

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



Behavior of AISI410 martensitic stainless steel under different heat

Abstract

Martensitic stainless steels due to their good mechanical properties are widely used, but to achieve optimal and maximum properties in specific applications such as oil, petrochemical and aerospace industries, the extensive research is needed to improve its functionality. Heat treatment is one of the most appropriate method to achieve this goal. The use of these steels in industrial applications requiring Heat treatment parameters are properly selected. Properties of martensitic stainless steels is strongly influenced by the chemical composition of matrix after Heat treatment, especially carbon and chromium content. As a result dissolution of carbides during heating and their deposits while cooling, which plays a major role on the properties of steel. Therefore, the effect of austenitization temperature and tempering temperature on the microstructure and mechanical properties of martensitic stainless steel AISI410 as the base martensitic stainless steel was studied. In order to better understand and more precisely the microstructure and mechanical properties of the steel in different heat treatment conditions and to determine the optimal cycle, different regimes Heat treatment was applied on steel AISI 410. Studies show that the most suitable Heat treatment cycle consisting of austenitization temperature in the range of 1010°C and tempering of steel is in the range of 700 to 760°C. As regards one of the major applications of steel as the wellhead valves, so should toughness be high. Therefore, impact test was carried out at a temperature of -18 °C. The results show that precipitated fine carbides of $M_{23}C_6$ instead M_7C_3 carbides (which causes secondary hardening in the steel.) In the ferritic matrix and the tempered martensite lathes and reducing harmful elements such as phosphorus from the grain boundaries increases the toughness of the steel in this the temperature range.

Keywords: martensitic stainless steels, mechanical properties, dissolution of Carbide, alloy carbides, optimum heat treatment cycle.

بررسی رفتار فولاد زنگ نزن مارتنزیتی AISI 410 تحت شرایط مختلف عملیات حرارتی

چکیده

فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی به دلیل خواص مکانیکی خوب آنها به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند ، اما برای دستیابی به خواص بهینه و حداکثری در کاربردهای ویژه آن همانند: صنایع نفت و پتروشیمی و صنایع هوافضا ، نیاز به تحقیقات گسترده ای برای بهبود کاربردی آن نیاز است . عملیات حرارتی یکی از مناسبترین روش ها برای رسیدن به این هدف محسوب می شود . به کارگیری این فولادها در کاربردهای صنعتی مستلزم انتخاب صحیح پارامترهای عملیات حرارتی می باشد . خواص فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی به شدت متاثر ترکیب شیمیایی زمینه بعد از عملیات حرارتی می باشد، به خصوص میزان کربن و کروم . در نتیجه فرآیند حل شدن کاربیدها در حین گرمایش و رسوب آنها در هنگام سرد شدن ، نقش عمده ای بر خواص فولاد ایفا می کند .

به همین منظور تاثیر دمای آستنیت و دمای تمپر بر ریز ساختار و خواص مکانیکی فولاد AISI 410 به عنوان فولاد پایه زنگ نزن مارتنزیتی مورد مطالعه قرار گرفت . به منظور درک بهتر و دقیقتر ریز ساختار و خواص مکانیکی فولاد مذکور در شرایط مختلف عملیات حرارتی و تعیین سیکل بهینه ، رژیم های مختلف عملیات حرارتی بر روی فولاد AISI 410 اعمال گردید . مطالعات انجام شده نشان داد مناسب ترین سیکل عملیات حرارتی شامل دمای آستنیت در محدوده 1010°C و تمپرینگ فولاد در محدوده 700°C تا 760°C می باشد . با توجه به اینکه یکی از عمده کاربردهای فولاد مورد نظر به عنوان شیرهای سرچاهی است، لذا باید از چقرمگی بالایی برخوردار باشد . به همین منظور تست ضربه در دمای 18°C - انجام پذیرفت. نتایج نشان می دهد رسوب کاربیدهای ریز M_{23}C_6 به جای کاربیدهای M_7C_3 (که موجب سختی ثانویه فولاد می گردد). در زمینه فریتی و درون تیغه های مارتنزیت تمپر شده و کاهش عناصر مضر چون فسفر از درون مرز دانه سبب افزایش چقرمگی فولاد مورد نظر در این محدوده دمایی شده است .

واژه های کلیدی: فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی، خواص مکانیکی، انحلال کاربیدهای آلیاژی، سیکل عملیات حرارتی بهینه

مقدمه

امروزه استفاده از فولادهای زنگ نزن بدلیل دارا بودن استحکام و مقاومت به خوردگی بالا در صنایع مختلف رو به گسترش می باشد. در این زمینه، عملیات حرارتی به عنوان یکی از روش های اصلی در استحکام دهی فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی مورد استفاده قرار می گیرد.

فرایند عملیات حرارتی در فولادهای پرآلیاژ نظیر فولاد زنگ نزن مارتنزیتی مورد بحث شامل دو مرحله کاملاً مجزا می باشد. (الف) عملیات آنیل انحلالی یا آستنیت کردن (ب) انجام عملیات تمپرینگ به منظور اصلاح مورفولوژی ریزساختار حاصله در مرحله قبل.

هدف از انجام عملیات آنیل انحلالی در این فولادها انحلال کامل کاربیدهای کمپلکس و ایجاد ساختار کاملاً تک فاز و همگن آستنیت می باشد که در مرحله سرمایش بعدی به فاز مارتنزیت تبدیل می گردد. هر چند وجود کاربیدهای آلیاژی در فاز آستنیت از رشد دانه های آستنیت در دماهای بالا جلوگیری بعمل می آورد و باعث ایجاد ساختار دانه ریز آستنیت و در نهایت بسته های کوچکتر مارتنزیت خواهد شد اما وجود این نوع کاربیدها و عدم انحلال آنها در فاز آستنیت منجر به کاهش سختی پذیری و در نهایت افت خواص مکانیکی خواهد شد. همچنین افزایش انحلال کاربیدها در فاز آستنیت منجر به افزایش تترائگونالیته و در نتیجه کاهش دمای تشکیل مارتنزیت خواهد شد. از دیدگاه مکانیک شکست تحقیقات انجام گرفته توسط سارافاینوس^۱ نشان داد کاربیدهای درشت باقی مانده در فاز آستنیت باعث ایجاد ترک در حین کوئنچ شده در حالی که کاربیدهای ریز نقش موثری در جلوگیری از رشد دانه های آستنیت به عهده خواهند داشت (سارافاینوس؛ ۱۹۸۶).

