

۲۲
انجمن علمی
ریخته‌گری ایران

۱۴
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



بررسی ریزساختار و سختی چدن کرووی حاوی %Al 61/0 و %Si 1/11 در حالت ریختگی و پس از عملیات حرارتی آستنیت‌ه کردن و آستمپر کردن

علیرضا کیانی رشید^۱، بهتاش هاشمی سالانقوج^۲

دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

تأثیر آلومینیوم به عنوان یک عنصر گرافیت زای قوی شناخته شده می باشد. پژوهش های متعددی جهت جایگزینی آلومینیوم به جای سیلیسیوم در چدن های خاکستری و کرووی توسط محققین انجام شده است. تأثیر مثبت آلومینیوم در افزایش مقاومت اکسیداسیون در دماهای بالا، افزایش سختی و استحکام قطعات چدنی است. در همین راستا در این تحقیق با افزودن مقادیر حداقل از آلومینیوم در حضور سیلیسیوم سعی شده است تا ریزساختار نمونه های ریخته گری شده در قالب های ماسه ای و فلزی به کمک میکروسکوپ های نوری و الکترونی مورد مطالعه دقیق قرار بگیرد. در همین ارتباط با انجام عملیات حرارتی مناسب از طریق آستنیت‌ه کردن در دمای ۸۹۰ درجه سانتیگراد و آستمپر کردن در دماهای ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ درجه سانتیگراد، چگونگی استحاله های فازی مورد بررسی قرار گرفته است. از سختی سنجی جهت تعیین خواص مکانیکی این ماده بهره گرفته شده است.

واژه های کلیدی: چدن کرووی، ریزساختار، آلومینیوم، گرافیت، آستنیت.

۱- دانشیار

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد

مقدمه

چدن نشکن در مقایسه با انواع دیگر چدن ها، استحکام بیشتر، تافنس مناسب، ماشین پذیری خوب، مقاومت سایش نسبتاً خوب، سیالیت مذاب بالا و نقطه ذوب پایین دارا می باشد. مزیت بزرگ آن استحکام خوب و انعطاف پذیری آن در کنار مدول الاستیسیته بالا می باشد. در حقیقت شکل کرووی گرافیت باعث خواص مطلوبی در این گروه از چدن ها شده است. ساختار نهایی چدن نشکن ریخته شده به طور عمده با عواملی مانند عملیات ذوب، ترکیب شیمیایی و سرعت سرد کردن تحت تاثیر قرار می گیرد [۱].

ریزساختار با فرآیند انجماد و استحاله های حالت جامد شکل می گیرد. عمل تلقیح و سرعت سرد کردن تعداد نودول ها را کنترل می کند، در حالی که ساختار زمینه به شرایطی که واکنش یوتکتیک انجام می شود، بستگی دارد. در میان متغیرهایی که مکانیسم واکنش یوتکتوئید را تحت تاثیر قرار می دهند، ترکیب شیمیایی و سرعت سرد کردن در محدوده دمای یوتکتوئید می باشند. نتایج استحاله یوتکتوئید نقش کلیدی در تعیین خواص مکانیکی چدن دارند. لذا، اثر عناصر آلیاژی روی خواص مکانیکی چدن ممکن است به اثر آنها روی استحاله یوتکتوئید مرتبط شوند [۲-۴].

عناصر آلیاژی روی استحاله یوتکتیک به وسیله تغییر در دماهای پایداری و ناپایداری یوتکتیک آثار مهمی دارند [۵-۸].

در میان عناصر آلیاژی، Al تشکیل گرافیت در طول استحاله یوتکتیک بهبود می بخشد. به عبارت دیگر Al پرلیت را در استحاله یوتکتوئید پایدار می کند. Al شبیه به Si، در فریت و آستنیت در مقادیر بالا حل می شود، در حالی که حلالیت آن در کاربید کم است [۵-۸]. استحکام کششی بالاتر، مقاومت بهتر به شوک حرارتی، تمایل به گرافیت زایی بالا، مقاومت به پوسته شدن در دمای بالا و قابلیت ماشینکاری خوب برخی از فوایدی هستند که با اضافه کردن آلومینیوم به چدن ها به دست می آیند [۹]. آلومینیوم ممکن است که به جای Si استفاده شود [۱۰-۱۲].

