

بررسی دگرگونی های فازی در فولاد زنگ نزن مارتنزیتی AISI ۴۲۲ در حالت سرد کردن

پیوسته

سعیده قنبری^{۱*}، کامران امینی^۲، علی شفیعی^۳ و محمد علی سلطانی^۴

چکیده

در این پژوهش با استفاده از دستگاه دیلاتومتری، رفتار فولاد زنگ نزن مارتنزیتی AISI ۴۲۲ در حین سرد کردن پیوسته مورد مطالعه قرار گرفت و دیاگرام CCT این فولاد بدست آمد. برای این منظور نمونه های استاندارد آزمون دیلاتومتری منطبق بر الزامات استاندارد SEP 1681 به صورت استوانه‌هایی به قطر ۴ mm و طول ۱۰ mm تهیه گردید. در آزمون دیلاتومتری گرمایش نمونه ها تحت اتمسفر خلا، انجام گرفت. نتایج بیانگر این است که پس از رسیدن به دمای آستنیت 1040°C و نگهداری در این دما به مدت ۱۵ دقیقه، مدت زمان های سرد کردن ۵، ۱۵، ۳۰ دقیقه ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۱۸ ساعت فاز مارتنزیت در محدوده دمایی 238°C - 300°C تشکیل شد. با سرد کردن در مدت زمان های ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ساعت فاز پرلیت تشکیل شد. محدوده دمایی آغاز استحاله پرلیتی 472°C - 621°C و محدوده دمایی پایان این استحاله 367°C - 504°C است. دمای آغاز استحاله مارتنزیتی برای این نمونه ها 300°C - 310°C است. در مدت زمان سرد کردن ۳۶ ساعت فاز بینیت در محدوده دمایی 402°C - 451°C تشکیل شد. نتایج آزمون سختی پذیری نشان از بالا بودن سختی پذیری در این فولاد بوده و منحنی جامینی به صورت خط راست بوده است.

واژه های کلیدی: استحاله فازی، دیلاتومتری، فولاد AISI ۴۲۲، نمودار سرد کردن پیوسته.

۱- مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد.

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، واحد تبران، دانشگاه آزاد اسلامی، تبران، اصفهان، ایران.

۳- دانشیار، گروه مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

۴- کارشناس ارشد فولاد آلیاژی اصفهان، اصفهان، ایران.

□- نویسنده مسئول مقاله: s.ghanbari1987@yahoo.com

پیشگفتار

فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی گستره ای از فولادهای مقاوم به سایش و خوردگی را در بر می گیرند. عملیات حرارتی این فولادها در سالهای اخیر از رشد بالایی برخوردار بوده، لذا لازم است که معیارها و پارامترهای حاکم بر عملیات سخت کردن آنها مورد بررسی قرار گیرد. این فولادها شامل ۰/۱-۱/۲ درصد کربن و ۱۱/۵-۱۸ درصد کرم می باشند که ظرفیت دگرگونی آستنیت به مارتنزیت را در همه شرایط سرد کردن دارند [۱-۳].

برای کاربردهایی که مستلزم نه تنها مقاومت به خوردگی است بلکه نیاز به استحکام بالا، مقاومت به سایش و حفظ لبه های تیز و زوایا در قطعه است از فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی استفاده می شود [۴].

بهینه سازی خواص فولادها وابسته به عملیات حرارتی هر فولاد می باشد که عملیات حرارتی نیز وابسته به چندین پارامتر مهم از قبیل دمای سخت کاری، زمان سخت کاری، ترکیب شیمیایی واقعی فولادها، نرخ گرمایش و بالاخص نرخ سرمایش، ساختار اولیه فولاد و ریز ساختار آن در زمان آستنیت، رشد و اندازه دانه در حین گرمایش ساختار اولیه می باشد [۵-۶].

برای تولید کنندگان فولاد در اختیار داشتن دیاگرام CCT مشخصه فولاد تولیدی بسیار با اهمیت است زیرا می توانند با توجه به دیاگرام با طراحی سیکل های دقیق به ریز ساختار و خواص مکانیکی مورد نظر خریدار دست یابند. اگر چه تاکنون بسیاری از فولادهای مشابه فولاد یاد شده در سیکل های گرمایش و سرمایش در صنعت عملیات حرارتی قرار گرفته اند [۵-۷]، ولی تاکنون روی فولاد ۴۲۲ AISI با ترکیب شیمیایی ساخت داخل کشور هیچ گونه مطالعات منسجم در تعیین محدوده دماهای بحرانی و ریزساختارهای تعادلی پس از کوئنچ انجام نشده است. از آنجایی که عملیات حرارتی فولادهای زنگ نزن نسبت به فولادهای کربنی و کم آلیاژ حساس ترند و قیمت بالاتری دارند، بایستی سیکل های گرمایش و سرمایش به دقت انجام شود. در این پژوهش رفتار فولاد ۴۲۲ AISI پس از سیکل های سرمایشی با استفاده از دیلاتومتری ارزیابی شده است و دیاگرام CCT این فولاد رسم گردیده

است. دیلاتومتری ابزاری قدرتمند جهت تعیین دگرگونی های فازی حالت جامد در فولادها و روشی مفید جهت اعتبار بخشیدن به مدل های تئوری می باشد. با استفاده از آنالیز داده های منحنی های دیلاتومتری، دیاگرام های CCT^۱ و CHT^۲ رسم می گردد و امکان پیشگویی میکروساختار را برای سرعت های سرمایش و گرمایش گوناگون فراهم می کند [۸].

روش پژوهش

در جدول ۱ ترکیب شیمیایی فولاد ۴۲۲ AISI تولید شده در شرکت فولاد آلیاژی اصفهان آورده شده است. این فولاد در حالت خام به صورت کوئنچ و تمپر بوده که برای برگرداندن خواص اولیه فولاد عملیات آنیل در دمای ۷۵۰°C به مدت زمان ۴ ساعت انجام پذیرفت. در شکل ۱ ساختار اولیه فولاد نشان داده شده است. فولاد دارای ساختار مارتنزیتی می باشد. نمونه های دیلاتومتری مطابق استاندارد SEP۱۶۸۱ به صورت استوانه هایی به قطر ۴ میلی متر و طول ۱۰ میلی متر تهیه شدند. جهت انجام آزمون های دیلاتومتری از دستگاه دیلاتومتری 805A/D که در مجتمع فولاد آلیاژی اصفهان موجود است، استفاده گردید. سیکل های عملیات حرارتی شامل عملیات آستنیت کردن در دمای ۱۰۴۰°C به مدت زمان ۱۵ دقیقه و سپس سرمایش تا دمای محیط در مدت زمان های ۵، ۱۵ و ۳۰ دقیقه، ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ساعت است. در شکل ۲ شماتیک سیکل های حرارتی که به وسیله دستگاه دیلاتومتری روی نمونه ها انجام گرفته است، آورده شده است. سرمایش نمونه ها تا دمای محیط به وسیله گاز نیتروژن و در سیکل زیر صفر سرد کردن از دمای آستنیت تا دمای ۱۹۶°C- در مدت زمان ۵ دقیقه به وسیله نیتروژن مایع انجام گرفت. گفتنی است این دستگاه دارای تجهیزات پیشرفته ای است که به گونه دقیق سیکل های سرد کردن و گرم کردن را اجرا می نماید و بدین وسیله دمای پایان دگرگونی مارتنزیتی (M_f) تعیین گردید. برای اچ کردن نمونه ها از محلول ویللا با ترکیب شیمیایی ۱ گرم اسید پیکریک + ۱۰۰ میلی لیتر اتانول +

