



انجمن مهندسين متالورژي ايران
انجمن علمي ريخته گري ايران
دانشگاه آزاد اسلامي واحد كرج

همایش ملی مهندسی مواد، متالورژی و ریخته گری ایران

تأثیر درجه حرارت آنیل کردن بر گرافیت زایی فولاد CK45

علیرضا کیانی رشید^۱، قاسم عیسی آبادی بزچلویی^۲، حمید رضا عزت پور^۳

چکیده

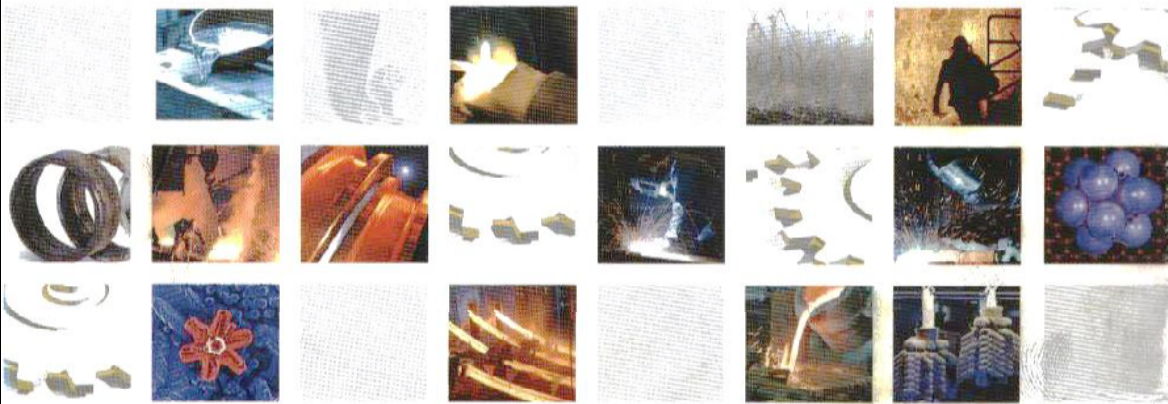
گرافیت زایی در فولادها مبحثی است که در چندین دهه گذشته طی مراحل گذرا و مقطعی مورد بررسی قرار گرفته است. اهمیت این پدیده از این جهت است که تشکیل گرافیت در فولادها می تواند موجب تسهیل عملیات ماشینکاری و افزایش قابلیت کارسرد پذیری فولادها گردد. کاهش وزن قطعات و ویژگی های منحصر به فرد زیست محیطی این فولادها به عنوان جایگزینی ارزشمند برای فولاد های حاوی سرب مورد توجه محققین می باشد. به هر حال همواره چنین تصویری وجود داشته است که این فرایند طولانی و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد. به همین دلیل در پژوهش حاضر با توجه به شرایط متفاوت عملیات حرارتی اعمالی، به بررسی اثر دما و زمان عملیات حرارتی بر گرافیت زایی فولاد CK45 پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: گرافیت زایی، استنیت، عملیات حرارتی، فولاد CK 45، آنیل کردن.

۱. عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی متالورژی و مواد،
۲. دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، تهران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی متالورژی و مواد، مشهد

برنامه

دومین همایش مشترک علمی مهندسی متالورژی وریخته‌گری ایران



دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
انجمن مهندسين متالورژی ایران
انجمن علمی ریخته‌گری ایران
۲۸ و ۲۹ آبان ۸۷

محل برگزاری: رجایی شهر - بلوار شهید مودن
دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج: www.kiau.ac.ir
انجمن مهندسين متالورژی ایران: www.imes.ir
انجمن علمی ریخته‌گری ایران: www.irfs.ir



تأثير درجه حرارت آنیل کردن بر گرافیت زایی فولاد CK45

علیرضا کیانی رشید^۱، قاسم عیسی آبادی بزچلویی^۲، حمید رضا عزت پور^۳

چکیده

گرافیت زایی در فولادها مبحثی است که در چندین دهه گذشته طی مراحل گذرا و مقطعی مورد بررسی قرار گرفته است. اهمیت این پدیده از این جهت است که تشکیل گرافیت در فولادها می تواند موجب تسهیل عملیات ماشینکاری و افزایش قابلیت کارسرد پذیری فولادها گردد. کاهش وزن قطعات و ویژگی های منحصر به فرد زیست محیطی این فولادها به عنوان جایگزینی ارزشمند برای فولاد های حاوی سرب مورد توجه محققین می باشد. به هر حال همواره چنین تصویری وجود داشته است که این فرایند طولانی و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد. به همین دلیل در پژوهش حاضر با توجه به شرایط متفاوت عملیات حرارتی اعمالی، به بررسی اثر دما و زمان عملیات حرارتی بر گرافیت زایی فولاد CK45 پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: گرافیت زایی، آستنیت، عملیات حرارتی، فولاد CK 45، آنیل کردن.