فرایند آستمپر کردن در چدن های نشکن شامل آستنیت کردن، کوئنچ و استحاله همدم (آستمپر) یک نمونه یا جزء در یک دما در محدوده بینیتی برای یک دوره خاص زمانی می باشد. آستنیت کردن و آستمپر کردن اغلب در حمام نمک مذاب جهت جلوگیری از اکسیداسیون سطحی نمونه ها یا اجزا انجام می شود [۱۳]. با انجام عملیات آستمپر، یک ریز ساختار بینیتی-آستنیتی بدست می آید. بینیت یک ریزساختار ناشی از تجزیه ی آستنیت به فریت و سمنتیت در دمای بالای M_s زیر دمای تشکیل پرلیت می باشد. در طی تحول،

حجم تغيير يافته به بينيت به صورت يك تابع منحنی زمان همراه با افزايش زمان افزايش می يابد تا اينکه با رسيدن به يك حد مشخص عليرغم حضور مقادير قابل توجه آستنتيت ديگر شاهد افزايش کسر بينيت نخواهيم بود. پديده واکنش نا تمام به دليل اين است که استحاله قبل از اينکه آستنتيت به ترکيب تعادلی خود برسد متوقف می شود [۱۴]. اما ريز ساختار می تواند همچنين شامل مارتنزيت و فازهای مختلف کاربيدی باشد [۹].

در اين پژوهش، با استفاده از آزمايشات گوناگون و تجهيزات مختلف به بررسی ريزساختار و سختی چدن با گرافيت کروی حاوی Al ۰/۶۱٪ و Si ۱/۱۱٪ در حالت ريختگی و پس از عمليات های حرارتی آستنتيته بهينه در دمای ۸۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۰ دقيقه و آستمبر در دماهای ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ برای زمان های مختلف پرداخته شده است.

مواد و روش تحقيق

آماده سازی نمونه:

جهت انجام اين بررسی مطابق با ترکيب جدول ۱، چدن نشکن در کوره ی بوتۀ ای گازی (با ظرفيت ۲۵ کيلوگرم) و القایی (با فرکانس بالا و ظرفيت ۲۰ کيلوگرم و بوتۀ کچ شونده) ريخته گری و تهيه شده است. پس از تهيه مذاب، دمای آلياژ تا ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد افزايش يافته و برای جلوگیری از شناور شدن و اکسيد شدن آلومينيوم، قطعات کوچک آلومينيوم به کف پاتیل وارد شدند.

جهت افزودن تدریجی و يکنواخت مواد کروی کننده و جوانه زا به مذاب در حين ورود آن به قالب، از يك محفظه ی واکنش در سيستم راهگاهی که نقش نگهدارنده اين مواد را دارا بود، استفاده شد.

قالب گیری در قالبهای ماسه ای و به شکل بلوک هایی مطابق با استاندارد ASTM A 897 M-90 در اندازه ۱۲/۵ و ۲۵ میلی متر و دمایي حدود ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد انجام شد.

مقدار کمی کربن در نمونه ها با روش جذب مادون قرمز پس از احتراق در کوره ی القایی و اکسیداسيون دی اکسيد کربن، در مرکز فناوری گروه CORUS (بريتيش استیل سابق) تعيين شد. همچنين آناليز کمی آلومينيوم در چدن های نشکن حاوی آلومينيوم به روش اسپكتروفوتومتري جذب اتمی (AAS) در مرکز HIST دانشگاه بيرمنگام انجام شد (جدول ۱) [۱۵و۹].