^۱ -Continuous Cooling Transformation

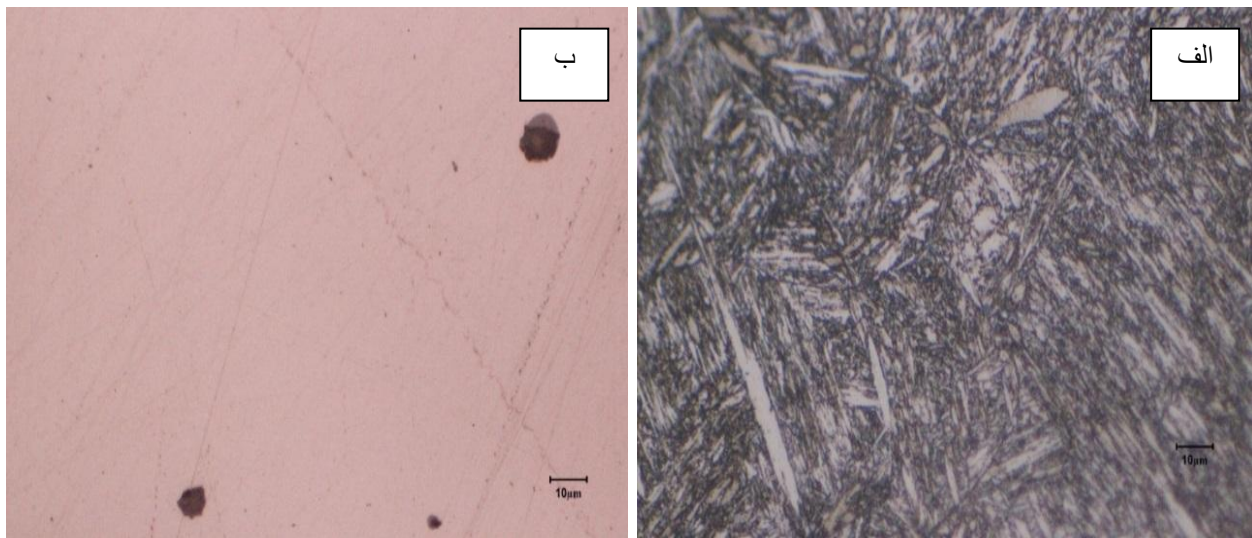
^۲ -Continuous Heating Transformatin

وسیله دستگاه Wilson مدل ۴۰۲ با نیروی ۰/۳ کیلوگرم صورت گرفت. برای رسم منحنی جامینی نیز نمونه تحت اتمسفر گاز آرگون در دمای ۱۰۴۰°C به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد و سپس در دستگاه جامینی قرار گرفت.

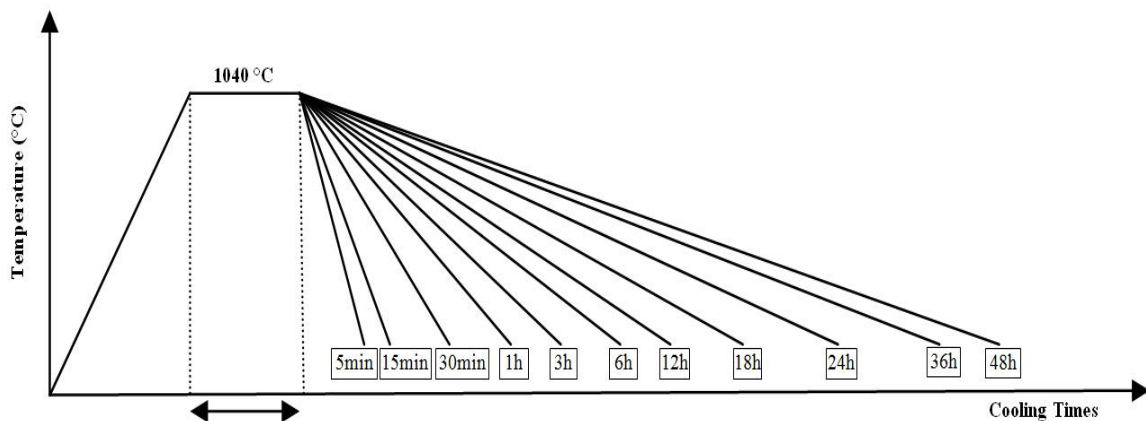
۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۳۵ درصد و برای بررسی ریز ساختار نمونه ها از میکروسکوپ الکترونی نوری Olympute مدل PGM3 و میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل BAHR آلمان استفاده شد. ریز سختی سنجی به

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فولاد AISI ۴۲۲ تولید شده در شرکت فولاد آلیاژی اصفهان (بر حسب درصد وزنی)

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Cu	%Al	%V	%W	%Fe
۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۶۲	۰/۰۱۷	۰/۰۰۶	۱۲/۰۰۲	۰/۹۶	۰/۹	۰/۵۹	۰/۰۲۷	۰/۲۶	۱/۰۶	۸۳/۴۹



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ نوری ریز ساختار فولاد AISI ۴۲۲ در حالت خام (الف) فریت در زمینه مارتنزیت (محلول اچ ویلا (ب) آخال ها به صورت نقاط سیاه رنگ در یک زمینه اچ نشده



شکل ۲- نمودار شماتیک سیکل های حرارتی که به وسیله دستگاه دیلاتومتر به نمونه ها اعمال شده است.

نتایج و بحث

در دستگاه دیلاتومتری تغییرات ابعادی (انبساط و انقباض) نمونه، در اثر گرم و سرد کردن و دگرگونی های فازی که همراه با انبساط و انقباض است، به وسیله یک پتانسومتر بسیار حساس اندازه گیری و ثبت می شود. با توجه به منحنی های بدست آمده می توان به پیش بینی دگرگونی های فازی به شرح زیر پرداخت.