(۱) عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی متالورژی و مواد، صندوق پستی: ۹۱۷۷۵-۱۱۱۱،

نمبر: ۰۵۱۱ ۸۷۶۳۳۰۵، kianirashid@gmail.com or fkiana@yahoo.com

(۲) دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، تهران

(۳) دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی متالورژی و مواد، مشهد

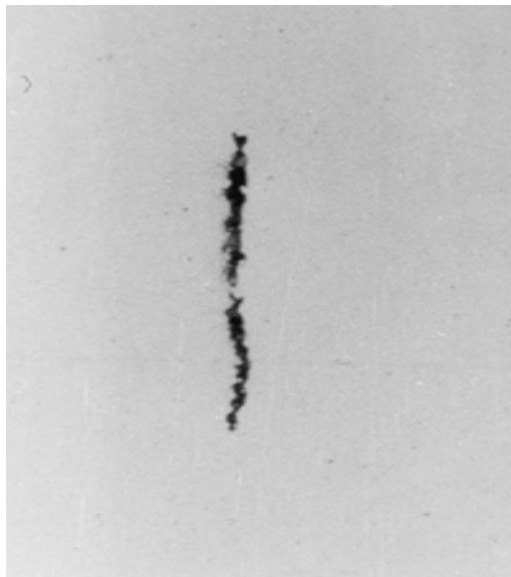
۱- مقدمه

ساختار فولادهای ساده کربنی در دمای اتاق شامل ترکیبی از فریت و فاز شبه پایدار سمنتیت (Fe_3C) به جای ترکیبی از فریت و فاز پایدارتر گرافیت می باشند [۱ و ۲]. به واسطه حلالیت ناکافی کربن در فاز فریت، کربن در فولادها عمدتاً در شکل کربن ترکیبی و در فاز سمنتیت با حلالیت بسیار بالاتری از کربن در قیاس با فریت ظاهر می شود.

تجزیه سمنتیت به آهن و گرافیت زمانی می تواند رخ دهد که فولاد آنیل شود یا برای مدت طولانی در دماهای بالاتر از دمای اتاق قرار گیرد [۳-۸]. بر اساس نظر تعدادی از این محققین، سرعت این استحاله فازی به ساختار ماده مورد مطالعه بستگی دارد. برخی از محققین به این نتیجه رسیده اند که فولادهای کوئچ و تمپر شده سریع تر از فولادهایی که نرماله شده اند، گرافیت زایی می شوند [۳-۶]. همچنین شواهد تجربی وجود دارد که استحاله در ساختارهای درشت که پس از آنیل کامل به دست آمده اند با سرعت بالاتری در قیاس با ساختارهای ظریفی که از نرماله کردن بدست می آیند، رخ می دهد [۵]. در فولادهایی که پیش از نورد سرد تحت نورد گرم قرار گرفته اند دیده شده است که سرعت استحاله افزایش می یابد، در حالیکه برخی محققین سرعت گرافیت زایی بالاتری را در فولادهای نرماله شده نسبت به فولادهای آنیل شده گزارش کرده اند [۵]. به نظر می رسد مقدار تغییر فرم اعمال شده قبل از استحاله نیز تاثیر زیادی بر گرافیت زایی داشته باشد [۸، ۶-۴] و حتی این تاثیر می تواند بیشتر از اثر کوئچ و تمپر کردن باشد [۵].

عامل موثر دیگر بر سرعت تجزیه را می توان ترکیب شیمیایی دانست. آزمایش های انجام شده بر روی فولادهایی با مقادیر مختلف کربن نشان داده است که در آلیاژهای حاوی مقادیر بالاتر از این عنصر، این پدیده در شرایط سهل تری انجام می شود [۶].

شواهدی وجود دارند که نشان می دهند عناصری همچون سیلیسیم، نیکل و آلومینیم که تمایل به تجمع در فریت دارند این فرآیند را تسریع می کنند [۹-۱۰]، در حالیکه عناصری همچون کروم و مولیبدن به همراه فسفر و منگنز این فرآیند را تقلیل می دهند [۵-۹]. با این وجود این فرآیند کاملاً شناخته شده نیست زیرا گزارش شده است که فولادهایی با ترکیب شیمیایی بسیار نزدیک به هم رفتار گرافیت زایی متفاوتی را نشان می دهند [۲]. شکل ۱ نشان دهنده نمونه ای از گرافیت زایی است که در یک فرآیند صنعتی (نورد کردن) اتفاق افتاده است.