نمونه ها با ابعاد ۵×۱۰×۱۰ میلیتر، از قسمت پایین بلوک های ریختگی (بلوک های Y)، با استفاده از اهر نواری، تهیه شدند. سپس جهت مطالعه ریزساختاری این قطعات در حالت های ریختگی و پس از انجام عملیات حرارتی تعیین شده، سطوح آنها توسط کاغذهای سنباده ی کاربید سیلیسیوم با شماره های ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰، ۶۰۰ و ۱۲۰۰ به ترتیب سنباده و سپس با خمیر الماسه ی ۱ میکرون پولیش شدند.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی نمونه های چدن نشکن حاوی آلومینیوم (درصد وزنی) (۱۵ و ۹).

Fe	Mg	S	P	Mn	Ni	Si	Al	C	ترکیب
باقیمانده	۰/۰۴	<۰/۰۰۵	<۰/۰۰۵	۰/۰۶	۰/۰۴	۱/۱۱	۰/۶۱	۳/۶۶	درصد

آزمایشات ریزساختاری:

جهت تعیین و بررسی ریز ساختار، پس از پولیش، نمونه ها در محلول نیتال ۲٪ اچ شده، سپس از یک میکروسکوپ نوری (OLYMPUS BX41M-LED) مجهز به دوربین دیجیتال استفاده شده است. عملیات مشابهی نیز برای آماده سازی نمونه ها جهت انجام آزمایشات سختی سنجی انجام گرفت.

سختی سنجی:

اندازه گیری های ریزسختی با استفاده از دستگاه سختی سنج ویکرز با اعمال نیروی ۲۰۰ گرم در مدت زمان ۱۵ ثانیه روی نمونه های پولیش و اچ شده انجام گرفتند. همچنین سختی نمونه ها نیز با استفاده از دستگاه سختی سنج برینل با اعمال نیروی ۳۰ کیلوگرم به مدت زمان ۱۰ ثانیه روی نمونه با ساچمه فولادی به قطر ۱ میلی متر، تعیین شد. برای هر دو نوع سختی، میانگینی از پنج عدد سختی اندازه گیری شده برای هر نمونه، گزارش شده است.

عملیات حرارتی نمونه ها

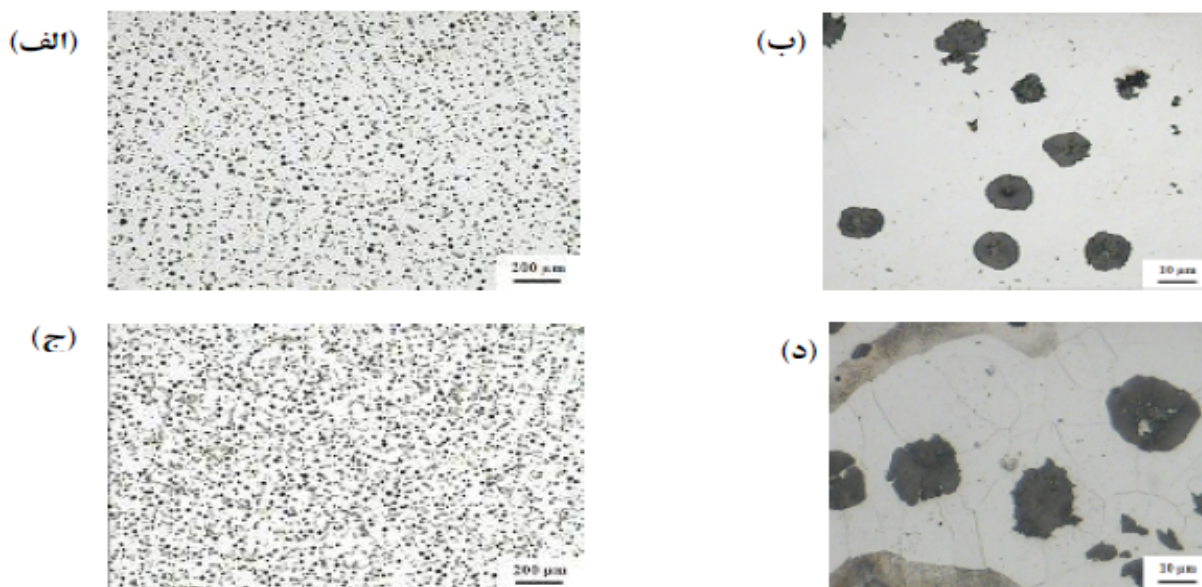
جهت انجام عملیات حرارتی آستمپر، ابتدا نمونه ها در دمای ۸۹۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۴۰ دقیقه، به دلیل ابعاد کوچک نمونه ها، آستینیت شده و سپس بلافاصله به حمام نمک مذاب منتقل و در دماهای ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ درجه سانتیگراد برای مدت زمان های ۳۰ و ۹۰ دقیقه در این دماها نگهداری شده و با پایان یافتن زمان مورد نظر، نمونه ها کوئنچ شدند.

