پوستر – پژوهشی

سمپوزیوم فولاد ۹۸

۶ الـــی ۸ اسفـــند مـــاه ۱۳۹۸

کیش ـ مرکز همایش های بین المللی

انجمن آهن و فولاد ایران

بررسی ریزساختاری و سختی‌سنجی فولاد مافوق کربنی و پرکروم تحت عملیات حرارتی گرافیت‌زایی

نجمه سادات حسینی[1]، *علیرضا کیانی رشید*

دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

گرافیت‌زایی در فولادها مبحثی است که در چندین دهه گذشته به شکل مقطعی مورد بررسی قرار گرفته است. تشکیل گرافیت در فولادها باعث تسهیل ماشین‌کاری و افزایش قابلیت کار سردپذیری می‌گردد. کاهش وزن قطعات و ویژگی‌های منحصر به فرد زیست‌محیطی این فولادها به عنوان جایگزینی ارزشمند برای فولادهای حاوی سرب مورد توجه محققین می‌باشد. در پژوهش حاضر به بررسی فرایند گرافیت‌زایی در دو زمینه ساختاری متفاوت طی چند عملیات حرارتی پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: گرافیت‌زایی، فولاد مافوق کربنی D3.

[1]nsh1036016@gmail.com

مقدمه

حضور فاز نرم گرافیت در چدن‌ها باعث بروز خواص منحصر به‌فرد در این مواد گردیده است که بهبود مقاومت سایشی، مقاومت به شوک حرارتی و قابلیت ماشین‌کاری پاره‌ای از این موارد می‌باشند. فرایند گرافیت‌زایی در فولاد طی تجزیه فاز سمنتیت به فریت و گرافیت صورت می‌گیرد [۱]. فولادهای مافوق کربنی عمدتاً از زمینه‌ای پرلیتی تشکیل شده اند که ذرات کاربید در آن‌ها به صورت شبکه‌ای پیوسته و یا حجم‌های بزرگ یافت می‌شود. در فولادهای مافوق کربنی پر کروم عمدتاً دو نوع کاربید به صورت گسترده وجود دارد: ۱-کاربید آهن (Fe_3C) ۲- کاربید کروم (Cr_3C) ، فولاد مافوق کربنی که دارای دانه‌های فوق ریز فریت همراه با ذرات ریز و کروی کاربید هستند [۲]. از فولادهای مافوق کربنی می‌توان برای تولید شفت‌ها، ابزار تغییر شکل، ابزارهای برش و غیره استفاده کرد. با افزودن برخی عناصر آلیاژی از قبیل کروم و مولیبدن به این فولادها می‌توان آن‌ها را برای استفاده به عنوان فولادهای ابزاری مناسب ساخت [۳]. وجود ورقه‌ها و کره‌های گرافیت نسبت به رسوبات کاربید آهن به جدا شدن ساده‌تر براده‌ها در طول ماشین‌کاری کمک می‌کند و در محل تماس ابزار ماشین‌کاری با قطعه کار به عنوان یک روان‌کار عمل می‌کند [۴ و ۵]. گرافیت به عنوان یکی از بهترین روان‌کارهای جامد شناخته شده است که حضور آن در ساختار نهایی عاملی در راستای بهبود مقاومت سایشی، قابلیت ماشین‌کاری و خود روغن‌کاری آلیاژهای آهنی است [۶]. یکی از بارزترین مزایایی که برای ساختارهای فولادی گرافیت‌زایی شده می‌توان در نظر گرفت به عنوان جایگزین برای فولادهای حاوی گوگرد و سرب می‌باشد که در صنایع خودروسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۷].

روش تحقیق

نخست نمونه‌هایی از فولاد مافوق کربنی D3 به صورت ربع دایره‌هایی با ضخامت و قطر ۱ cm تهیه شدند. ترکیب شیمیایی نمونه‌ها در جدول شماره ۱ ارایه شده است. بعد از آزمون و خطا دما آستنیته $1040\ ^{o}C$ مشخص شد. در نهایت سیکل‌های عملیات حرارتی در جدول ۲ نمایش داده شده است.