همچنین تحقیقات نشان می دهند که اندازه دانه های آستنیت اولیه نقش موثری در مورفولوژی و خواص مکانیکی ناشی از فاز مارتنزیت به عهده دارند (تسائی؛ ۲۰۰۲). به همین دلیل تلاش های عملی زیادی جهت تعیین سیکل بهینه آنیل انحلالی (دما و زمان آستنیت کردن) بر روی فولادهای پرآلیاژ صورت گرفته است. مرحله دوم در فرایند عملیات حرارتی فولادهای پرآلیاژ همان طوری که در بالا نیز بدان اشاره گردید انجام عملیات تمپرینگ می باشد. هدف از انجام این نوع عملیات، افزایش چقرمگی و کاهش تنش های پسماند و بازیابی نابجایی های ایجاد شده در مرحله کوئنچ قبلی می باشد. نتایج حاصل از تحقیقات در این زمینه نشان داده است انجام عملیات تمپرینگ بسته به نوع سیکل اجرایی می تواند منجر به افت یا افزایش خواص حاصله گردد.

وقوع پدیده سختی ثانویه در اثر جدایش عناصر مضر نظیر فسفر در مرز دانه‌ها و رسوب کاربیدهای ثانویه از جمله ی اثرات منفی عملیات تمپرینگ نامناسب می باشد. تحقیقات حاصله نشان داده اند نحوه انجام عملیات انحلالی قبلی تاثیر بسزایی در وقوع پدیده تردی تمپر دارد. تعدادی از تحقیقات صورت گرفته نشان می دهد

وقوع پدیده سختی ثانویه در دماهای تمپر پایین و همچنین وجود کاربیدهای درشت در دماهای بالا باعث حساس شدن^۲ فولاد و در نتیجه افت شدید خواص خوردگی فولادهای زنگ زن می گردد (پینگ؛۲۰۰۷ و کاندلاریا؛۲۰۰۳). هرچند تحقیقات اخیر که توسط سانگ^۳ و همکاران انجام شده نشان می دهد رسوب کاربیدهای کمپلکس آلیاژی در حین عملیات تمپرینگ در دماهای بالا به عنوان محل های جوانه زنی غیرهمگن برای فاز آستنیت عمل نموده و در نتیجه باعث افزایش انرژی ضربه فولاد در دماهای پایین می گردد(سانگ؛۲۰۱۳). در همین زمینه و به منظور بررسی نقش عملیات تمپرینگ بر مقاومت به ضربه فولادهای پرآلیاژ در دماهای پایین، تحقیقات زیادی انجام گرفته یا در دست انجام می باشد.

با توجه به مطالب فوق الذکر، طراحی سیکل بهینه عملیات حرارتی شامل آنیل انحلالی (آستنیت کردن) و عملیات تمپرینگ در فولادهای پرآلیاژ می تواند کمک موثری در تولید یک فولاد با کیفیت به عهده داشته باشد.

فولادهای زنگ زن مارتنزیتی نظیر فولاد مورد بحث در این تحقیق بطور گسترده ای در کاربردهای مختلف که نیازمند استحکام، چقرمگی و مقاومت به خوردگی بالایی می باشد مورد استفاده قرار می گیرند. عمده کاربرد این فولاد در قطعاتی نظیر قالب های پلاستیک، انواع والوها، شفت ها، شیرهای سرچاهی و .. می باشد. هدف از تحقیق حاضر بررسی رفتار فولاد زنگ زن مارتنزیتی AISI410 در شرایط مختلف عملیات حرارتی و در نتیجه تعیین سیکل بهینه عملیات حرارتی می باشد.

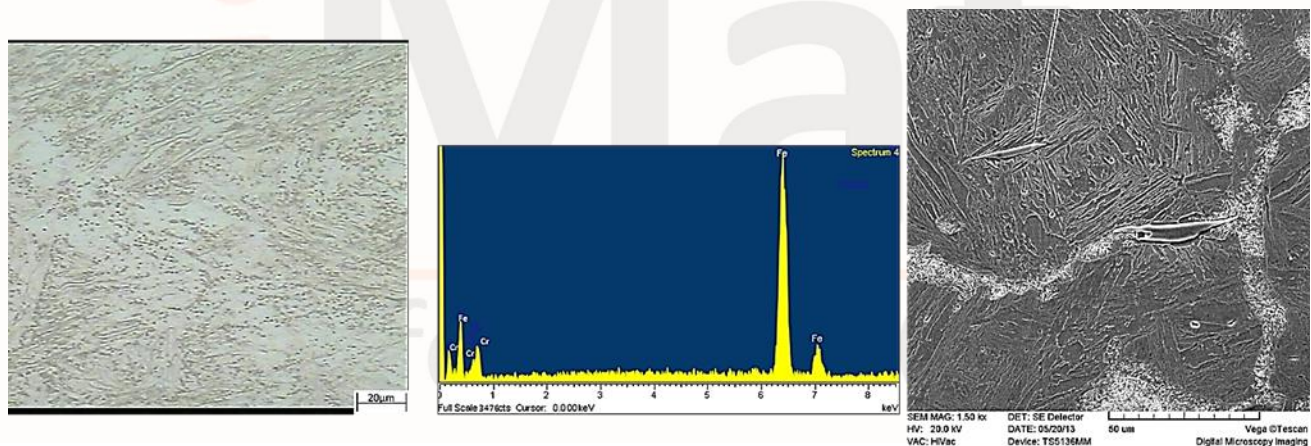
برای بررسی دقیق تر موضوع بحث شناخت مختصری از ویژگی ها و خواص فولاد های زنگ زن مارتنزیتی و تحولات بدون نفوذ ضروری به نظر می رسد که در ادامه فصل به این مهم پرداخته می شود.

مواد و روش تحقیق

آماده سازی ذوب این فولاد در کوره قوس الکتریکی و سپس مراحل آلیاژسازی آن در کوره پاتیلی انجام گرفته است. در نهایت فولاد مذکور به صورت شمش های ۱۵/۵ تنی ریخته گری می گردد. ترکیب شیمیایی فولاد در جدول شماره ۱ گزارش شده است. پس از انجام عملیات فورجینگ و همگن سازی در دمای 650°C به مدت ۱۰ ساعت و خنک سازی محصول تا دمای محیط؛ بلوک هایی با ابعاد مناسب تهیه می گردد. خواص مکانیکی و ریز ساختار فولاد در این حالت که شامل زمینه فریتی و کاربیدهای ریز Cr_{23}C_6 می باشد به ترتیب در جدول شماره ۲ و تصویر شماره ۱ مشخص گردیده است. آنالیز EDS (تصویر شماره ۱) نمونه اولیه وجود کاربیدهای Cr_{23}C_6 را در زمینه فریتی نشان می دهد.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فولاد AISI410

C%	Mn%	Si%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%	N%
0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	12.0	-	0.05	-



شکل ۱. ریزساختار فولاد اولیه و EDS مربوط به آن

سپس به منظور عملیات آستنیت در دماهای ۹۴۰، ۹۸۰، ۱۰۱۰، ۱۰۵۰، ۱۱۰۰ و ۱۱۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ دقیقه نمونه هایی از بلوک های فولاد اولیه تهیه می گردد. نمونه ها بعد از آستنیت شدن در محیط روغن کوئنچ می گردند. دلیل انتخاب زمان کوتاه برای این عملیات جلوگیری از دیکربوراسیون و رشد دانه می باشد. (وانگ؛ ۲۰۱۳) با اینکه طبق تحقیقات Tsai و همکاران؛ این فولاد در محیط هوا نیز مارتنزیتی می شود. (تسائی؛ ۲۰۰۲) اما برای جلوگیری از رسوب کاربیدهای جدید در محیط روغن کوئنچ گردیده است.