نتایج و بحث

بررسی های ریزساختاری:

در حالت ریختگی، ریزساختار نمونه های پولیش شده در این حالت قبل از اچ و بعد از اچ در شکل ۱ نشان داده شده اند. شکل های ۱ (الف) و ۱ (ب) تصاویر ساختار نمونه ها قبل از اچ را در بزرگنمایی های متفاوت نشان می دهند. می توان دید که مورفولوژی نودول ها گرافیت در ریزساختار چدن نشکن حاوی آلومینیوم کاملاً کرووی می باشد و کرووی بودن بیش از ۹۰٪ می باشد. همچنین ریزساختار نمونه ها در شکل های ۱ (ج) و ۱ (د) در بزرگنمایی های متفاوت نشان داده شده اند. دیده می شود که ریزساختار آن در نمونه ریختگی بدون عملیات حرارتی شامل زمینه ی فریتی-پرلیتی می باشد که در آن فریت درصد بالایی از زمینه را تشکیل داده و مناطقی از پرلیت و همچنین نودول های گرافیت نیز مشاهده می شوند. به طور کلی با افزایش مقدار آلومینیوم، مقدار کسر حجمی فریت کاهش و مقدار کسر حجمی پرلیت افزایش می یابد. در این نمونه به این دلیل که مقدار آلومینیوم ۰/۶۱ درصد می باشد، لذا مقدار پرلیت بسیار کم و مقدار فریت زیاد می باشد.

در حالت عملیات حرارتی شده، شکل ۲ ریزساختار چدن نشکن حاوی آلومینیوم آستمپر شده را در این حالت در دماهای ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ درجه سانتیگراد برای زمان های ۳۰ و ۹۰ دقیقه نشان می دهد. برای این عملیات حرارتی یک ساختار فریت بینیتی همراه با آستنیت با کربن بالا انتظار می رود. اما اگر زمان آستمپر



شکل ۱. تصاویر ساختار و ریز ساختار نمونه ریخته گری شده بدون عملیات حرارتی، الف) قبل از اچ (۵۰×، ب) قبل از اچ (۵۰۰×، ج) ۳۰ ثانیه اچ (۵۰×، د) ۳۰ ثانیه اچ (۵۰۰×).

کوتاه باشد، یک ریزساختار شامل فریت و آستنیت باقی مانده همراه مقداری مارتنزیت می دهد، لذا با افزایش زمان آستمپر، آستنیت پایدارتر می شود.

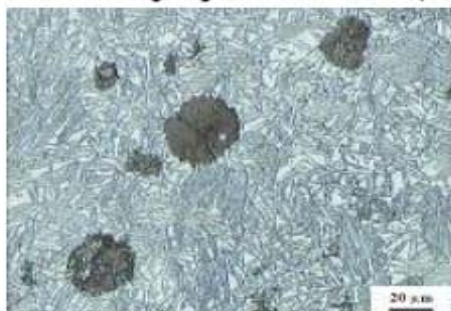
در شکل ۲ (الف)، تصویر میکروسکوپ نوری از نمونه آستمپر شده در ۳۵۰ درجه سانتیگراد برای ۳۰ دقیقه می باشد. ریزساختار شامل فریت بینیتی، آستنیت باقی مانده و مقداری مارتنزیت می باشد. با افزایش زمان آستمپر به ۹۰ دقیقه که ریزساختار آن در شکل ۲ (ب) مشاهده می شود، می توان دید که مارتنزیت از ساختار محو شده است. نمونه های آستمپر شده در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد ساختاری از بینیت پایینی که در حال تغییر به بینیت بالایی می باشند را با یک نمای فریت بینیتی در زمینه آستنیت باقی مانده نشان می دهند. در شکل - های ۲ (ج) و (د)، ریزساختار های نمونه های آستمپر شده در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد برای ۳۰ و ۹۰ دقیقه،