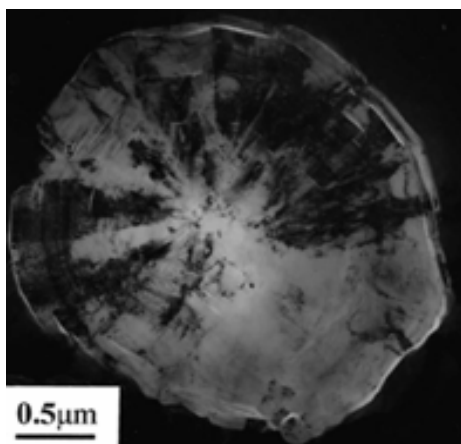
شکل ۱. نمونه ای از گرافیت زایی در طی فرآیندی که بر روی یک فولاد پر کربن انجام شده است.

وجود ورقه ها و کره های گرافیت نسبت به رسوبات کاربید آهن (سمنتیت) به جدا شدن ساده تر براده ها در طول ماشینکاری کمک می کند و در محل تماس ابزار ماشینکاری با قطعه کار بعنوان یک روانکار عمل می کند. در حال حاضر این امر با بکارگیری عناصر آلیاژی همچون گوگرد و سرب میسر شده است، اما این عناصر مشکلاتی را از نظر سمی بودن و بازیابی در پی دارند. از آنجا که گرافیت زایی در فولادها نیازمند زمان آنیل کردن طولانی است [۱۰]. بنابراین در بسیاری از موارد این فرآیند غیراقتصادی جلوه می کند. با این وجود تعدادی از مطالعات اخیر نشان داده اند که گرافیت زایی فولادها در زمان های آنیل کردن بسیار کم نیز میسر می باشد. یکی از راهکارها، ترغیب هسته گذاری گرافیت بر روی ذرات می باشد [۱۱-۱۳]، در حالی که پیشنهاد دیگر ناپایدار سازی کاربیدها از طریق افزودن عناصر آلیاژی همچون سیلیسیم [۱۴-۱۲] و به حداقل رساندن میزان عناصر پایدارکننده کاربید همچون منگنز و کروم می باشد [۱۵،۱۶].

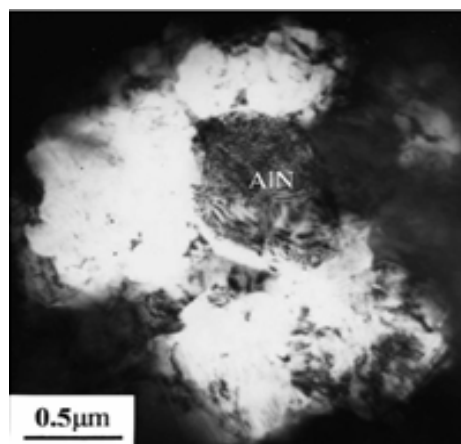
در فولادهای گرافیتی با کربن متوسط که میزان سیلیسیم و آلومینیم آنها بالاست، مشاهده شده است که با حدود دو تا چهار ساعت آنیل کردن در دمای 680°C گرافیت زایی کامل شده است. در این آزمایشات، بر اساس بررسی جزئیات ریزساختاری دو نوع گرافیت تشخیص داده شده است [۱۷]. نوع اول کره های گرافیت که دارای اندازه نسبی بزرگتر (۵ میکرومتر قطر) و مورفولوژی و ساختار نامنظم هستند، در مراحل

تأثیر درجه حرارت آنیل کردن.....

اولیه آنیل تشکیل می شوند. واضح است که مکانیسم هسته نهی شامل رسوب کربن بر روی ذراتی است که از پیش وجود داشته اند. این ذرات می توانند اکسیدها و نیتrideهای غنی از آلومینیوم باشند. نامنظم بودن این کره ها می تواند ناشی از تعدد مکان های مناسب در سطح ذرات باشد که وابسته به مورفولوژی و ساختار ذرات است. یک مثال نوعی در شکل ۲ نشان داده شده است. نوع دوم کره های گرافیت (شکل ۳) کروی تر هستند و مورفولوژی منظم تری دارند. همچنین تاحدودی کوچکتر از نوع اول هستند (با قطر ۲ تا ۳ میکرومتر) و مشخصاً در مرکز خود دارای یک ذره دیگر برای هسته گذاری نمی باشند. در حال حاضر مکانیسم هسته گذاری کره های گرافیت نوع دوم مشخص نمی باشد. با این وجود مطالعات توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری با تکنیک میدان روشن نشان داده است که ناحیه مرکزی این کره های کوچک نسبت به پوسته بیرونی اطراف دارای شکل کریستالی کمتری می باشند [۱۸].



