

کوایی ارائه مقاله

ضمن شنید و قدردانی از ارزانه مقاله با عنوان

بودسی گواییت زایی د فولاد مالوف کربنی D3 به منظور بهبود

خواص مکانیکی

د هسته کنفرانس بین المللی مهندسی مواد و متالورژی
و دوزنی میان بین شرکن انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علی رئیسی کری ایران
این کوایی به نویسنگان مثالد:
نجمده سادات حسینی، علیرضا کیانی رشید

اعطای گردید. مؤثث روز افرون شماره دیشترفت علم و فناوری، از خداوند مثال خواستاریم.

محمدمحمدی احمد آبدی
محل جازی
میکرانی
بین انجمن متالورژی و مواد ایران





بررسی گرافیت زایی در فولاد مافوق کربنی D3 به منظور بهبود خواص مکانیکی

علیرضا کیانی رشید^۱، نجمه سادات حسینی^{۲*}

چکیده

یکی از مهمترین مشغله های مهندسین، پژوهشگران و صنعتگران در عصر حاضر پاسخگویی به نیاز روزافزون صنعت در ساخت و تولید مواد جدید یا خواص منحصر به فرد است. گرافیت زایی در فولاد ها می‌بینیم 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 سردیدنی می‌گردد. کاهش وزن قطعات و وزنگی های منحصر به فرد زیست محیطی این فولاد ها به عنوان جایگزینی ارزشمند برای فولاد های حاوی سرب مورد توجه محققین می‌باشد. به هر حال همواره چنین تصوری وجود داشته است که این فرآیند طولانی و از نظر هزینه مقرر به صرفه نمی‌باشد. از همین رو در پژوهش حاضر به بررسی فرآیند گرافیت زایی در دو زمینه ساختاری متفاوت طی چند عملیات حرارتی پرداخته شده است.

کلمات کلیدی : گرافیت زایی، فولاد مافوق کربنی D3

مقدمه

حضور فاز نرم گرافیت در چدن ها باعث بروز خواص منحصر به فرد در این مواد گردیده است که بهبود مقاومت سایشی، مقاومت به شوک حرارتی و قابلیت ماشین کاری پاره ای از این مواد می‌باشد. لذا انتظار می‌رود با ایجاد چنین فازی در ساختارهای فولادی بتوان توامان به مجموعه ای از خواص چدن و فولاد دسترسی، و فولادی با ماهیت دوگانه تولید نمود که تحت عنوان فولاد گرافت زایی شده موسوم می‌باشد. فرآیند گرافیت زایی در فولاد طی تجزیه فاز سمنتیت به فریت و گرافیت صورت می‌گیرد. علی رغم اینکه گرافیت ایزوتوپ پایداری از کربن به شمار می‌آید، در فولادهای تجاری عمدتاً فاز نیمه پایدار سمنتیت به چشم می‌خورد که بیانگر عدم دستیابی به شرایط تعادلی و یا حضور عناصر آلیاژی پایدار کننده کاربید می‌باشد.

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی متالورژی و مواد، صندوق پستی: ۹۱۷۵۵-۱۱۱۱، kianirashid@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی متالورژی و مواد



فولادهای ابزار کارسرد عموما در دمای بین 920°C تا 980°C آستنیته می شوند و کاربیدهای موجود در این فولاد در زمینه حل می شود. با این تفاسیر در دمای بالاتر از 980°C کارابی این فولاد ها در دمای بالا کاهش خواهد یافت. فولادهای سری D حتی در دماهای آستنیته حدود 1190°C تا 1290°C ذرات کاربیدی هنوز به صورت حل نشده و پایدار باقی می مانند و این کاربیدهای پایدار کاربیدیری آنها را نسبت به فولادهای ساده کربنی کاهش می دهد [۱]. فولادهای مافوق کربنی عمدتا از زمینه ای پرلیتی تشکیل شده اند که ذرات کاربید در آن ها به صورت شبکه ای پیوسته و یا حجم های بزرگ یافت می شود.