نتایج و بحث

در این پژوهش فرایند گرافیت‌زایی در دو دما و دو ریزساختار اولیه متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. از نمونه شاهد و فازهای موجود آنالیز EDS گرفته شد که زمینه شامل عناصر Cr و Fe همراه با کاربیدهای Fe و Cr در کنار فاز سیاه‌رنگی که MnS تشخیص داده شده بود. در مرحله اول، بررسی فرایند گرافیت‌زایی ۲ نمونه با ریزساختارهای متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که یک ریزساختار از دمای آستنیته و دیگری با زمینه مارتنزیتی در دمای گرافیت‌زایی قرار گرفتند، نیاز بود تا دمای دقیق آستنیته شدن این

فولاد به‌طور صحیح مشخص گردد. عملیات حرارتی اول به منظور گرافیت‌زایی در دمای 750 ºC به مدت 10h انجام گرفت در این مرحله بعد از تصویربرداری نقاط سیاه‌رنگ زیادی نسبت به نمونه شاهد، آستنیته و مارتنزیت‌شده مشاهده شد. به همین جهت بعد از تصویربرداری با SEM و آنالیز EDS فاز سیاه‌رنگ مشکوک به گرافیت حفره‌هایی تشخیص داده شد که یا در طی عملیات حرارتی به وجود آمده و هنگام پولیش با مواد اضافی پر شده و یا در طی سمباده‌زنی این فاز از جای خود کنده شده و مجددا جایش با مواد دیگری در حین پولیش پر شده است (شکل ۱). ابتدا فرضیه مطرح شده مبنی بر تشکیل فاز گرافیت در مرز بین کاربیدها و زمینه بود به جهت اینکه آنالیز EDS در بعضی نقاط این فاز سیاه‌رنگ را غنی از کربن نشان می‌داد. اما به جهت اطمینان از اینکه این فاز غنی از کربن ناشی از پولیش آهنی با خمیر الماسه نباشد، نمونه‌ها مجدداً با آلومینا پولیش غیرآهنی داده شدند. پس از آلتراسونیک این بار نیز بعد آنالیز EDS نقاط غنی از Al نشان داده شدند. پس فرضیه وجود حفره‌هایی که وجود داشته و با مواد دیگر پر می‌شود تقویت شد. در بعضی نقاط فاز سیاه‌رنگ به وسیله آنالیز EDS، همانند نمونه شاهد MnS تشخیص داده شد. می‌توان کروی شدن کاربیدها را بعد از عملیات حرارتی نسبت به نمونه شاهد مشاهده کرد (شکل ۲ و ۳). در آزمون EDS ، AS-10 نمونه با ریزساختار اولیه آستنیته و M-10 نمونه با ریزساختار اولیه مارتنزیت می‌باشد. همچنین منظور از STEEL نمونه شاهد می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به دلیل مارتنزیت شدن نمونهM-10 و کاهش پیک، بلورینگی کمتر، ذرات ریزدانه‌تر و درصد فازها کمتر شده است(شکل ۴). در مرحله بعد عملیات حرارتی فرایند گرافیت‌زایی روی دو نمونه مشابه نمونه‌های آزمایش قبل در دمای 700 ºC به مدت 40h انجام شد و در نهایت در کوره سرد شدند. این نمونه‌ها نیز نتایجی مشابه با عملیات حرارتی قبل را ارایه داد با این تفاوت که کاربیدها در حال کروی‌تر شدن می‌باشند. بعد از عملیات حرارتی انجام گرفته جهت گرافیت‌زایی و بعد از اچ کردن سطح نمونه‌ها به دلیل ضعیف شدن مرزدانه‌ها، حفره‌هایی در مرز بین کاربید و زمینه به وجود می‌آید که با مواد پولیش در هنگام پولیش کردن پر می شود(شکل ۵). بعد از تهیه تصاویر توسط میکروسکوپ SEM، آنالیز XRD نیز روی دو نمونه آزمایش دوم انجام گرفت. نام‌گذاری نمونه‌ها به صورت AS-40 (ریزساختار اولیه آستنیت شده) و M-40 (ریزساختار اولیه مارتنزیت‌شده) مشخص شده است. مقایسه الگوی دو نمونه حاضر، نتایجی برخلاف الگوی دو نمونه آزمایش قبل نشان داده است (شکل ۶). برای حصول اطمینان از بررسی‌های ریزساختاری و برای مطالعه میزان سختی نمونه‌ها و فازهای مختلف در نمونه‌های مورد بررسی از آزمون‌های سختی سنجی راکول C و ویکرز استفاده گردید. اسامی مختصر نمونه‌ها و نتایج سختی‌سنجی در جدول ۳ و ۴ آورده شده است. تغییرات سختی ناشی از تغییر ریزساختار فولاد مذکور می‌باشد. همچنین در مقایسه نمونه‌های گرافیت‌زایی شده با ریزساختار اولیه آستنیته