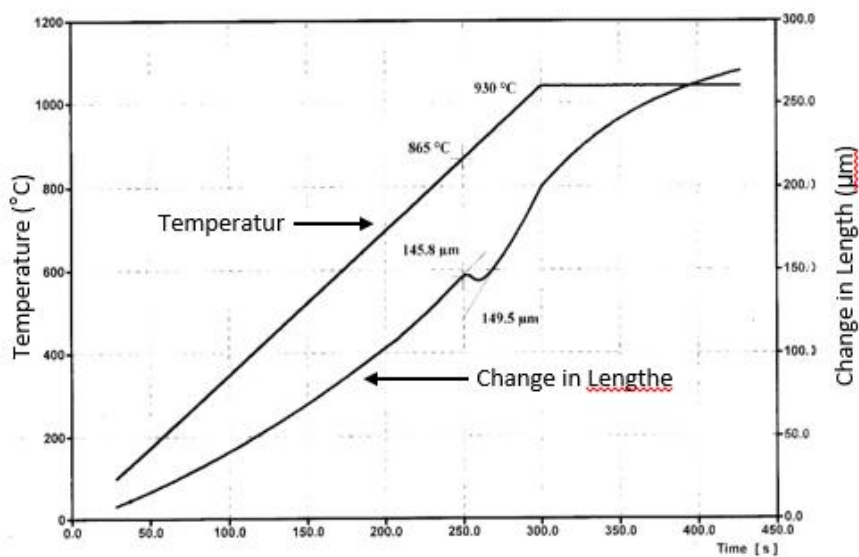
دگرگونی آستنیتی

در نمودارهای دیلاتومتری مربوط به کلیه نمونه ها، با افزایش دما از 25°C با نرخ گرمایش ثابت $3/4^{\circ}\text{C}/\text{s}$ طول نمونه به دلیل انبساط افزایش یافته تا آن که در دمای میانگین در حدود 853°C به دلیل تغییر فاز مارتنزیت به آستنیت، کاهش طول در نمونه رخ می دهد. این دما دمای شروع دگرگونی آستنیتی (AC_1) است. در ادامه افزایش دما، کاهش طول نمونه ادامه دارد تا آنکه در دمای میانگین در حدود 925°C تمام مارتنزیت تبدیل به آستنیت می شود. این دما، دمای پایان دگرگونی آستنیتی (AC_3) است. در ادامه با گرم کردن نمونه افزایش طول در نمونه رخ می دهد. نمونه سپس در دمای 1040°C برای مدت ۱۵ دقیقه نگهداری می شود که در این مدت طول نمونه ثابت می باشد. به طور مثال در شکل ۳ بزرگنمایی محدوده دگرگونی آستنیتی برای نمونه ای که در مدت

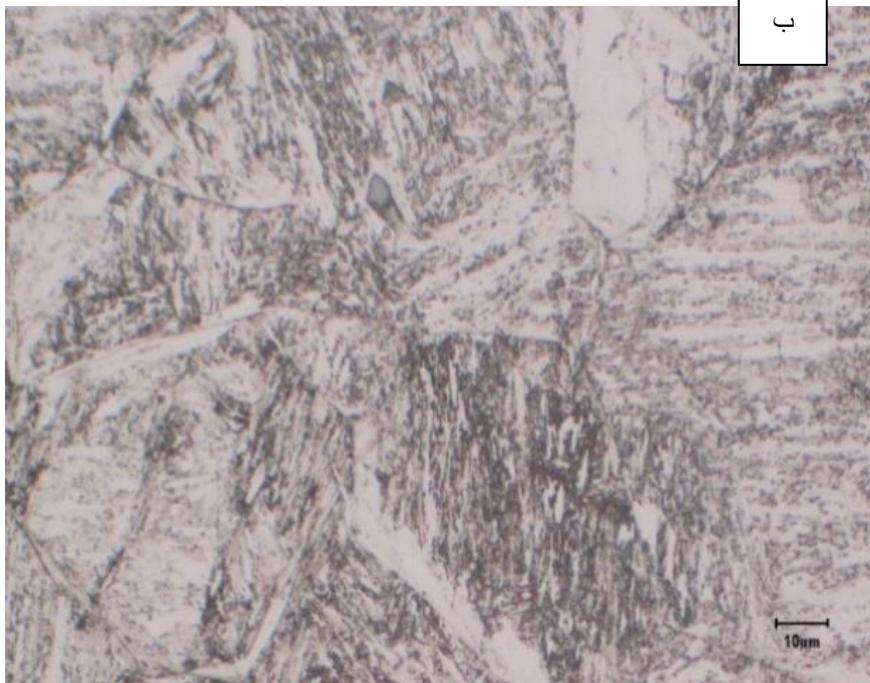
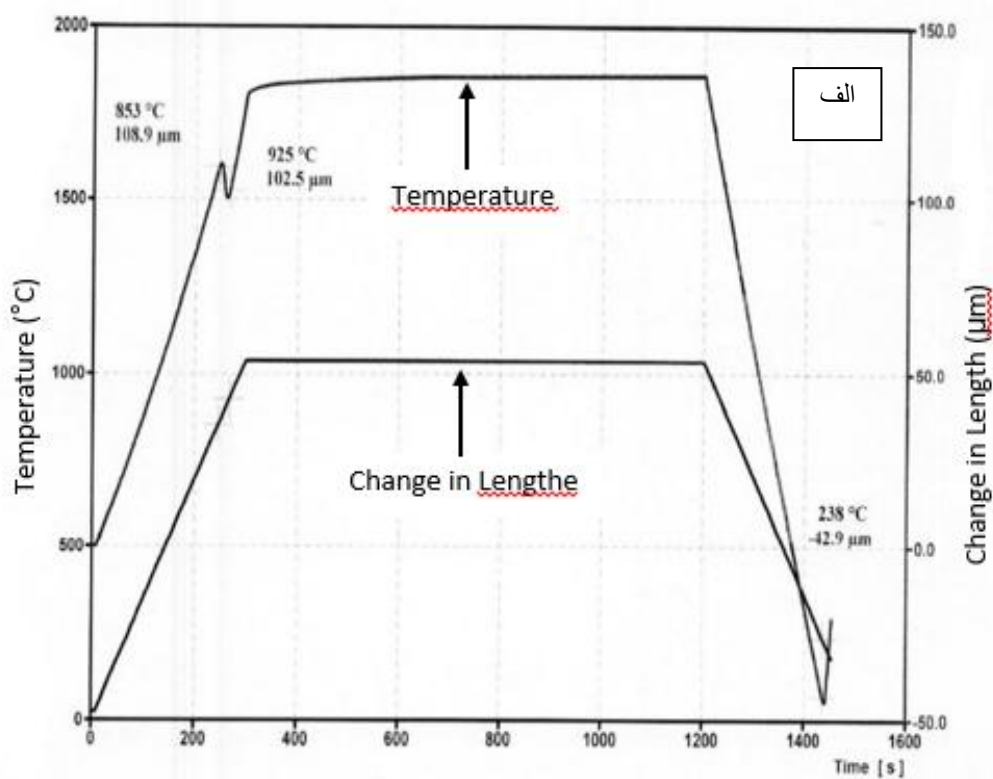
زمان ۱۲ ساعت سرد شده است، نشان داده شده است. همان گونه که مشخص است دمای AC_1 و AC_3 به ترتیب 865°C و 930°C است.