در فولادهای مافوق کربنی پر کروم عمدتا دو نوع کاربید به صورت گستردگی وجود دارد:

۱- کاربید آهن Fe_3C

۲- کاربید کروم Cr_3C

ما فوق کربنی که دارای دانه های فوق ریز فریت (0.5 تا 0.05 میکرومتر) همراه با ذرات ریز و کروی کاربید هستند، در دمای اتفاق مستحکم و داکتیل می باشند. از این ویژگی می توان در صنعت برای تولید ورق های ما فوق مستحکم استفاده نمود.

در صنایع کنونی که عموما از فولادهای پرکربن (0.5 تا 1 درصد کربن) استفاده می شود می توان از فولادهای مافوق کربنی استفاده نمود. برای مثال، فولادهای یوتکتوبیدی (0.8 درصد کربن) که عموما در سیم های مورد استفاده در آرمه کردن لاستیک ماشین، ابزار برش و صنایع فولادهای ریلی استفاده می شود می تواند با فولادهای مافوق کربنی قابل جایگزینی باشد. در کاربردهای فوق، فولاد مافوق کربنی استحکام بالاتری را از لحظه میکروساختاری چه در حالت کاربید کروی و چه در حالت پرلیتی، بینیتی و یا مارتزیت تمیز شده از خود نشان خواهد داد. دلیل این رفتار در حضور درصد کربن بالاتر حالات خالص تر میکروساختاری می باشد [۲]. از فولادهای مافوق کربنی می توان برای تولید شفت ها، ابزار تغییر شکل، ابزار های برش و ... استفاده کرد. با افزودن برخی عناصر آلیاژی از قبیل کروم و مولیبدن به این فولادها می توان آن ها را برای استفاده به عنوان فولادهای ابزاری مناسب ساخت [۳].

فولادهای ابزار سردکار برای تولید ابزارهای برش و پرس کاری به کار می روند. از این فولادها در ساخت قالب ها و تیغه ها جهت گود کششی و ماتریس سازی هاب ها و غلتک های نورد و بسیار کاربردهای مختلف



دیگر می‌توان استفاده نمود. این استفاده گسترده به واسطه خواص مکانیکی و فیزیکی منحصر به فرد آن‌ها از قبیل سختی بالا، تافنس خوب، استحکام فوق العاده و مقاومت به سایش قابل قبول آن‌ها می‌باشد. در دسترس بودن، قیمت پایین و عمر طولانی آن‌ها از دیگر فاکتورهای موثر در انتخاب این فولاد می‌باشد [۳].

وجود ورقه‌ها و کره‌های گرافیت نسبت به رسوبات کاربید آهن به جدا شدن ساده‌تر برآده‌ها در طول ماشینکاری کمک می‌کند و در محل تماس ابزار ماشینکاری با قطعه کار به عنوان یک روانکار عمل می‌کند. در حال حاضر این امر با به کار گیری عناصر آلیاژی همچون گوگرد و سرب میسر شده است، اما این عناصر مشکلاتی را از نظر سمی بودن و بازیابی در بی دارند. از آنجا که گرافیت زایی در فولادها نیازمند زمان آنیل کردن طولانی است بنابراین در بسیاری از این موارد این غیرآیند گرافیت زایی در زمان‌های آنیل کردن بسیار کم نیز میسر می‌باشد. یکی از راهکارهای ترغیب هسته گذاری گرافیت بر روی ذرات می‌باشد [۴،۵]، در حالیکه پیشنهاد دیگر تایپیدارسازی کاربیدها از طریق افزودن عناصر آلیاژی همچون سیلیسیم [۶،۷] و به حداقل رساندن میزان عناصر پایدارکننده کاربید همچون منگنز و کروم می‌باشد [۸،۹].