جدول ۲. خواص مکانیکی فولاد AISI410 در حالت اولیه

انرژی ضربه (-۱۸° C)	کاهش سطح مقطع	افزایش طول	استحکام کششی	استحکام تسلیم	سختی
17J	27	18	740 MPa	450 MPa	274HV

جهت تعیین دمای بهینه تمپر، نمونه ها در محدوده دمایی ۵۹۰ تا ۷۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت تحت عملیات تمپر قرار گرفته و سپس در محیط روغن (جهت جلوگیری از وقوع پدیده تردی تمپر) سرد شد. آزمایشات سختی سنجی، کشش، ضربه (در ۱۸- درجه سانتی گراد) و متالوگرافی و آنالیز EDS و XRD و میکروسکوپی نوری و الکترونی بر روی نمونه ها انجام گرفته شد. برای انجام تست ضربه نمونه ها در ۱۸- درجه سانتی گراد، نمونه و انبر درون یخچال مخصوص قرار می گیرد تا به دمای مطلوب برسد و سپس نمونه توسط انبر به وسیله کاربر روی دستگاه نصب می شود و تست انجام می گیرد. (از تغییرات ۱۱ الی ۲ درجه ای صرف نظر می گردد). همچنین جهت تعیین اندازه دانه آستنیت اولیه از محلول ۱۰ درصد اسید کلریدریک به صورت الکترواچ استفاده شد و جهت ارزیابی ریزساختار نمونه ها در حالت از کوئنچ از محلول ویلا استفاده گردید. در نهایت با تحلیل نتایج بدست آمده مناسبترین سیکل عملیات حرارتی شامل دمای آستنیت و تمپر بدست آمد.

نتایج و بحث

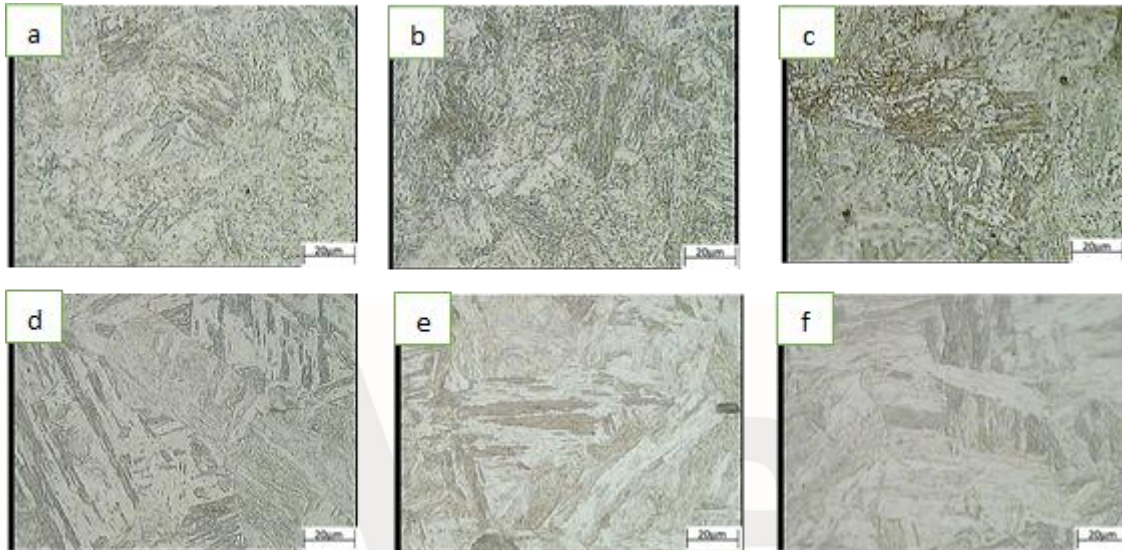
تأثیر دمای آستنیت بر سختی و میکروساختار

تحولات ریزساختاری در طول فرآیند توسط میکروسکوپ های نوری و SEM مورد مطالعه قرار گرفته است و همچنین آنالیز EDS و XRD بر روی برخی از نمونه ها صورت پذیرفت.

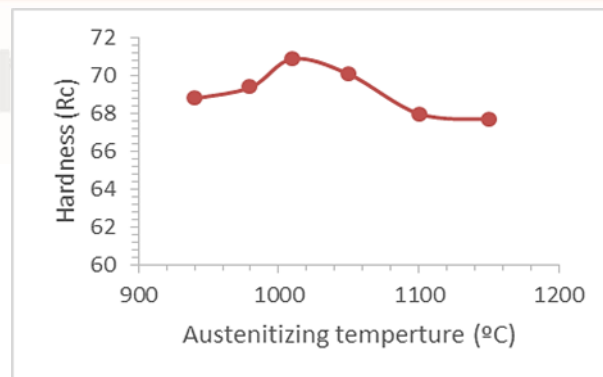
فولادهای زنگ زن مارتنزیتی اغلب در شرایط کوئنچ و تمپر شده مورد استفاده قرار میگیرند. در نتیجه دمای آستنیت و تمپر از اهمیت زیادی برخوردار است. نکته بسیار مهم در فرایند عملیات حرارتی فولادهای زنگ زن مارتنزیتی تعیین محدوده دمایی انحلال کاربیدها در حین عملیات آستنیت می باشد که تأثیر بسزایی بر خواص و ریزساختار فولاد در مراحل بعدی دارد.

بسته به دمای آستنیت میزان درصد کاربید در زمینه متفاوت خواهد بود. (ناصری اصفهانی و همکاران ۲۰۱۱) بعد از عملیات کوئنچ تیغه های مارتنزیتی فاز غالب زمینه را تشکیل می دهند. همان طور که از شکل شماره ۲ مشخص است، هرچه دمای آستنیت افزایش یافته از حجم کاربیدها کاسته شده است، و تیغه های مارتنزیتی نیز درشت تر شده اند. با افزایش انحلال عناصر آلیاژی به خصوص کربن بر سختی مارتنزیت افزوده می گردد. به طور کلی سختی زیاد به سبب توزیع همگن تیغه های مارتنزیت در

میکروساختار می باشد . تنوع سختی می تواند به علت دو فاکتور مهم باشد: اول افزایش عناصر آلیاژی همانند کروم و کربن در آستنیت با افزایش دمای آستنیت . دوم وجود آستنیت باقیمانده در میان تیغه های مارتنزیت که معمولاً با افزایش دمای آستنیت افزایش می یابد و سبب کاهش سختی می گردد (دوبای و همکاران، ۱۹۹۸).