شکل ۳. تصویر میدان روشن TEM از یک کره کوچک و منظم گرافیت پس از ۲۱۰ دقیقه آنیل در دمای 680°C .



شکل ۲. تصویر میدان روشن TEM از یک کره گرافیت با ساختار نامنظم که در اطراف یک ذره نیتريد آلومینیوم پس از ۳۰ دقیقه آنیل در دمای 680°C تشکیل شده است.

۲- مواد و روش تحقیق

نخست نمونه هایی از فولاد CK45 بصورت نیم دایره هایی با قطر ۴cm و ضخامت ۱/۵cm تهیه شدند. ترکیب شیمیایی این نمونه ها در جدول ۱ ارائه شده است. برای جلوگیری از تاثیر آلودگی های سطحی تمامی نمونه ها به ترتیب با سنباده های ۱۸۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ پولیش و توسط الکل شستشو شدند. در طی عملیات حرارتی بعلت دمای بالا و عدم استفاده از کوره اتمسفر کنترل، امکان اکسیداسیون نمونه ها وجود داشت، لذا

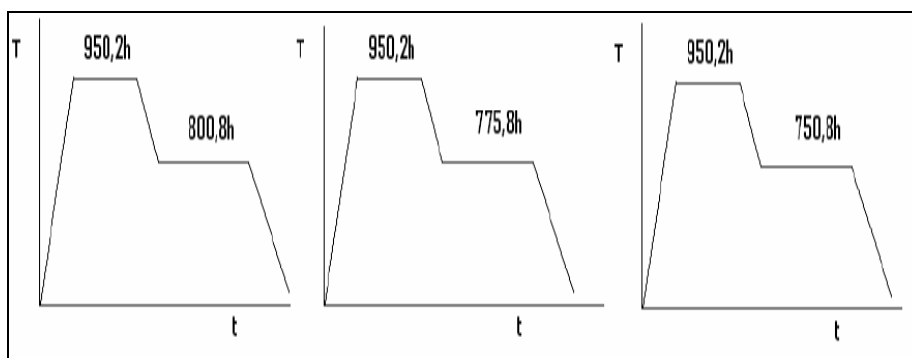
برای کاهش احتمال اکسیداسیون نمونه ها محفظه ای به شکل استوانه از فولادهای مقاوم در برابر حرارت تهیه شد که نمونه ها در آن قرار داده شدند و برای جلوگیری از اکسیداسیون، محفظه نیز توسط مواد نسوز مناسب و گل رس پوشش داده شد.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فولاد مصرفی (درصد وزنی).

عنصر	کربن	منگنز	سیلیسیوم	کروم	مولیبدن	فسفر	گوگرد	آهن
درصد وزنی	۰/۴۳	۰/۳۵	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	باقیمانده

۲-۱- عملیات حرارتی

از آنجا که هدف بررسی اثر دمای بتاباندن بر فرآیند گرافیت زایی فولاد CK45 بود. دماهای مختلف ۷۵۰، ۷۷۵ و ۸۰۰ درجه سانتیگراد برای این عملیات حرارتی در نظر گرفته شد که بصورت زیر می باشند. زمان عملیات حرارتی انحلالی برای تمام دماهای ذکر شده بصورت یکسان در نظر گرفته شد که شامل ۲ ساعت آستنیته کردن در دمای 950°C ، کاهش سریع دمای نمونه ها تا درجه حرارت مشخص شده در شکل ۴ و نگهداری در این دما ها به مدت ۸ ساعت می باشد. سپس نمونه ها در آب کوئنچ شدند. سیکل های عملیات حرارتی مربوطه در شکل ۴ آورده شده اند.



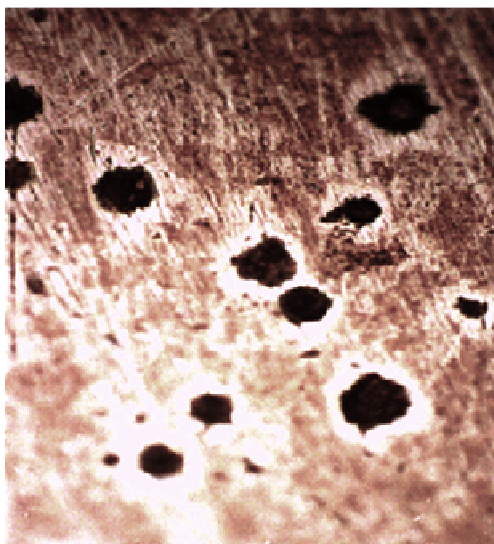
شکل ۴. نمایش سیکل های عملیات حرارتی انجام شده بر روی نمونه ها.

