰°C به مدت ۹۰ دقیقه و پس از گذشت ۱۳۲۰ دقیقه از شروع عملیات آستمپر کردن در دمای ۳۵۰°C به خوبی نشان داده است.



شکل ۸. تصویر TEM از چدن نشکن حاوی ۲/۱۱ درصد Al، آستنیته شده در دمای ۹۲۰°C به مدت ۶۰ دقیقه و آستمپر شده در دمای ۳۵۰°C به مدت ۴۰ دقیقه. الف) تصویر میدان روشن، ب) تصویر میدان تاریک، ج) تصویر SADP گرفته شده از میدان تاریک، د) اندیس گذاری تصویر SADP

تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری برای نمونه ای که به مدت ۴۰ دقیقه در دمای ۳۵۰°C آستمپر شده هم نشان می دهد که ورقه های فریت بینیتی عاری از کاربید در کنار آستنیته باقیمانده پر کربن بطور متوالی قرار گرفته اند (شکل ۸) اندیس گذاری صفحات حاصل از تصویر الگو پراش نشان دهنده عدم حضور کاربید می باشد. همچنین کربن اضافی در این دما فرصت کافی برای خروج از فریت را داشته و در داخل آستنیته مجاور قرار گرفته و هیچ رسوب سمیتی در فریت دیده نمی شود. همچنین

مشابه آنچه کیانی رشید [۱۸] برای چدن نشکن حاوی ۴/۸۸ درصد آلومینیم آستمپر شده در 350°C به مدت ۴۰ دقیقه گزارش کرده است در این نمونه نیز بیئتیت تشکیل شده عاری از کاربرد می‌باشد. Si همانطور که در استحاله بیئیتی فولادهای غنی از سیلیسیم مشاهده می‌شود، نقش جلوگیری از تشکیل کاربرد را داراست، با این تفاوت که در مورد چدن ها، غلظت کربن در آستنتیت باقیمانده به دما و مدت زمان استحاله نیز بستگی دارد و این به واسطه آن است که در مورد چدن ها آستنتیت در تعادل با گرافیت است و برقراری تعادل بین این دو به دما و زمان بستگی دارد [۱۷].

۴. نتایج

نتایج نشان می‌دهد که آلیاژ چدن نشکن حاوی ۲/۱۱ درصد Al یک آلیاژ عملیات حرارتی پذیر می‌باشد و در دمای 920°C کامل آستنتیه شده و با افزایش زمان نگهداری در این دما مقدار مارتنزیت تشکیل شده افزایش می‌یابد.

عملیات آستمپر کردن در دمای 350°C باعث تشکیل ورقه های فریت بیئیتی عاری از کربن در کنار آستنتیت باقیمانده پر کربن و نیز افزایش مقدار آن با افزایش زمان نگهداری در این دما می‌شود. در همین ارتباط ریزساختار میکروسکوپی به کمک میکروسکوپ نوری، SEM، TEM و به کمک سختی سنجی نیز تجزیه و تحلیل شده است.

۵. مراجع

1. I.C.H. Hughes, "Ductile Iron", Metals Handbook, Casting, vol. 15, ninth edition, BCIRA Inter. Center for Cast Metals Tech., Great Britain, 1988, pp. 647-666.
2. R. Elliott, "Cast Iron Technology", Butterworths & Co. (Publishers) Ltd., London, 1988.
3. H.T. Angus, "Cast Iron, Physical and Engineering Properties", Butterworths & Co (Publishers) Ltd., London, 1978.
4. E. Dorazil, B. Barta, E. Munsterova, L. Stransky, A. Huvar, "High-Strength Bainitic Ductile Cast Iron", AFS International Cast Metals Journal 7.2 (1982) 52-62.
5. L. Sidjanin, R.E. Smallman, S.M.A. Boutorabi, "Microstructure and Fracture of Aluminium Austempered Ductile Iron Investigated Using Electron Microscopy", Materials Science and Technology 10 (1994) 711-720.
6. A.R. Kiani-Rashid, D.V. Edmonds, "Graphite Phase Formation in Al-alloyed Ductile Irons", International Journal of Engineering 15 (3) (2002) 261-272.
7. A.R. Kiani-Rashid, "The Effect of Aluminium on the Structure and Heat Treatment Conditions on Austempered Ductile Iron", Ph.D. Thesis, School of Materials, University of Leeds, UK, 2000.
8. A.R. Kiani-Rashid, D.V. Edmonds, "Microstructural Characteristics of Al-alloyed Austempered Ductile Irons", Journal of Alloys and Compounds 477 (2009) 391-398
9. R.P. Walson, "Aluminium Alloyed Cast Iron Properties Used in Design", AFS, Transactions 85, pp.51-58 (1997).
۱۰. علیرضا کیانی رشید، "تاثیر آلومینیم موجود بر نمودارهای فازي تعادلي Fe-C-Al-Si"، نشریه مهندسی