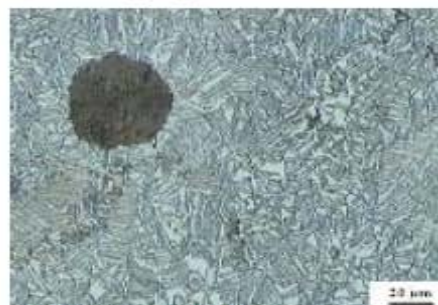
(ب) ۳۵۰ درجه سانتیگراد برای ۹۰ دقیقه



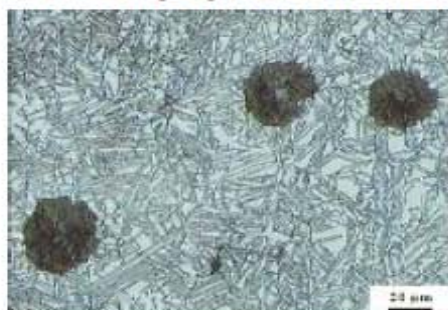
(الف) ۳۵۰ درجه سانتیگراد برای ۳۰ دقیقه



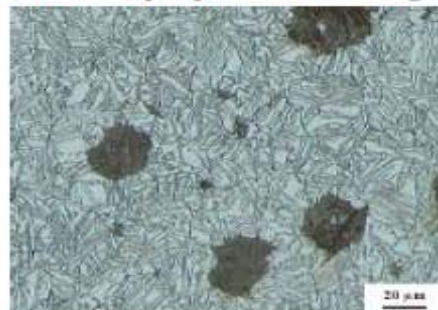
(د) ۴۰۰ درجه سانتیگراد برای ۹۰ دقیقه



(ج) ۴۰۰ درجه سانتیگراد برای ۳۰ دقیقه



(و) ۴۵۰ درجه سانتیگراد برای ۹۰ دقیقه

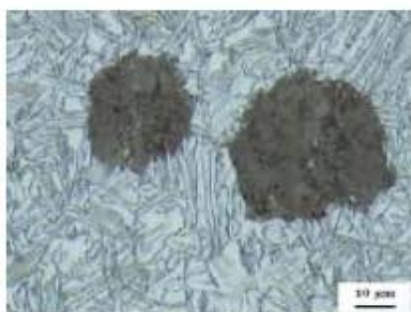


(ه) ۴۵۰ درجه سانتیگراد برای ۳۰ دقیقه

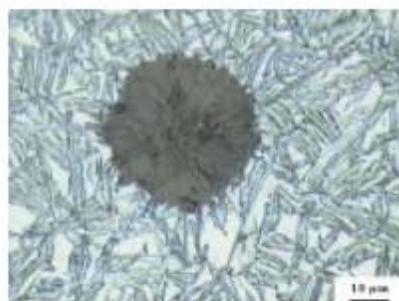
شکل ۲. ریز ساختار نمونه های آستمپر شده در دماهای ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ درجه سانتیگراد برای ۳۰ و ۹۰ دقیقه، بزرگنمایی $\times 500$.

به ترتيب، نشان داده شده اند. دیده می شود که دمای آستمبر بالاتر، یک مورفولوژی صفحه ای از فریت بینیتی با مقدار آستنتیت باقی مانده بیشتر را ایجاد می کند.