دگرگونی مارتنزیتی

در نمونه هایی که در مدت زمان های کوتاه (نرخ سرمایش بالا) از دمای آستنیت تا دمای محیط سرد شدند با کاهش دما کاهش طول در نمودارها رخ می دهد. تا جایی که در دماهای تقریباً پایین، به جای کاهش طول افزایش طول در نمودار دیده می شود. این افزایش طول به دلیل تغییر فاز ناشی از دگرگونی مارتنزیتی است که ساختار FCC به BCT تبدیل می شود. شکل ۴ الف نمودار دیلاتومتری مربوط به نمونه ای است که در مدت زمان ۵ دقیقه از دمای آستنیت تا دمای محیط سرد شده است. دمای 238°C دمایی است که طول نمونه در حین سرد کردن تا دمای محیط به دلیل تغییر فاز آستنیت به مارتنزیت افزایش می یابد. ریز ساختار بدست آمده از عملیات حرارتی این نمونه در شکل ۴ ب آورده شده است. تیغه های مارتنزیت در تصویر دیده می شود. افزون بر این، در نمونه هایی که در مدت زمان ۱۵ و ۳۰ دقیقه و ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۱۸ ساعت از دمای آستنیت تا دمای اتاق سرد شدند نیز تنها دگرگونی مارتنزیتی رخ داده است.



شکل ۳- محدوده دگرگونی آستنیتی برای نمونه ای که در مدت زمان ۱۲ ساعت سرد شده است.



شکل ۴- الف) نمودار دیلاتومتری بدست آمده از اعمال سیکل دیلاتومتری روی فولاد AISI۴۲۲ ثابت‌های: (دمای آستنیت‌دهی 1040°C ، زمان نگهداری ۱۵ دقیقه، نرخ گرمایش $3/4^{\circ}\text{C/s}$) مدت زمان سرد کردن ۵ دقیقه. ب) تصویر میکروسکوپ نوری ریز ساختار فولاد AISI۴۲۲ با عملیات حرارتی اشاره شده در قسمت الف

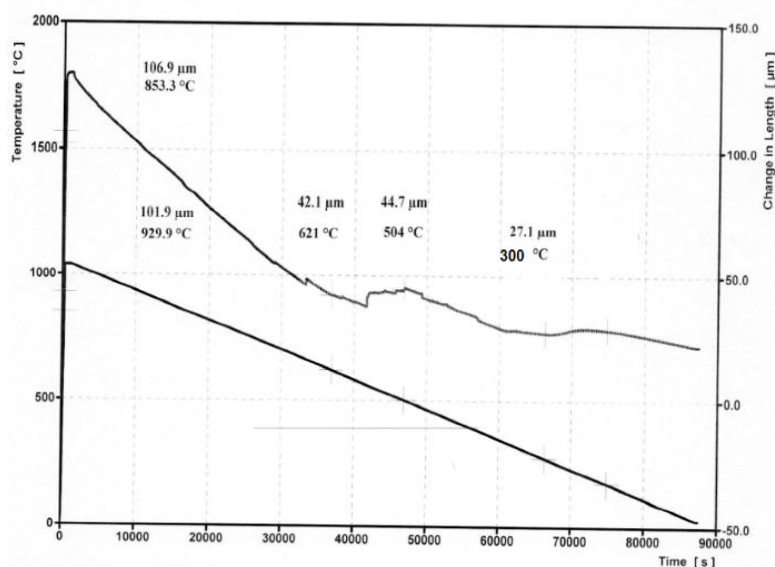
دگرگونی پرلیتی و بینیتی

استحاله پرلیتی ناشی از یک فرآیند نفودی است که در دماهای بالا در حین سرمایش نمونه رخ می دهد. در نمونه هایی که در مدت زمان های طولانی تر (نرخ سرمایش آهسته تر) سرد می شوند، این دگرگونی دیده می شود. بر اساس شکل ۵-الف و ب در نمونه هایی که در مدت زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت از دمای آستنیت تا دمای اتاق سرد شده اند با کاهش دما کاهش طول در نمونه ها رخ می دهد، تا این که در دمای 621°C و 472°C افزایش طول که ناشی از تغییر فاز آستنیت به پرلیت است، رخ می دهد. دمای پایان این دگرگونی در نمونه ها به ترتیب 504°C و 367°C می باشد. با ادامه سرد کردن کاهش طول در نمونه ها رخ می دهد تا جایی که دوباره افزایش طول به دلیل دگرگونی مارتنزیتی در دماهای 300°C و 310°C آغاز می شود. ریز ساختار حاصل از عملیات حرارتی این نمونه ها که مخلوطی از فریت، پرلیت و مارتنزیت است، در شکل ۶-الف و ب آورده شده است. فاز فریت به صورت زمینه روشن در تصاویر دیده می شود.

بررسی ریز ساختار نمونه ای که در مدت زمان ۴۸ ساعت تا دمای اتاق سرد شده است با استفاده از

میکروسکوپ الکترونی روبشی، احتمال حضور ذرات کاربیدی را نشان می دهد. شکل ۷ الف تصویر آنالیز SEM را نشان می دهد. آنالیز EDS بر نقاط دایره ای شکل که در شکل ۷ الف نشان داده شده است، تاییدی بر وجود کاربیدهای کمپلکس در این نمونه است، اما از آنجایی که آنالیز EDS نوعی آنالیز کمی است، به دلیل درصد کم عنصر تنگستن، این عنصر در آنالیز نیامده و ممکن است کاربیدهای تشکیل شده فاقد عنصر تنگستن باشند.