۳- یافته ها و بحث

اشکال ۵ الی ۹ تعدادی از تصاویر میکروسکوپی مربوط به نمونه های فولادی را پس از فرآیندهای متفاوت عملیات حرارتی که منجر به تشکیل نودول های گرافیت در ریزساختار شده اند نمایش می دهند.

تأثیر درجه حرارت آنیل کردن

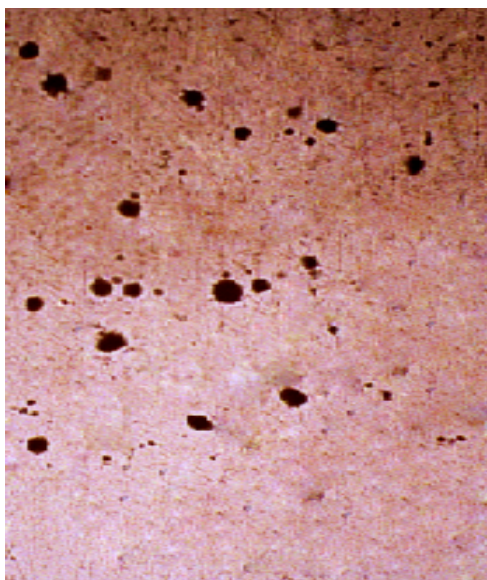
شکل ۵ نشان دهنده تصویر میکروسکوپی از ریز ساختار نمونه عملیات حرارتی شده ای است که مرحله دوم عملیات حرارتی آن به مدت ۸ ساعت در دمای ۷۵۰ درجه سانتیگراد انجام شده است. ذرات تیره بزرگتر احتمالاً گرافیت های تشکیل شده در دمای ۹۵۰ درجه سانتیگراد می باشند و درصد بالاتری از کربن آزاد را به خودشان تخصیص می دهند. به توجه به اختلاف اندازه دو نوع گرافیت و نحوه توزیع آن ها اینگونه استنباط می شود که گرافیت های تشکیل شده در دمای ۷۵۰ درجه سانتیگراد توزیع نسبتاً یکنواخت تری را دارند. دلیل این موضوع کاهش دما و افزایش تمایل به استحاله همدم است و بنابراین نواحی و نقاط بیشتری این قابلیت را پیدا می کنند تا جوانه های جدید را بوجود آورده و رشد کنند. ضمناً بدیهی است که با ورود نمونه ها به مرحله دوم عملیات حرارتی، در صدی از کربن های ناشی از تجزیه سمیتیت بر روی گرافیت های مرحله اول گرافیت زایی راسب شده اند و این نودول های گرافیت اولیه محل مناسبی برای پیشرفت رشد گرافیت ها را بوجود می آورند. تحقیقات معدود انجام شده بر روی تعدادی از فولاد ها در حضور عناصر قدرتمند گرافیت زا همانند سیلیسیم نیز گواهی بر این مدعا می باشند [۱۷]. در همین ارتباط نتایج تحقیقات این گروه نشان دهنده وجود ذراتی بیگانه در درون نودول های گرافیت می باشد که نقش جوانه زاها را ایفا می کنند [۱۹].



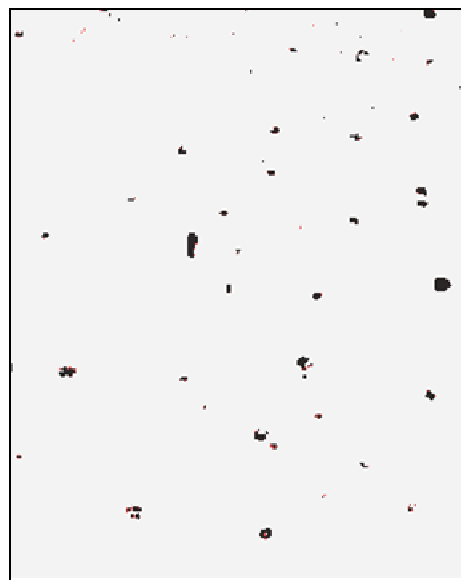
شکل ۶. نمونه عملیات حرارتی شده در دمای ۷۵۰ درجه سانتیگراد. بزرگنمایی ۵۰۰ برابر. ۳۰ ثانیه در محلول نابتال ۲٪ اچ شده است.