شده، افزایش سختی در زمینه مشاهده می‌شود که احتمالاً به‌دلیل پرلیتی‌شدن زمینه این نمونه از فولاد می‌باشد. کاهش سختی کاربیدها نیز در این نمونه گواهی بر تغییر کاربیدها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

۱- عملیات حرارتی طولانی مدت باعث تضعیف مرزدانه‌ها و به وجود آمدن حفرات در سطح مورد بررسی می‌شود.

۲- افزایش زمان عملیات حرارتی به مدت ۴۰ ساعت، باعث تغییر کاربیدها می‌گردد.

۳- با توجه به تصاویر و نتایج سختی‌سنجی، با کاهش سختی و تغییر کاربیدها در نمونه فولادی با زمینه اولیه مارتنزیتی وگرافیت‌زایی شده احتمالاً می‌توان با افزایش زمان عملیات حرارتی می‌توان به گرافیت‌زایی دست یافت.

مراجع

[1]. J.D. Verhoeven, Damascus steel, part I, Metallography 20:145-151 (1987).

[2]. J.Wadsworth, The Evolution of Ultrahigh Carbon steels: From the Great pyramids, to Alexander the Great, to Y2K, AMS annual meeting, 2000, Nashville, Tennessee.

[3]. http://www.bohler-edelsahl.com/english/.

[4] S. Katayama and M. Toda, "Machinability of Medium Carbon Graphitic Steel",Journal of Materials Processing Technology, Volume 62, Issue 4, December 1996,358-362.

[5] 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.

[6] Hugh 0 . Pierson, "Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes Properties, Processing and Applications", 1993, New Mexico, Published by William Andrew Inc., pp.1 00-104.

[7] T. Iwamoto and T. Murakami, "Bar and Wire Steels for Gears and Valves of Automobiles ,eco-friendly free cutting steel without lead addition", JFE GIRO, May 2004, No. 4, pp. 64-69.

جدول۱. ترکیب فولاد مافوق کربنی مورد استفاده بر حسب درصد وزنی.

عنصر	Fe	Cr	C	Si	Mn	Ni	Cu	Co
درصد وزنی	۸۶/۶	۱۱/۲	۲/۰۰	۰/۴	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۰۲

جدول۲. سیکل‌های عملیات حرارتی آزمایش مرحله دوم.

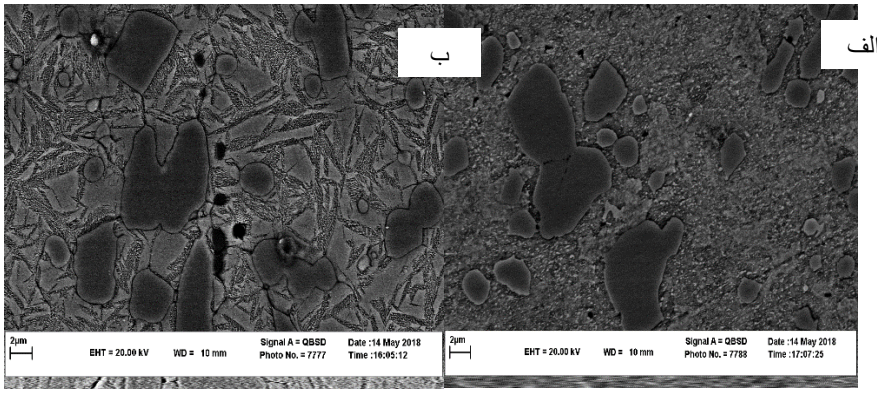
نمونه	سیکل عملیات حرارتی
۱	آستنیته $750^{\circ}C$، ۴۰دقیقه، $1040^{\circ}C$، ۲ساعت ←گرافیت زایی در$750^{\circ}C$، به مدت ۱۰ ساعت
۲	آستنیته $750^{\circ}C$، ۴۰دقیقه، $1040^{\circ}C$، ۲ساعت←گرافیت زایی در $700^{\circ}C$، به مدت ۴۰ ساعت
۳	نمونه مارتنزیت شده←گرافیت زایی در $750^{\circ}C$، به مدت ۱۰ ساعت
۴	نمونه مارتنزیت شده← گرافیت زایی در $700^{\circ}C$، به مدت ۴۰ ساعت