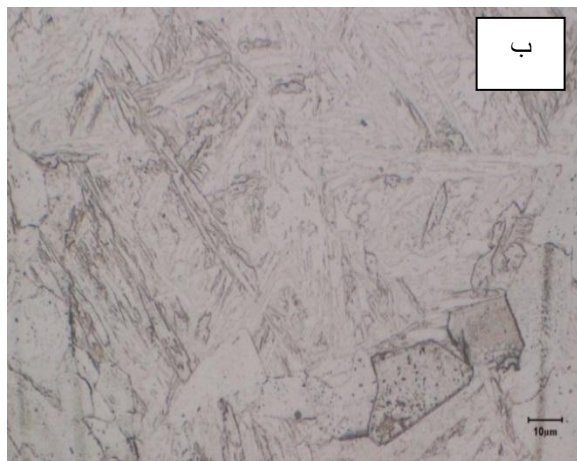
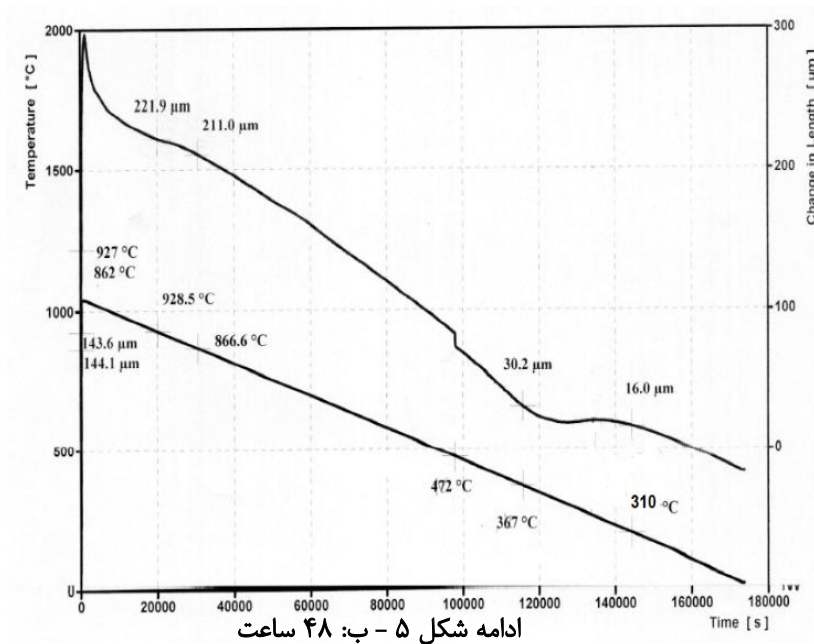
در شکل ۸ نمونه ای دیگر از سیکل های دیلاتومتری آورده شده است. در این سیکل نمونه در مدت زمان ۳۶ ساعت تا دمای محیط سرد شده است. دمای شروع و پایان دگرگونی آستنیت به پرلیت به ترتیب 556°C و 487°C می باشد، اما پس از این نیز با کاهش دما، تغییر در شیب خط تغییرات طول ادامه دارد که مربوط به دگرگونی آستنیت به بینیت است. بنابراین، دمای شروع و پایان دگرگونی بینیت به ترتیب 451°C و 402°C است. از این پس با کاهش دما کاهش طول نمونه رخ می دهد تا جایی که دوباره افزایش طول به دلیل دگرگونی مارتنزیتی رخ می دهد.



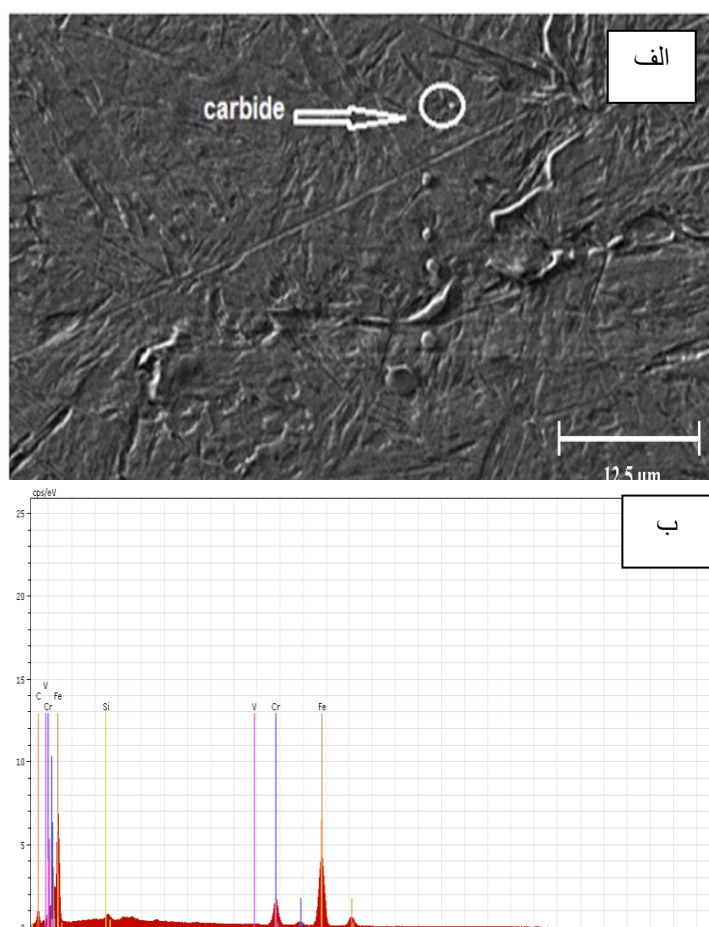
شکل ۵- نمودار دیلاتومتری بدست آمده از اعمال سیکل های دیلاتومتری روی فولاد زنگ نزن مارتنزیتی ۴۲۲ AISI ثابت های:

(دمای آستنیت 1040°C ، زمان نگهداری ۱۵ دقیقه و نرخ گرمایش $3/4^{\circ}\text{C/s}$)، متغیر: (مدت زمان سرد کردن الف: ۲۴

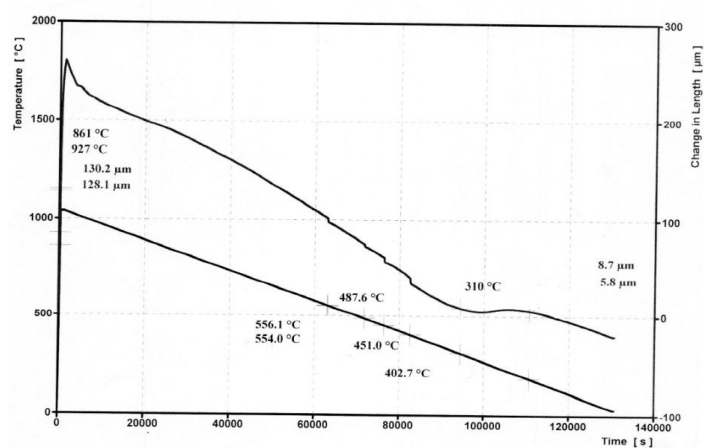
ساعت



شکل ۶- تصویر میکروسکوپ نوری فولاد زنگ نزن مارتنزیتی AISI 422 ثابت‌های: (دمای آستنیت‌دهی: ۱۰۴۰°C ، زمان نگهداری ۱۵ دقیقه، نرخ گرمایش $3/4^{\circ}C/s$) متغیر: (مدت زمان سرد کردن الف: ۲۴ ساعت ب: ۴۸ ساعت).