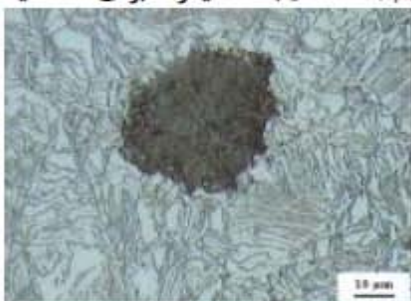
شکل های ۲ (ه) و (و) نیز، ریزساختارهای نمونه های آستمبر شده در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد برای زمان های ۳۰ و ۹۰ دقیقه، به ترتیب نشان می دهند. مشاهده می شود که ساختار کاملاً شامل فریت بینیتی به همراه آستنتیت باقی مانده است. دیده می شود که همچنان با افزایش دما مقدار آستنتیت باقی مانده نیز افزایش یافته است. همچنین در این دما نیز با افزایش زمان آستمبر از ۳۰ دقیقه به ۹۰ دقیقه مقدار آستنتیت باقی مانده کاهش می یابد. به علاوه، مورفولوژی این ساختار در رده بینیت بالایی که دارای ساختاری پر شکل است، می باشد. شکل ۳ تصاویر شکل ۲ را با بزرگنمایی بیشتر نشان می دهد. در این تصاویر همچنین مورفولوژی پر مانند بینیت بالایی که در اثر آستمبرینگ حاصل شده است با کمی دقت، قابل مشاهده می باشد.



(ب) ۳۵۰ درجه سانتیگراد برای ۹۰ دقیقه



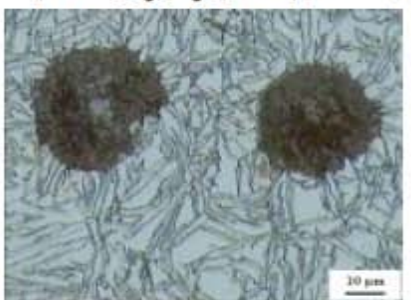
(الف) ۳۵۰ درجه سانتیگراد برای ۳۰ دقیقه



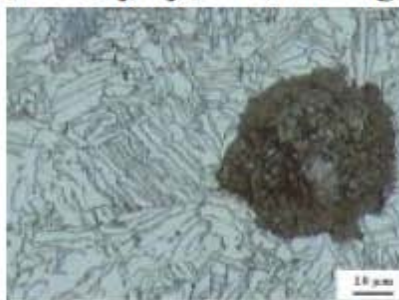
(د) ۴۰۰ درجه سانتیگراد برای ۹۰ دقیقه



(ج) ۴۰۰ درجه سانتیگراد برای ۳۰ دقیقه



(و) ۴۵۰ درجه سانتیگراد برای ۹۰ دقیقه



(ه) ۴۵۰ درجه سانتیگراد برای ۳۰ دقیقه

شکل ۳. ریز ساختار نمونه های آستمبر شده در دماهای ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ درجه سانتیگراد برای ۳۰ و ۹۰ دقیقه، بزرگنمایی ۱۰۰۰×.

شکل ۴ نمونه ای از تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) از ساختار چدن نشکن مورد بحث را در حالت ریختگی را نشان می دهد.

سختی سنجی

جهت بررسی خواص مکانیکی ساختار حاصل از این فرآیندها، از آزمون سختی در ابعاد ماکرو و میکرو استفاده شده است.