جدول۳. نام‌گذاری نمونه‌های مورد آزمایش در مرحله گرافیت‌زایی.

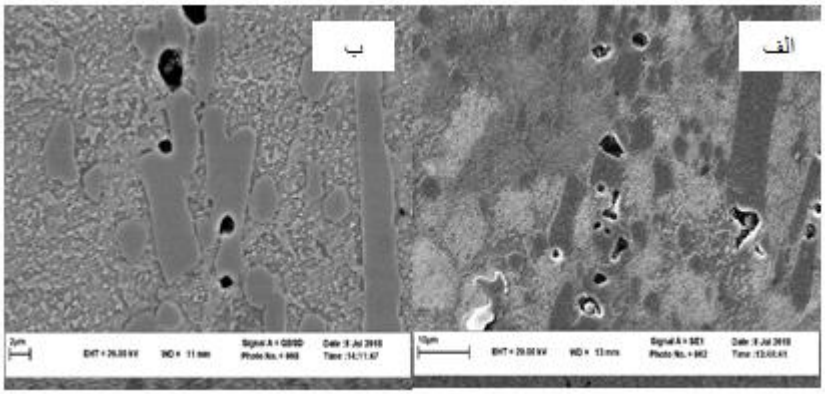
نمونه	نام	سیکل عملیات حرارتی
۷	GA10	آستنیت شده مدت ۲ ساعت دمای ۱۰۴۰، گرافیت زایی مدت۱۰ ساعت دمای ۷۵۰
۸	GM10	مارتنزیت و گرافیت زایی مدت ۱۰ ساعت دمای ۷۵۰
۹	GA40	آستنیت شده مدت ۲ ساعت دمای ۱۰۴۰، گرافیت زایی مدت۴۰ساعت دمای ۷۰۰
۱۰	GM40	مارتنزیت و گرافیت زایی مدت ۴۰ ساعت دمای ۷۰۰

جدول ۴. سختی نمونه‌های مورد آزمایش.

نمونه	راکول C	زمینه (HV)	کاربید (HV)
شاهد	۳۱/۶	۳۴۸/۶	۱۰۸۲/۷
GA10	۲۵	۲۴۵	۹۰۵/۴
GM10	۲۳/۶	۲۴۹/۳	۸۲۶/۲
GA40	۳۰/۲	۲۷۳/۳	۷۱۴/۱
GM40	۱۴	۲۲۰/۲	۴۵۰/۸