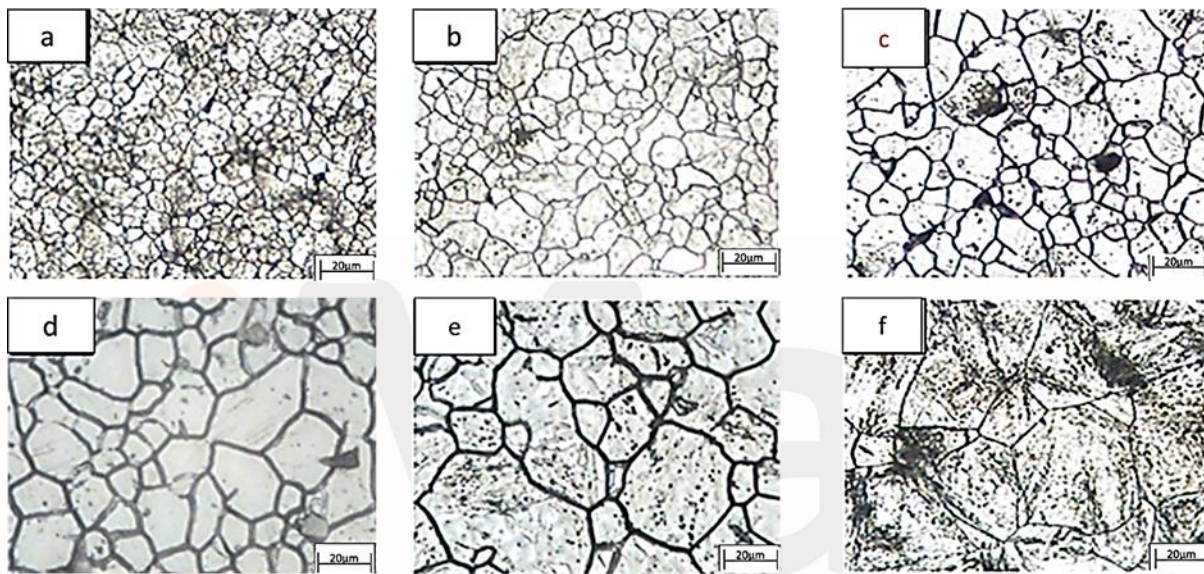
شکل ۲. ریزساختار نمونه as-received تحت عملیات آستنیت (a) ۹۴۰، (b) ۹۸۰، (c) ۱۰۱۰، (d) ۱۰۵۰، (e) ۱۱۰۰، (f) ۱۱۵۰



شکل ۳. تاثیر دمای آستنیت بر سختی در شرایط as-received

شکل شماره ۳ تغییرات سختی را بر حسب دمای کوئنچ در دو حالت as-received و شرایط سیکل حرارتی نشان می دهد، در محدوده دمایی ۹۴۰ تا ۱۰۱۰°C سختی افزایش می یابد، سپس با افزایش دمای آستنیت شاهد کاهش سختی خواهیم بود. با افزایش دمای کوئنچ میزان کاربیدهای حل شده افزایش می یابد، در اثر انحلال کاربیدها که خود مانعی بر سر راه مرزدانه ها می باشد (دی.ای.پورتر؛ دگرگونی فازها...)، فرصتی برای رشد دانه های آستنیت فراهم می گردد؛ که این امر موجب افزایش اندازه

تیغه های مارتنزیتی و متعاقباً کاهش سختی می گردد. همان طور که مشخص است تیغه های مارتنزیت در درون دانه های آستنیت اولیه شکل می گیرد و تعداد تیغه ها، درون دانه های آستنیت ثابت می باشد. هر چند پهنا و توزیع تیغه ها تحت تاثیر دانه های آستنیت قرار ندارند. بنابراین اندازه تیغه های مارتنزیت با افزایش اندازه دانه آستنیت رشد می کند (بینگ و همکاران؛ ۱۹۹۵). در نتیجه میزان سختی با عبور از دمای 1010°C کاهش می یابد. شکل شماره ۴ و جدول شماره ۳ تغییرات اندازه دانه آستنیت اولیه برای نمونه های سیکل حرارتی را نشان می دهد که با افزایش دما در اثر انحلال بیشتر کاربیدها اندازه دانه افزایش یافته است.



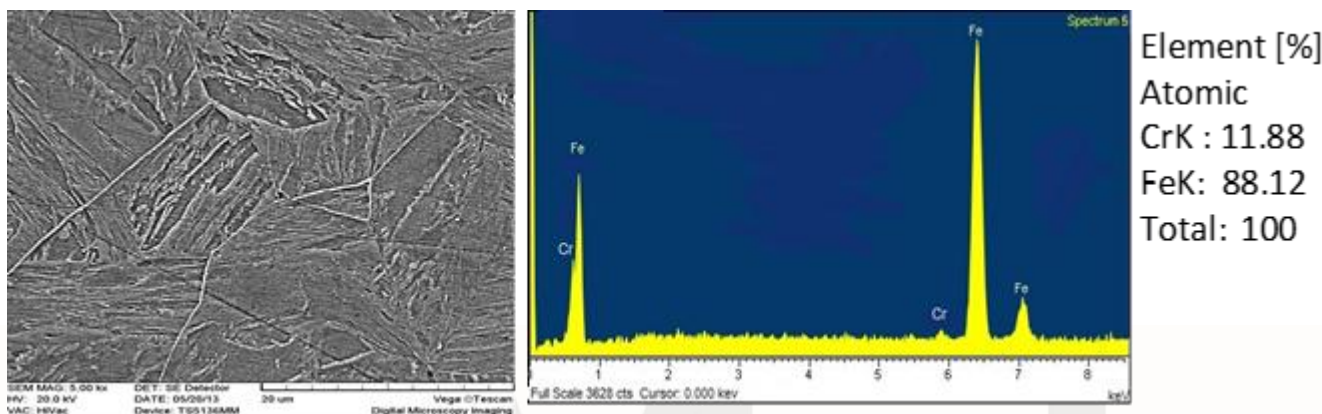
شکل ۴. اندازه دانه آستنیت اولیه تحت عملیات آستنیت (a) ۹۴۰، (b) ۹۸۰، (c) ۱۰۱۰، (d) ۱۰۵۰، (e) ۱۱۰۰، (f) ۱۱۵۰