شکل ۷- شناسایی کاربیدها (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از ریزساختار نمونه دیلاتومتری فولاد AISI ۴۲۲ آستنیت شده در دمای ۱۰۴۰°C، مدت زمان سرد کردن ۴۸ ساعت شامل ذرات کاربید به صورت دایره در زمینه مارتنزیت و پرلیت (محلول اچ ویلا ب) آنالیز EDS از نقاط دایره ای شکل در قسمت (الف) نشان دهنده کاربیدهای کمپلکس در ریزساختار فولاد.

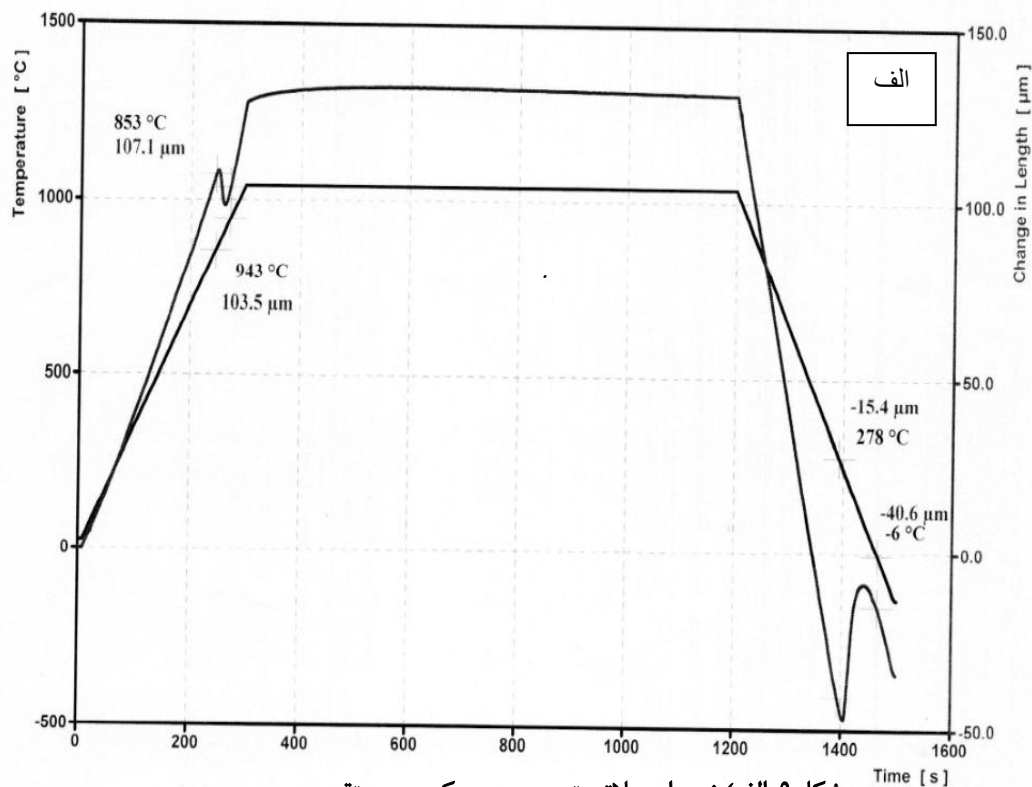


شکل ۸- نمودار دیلاتومتری بدست آمده از اعمال سیکل دیلاتومتری بر فولاد زنگ نزن مارتنزیتی AISI ۴۲۲ ثوابت: (دمای آستنیت ۱۰۴۰°C زمان نگهداری ۱۵ دقیقه نرخ گرمایش ۳/۴°C/s متغیر: (مدت زمان سرد کردن ۳۶ ساعت).

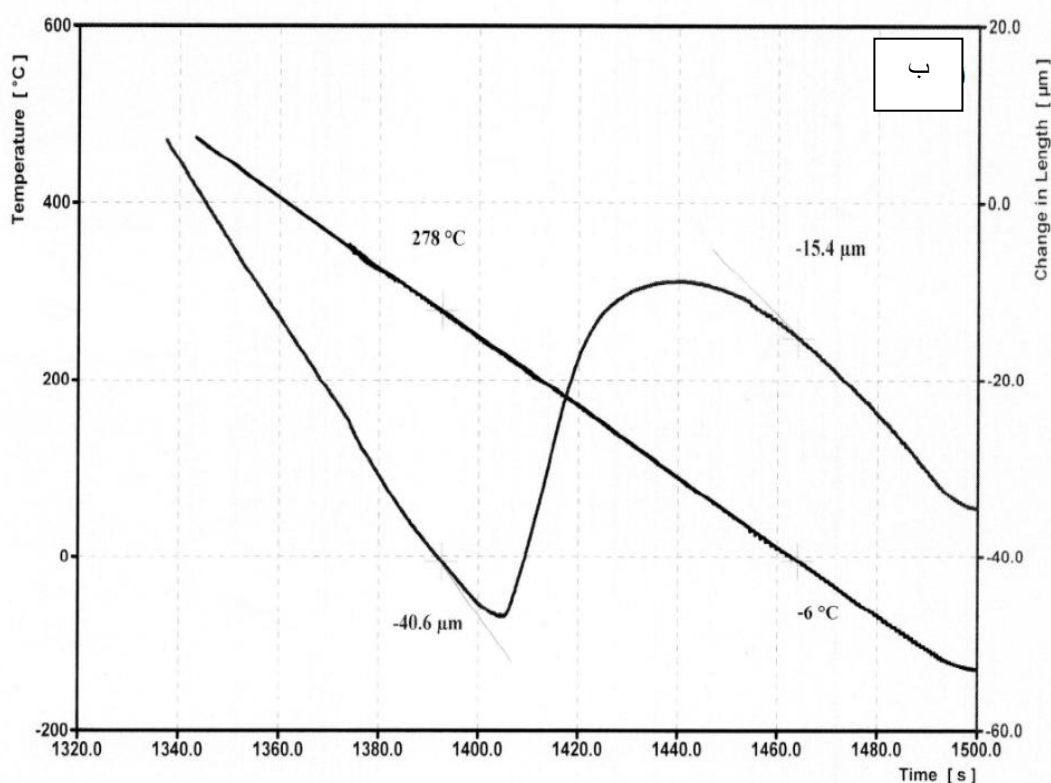
همان گونه که از شکل ۹-الف مشخص است نمونه دیلاتومتری پس از آستنیت شدن در دمای 1040°C به مدت ۱۵ دقیقه در مدت زمان ۳۰۰ ثانیه تا دمای 196°C سرد می شود. به دلیل سرعت سرد کردن بالا، دگرگونی پرلیتی و بینیتی در دمای بالا و میانی در فولاد انجام نمی شود و لذا با کاهش دما، کاهش طول نمونه وجود خواهد داشت تا آن که در دمای 278°C دگرگونی مارتنزیتی با افزایش طول نمونه شروع خواهد شد. این افزایش طول تا دمای 6°C در حین سرد کردن فولاد ادامه دارد. بنابراین، دمای پایان دگرگونی مارتنزیتی (دمای پایان افزایش طول در حین سرد کردن) در فولاد یاد شده 6°C است. از این پس با سرد کردن نمونه طول آن کاهش می یابد. در شکل ۹-ب ناحیه دگرگونی مارتنزیتی در بزرگنمایی بالاتری نشان داده شده است. تشکیل مارتنزیت از آستنیت در ضمن کاهش دما به گونه پیوسته انجام می شود و در این فولاد با سرد کردن فولاد تا دمای زیر صفر تمام آستنیت به مارتنزیت تبدیل می شود.