گرافیت به عنوان یکی از بهترین روانکارهای جامد شناخته شده است که حضور آن در ساختار نهایی عاملی در راستای بهبود مقاومت سایشی، قابلیت ماشین کاری و خود رونعن کاری آلیاژهای آهنی است [۱۰]. یکی از بارز ترین مزایایی که برای ساختارهای فولادی گرافیت زایی شده می‌توان در نظر گرفت به عنوان جایگزین برای فولادهای حاوی گوگرد و سرب می‌باشد که در صنایع خودرو سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گروه از فولادها به دلیل افزودن عناصر گوگرد و سرب به لحاظ زیست محیطی دارای آثار مخربی هستند [۱۱].

کاربردهای ویژه این فولادها که موجب علاقه مندی گرافیت زایی در فولادها گردیده است، عبارتند از: ارزانی، سهولت ماشینکاری آن‌ها، امکان به کار گیری در دماهای بالا، افزایش مقاومت اکسیداسیون در درجه حرارت‌های بالا، افزایش قابل ملاحظه مقاومت سایشی، کاهش محدودیت‌های شکل پذیری از قبیل: نورد و فورجینگ و ظرفیت بالای جذب ارتعاش و استحکام کششی منطقی همراه با استحکام فشاری خیلی بالا [۱۲].

هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی مواد و متالورژی

تهران - ایران

۱۳۹۷ مهرماه ۱۷

و دوازدهمین کنفرانس مشترک

انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران



17th
INTERNATIONAL CONFERENCE
on MATERIALS ENGINEERING
and METALLURGY

TEHRAN - IRAN
OCTOBER 9-10 , 2018

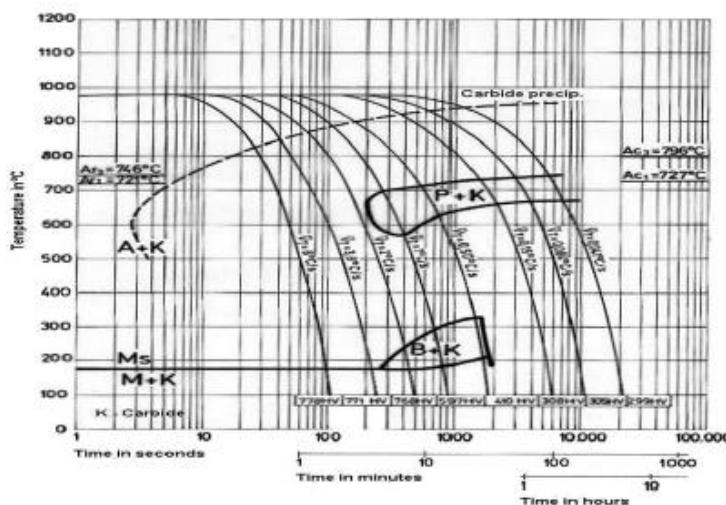
عناصر آلیاژی به روش های بسیار متفاوتی روی خواص آلیاژها اثر می گذاردند. در این ارتباط دسته
بندی های متفاوتی قابل گردیده اند و بعضی از محققین بر این باورند که آن ها را می توان به چهار گروه اصلی
 تقسیم کرد.

(الف) عناصر کاربیدزا همانند کروم، واتادیم، تریم، مولیبدن، ازت، بیسموت و ارسنیک. این عناصر عمدها موجب
 تشکیل پرلیت می گردند.

ب) عناصر گرافیت زا همانند سیلیسیم، آلومینیوم و مس.

ج) عناصری که اثر تحریبی روی ساختمان گرافیت دارند، همانند: سرب، تریم، بیسموت و آنتیموان.

د) عناصری که باعث افزایش جذب هیدروژن و نهایتاً موجب ایجاد حفرات ناشی از هیدروژن می شوند و از مهه
 ترین این عناصر آلومینیوم است [۱۲].



[۱۴] AISI D3 برای فولاد CCT نمودار

مواد و روش تحقیق



تخته نمونه هایی از فولاد ما فوق کربنی D3 به صورت رباعی دایره هایی با ضخامت و قطر ۱ cm تهیی شدند. ترکیب شیمیایی نمونه ها در جدول شماره ۱ ارایه شده است. برای جلوگیری از دکربوره شدن نمونه ها در طی عملیات حرارتی، تمام نمونه ها در بوته آهنی مملو از برآده چدن قرار گرفتند.