11. H. Bayati, R. Elliott, "Relationship Between Structure and Mechanical Properties in High Manganese Alloyed Ductile Iron", *Mater. Sci. Technol.* 11 (1995) 284–293.
12. M. Bahmani, R. Elliott, "Isothermal Transformation Diagrams for Alloyed Ductile Cast Iron", *Mater. Sci. Technol.* 10 (1994) 1050–1056.
13. J.W. Christian, D.V. Edmonds, "Phase Transformations in Ferrous Alloys", *AIME*, 1984, pp. 293–325.
14. H.K.D.H. Bhadeshia, D.V. Edmonds, "Bainite in silicon steels: new composition-property approach Part 1", *Metal Sci.* 17 (1983) 411–419.
15. A. Shayesteh-Zeraati, H. Naser-Zoshki, A.R. Kiani-Rashid, M.R. yousef-sani, "The Effect of Aluminium Content on Morphology, Size, Volume Fraction, and Number of Graphite Nodules in Ductile Iron", *Journal of Materials: Design and Applications, JMDSA302*, vol. 224, Part L, No L3 (2010) 117-122.
16. A.R. Kiani-Rashid, "Influence of Austenitising Conditions and Aluminium Content on Microstructure and Properties of Ductile Irons", *Journal of Alloys and Compounds* 470 (2009) 323–327.
17. H.K.D.H Bhadeshia, "Bainite in Steels, Transformation, Microstructure and properties", 2nd Edition, *IOM Communications Ltd (Publisher)*, pp.388-397 (2001).
18. A.R Kiani-Rashid, "The Bainite Transformation and the Carbide Precipitation of 4.88% Aluminium Austempered Ductile Iron Investigated Using Electron Microscopy", *Journal of Alloys and Compounds* 474 (2009) 490–498.

Microstructure study of austempered ductile iron containing 2.11% aluminum

H.R. Erfanian-Nazif-Toosi*, A.R. Kiani-Rashid, N. Haghdadi

* Corresponding Author Address: Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
E-mail: hamid.r.erfanian@gmail.com

Abstract

The presence of aluminum as an alloying element plays an important role in all the properties of cast irons. In this study, microstructure of cast iron with spherical graphite, austempered and containing 2.11% aluminum, were studied with optical, scanning electron (SEM) and transition electron (TEM) microscopes. After the casting process and samples preparation and determination of chemical composition, austenitizing heat treatment at 920°C for 60 minutes and then austempering heat treatment at 350°C and different times on samples was performed. The results indicate that this alloy is ability to be heat treated and the formation of free carbide bainite in the matrix interwoven with remain austenite and increasing the value of bainite by increasing the austempering time. The presence and characteristics of this phase has been analyzed with electron microscopy.

Keywords: Ductile iron, Austempering, Aluminum, Microstructure, Bainite, Electron microscopy

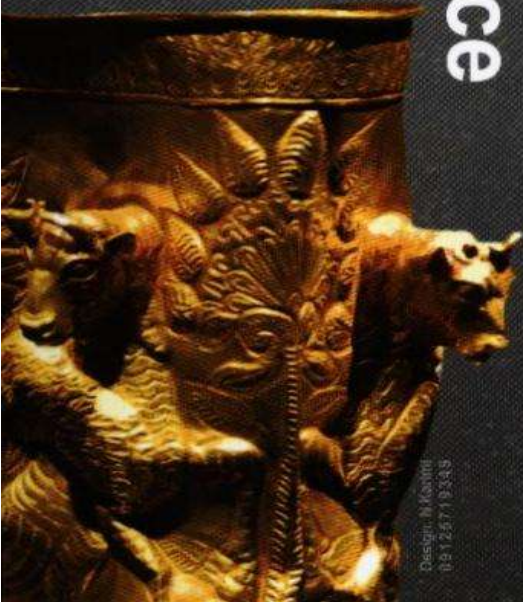
14th annual conference of the
Iranian Metallurgical
Engineering Society

22nd annual conference
of the Iranian
Foundry Society

Abstract The fourth joint conference

Iran University of Science and Technology
School of Metallurgy and Materials Engineering
2010, 15 and 16 November, Tehran, Iran

Edited by Dr .M. Soltanieh



Design: M. Moshiri
08126719343