جدول ۳. اندازه دانه آستنیت اولیه نمونه تحت عملیات آستنیت

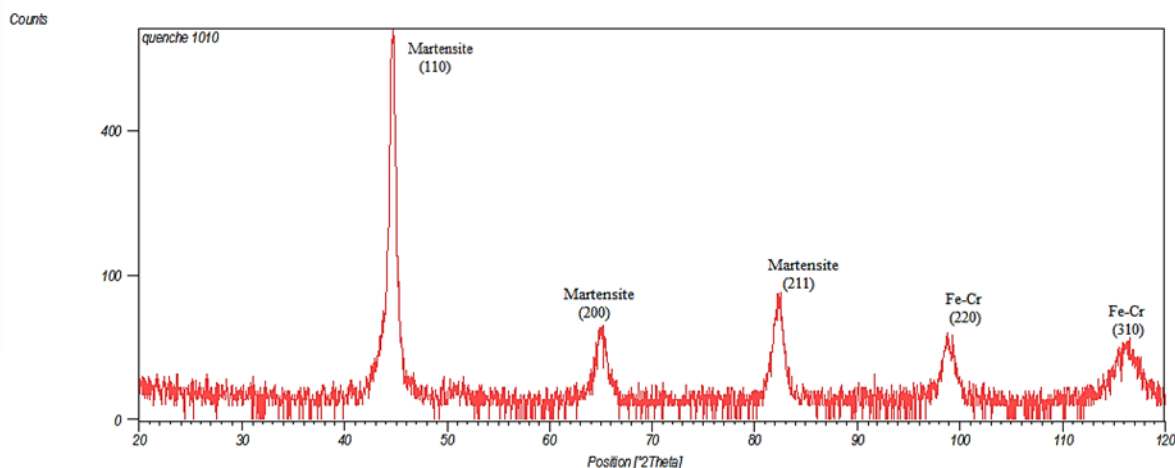
Temperature($^{\circ}\text{C}$)	Grain size(μm)
940	16
980	17
1010	19
1050	22
1100	29
1150	33

با بررسی تیغه های مارتنزیت و اندازه دانه آستنیت اولیه نیز می توان نتیجه گرفت که با افزایش دمای آستنیت اندازه دانه های آستنیت اولیه افزایش یافته، ولی رشد دانه در محدوده 940°C تا 1010°C به آرامی صورت می گیرد. افزایش سختی در محدوده 1010°C را میتوان در اثر انحلال عناصر آلیاژی بخصوص C و Cr در زمینه و عدم رشد زیاد دانه های آستنیت دانست (دی آندرس

و همکاران (۱۹۸۸). بررسی آنالیز EDS و XRD نمونه (اشکال ۵ و ۶) در دمای کوئنچ 1010°C نشان می دهد کاربیدهای آلیاژی به طور کامل در زمینه حل شده اند و ریز ساختار شامل تیغه های مارتزیتی می باشد.



شکل ۵. آنالیز EDX و تصویر SEM نمونه تحت عملیات آستنیت در دمای 1010°C

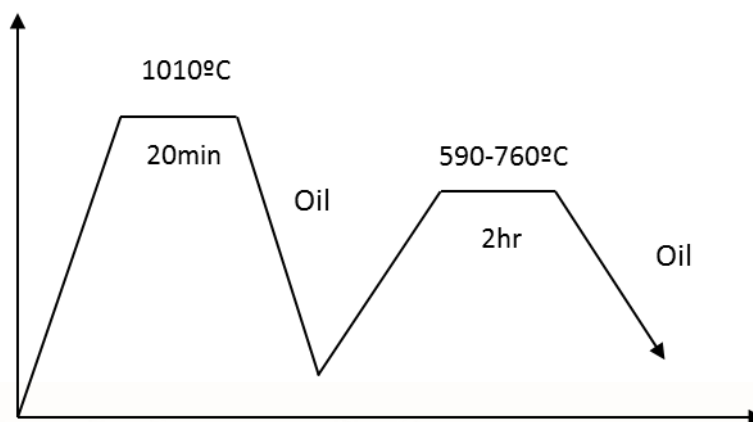


شکل ۶. آنالیز XRD نمونه تحت عملیات آستنیت در دمای 1010°C

تاثیر دمای تمپر بر خواص مکانیکی و ریزساختار

بعد از عملیات آستنیت و تعیین دمای بهینه 1010°C نوبت به عملیات تمپر به جهت افزایش چقرمگی و کاهش تنش های پسماند می رسد. نمونه ها در محدوده دمایی 590°C تا 760°C درجه سانتیگراد تحت عملیات تمپر قرار گرفته و سپس در محیط روغن (جهت جلوگیری از وقوع پدیده تردی تمپر) سرد شده است (شکل ۷). محدوده دمایی 400°C تا 575°C برای عملیات تمپر به دلیل

پدیده سختی ثانویه انتخاب نگردید (بهادیشییا؛ ۲۰۰۶) و برای دماهای پایین تر نیز به دلیل عدم کاربرد صنعتی و صرفاً تنش زدایی، مطلوب شناخته نشد.

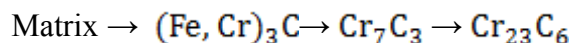


شکل ۷. شماتیک سیکل عملیات حرارتی شامل دمای آستنیت و تمپر

ریز ساختار فولادها زنگ زن مارتنزیتی بعد از عملیات تمپر، مارتنزیت تمپر شده می باشد. Dang-shen در تحقیقات خود نشان داد که در دماهای پایین بازپخت ریزساختار فولاد تمپر شده شامل، مارتنزیت تمپر شده + کاربیدهای حل نشده می باشد. و زمانی که دمای تمپر افزایش یابد سبب رشد کاربیدها شده و علاوه بر آن کاربیدهای ریز جدیدی رسوب می کند، که باعث پدیده سختی ثانویه می گردد (دنگ شن؛ ۲۰۱۲).

Calliari در مورد فولاد مشابه نیز نشان داد کاربیدهای تشکیل شده در محدوده دماهای ۲۰۰ °C، ۵۰۰ °C و ۷۰۰ °C از نوع $Cr_{23}C_6$ ، Cr_7C_3 ، $Cr_{23}C_6$ به ترتیب می باشد (کالییری؛ ۲۰۰۶).