جدول ۱. 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

نتایج و بحث

در این پژوهش فرآیند گرافیت زایی در دو دما و دو ریزاساختار اولیه اولیه متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. نمونه شاهد بعد از عملیات متالوگرافی به وسیله میکروسکوپ نوری و SEM در بزرگنمایی های متفاوت تصویربرداری شد. همچنین آنالیز EDS از نمونه و فازهای موجود گرفته شد که زمینه شامل عناصر Fe و Cr همراه با کاربید های MnS و CrC در کنار فاز سیاه رنگی که تشخیص داده شده بود.

در مرحله اول، بررسی فرآیند گرافیت زایی ۲ نمونه با ریزاساختار های متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. از آنجاییکه یک ریزاساختار از دمای آستنیتیه و دیگری با زمینه مارتزیتی در دمای گرافیت زایی قرار گرفتند، نیاز بود تا دمای دقیق آستنیتیه شدن این فولاد به طور صحیح مشخص گردد. بنابراین پس از آزمون و خطای دمای مناسب آستنیتیه شدن این فولاد به دست آمد که در جدول زیر گزارش می شود.

جدول ۲. سیکل عملیات حرارتی آستنیتیه کردن

آستنیتیه شدن	فرآیند	سیکل عملیات حرارتی
۱۰۴۰ درجه در دمای ۷۵۰ و ۱۰ ساعت	۴۰	دقیقه

بهترین سیکل عملیات حرارتی برای آستنیتیه شدن این فولاد، یک سیکل عملیات حرارتی دو مرحله ای بود که بعد از کوینچ زمینه کاملاً مارتزیتی مشاهده شد. بعد از مشخص شدن دمای آستنیتیه و تهیی نمونه

TEHRAN - IRAN
 OCTOBER 9-10, 2018

IMat 2018

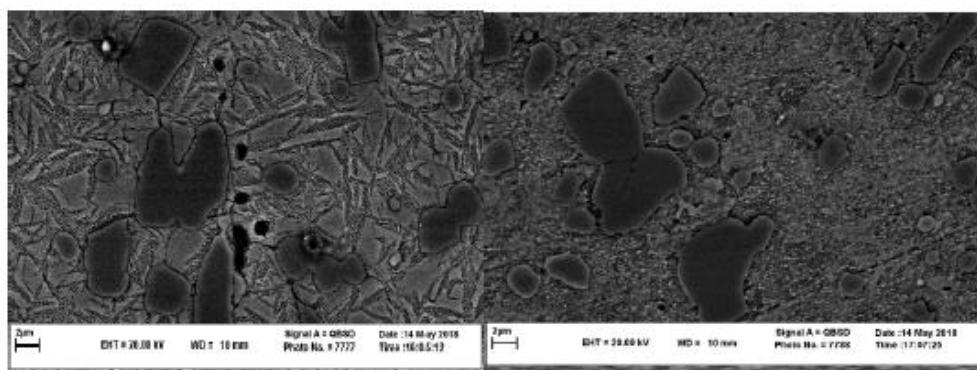
**هفتمین کنفرانس بین المللی
مهندسی مواد و متالورژی**
و دوازدهمین کنفرانس مشترک
انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریختگی ایران

دیگری با زمینه مارتنزیتی هر دو نمونه تحت عملیات حرارتی گرافیت زایی قرار گرفتند. که در جدول زیر شرح داده شده است.