اندازه گیری سختی برینل

جهت تعیین سختی نمونه های مختلف به صورت ماکرو، با توجه به نوع چدن از آزمون سختی برینل استفاده شده است که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. با توجه به اینکه چدن های با ریزساختار بینیت پایینی، از سختی بالا (بیشتر از ۴۰۰ برینل) و چدن های با ریزساختار بینیت بالایی از سختی در حدود ۲۶۰ تا ۳۵۰ برینل برخوردار می باشد [۱۶]، با دقت در اعداد سختی، مشاهده می شود که در نمونه های آستمپر شده در دماهای ۳۵۰ و ۴۰۰ درجه سانتیگراد، تفاوت سختی نمونه ها قابل صرف نظر کردن است و عدد سختی ایجاد شده در محدوده بینیت بالایی می باشد که با توجه به دمای در نظر گرفته شده برای آستمپر این نمونه ها، مورد انتظار نیز بوده است. اما در مورد نمونه های آستمپر شده در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد، در درجه اول سختی این نمونه ها تقریباً در کمترین حد سختی گزارش شده برای ساختار بینیت بالایی قرار دارد که نشان می دهد که می توان دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد را بالاترین دما جهت آستمپر این نوع چدن محسوب کرد. اما در عین حال نسبت به نمونه های دیگر آزمایش، کاهش سختی ساختار بینیت بالایی را با افزایش دما دیده می شود، که می تواند به دلیل درشت تر شدن ریزساختار بینیت با افزایش دما و همچنین افزایش میزان آستنیت باقیمانده باشد.



شکل ۴: تصویر میدان روشن (BF) تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری از نمونه حاوی ۰/۶۱Al٪ در حالت ریختگی.

ريزسختی سنجی

جهت تعیین سختی فازهای حاصله در نمونه های مختلف، می توان از اندازه گیری ریزسختی ویکرز بهره گرفت که نتایج انجام این تست ها نیز در جدول ۱ ذکر شده است. باید یادآوری شود که در این اندازه گیری ها سختی ریزساختار بینیت حاصل از انجام عملیات حرارتی روی نمونه ها ارائه و بررسی شده است. با دقت در اعداد ریزسختی بدست آمده، مشاهده می شود که همچنان تفاوت چندانی از لحاظ سختی در این ساختارها حاصل نگشته است که همچنان به دلیل قرار گرفتن هر سه دمای آزمایش در محدوده تشکیل بینیت بالایی می باشد. در عین حال همچنان سختی حاصل در نمونه های آستمبر در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد، کاهش نسبی در سختی مشاهده می شود.

جدول ۱. سختی و ریز سختی نمونه های چدن آستمبر شده.

۴۵۰		۴۰۰		۳۵۰		دمای آستمبرینگ (درجه سانتیگراد)
۹۰	۳۰	۹۰	۳۰	۹۰	۳۰	زمان آستمبرینگ (دقیقه)
۲۶۸	۲۶۷	۲۸۸	۲۸۴	۲۸۵	۲۸۲	سختی برینل (HB) (۳۰kg)
۳۰۵	۳۲۰	۳۳۶	۳۱۰	۳۲۷	۳۰۸	ریز سختی (HV)

نتیجه گیری

- ۱) بعد از بررسی و تحلیل تصاویر نمونه های قبل از اچ، می توان نتیجه گرفت که ساختار ریختگی تا بیش از ۹۰٪ کرووی شده و کره های گرافیت به صورت تصادفی در زمینه پراکنده شده اند.
- ۲) آستمبرینگ در دماهای ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ درجه سانتیگراد باعث ایجاد ساختار بینیت بالایی در هر سه دما می گردد.
- ۳) با توجه به تصاویر جهت انجام عملیات آستمبر در دماهای ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ درجه سانتیگراد، اعمال زمان ۳۰ دقیقه کافی بوده و ساختاری کاملاً بینیتی حاصل می شود.
- ۴) اعمال زمان بیشتر از ۳۰ دقیقه ی آستمبرینگ، تا ۹۰ دقیقه نیز ساختاری کاملاً بینیتی می دهد و احتمالاً تجزیه آستنیت باقیمانده پر کربن به فریت و کاربید و در نتیجه تغییر محسوس خواص مکانیکی را به همراه نخواهد داشت.
- ۵) با افزایش دمای آستمبرینگ در ساختار بینیت بالایی، سختی ماده کاهش می یابد.