در فولادهای کروم بالا معمولاً با دو نوع کاربید کروم مواجه هستیم Cr_7C_3 (trigonal) و $Cr_{23}C_6$ (complex cubic) توالی کاربیدها در طول تمپر به صورت زیر است (ملکیان؛ ۲۰۰۷):



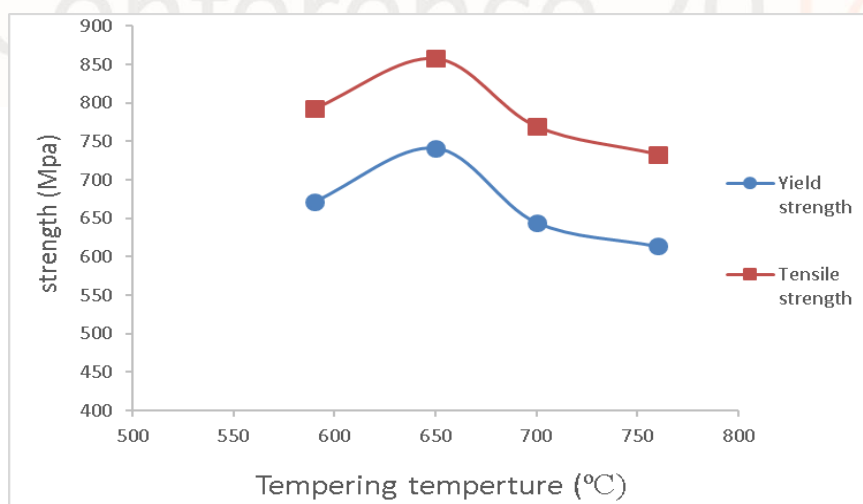
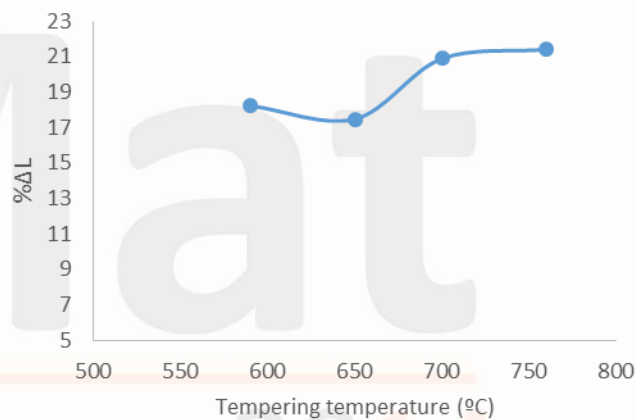
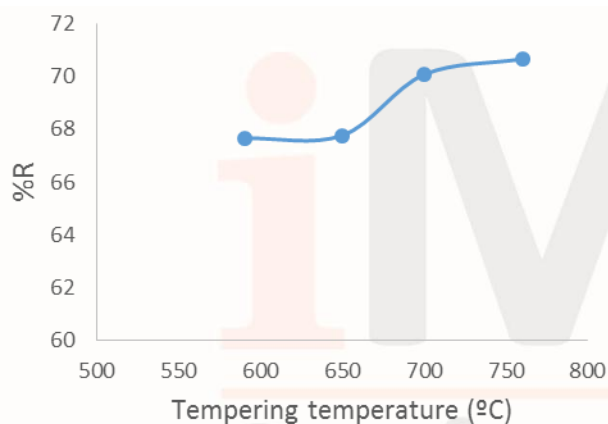
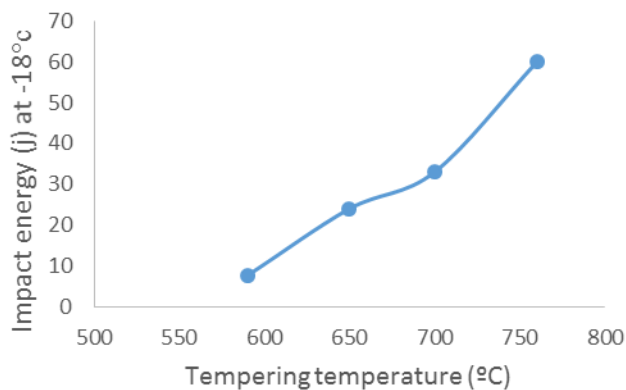
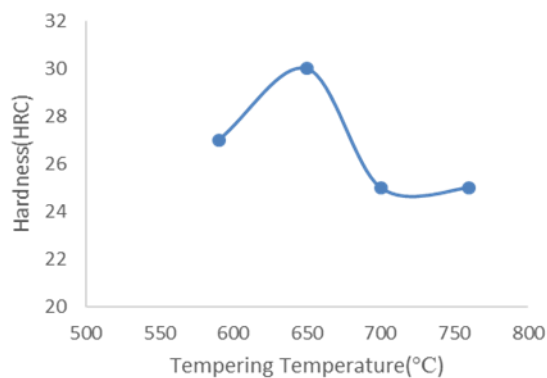
فولاد های دارای بیش از ۱۲٪ کروم در محدوده دمایی ۴۰۰-۵۷۵ °C با سختی ثانویه همراه است که دلیل آن نیز رسوب گذاری کاربیدهای Cr_7C_3 می باشد. علاوه بر این، کاربیدهای $Cr_{23}C_6$ همزمان با Cr_7C_3 هسته گذاری می نمایند اما در نواحی دیگر و به صورت جزئی در مرزدانه های آستنیت و مرزهای تیغه های فریت صورت می گیرد. رشد رسوب کاربید $Cr_{23}C_6$ به واسطه

انحلال کاربیدهای Cr_7C_3 و در نهایت ناپدید شدن آن از زمینه می باشد. البته این گزار از Cr_7C_3 به Cr_{23}C_6 در فولادهای کروم بالا با جوانه زنی و رشد مجزا صورت می گیرد (دنگ شن؛ ۲۰۱۲).