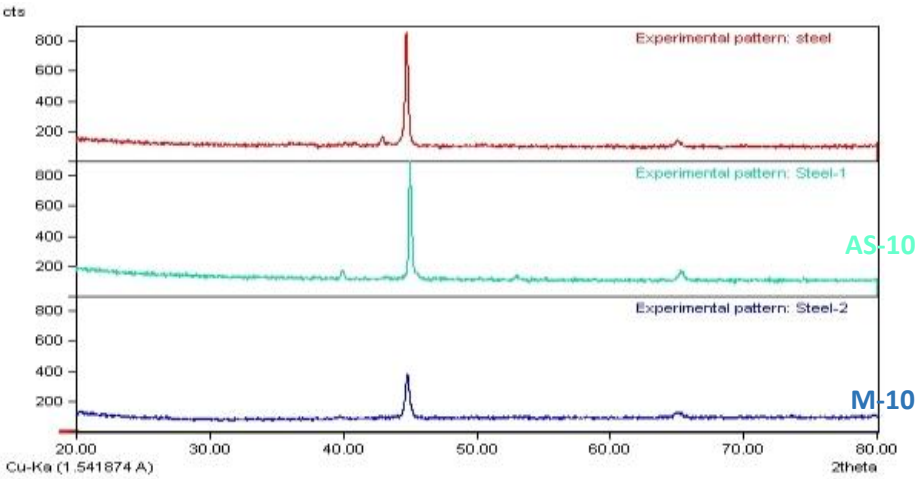


شکل ۱. تصویر SEM از نمونه‌ها: الف) شاهد و ب) مارتنزیت شده.

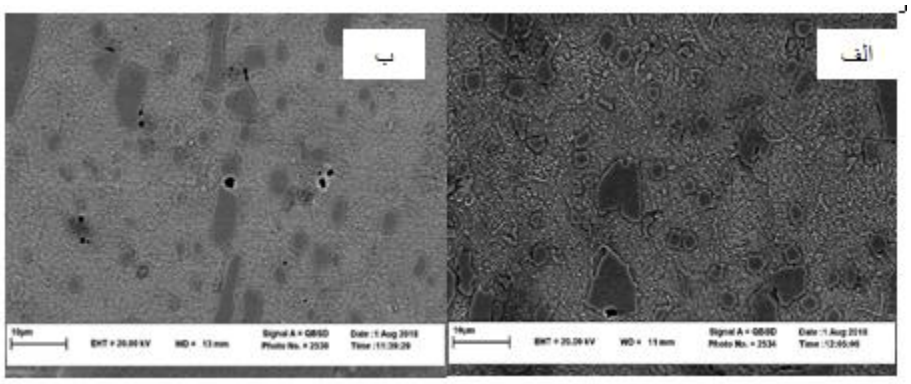


شکل ۲. تصویر میکروسکوپی SEM نمونه گرافیت‌زایی شده ۱۰ ساعت با: الف) زمینه آستنیتی ب) مارتنزیتی.

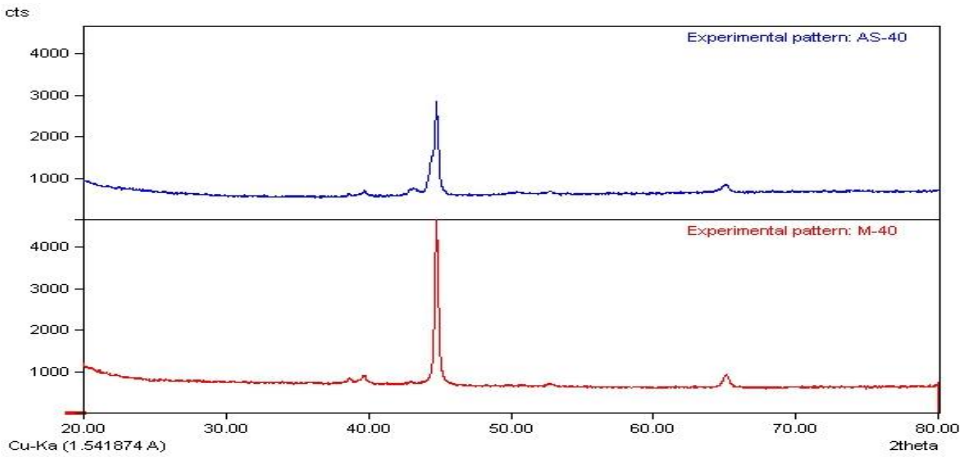
شکل ۳. تصویر میکروسکوپی نوری نمونه گرافیت زایی ۱۰ ساعت با زمینه آستنیتی.



شکل ۴. آنالیز XRD نمونه‌های شاهد و ۱۰ ساعت گرافیت‌زایی شده (پیک مربوط به کاربید کروم است).



شکل۵. تصویر SEM نمونه گرافیت‌زایی شده ۴۰ ساعت با زمینه: الف) آستنیتی ب) مارتنزیتی.



شکل۶. تصویر مقایسه آنالیز XRD دو نمونه فولادی گرافیت‌زایی شده به مدت ۴۰ ساعت (پیک مربوط به کاربید کروم است).