بررسی دگرگونی مارتنزیتی در سرد کردن مستقیم (سرد کردن از دمای آستنیت تا دمای 196°C):

در فولادها با افزایش درصد کربن و عناصر آلیاژی دمای شروع و پایان دگرگونی مارتنزیتی کاهش می یابد. به گونه ای که دمای پایان دگرگونی مارتنزیتی به کم تر از 0°C کاهش پیدا می کند. بنابراین، پس از کونچ تا دمای محیط در ساختار فولاد مقداری آستنیت باقی مانده وجود خواهد داشت. آستنیت باقی مانده باعث کاهش سختی و مقاومت سایشی می شود. از سوی دیگر، در شرایط کاری فولاد، احتمال تبدیل آستنیت باقی مانده به مارتنزیت وجود دارد. مارتنزیت حاصله تمپر نشده بوده و لذا بسیار ترد است و می تواند منجر به شکست نمونه شود. همچنین، این دگرگونی همراه با ۴ درصد افزایش حجم ناخواسته است که منجر به ناپایداری ابعادی می گردد [۹]. می توان با طراحی سیکل عملیات حرارتی مناسب همراه با عملیات زیر صفر بمنظور حذف یا کاهش آستنیت باقی مانده از مشکلات ذکر شده در این فولاد جلوگیری کرد.



شکل ۹-الف) نمودار دیلاتومتری در سرد کردن مستقیم.



ادامه شکل ۹-ب) ناحیه استحاله مارتنزیتی در بزرگنمایی بالاتر.

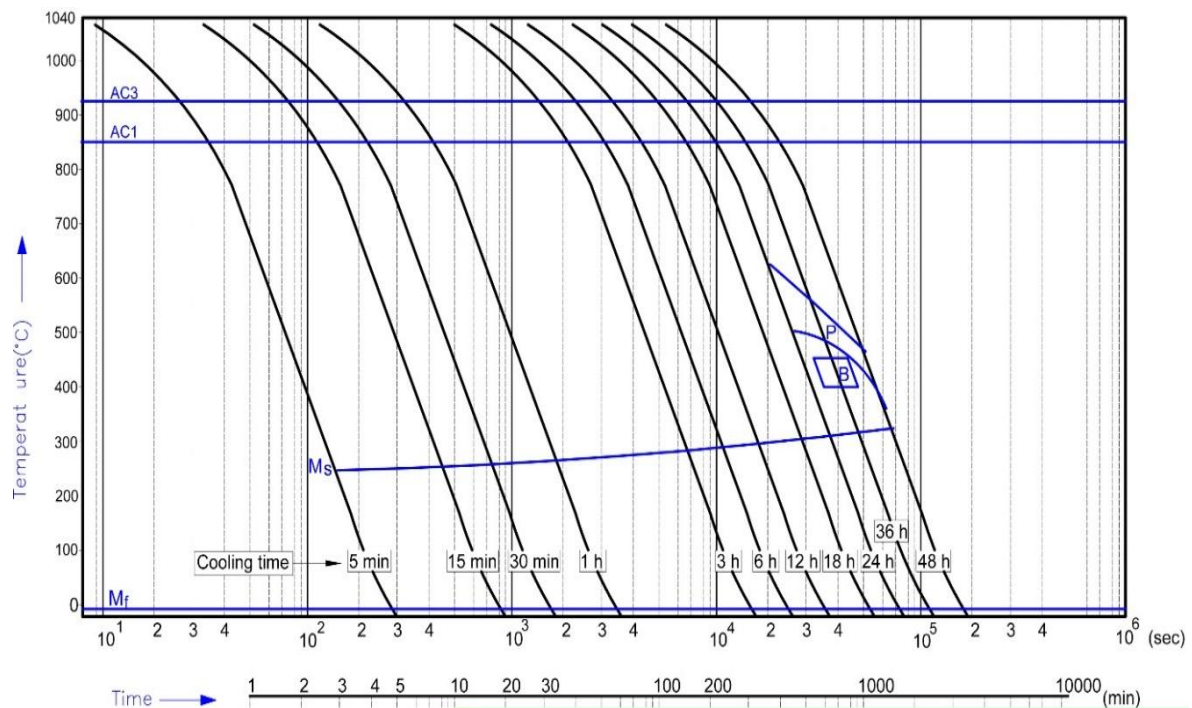
نمودار CCT

می‌شود، با افزایش نرخ سرمایش دمای M_s کاهش می‌یابد. روی هم رفته، در فولاد های زنگ نزن مارتنزیتی این گونه است [۵]. دلیل این مطلب این است که با افزایش نرخ سرمایش رسوب گذاری کاربیدها کاهش یافته و محلول جامد آستنیت با وجود کربن و عناصر آلیاژی بیش تر حل شده در خود با استحکام بیش تری تبدیل به مارتنزیت شده که در نتیجه دمای M_s کاهش می‌یابد [۱۰]. جدول ۲ نشان می‌دهد که با کاهش سرعت سرد کردن سختی به دلیل ایجاد فازهای نرم کاهش می‌یابد. منحنی جامینی فولاد نیز در شکل ۱۱ آورده شده است. همان گونه که از منحنی جامینی مشخص است، سختی پذیری فولاد AISI ۴۲۲ بسیار بالاست. به گونه ای که منحنی جامینی آن به صورت خط راست است.