جدول ۳. سیکل عملیات حرارتی آزمایش اول

نمونه	سیکل عملیات حرارتی
۱	آستینیت شده به مدت ۴۰ min در دمای ۷۵۰ و مدت ۲h در دمای ۱۰۴۰، گرافیت زایی در ۷۵۰ مدت ۱۰ h
۲	آستینیت شده به مدت ۴۰ min در دمای ۷۵۰ و مدت ۲h در دمای ۱۰۴۰ و کوینچ در روند ۸۰ °C

عملیات حرارتی اول به منظور گرافیت زایی در دمای ۷۵۰ °C به مدت ۱۰ h انجام گرفت. بعد از برش عرضی نمونه ها و انجام عملیات متالوگرافی و اج کردن با محلول نایتال ۲ و ۱۰ درصد جهت تصویربرداری با میکروسکوپ نوری، تصاویری با بزرگنمایی های متفاوت تهیه شد که در این مرحله بعد از تصویربرداری نقاط سیاه رنگ زیادی نسبت به نمونه شاهد، آستینیت و مارتنزیت شده مشاهده شد. به همین جهت بعد از تصویربرداری با SEM و آنالیز EDS فاز سیاه رنگ مشکوک به گرافیت حفره هایی تشخیص داده شد که یا در طی عملیات حرارتی به وجود آمده و هنگام پولیش با مواد اضافی بر شده و یا در طی سمباده زنی این فاز از جای خود کنده شده و مجدداً جایش با مواد دیگری در حین پولیش پر شده است.



ب

الف

شکل ۲. تصویر میکروسکوپ SEM نمونه (الف) شاهد (ب) مارتنزیت شده

هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی مواد و متالورژی

تهران - ایران
۱۴۰۰ - ۱۳۹۹

و دوازدهمین کنفرانس مشرک

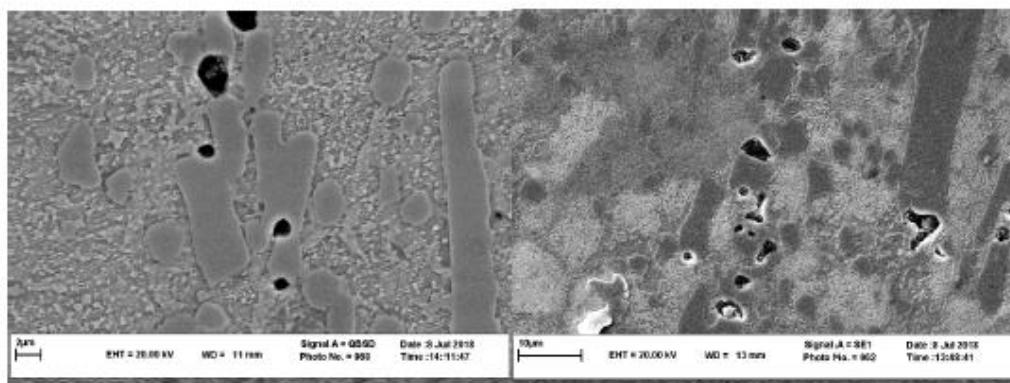
انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران

iMat 2018



TEHRAN - IRAN
OCTOBER 9-10, 2018
17th
INTERNATIONAL CONFERENCE
on MATERIALS ENGINEERING
and METALLURGY

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 سیاه رنگ 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. تمونه‌ها مجدداً این بار با آلومینا پولیش غیر آهنی داده شدند. پس از آتراسونیک 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 سیاه رنگ به وسیله آنالیز EDS، همانند تمونه شاهد MnS تشخیص داده شد. در ادامه تصاویر SEM و آنالیز EDS گرفته شده از نمونه شاهد تنها زمینه‌ای با عناصر Cr و Fe و کاربیدهای C و Cr با نقاطی از جنس MnS نشان می‌داد. اما در نمونه‌های بعد از عملیات حرارتی جهت گرافیت زایی، این فاز سیاه رنگ مشخصاً در مرز بین کاربید و زمینه تشکیل شده است. همچنین در زمینه تمونه ای که از دمای آستینیتی وارد مرحله گرافیت زایی شده حضور پرلیت را می‌توان تشخیص داد. همانطور که در تصاویر مشخص است میتوان کروی شدن کاربیدها را بعد از عملیات حرارتی نسبت به نمونه شاهد مشاهده کرد.