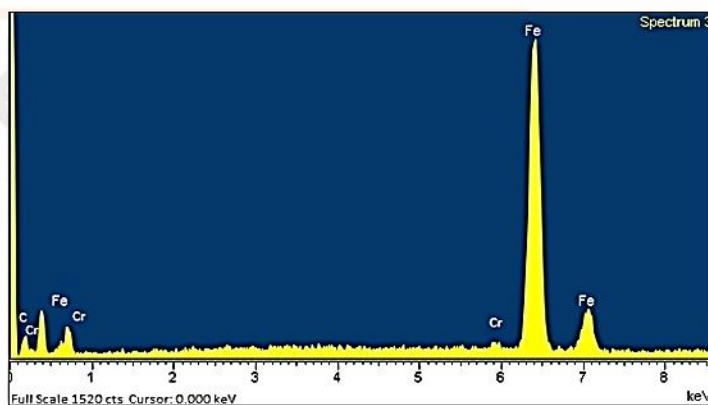
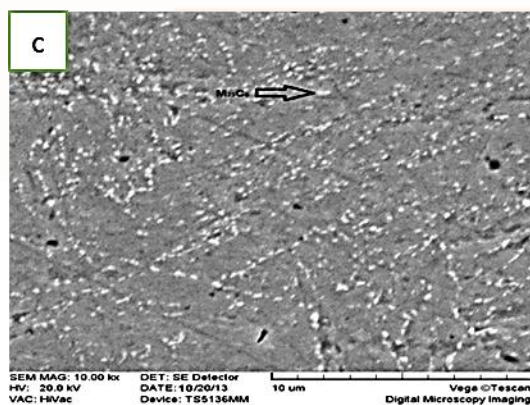
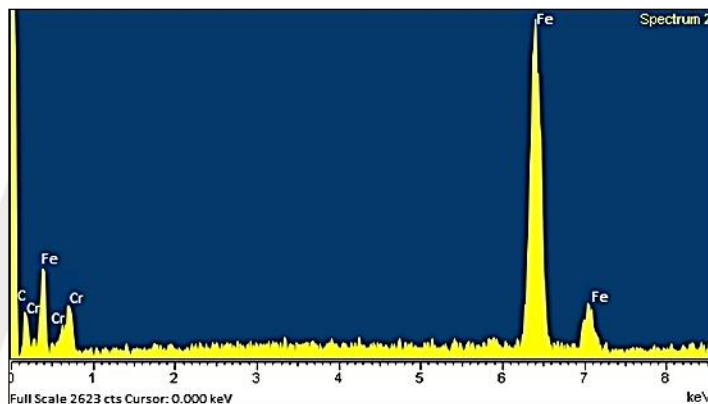
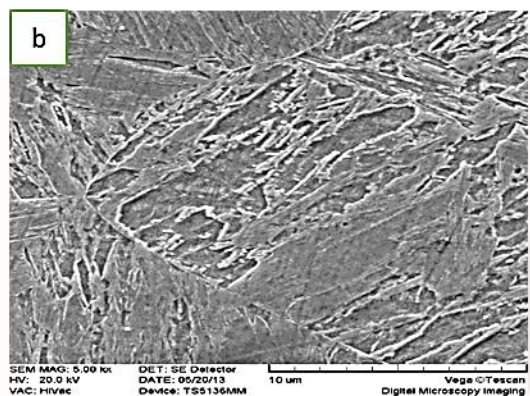
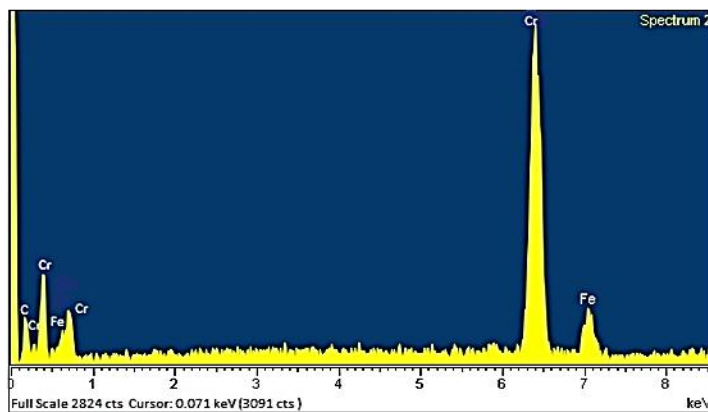
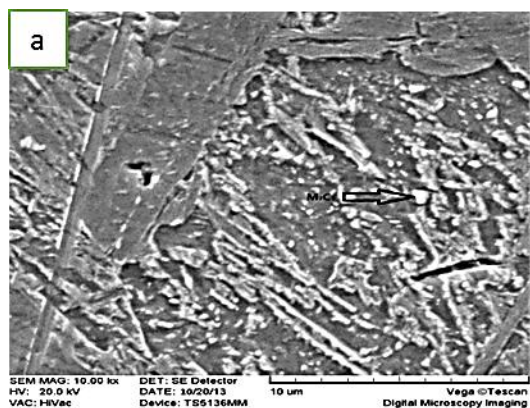
شکل ۸ تغییرات خواص مکانیکی فولاد مذکور تحت عملیات تمپر را نشان می دهد. در محدوده دمایی تست با یک نرم شدن در روند کلی نمودار مواجه هستیم، که این پدیده در اثر درشت شدن کاربیدهای Cr_7C_3 و تبدیل شدن به کاربیدهای Cr_{23}C_6 می باشد. آنالیز EDS (شکل ۹) موید این امر می باشد

اما دلیل افزایش استحکام و سختی در محدوده 650°C و سپس کاهش آن را می توان به دلیل حضور توام هر دو نوع کاربید ($\text{Cr}_{23}\text{C}_6 + \text{Cr}_7\text{C}_3$) در زمینه (کاربیدهای ریز تشکیل شده Cr_{23}C_6 در کنار کاربیدهای Cr_7C_3) دانست، سپس با افزایش دمای تمپر و انحلال کامل کاربیدهای نوع Cr_7C_3 با درشت شدن کاربیدهای Cr_{23}C_6 از میزان همدوسی رسوبات کاسته شده و در نتیجه موجب کاهش استحکام و سختی می گردد (پینگ؛ ۲۰۰۷).

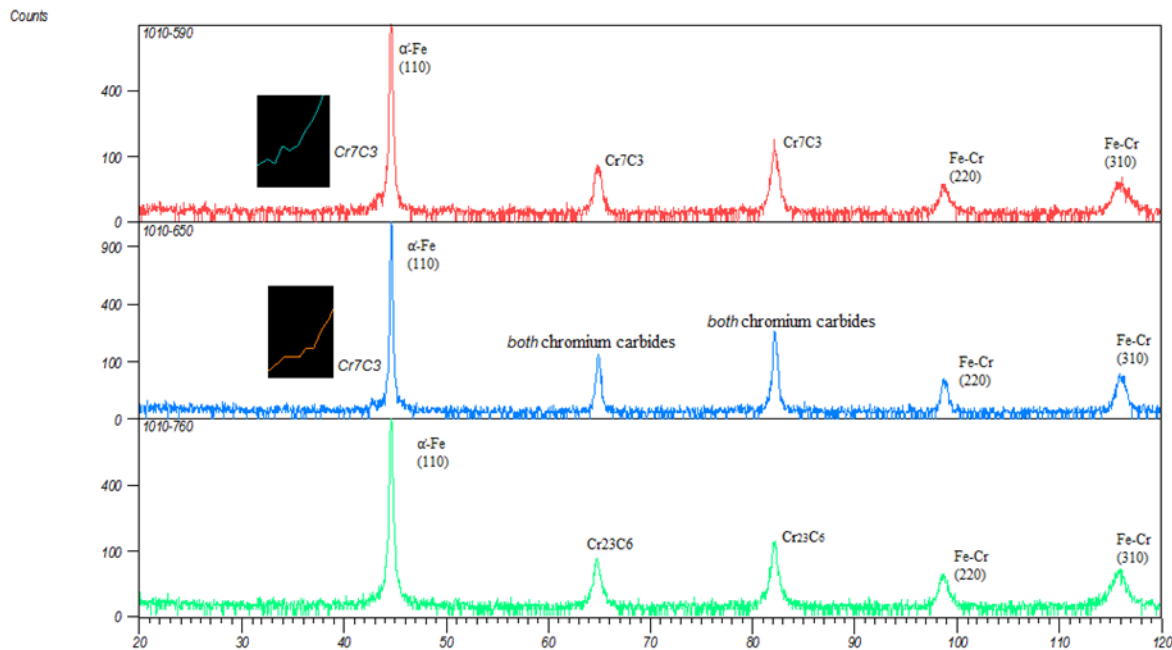
بررسی های XRD بر روی فولاد حضور هر دو نوع کاربید یاد شده را در محدوده دمایی 650°C نشان می دهد، البته به دلیل نزدیک بودن پیک های کاربیدهای Cr_7C_3 و Cr_{23}C_6 دچار همپوشانی گردیده است. (شکل ۱۰) علاوه بر این بازیابی تیغه های مارتنزیت تمپر شده و همچنین کاهش رسوب عناصر مضر P و S با افزایش دمای تمپر از مرز دانه ها موجب افزایش انرژی ضربه می گردد. اما وجود کاربیدهای درشت سبب محدود شدن داکتیلیتی خواهد شد (ناصری اصفهانی و همکاران؛ ۲۰۱۱).