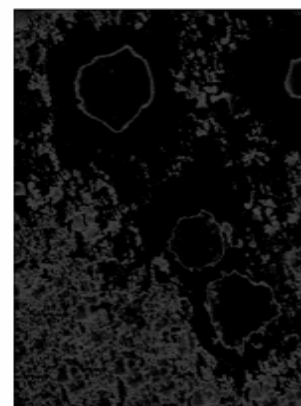
شکل ۵. نمونه عملیات حرارتی شده ای فولاد CK 45 که مرحله دوم عملیات حرارتی آن به مدت ۸ ساعت در دمای ۷۵۰ درجه سانتیگراد انجام شده است. بدون اچ و بزرگنمایی ۵۰ برابری باشد.



شکل ۸. نمونه عملیات حرارتی شده در ۸۰۰ درجه سانتیگراد. بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. بدون اچ. اختلاف اندازه گرافیت‌ها مربوط به دماهای تشکیل آنها می‌باشد. گرافیت‌های بزرگتر در ۹۵۰ درجه سانتیگراد و کوچکتر‌ها در ۸۰۰ درجه سانتیگراد تشکیل شده‌اند.



شکل ۷. نمونه عملیات حرارتی شده در ۷۷۵ درجه سانتیگراد. بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. اچ جزئی به مدت ۱۰ ثانیه در محلول اچ نایتال ۲٪. منطقه نفوذ کربن به خوبی مشخص است.



شکل ۹. نمونه عملیات حرارتی شده در ۷۵۰ درجه سانتیگراد. بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر، ۴۰ ثانیه در محلول نایتال ۲٪ اچ شده است. گرافیت‌ها از نوع تمپر شده می‌باشند.

شکل ۶ نشان دهنده تصویر میکروسکوپی از ریزساختار نمونه با ترکیب شیمیایی مشابه است که مرحله دوم عملیات حرارتی آن در ۷۵۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۸ ساعت انجام شده است. گرافیت‌ها از نوع تمپر

تأثیر درجه حرارت آنیل کردن

شده می باشند. منطقه نفوذی (سفید رنگ) در اطراف گرافیت های تشکیل شده بخوبی مشخص است. نفوذ کربن از نواحی اطراف جوانه باعث گردیده است که ساختاری مشابه ساختارهای چشم گاوی در چدن ها مشاهده شود.

شکل ۷ نمایشگر فولاد CK 45 می باشد که در دمای 950°C به مدت ۲ ساعت حرارت داده شده و سپس سریعاً به کوره دیگری با دمای 775°C منتقل و به مدت ۸ ساعت در این دما نگهداشته شده اند و نهایتاً در آب سرد شده است. حضور گرافیت ها در ساختار میکروسکوپی کاملاً مشهود می باشد.

شکل ۸ تصویر میکروسکوپی از ریزساختار نمونه ای است که مرحله دوم عملیات حرارتی آن در 800°C درجه سانتیگراد و به مدت ۸ ساعت انجام شده است. اختلاف اندازه گرافیت ها مربوط به دماهای تشکیل آنها می باشد. گرافیت های با اندازه بزرگتر در درجه حرارت 950°C درجه سانتیگراد شکل گرفته و در مرحله دوم عملیات حرارتی رشد کرده اند و گرافیت های از نوع کوچکتر ها در 800°C درجه سانتیگراد تشکیل شده اند و رشد آن ها می تواند محدود به همین دما باشد. وجود ذرات بیگانه و به عبارتی مراکز جوانه زایی اولیه نیز نقش تعیین کننده ای در اندازه این گرافیت ها ایفا می کنند. بعلاوه، تجمع اتم های کربن فوق اشباع در هر ناحیه ای که ترجیحاً مناطق پر انرژی تر در سیستم می باشد این امکان را فراهم می سازد تا جوانه ها به اندازه بحرانی رسیده و امکان رشد آن ها در شرایط عملیات حرارتی مناسب فراهم شود.

شکل ۹ تصویر میکروسکوپی از ریزساختار نمونه ای را نشان می دهد که مرحله دوم عملیات حرارتی آن در 750°C درجه سانتیگراد انجام شده است. منطقه نفوذی (سفید رنگ) در اطراف گرافیت های تشکیل شده بخوبی مشخص است. در عکس های دیگر با تغییر رنگ ها، شکل گرافیت ها و منطقه نفوذ کربن بخوبی مشخص شده است. انتقال و مهاجرت کربن از نواحی اطراف باعث می شود تا این نواحی در قیاس با زمینه اولیه فقیرتر از این عنصر شده و بنابراین هاله ای از مناطق کم کربن در اطراف گرافیت ها ایجاد شود.