ب

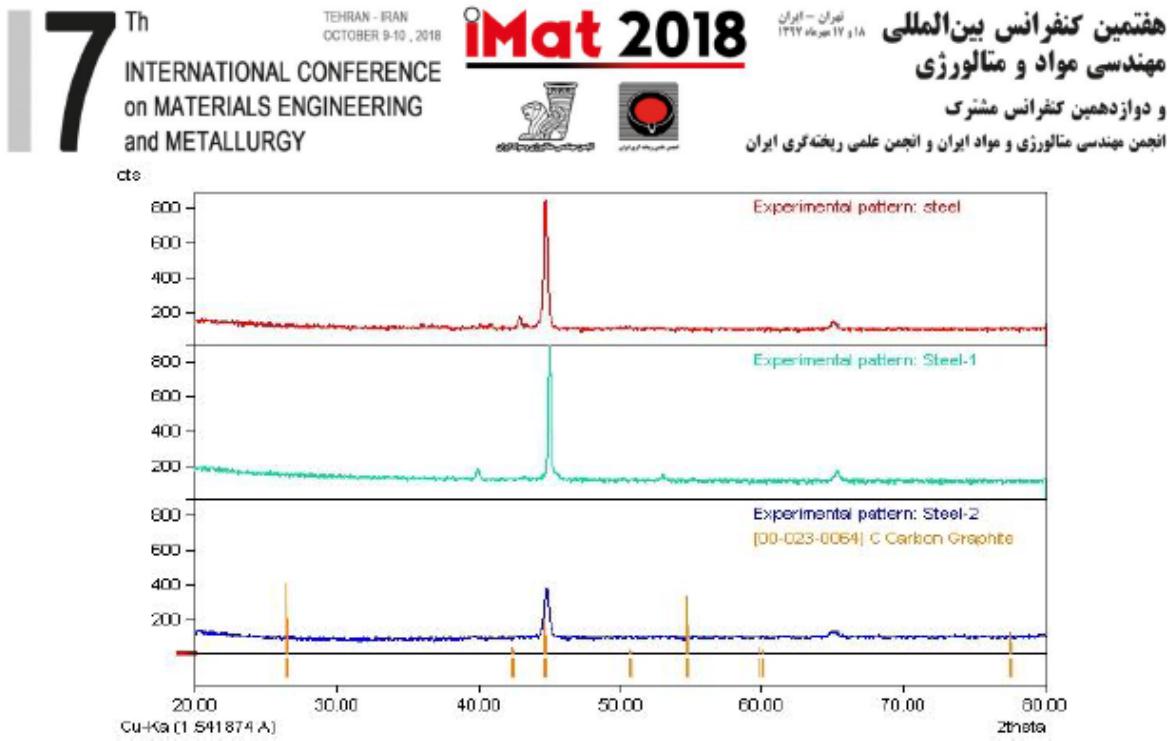
الف

شکل ۳. تصویر میکروسکوپ SEM نمونه گرافیت زایی شده ۱۰ ساعت با زمینه (الف) آستینیتی (ب) مارتزیتی.



شکل ۴. تصویر میکروسکوپ نوری نمونه گرافیت زایی ۱۰ ساعت با زمینه آستینی.

آنالیز XRD گرفته شده از این دونمونه تیز نتایج جدیدی را حاصل کرد. فاز غالب زمینه آهن و کروم، کاربیدها، کاربیدهای کروم و کربن بودند که به دلیل مشترک بودن صفحات کریستالی شان تشخیص آنها مشکل بود. هم چنین حضور MnS ها در زمینه نمونه به مقدار کم تشخیص داده شد. نمونه شاهد steel2 نمونه زمینه آستینیه steel1 و نمونه زمینه مارتزیتی steel2 نام گذاری شده است. مقایسه الگوی XRD سه نمونه باهم این طور نشان داد که در نمونه زمینه مارتزیتی (Steel2) الگوی مورد نظر بین تر شده و ارتفاع پیک ها کاهش یافته است. این اتفاق بدین معناست که صفحات کریستالی ضعیف تر، بلورینگی کمتر و صفحه اصلی به یک سوم صفحه قبلی کاهش یافته است. این اتفاق به دلیل مارتزیت شدن نمونه بوده که باعث ریزتر شدن ذرات، کاهش اندازه کریستالی و سایز بلورک ها شده است و برخلاف انتظار درصد فازها تقلیل یافته است. فازهای تشخیص داده شده عبارتند از: MnS, Fe₂C, CrFe, Cr₇C₃.