مراجع

1. A. Shayesteh-Zeraati, H. Naser-Zoshki, A.R. Kiani-Rashid, " Microstructural and mechanical properties (hardness) investigations of Al-alloyed ductile cast iron", Journal of Alloys and Compounds: Journal of Alloys and Compounds Vol. 500 (2010) 129-133.
2. W.C. Johnson, B.V. Kovacs, "The effect of additives on the eutectoid transformation of ductile iron", Metallurgical Transactions A 9A (1978) 219-229.
3. M.M. Haque, "Investigation on properties and microstructures of spheroidal graphite Fe-C-2Si and Fe-C-2Al cast irons", Journal of Materials Processing Technology 191 (2007) 360-363.
4. F.R. Salazar, M. Herrera-Trejo, M. Castro, N.J. Méndez, T.J. Torres, N.M. Méndez, "Effect of nodule count and cooling rate on as-cast matrix of a Cu-Mo spheroidal graphite", JMEPEG8(1999) 325-329.
5. S.K. Yu, C.R. Loper, "Effect of molybdenum, copper and nickel on the pearlitic and martensitic hardenability of ductile iron", AFS Transaction 96 (1988) 811- 821.
6. A.R. Kiani-Rashid, "The influence of aluminum and heat treatment conditions on austempered ductile irons", Ph.D. Thesis, University of Leeds, 2000.
7. S.M.A. Boutorabi, "The austempering kinetics, microstructure and mechanical properties of spheroidal graphite unalloyed aluminium cast iron", Ph.D. Thesis, University of Birmingham, May 1991.
8. D.M. Stefanescu, "Thermodynamic Properties of Iron-Base Alloys", vol. 15, ASM Handbook, 9th edition, Metals Handbook, 1992, pp. 61-70.
9. A.R. Kiani Rashid, D.V. Edmonds, "Microstructural characteristics of Al-alloyed austempered ductile irons". Journal of Alloys and Compounds: Journal of Alloys and Compounds Vol. 477 (2009) 391-398.
10. R. Elliott, Cast Iron Technology, Butterworths & Co. (Publishers) Ltd., London, 1988.
11. C. Defrancq, J. Van Fegham, A.A. Desy, 36th Int. Foundry Congress, Belgrad, 1969.
12. S.M.A. Boutorabi, J.M. Young, V. Kondic, M. Salehi, Wear(Switzerland)165(1)(1993)19-24.
13. M. Cemal Cakir, Yahya Isik, " Investigating the machinability of austempered ductile irons having different austempering temperatures and times", Materials and Design 29 (2008) 937-942.
14. 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
۱۵. علیرضا کیانی رشید و محمدعلی گلعدار، "الگوی جدایش میکروسکوپی آلومینیوم و سیلیسیوم در ریزساختار زمینه چدن ها با گرافیت کروی"، نشریه مهندسی استقلال، دانشگاه صنعتی اصفهان، سال ۲۲، شماره ۲، ۱۳۸۲، ۱۸۷-۱۷۷.
۱۶. محمدعلی گلعدار، اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها و چدن ها، ۱۳۸۰، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۴۸۱-۴۹۴.

Microstructural and mechanical properties (hardness) investigations of 0.61%Al-1.11%Si austempered ductile iron

Behtash Hashemi*, Alir-Reza Kiani-Rashid.

** Materials and Metallurgical Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad , Mashhad, Iran.
behtash_hashemi2008@yahoo.com*

Abstract

The effect of Al as a strong graphitizing element is known. A lot of investigations have been made by researchers to replace Si with Al in gray and ductile cast irons. The effect of Al in increasing the oxidation resistance at high temperatures is increasing the hardness and strength of material. So, in this research by adding a few values of Al with presence of Si, that is tried to determine the microstructure of sand mould casting samples by using optical and electron microscopes. So, the phase transformations are investigated by doing suitable heat treatments by austenitizing at 890°C and austempering at 350, 400 and 450°C. Furthermore the hardness measurements are used for determining the mechanical properties of the material. It is observed that austempering at these temperatures, all result an upper bainite microstructure and the hardness of the material decreases by raising the austempering temperature.

Ductile cast iron, Graphite, Aluminum, Microstructure