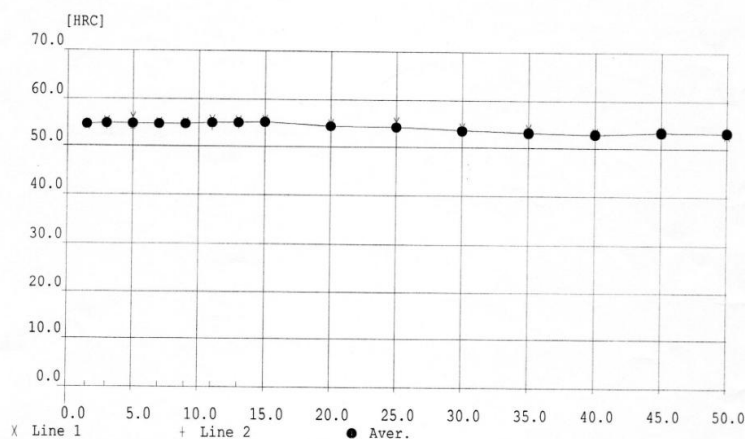
در جدول ۲ دماهای شروع و پایان دگرگونی دما بالا (پرلیتی)، دما میانی (بینیتی) و دما پایین (مارتنزیتی)، به همراه مقادیر ریز سختی مربوط به فازهای گوناگون آورده شده است. جمع بندی نتایج منجر به رسم نمودار CCT فولاد گردید که در شکل ۱۰ آورده شده است. همان گونه که مشخص است، محدوده دگرگونی پرلیتی در دمای $367-621^{\circ}\text{C}$ است و این دگرگونی در نمونه هایی که در مدت زمان بیش تر از ۲۴ ساعت سرد شده بودند، مشاهده شد. همچنین، دگرگونی بینیتی در محدوده دمای $402-451^{\circ}\text{C}$ و در نمونه ای که در مدت زمان ۳۶ ساعت سرد شده بود، مشاهده گردید. دمای شروع دگرگونی مارتنزیتی با توجه به سرعت سرد کردن در رنج $238-310^{\circ}\text{C}$ و دمای پایان دگرگونی مارتنزیتی -6°C تعیین گردید. همان گونه که در نمودار CCT دیده

جدول ۲- داده های مربوط به دماهای شروع و پایان استحاله های فازی و ریز سختی مربوط به فولاد مورد مطالعه که در دمای 1040°C به مدت ۱۵ دقیقه آستنیت شده و سپس در مدت زمان های گوناگون سرد شده است.

کد نمونه	زمان سرد کردن (s)	دمای شروع استحاله پرلیت ($^{\circ}\text{C}$)	دمای پایان استحاله پرلیت ($^{\circ}\text{C}$)	دمای شروع استحاله بینیت ($^{\circ}\text{C}$)	دمای پایان استحاله بینیت ($^{\circ}\text{C}$)	دمای شروع استحاله مارتنزیت ($^{\circ}\text{C}$)	دمای پایان استحاله مارتنزیت ($^{\circ}\text{C}$)	ریز سختی (ویکرز)
۱	۳۰۰	-	-	-	-	۲۳۸	-	۶۵۷
۲	۹۰۰	-	-	-	-	۲۵۹	-	۶۴۲
۳	۱۸۰۰	-	-	-	-	۲۷۶	-	۶۳۲
۴	۳۶۰۰	-	-	-	-	۲۸۸	-	۶۳۰
۵	۱۰۸۰۰	-	-	-	-	۲۸۸	-	۶۰۷
۶	۲۱۶۰۰	-	-	-	-	۲۸۹	-	۶۰۰
۷	۴۳۲۰۰	-	-	-	-	۲۹۰	-	۵۷۷
۸	۶۴۸۰۰	-	-	-	-	۳۰۰	-	۵۲۶
۹	۸۶۴۰۰	۶۲۱	۵۰۴	-	-	۳۰۰	-	۴۷۷
۱۰	۱۲۹۶۰۰	۵۵۶	۴۸۷	۴۵۱	۴۰۲	۳۱۰	-	۴۱۸
۱۱	۱۷۲۸۰۰	۴۷۲	۳۶۷	-	-	۳۱۰	-	۴۰۵



شکل ۱۰- نمودار استحاله در سرد کردن پیوسته فولاد AISI ۴۲۲



شکل ۱۱- منحنی جامینی فولاد AISI ۴۲۲

مقدار آستنیت باقی مانده، استفاده از عملیات زیر صفر ضروری است.

۴- دگرگونی بینیتی در نمونه ای که در مدت زمان ۳۶ ساعت سرد شده بود و در محدوده دمایی 40.2°C - 451°C مشاهده گردید.

۵- دگرگونی پرلیتی در نمونه هایی که در مدت زمان بیش تر از ۲۴ ساعت سرد شده بودند و در محدوده دمایی 367°C - 621°C مشاهده گردید.

۶- جمع بندی نتایج منجر به رسم نمودار CCT گردید که در شکل ۱۰ آورده شده است.

نتیجه گیری

با توجه به آزمون های انجام گرفته نتایج زیر بدست آمد:
۱- میانگین دماهای شروع و پایان دگرگونی آستنیتی برای سیکل گرمایش با سرعت $(^{\circ}\text{C}/\text{s})$ $3/4$ به ترتیب 853°C و 925°C تعیین گردید.

۲- در این فولاد در همه زمان های سرد کردن، ساختار شامل مارتنزیت یا مخلوطی از مارتنزیت و فازهای دیگر است.

۳- دمای شروع دگرگونی مارتنزیتی با توجه به سرعت سرد کردن، در رنج 238°C - 310°C و دمای پایان دگرگونی مارتنزیتی 6°C تعیین شد. بنابراین، برای حذف یا کاهش

Temperatures on Fine Austenite Grain Size", Scripta Material, Vol. 58, PP.134-137, 2008.

7- M. Atkins, "Atlas of Continuous Cooling Transformation Diagrams for Engineering Steels" British Steel Corporation, Shoffield, UK, PP.170-173, 1985.

8- A. Garcia, F.G. Caballero, and L.F. Capdevila Alvarez, "Application of Dilatometry Analysis to the Study of Solid-Solid Phase Transformation in Steel", Materials Characterization, Vol. 48, PP.101-111, 2002.

9- K. Amini, S. Nategh, and A. Shafee, "Influence of Different Cryotreatment on Tribological behavior of 80Crmo12-5 Cold Work Tool Steel", Material & Design, Vol. 31, No.12, PP.4666-4675, 2010.

10- M.C. Tsai, C.S. Chiou, and J.R. Yang, "Phase Transformation in AISI 410 Stainless Steel", Material Science and Engineering, Vol. 332, PP. 1-10, July 2002.

References

1- O. Ridge, "Elevated-Temperature Ferritic and Martensitic Steels and Their Application to Future Nuclear Reactors", U.S. Department of Energy, PP.10-19, November 2004.

2- F.B. Pickering, "Physical Metallurgy of Stainless Steel Developments", Int. Met. Rev. 211, PP.228-241, 1976.

3- JASM Handbook, "Material Selection", 9th Edition, Metals Handbook, ASM International, vol. 11, 1984.

4- P.M. Unterweiser, H.E. Boyer, and J.J. Kubbs, "Heat Treating Guide Standard Practices and Procedures for Steel", American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 4473.

5- C.F. Alvarez, C. Garcia, and V. Lopez, "Continuous Cooling Transformation in Martensitic Stainless Steels", ISIJ International, Vol. 34, No. 6, PP.516-521, 1994.

6- A. Garcia Junceda, C. Capdevila, F.G. Caballero, and C. Garcia de Andres, "Dependence of Martensitic Start