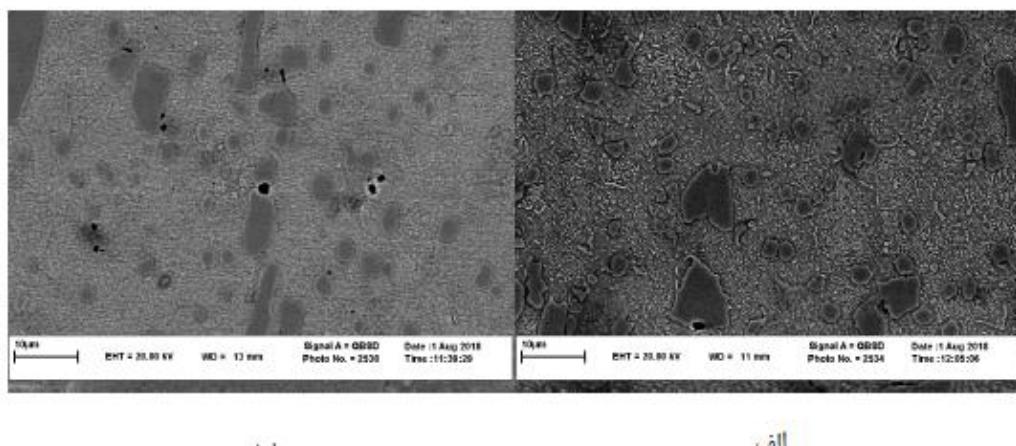
شکل ۵ آنالیز xrd نمونه های شاهد و ۱۰ ساعت عملیات حرارتی شده.

ساختار کربن گرافینی هگزاگونال است که در این نمونه ها کربن با ساختار کوبیک تشخیص داده شد. اما در نمونه زمینه ماتنزیتی (Steel2) یک برآمدگی ضعیف در دامنه پیک اصلیشان داده می شود که با کربن گرافیتی مطابقت دارد. به این معنا که ممکن است فاز گرافیت به مقدار اندک در زمینه به وجود آمده باشد.