شکل ۸. تاثیر دمای تمپر بر خواص مکانیکی فولاد



شکل ۹. آنالیز EDS نمونه های تمپر شده (a) ۵۹۰، (b) ۶۵۰، (c) ۷۶۰

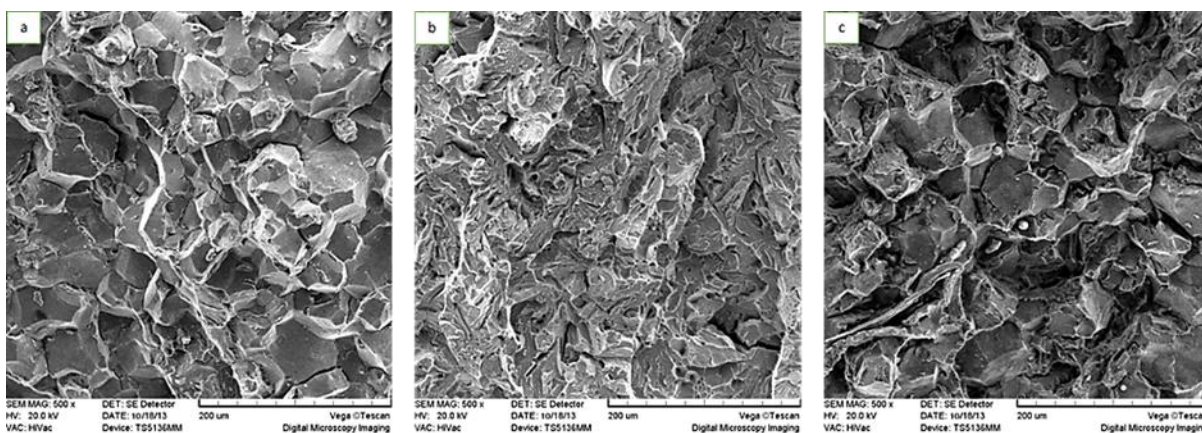


شکل ۱۰. آنالیز XRD نمونه های تمپر شده (a) ۵۹۰، (b) ۶۵۰، (c) ۷۶۰

شکست نگاری

تصاویر SEM سطح شکست نمونه ها تحت آزمون ضربه در 18°C - در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد، در تمامی دماها مقداری تغییر فرم پلاستیک دیده می شود اما در دمای 590°C سطح شکست اکثراً به صورت ترد بوده که شکست تورقی کاملاً قابل مشاهده می باشد.

در دمای 650°C به میزان شکست نرم افزوده شده و شاهد شکست فیبری می باشیم، در دماهای بالاتر علاوه بر مکانیزم شکست نرم میکرو حفره هایی مشاهده می گردد که احتمالاً در اثر فصل مشترک کاربید ها و زمینه ایجاد گردیده است.



شکل ۱۱. تصاویر SEM نمونه‌های تمپر شده (a) ۵۹۰، (b) ۶۵۰، (c) ۷۶۰ تحت آزمون ضربه در دمای ۱۸- درجه سانتی گراد

نتیجه گیری

۱. حداکثر سختی (۷۲ HRC) تحت دمای آستنیت 1010°C بدست آمد.
۲. افزایش سختی و استحکام در محدوده 650°C تحت عملیات تمپر به واسطه حضور توام کاربیدهای $(\text{Cr}_{23}\text{C}_6 + \text{Cr}_7\text{C}_3)$ درون تیغه‌های مارتنزیت تمپر شده، می باشد.
۳. مناسب ترین سیکل عملیات حرارتی برای فولاد مذکور آستنیت در دمای 1010°C و تمپرینگ در محدوده دمایی $760-700^{\circ}\text{C}$ می باشد.
۴. سطح شکست نمونه‌های تمپر (تحت ضربه در 18°C) در 590°C به صورت تورقی می باشد. با افزایش دمای تمپر به میزان شکست نرم افزوده شده و در دماهای بالاتر علاوه بر مکانیزم شکست نرم، میکرو حفره‌های حاصل از فصل مشترک کاربیدها و زمینه ملاحظه می گردد.

منابع انگلیسی

- A.F. Candelaria, Journal of Material Science 33 (3442) 1151-1152.
A. Nasery Isfahany, Journal of Alloys and Compounds 540 (3411) 2021-2026.
Bhadeshia, H.K.D.H, Honeycombe, R.W.K, Steels: Microstructure and Properties, Elsevier Ltd., UK (3446).
Calliari, M. Zanesco, M. Dabala, K. Brunelli, E. Ramous, Material & Design (3446) 1-5.
C. Garcia de Andres, L.F. Alvarez, V. Lopez, Journal of Material Science 22(1011)0405-0144.
H.K.D.H. Bhadeshia, Acta Metall. 30 (1011) 1110-1124.
H. Wang, J. Min. Metall. Sect. B-Metall. 00 (3) B (3412) 105 - 111.
J.S. Dubey, S.A. Vadekar, J.K. Chakravatry, Journal of Nuclear Materials 350. (1001) 301-300.
L.Shi-ying, ZHANG Ting-kai, KANG Xi-fan, et al. Stainless Steel [MI.Beijing: Atomic Energy Press, 1005 (in Chinese).
MA Dang-shen, JOURNAL OF IRON AND STEEL RESEARCH, INTERNATIONAL. 3413, 10(2): 56-61.

- M.C. Tsai, Materials Science and Engineering A223 (3443) 1-14.
Mehran Maalekian, the Effects of Alloying Elements on Steels, Technische Universität Graz, October 3440.
N. Sarafianos, Materials Science and Engineering, Volume, Issue 1, June 1016, Pp 01-10.
S. J. Midea, Heat Treating, Including Steel Heat Treating In the New Millennium, ASM International, 3444.
Y.Song, Materials Science and Engineering: A, Volume 511, 34 December 3412, Pp 341-340.
ZHONG Ping Proaxdines of Sino-Swedish Structural Materials Symposium 3440.

منابع فارسی

دی.ای.پورتر، دگرگونی فازها در فلزات و آلیاژها، انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران

iMat
Conference 2014