۴- نتیجه گیری

- نتایج بدست آمده موید این مطلب می باشند که با انتخاب صحیح دما ها و زمان های عملیات حرارتی، امکان گرافیت زایی و در یک زمان منطقی در فولاد CK 45 وجود دارد.
- با توجه به تصاویر ارائه شده، می توان ادعا کرد که با کاهش دمای مرحله دوم عملیات حرارتی در تمام نمونه ها، تعداد کره های گرافیت بیشتر شده است و همزمان اندازه کره های گرافیت نیز

کوچکتر شده است که کاهش اندازه کره های گرافیت را می توان بر اثر فعال شونده گی نواحی بیشتر و کاهش ضریب نفوذ کربن با کاهش دما بر طبق روابط دیفوزیونی دانست.

- تصاویر بدست آمده نشان می دهد که گرافیت های تشکیل شده از نوع گرافیت های تمپر شده می باشند و منطقه سفید اطراف کره های گرافیت در شکل های ۶ و ۹ نشان دهنده نواحی هستند که در این مناطق نفوذ کربن اتفاق افتاده است.

۵- تشکر و قدردانی

در پایان از تمامی عزیزانی که ما را در راستای انجام این پژوهش یاری دادند، بویژه سرکار خانم مهندس مرضیه ترابی پاریزی تشکر می شود. همچنین از آقایان محسن خمیری و حمیدرضا نورزهی نیز بعلت کمک های شایانی که در انجام این پژوهش نمودند قدردانی می گردد.

۶- مراجع

- [1] H. Okamoto, Phase Diagrams of Binary Iron Alloys, 1992, ASM International, Materials Park, 142.
- [2] L.S. Darken and R.V. Gurry, Physical Chemistry of Metals, 1953, New York, McGraw-Hill, 87.
- [3] C.R. Austin, and M.C. Fetzer, "Factors Controlling Graphitization of Carbon Steels at Sub critical Temperatures", Trans. ASM, vol. 35, 1945, 485.
- [4] J.H. Andrew, H. Lee, P.L. Chang, B. Fang, R. Guenet, P.E. Brookes, L. Bourne, D.V. Wilson, U.V. Bhat and H.K. Lloyd, "The Effect of Cold Work on Steel", Journal of the Iron and Steel Institute, London, vol.165, 1950, 145-84.
- [5] A. Rosen and A. Taub, "The Kinetics of Graphitization in Steel at Subcritical Temperatures", Acta Metallurgica, Volume 10, Issue 5, May 1962, 501-509.
- [6] H. Sueyoshi, and k. Suenaga, "Effects of Pre-Treatment on the Graphitization Behaviour in Hypoeutectoid Low Alloy Steel", Journal of the Japan Institute of Metals. vol. 42, no. 7, July 1978, 676-682.
- [7] L.E. Samuels, "Optical Microscopy of Carbon Steels", ASM, Metals Park, 1980, 416-17.
- [8] V.I. Bidash, A.I. Prikhod'ko, "Graphitization of Low-carbon Steel During a Spheroidizing Anneal", Journal of Metal Science and Heat Treatment, Volume 29, Number 2, February 1987, 116-119.
- [9] J.E. Harris, J.A. Whiteman, and A.G. Quarrel, "Decomposition of Cementite in Steels at Subcritical Temperatures", Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, vol. 233, 1965, 168-179.
- [10] W.C. Leslie, "Physical Metallurgy of Steel", McGraw-Hill, New York. 1980, 158.

- [11] R.H. Hickley and A.G. Quarrell, "The graphitization of Steel at Subcritical temperatures", Journal of the Iron and Steel Institute, London, , vol.178, 1954, 337-46.
- [12] T. Mega, R.Morimoto, M. Morita and J.I. Shimomura, "Auger Electron Spectroscopy of Boron Nitride in Hot-rolled Graphitized Steel Sheet", Journal of Surface and Interface Analysis, Vol. 24, Issue 6, 1996, 375 – 379.
- [13] S. Katayama and M. Toda, "Machinability of Medium Carbon Graphitic Steel", Journal of Materials Processing Technology, Volume 62, Issue 4, December 1996, 358-362.
- [14] T. Iwamoto, T. Hoshino, K. Amano and Y.In. Nakano, "Fundamentals and Applications of Micro Alloying Forging Steels", TMS/Minerals, Metals and Materials Society, 1996, 277.
- [15] W.C. Leslie and G.C. Rauch, "Precipitation of carbides in low-carbon Fe-Al-C alloys", Metal Trans. A, Volume 9, Issue 3, March 1978, 343-349.
- [16] H.J. Goldschmidt, "Interstitial alloys", London: Butterworth, 1967, 117.
- [17] D.V. Edmonds, "Proceedings of 15th International Congress on Electron Microscopy", Durban, South Africa, vol.1, Physical, Materials and Earth Sciences, Microscopy Society of Southern Africa, 2002, 719–720.
- [18] G.R. Purdy, M. Audier, H. Fredriksson and M. Hillert, "The physical Metallurgy of Cast Iron", Mater Res. Soc. Symp. Proc. vol. 34, Elsevier, Amsterdam, 1986, 13–23.
- [19] K. He, H.R. Daniels, A. Brown, R. Brydson and D.V. Edmonds, "An Electron Microscopic Study of Spheroidal Graphite Nodules Formed in a Medium-carbon Steel by Annealing ", Acta Materialia, Volume 55, Issue 9, 2007, 2919-2927.