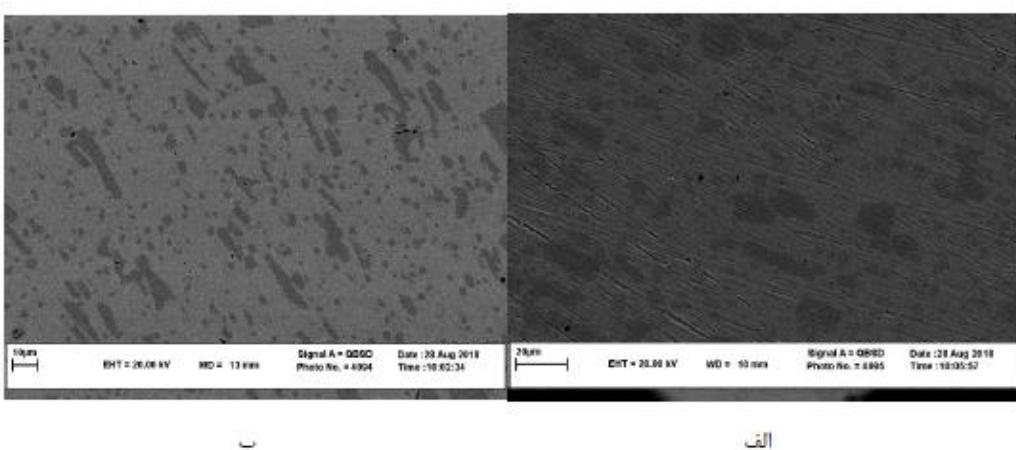
در مرحله بعد عملیات حرارتی فرایند گرافیت زایی روی دو نمونه مشابه نمونه های آزمایش قبل در دمای 700°C به مدت 40 h تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند و در نهایت در کوره سرد شدند. پس از عملیات متالوگرافی، پولیش و اج، از نمونه مانند مرحله قبل توسط میکروسکوپ نوری در بزرگنمایی های متفاوت تصویربرداری شد. همچنین تصاویر SEM و آنالیز EDS نیز از نمونه ها گرفته شد. این نمونه ها نیز تاییجی مشابه با عملیات حرارتی قبل را ارایه داد با این تفاوت که کاربیدها در حال کروی تر شدن می باشند. جهت تایین فاز سیاه رنگ حاصل تصمیم گرفته شد این بار یک نمونه بعد از سنباده 1200 و دیگری بعد از پولیش و آلتراسونیک تحت تصویربرداری SEM و آنالیز EDS قرار گیرند. این بار فاز سیاه رنگ برخلاف نمونه های قبلی کاهش یافته و مانند نمونه شاهد می باشد و آنالیز EDS فاز سیاه رنگ موجود را MnS تشخیص داد. بنابراین می توان نتیجه گرفت بعد از عملیات حرارتی انجام گرفته جهت گرافیت زایی و بعد از اج کردن سطح نمونه ها



به دلیل ضعیف شدن مرز دانه ها، حفره هایی در مرز بین کاربید و زمینه به وجود می آید که با مواد پولیش در هنگام پولیش کردن پر می شود.



شکل ۶. تصویر میکروسکوپ SEM نمونه گرافیت زایی شده ۴۰ ساعت با زمینه (الف) آستنیتی (ب) مارتنتزیتی



شکل ۷. تصویر میکروسکوپ SEM نمونه گرافیت زایی شده ۴۰ ساعت (الف) سنباده شده (ب) پولیش شده.

- عملیات حرارتی آبیل به منظور گرافیت زایی، باعث کروی شدن کاربیدهای موجود می گردد.
- عملیات حرارتی به منظور گرافیت زایی روی تموهه زمینه مارتزیتی باعث ریزدانه شدن و کاهش سایز بلورک ها می شود.
- گرافیت زایی در فولاد مافق کربنی D3 نیازمند زمان طولانی تر می باشد.
- آبیل کردن باعث تضعیف مرزدانه ها و تشکیل حفرات در حین سمباده می شود.

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] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] H.J. Goldschmidt, "Interstitial alloys", London: Butterworth, 1967, 117.
- [10] Hugh O . Pierson, "Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes Properties, Processing and Applications", 1993, New Mexico, Published by William Andrew Inc., pp.1 00-104.
- [11] 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.
- [12] M.J. Olney and G.C. Smith, 'Surface Effects Occurring During the Heating and Cooling of Plain Carbon Steels', Journal of The iron and Steel institute, 1959, 107-116.
- [۱۳]. علیرضا کیانی رشید، محسن خمری، حمیدرضا نوروزی، سیده قایقه طباطبائی، "گرافیت زایی در فولادها" ، طرح پژوهشی، معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان، اردیبهشت ۱۳۸۴

17th
INTERNATIONAL CONFERENCE
on MATERIALS ENGINEERING
and METALLURGY

TEHRAN - IRAN
OCTOBER 9-10 , 2018

iMat 2018



هفدهمین کنفرانس بین المللی
مهندسی مواد و متالورژی

و دوازدهمین کنفرانس مشترک
انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته گری ایران

[14] .R.Wilson, Metallurgy and heat treatment of tool steels, McGrow-hill, London 1975.