۷- جداول و اشکال

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فولاد مصرفی (درصد وزنی).

- شکل ۱. نمونه ای از گرافیت زایی در طی فرآیندی که بر روی یک فولاد پر کربن انجام شده است.
- شکل ۲. تصویر میدان روشن TEM از یک کره گرافیت با ساختار نامنظم که در اطراف یک ذره نیتريد آلومینیم پس از ۳۰ دقیقه آنیل در دمای $680^{\circ}C$ تشکیل شده است.
- شکل ۳. تصویر میدان روشن TEM از یک کره کوچک و منظم گرافیت پس از ۲۱۰ دقیقه آنیل در دمای $680^{\circ}C$.
- شکل ۴. نمایش سیکل های عملیات حرارتی انجام شده بر روی نمونه ها.

- شکل ۵. نمونه عملیات حرارتی شده ای فولاد CK 45 که مرحله دوم عملیات حرارتی آن به مدت ۸ ساعت در دمای ۷۵۰ درجه سانتیگراد انجام شده است. بدون اچ و بزرگنمایی ۵۰ برابری باشد.
- شکل ۶. نمونه عملیات حرارتی شده در دمای ۷۵۰ درجه سانتیگراد. بزرگنمایی ۵۰۰ برابر، ۳۰ ثانیه در محلول نایتال ۲٪ اچ شده است.
- شکل ۷. نمونه عملیات حرارتی شده در ۷۷۵ درجه سانتیگراد. بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. اچ جزئی به مدت ۱۰ ثانیه در محلول اچ نایتال ۲٪. منطقه نفوذ کربن به خوبی مشخص است.
- شکل ۸. نمونه عملیات حرارتی شده در ۸۰۰ درجه سانتیگراد. بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. بدون اچ. اختلاف اندازه گرافیت ها مربوط به دماهای تشکیل آنها می باشد. گرافیت های بزرگتر در ۹۵۰ درجه سانتیگراد و کوچکتر ها در ۸۰۰ درجه سانتیگراد تشکیل شده اند.
- شکل ۹. نمونه عملیات حرارتی شده در ۷۵۰ درجه سانتیگراد. بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر، ۴۰ ثانیه در محلول نایتال ۲٪ اچ شده است. گرافیت ها از نوع تمپر شده می باشند.

The Influence of Annealing Temperature on CK 45 Steel Graphitisation

A.R. Kiani-Rashid¹, G. Issa-abadi Bozchalooi², H.R. Azzat-pour³

1) Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering

Ferdowsi University of Mashhad

Mashhad, IRAN

Tel. No. 0098 511 7683199

Fax. No. 0098 511 8763305

fkiana@yahoo.com or kianirashid@gmail.com

Abstract

Graphitisation in steels is a subject that in the last decades has been examined during passing and at definite stages. The importance of this phenomenon is that formation of graphite in steels can cause ease in machining treatment and increase in cold work ability in steels. Weight decrease of parts and exclusive ecological characteristics of these steels as a valuable substitute for lead-containing steels has aroused interest of the researchers. However, it has always been thought thus process is long and is not economical. For this reason in the present research we have dealt with the considering of the different conditions of operational heat treatment, the effect of temperature and the time of heat treatment on graphitisation of CK 45 steel is studied.

Key Words: Graphitisation, Austenite, Heat treatment, CK 45 Steel, Annealing.

-
- 1) Assistant of Professor, Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, IRAN, P.O.Box: No. 91775-1111, Tel: No. 0098 511 7683199, Fax: No. 0098 511 8763305
 - 2) PhD student, Sharif University of Technology, School of Materials, Tehran.
 - 3) MS student, Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.