تأثیر پارامترهای مختلف عملیات حرارتی بر روی استحاله‌های غیر ایزوترمال فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی AISI 420

مصطفی یعقوبی‌زاده[1*]، محمدرضا سلمانی[2]، غلامحسین برهانی[3] و محمدعلی سلطانی[4]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه، دانشکده مهندسی مواد، ساوه، ایران

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه، دانشکده مهندسی مواد، ساوه، ایران

۳- استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی مواد، اصفهان، ایران

۴- مربی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر مجلسی، گروه مهندسی مواد، اصفهان، ایران

*myaghoobizadeh@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۲)

چکیده

به کارگیری فولادها در کاربردهای صنعتی مستلزم انتخاب صحیح پارامترهای عملیات حرارتی است. در فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی فرآیند حل شدن کاربیدها در حین گرمایش مداوم و رسوب آن‌ها در حین سرد شدن پیوسته، نقش عمده‌ای در خواص آن‌ها ایفا می‌کند. در این تحقیق توسط تکنیک دیلاتومتری سیکل‌های حرارتی در دماها و سرعت‌های سرد کردن مختلف بر روی فولاد AISI420 اعمال شد. نتایج دیلاتومتری همراه با بررسی‌های میکروسکوپی نشان داد که ریزتر بودن اندازه دانه‌های آستنیت و غلظت بالای عناصر آلیاژی در آستنیت به ترتیب قبل و بعد از حل شدن کاربیدها عواملی هستند که باعث تغییرات دمای شروع مارتنزیت (M_S) در دماهای مختلف آستنیته کردن می‌شوند. به علاوه رسوب کاربیدها در حین سرمایش مداوم از فاز آستنیت با افزایش دمای آستنیته و نرخ سرمایش کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی:

AISI 420، فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی، دمای آستنیته، کاربید و Ms.

۱- مقدمه

فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی شامل ۱/۲- ۰/۱ درصد کربن و ۱۷- ۱۰/۵ درصد کروم می‌باشند. این فولادها عموماً در شرایط کوئنچ وتمپر به کار می‌روند [۱]. جهت دستیابی به خواص بهینه این فولادها سیکل‌های عملیات حرارتی متعددی توصیه شده است [۸ - ۱]. خواص مکانیکی به همراه خواص خوردگی این فولادها کاربرد آن را در صنعت دو چندان کرده است. از کاربردهای خاص این فولادها در کاربردهای صنعتی می‌توان به قالب‌های پلاستیک، والوها، شافت، وسایل جراحی و دندانپزشکی، وسایل آشپزخانه و تیغچه‌های برش اشاره نمود [۹]. در بسیاری از تحقیقات برای فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی با کربن متوسط (۰/۶- ۰/۲ درصد) دمای سخت‌کاری در ناحیه ۹۰۰ الی ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد شده است [۲، ۶ و ۸]. در برد دماهای بالا کاربیدها در ریزساختار شروع به حل شدن

می‌کنند و نهایتاً ساختار همگن می‌شود. در طول فرآیند حل شدن کاربیدها، عناصر آلیاژی موجود در کاربیدها باعث استحکام‌بخشی فاز آستنیت می‌شود و در حین این فرآیند انتخاب یک دمای آستنیته مناسب جهت بهینه‌سازی همزمان مقاومت به خوردگی و سختی فولاد پس از سریع سرد کردن امری ضروری می‌باشد.

گارسیا[۱] و همکارانش [۲] در فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی با درصد کربن بیشتر (۰/۶۱- ۰/۲۷) از AISI 420 بهترین دمای سخت‌کاری این فولادها را در دمای حل شدن کامل کاربیدها پیشنهاد کرده‌اند. دمای آستنیته بیشتر از این مقدار موجب افزایش مقدار آستنیت باقی‌مانده در ریزساختار و تضعیف خواص مکانیکی شده است. همچنین دمای آستنیته کمتر از این مقدار سبب افزایش مقدار کاربیدها در ریزساختار و نهایتاً کاهش در خواص خوردگی شده است. از طرفی آلوارز[۲] و همکارانش [۸] این فولادها را در دو دمای مختلف متداول[۳] و بهینه[۴] سخت‌کاری کرده‌اند. آن‌ها نیز نشان دادند که خواص خوردگی و سختی این فولادها در دمای بهینه به بیشترین مقدار خود می‌رسد. از سوی دیگر در صنعت همواره در پی دمای عملیات حرارتی (متداول) هستند که از نظر ریزساختاری حداقل آستنیت باقی‌مانده را در فولاد تضمین کند.

از آنجایی که عملیات حرارتی فولادهای زنگ‌نزن نسبت به فولادهای ساده کربنی و کم آلیاژ حساس‌تر است و از طرفی قیمت این فولادها بالا می‌باشد، لذا در این تحقیق با استفاده از تکنیک دیلاتومتری و مطالعات ریزساختاری و رسم نمودار CCT، رفتارهای فولاد در عملیات حرارتی مختلف مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق از فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی AISI 420 (پس از عملیات ذوب مجدد، فورج و همگن‌سازی) ساخت مجتمع فولاد آلیاژی اصفهان استفاده شد. ترکیب شیمیایی این فولاد در جدول (۱) آورده شده است. ریزساختار خام این فولاد شامل فریت- مارتنزیت تمپر شده و کاربیدهای ریز کروی می‌باشد. شکل (۱- الف و ب) ریزساختار اولیه این فولاد را نشان می‌دهد.

سیکل‌های عملیات حرارتی با دستگاه دیلاتومتری مدل A/D ۸۰۵ انجام شد. نمونه‌های دیلاتومتری طبق استاندارد SEP ۱۶۸۱ با قطر mm ۴ و طول mm ۱۰ تهیه شدند. آزمایش‌های دیلاتومتری در دماهای ۱۰۰۰ الی ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد با نرخ گرمایش $^{\circ}C/s$ ۰/۵ و نرخ‌های سرمایش مختلف و در محیط خلأ mbar 5×10^{-4} انجام شد. شماتیک این سیکل‌ها در شکل (۲- الف و ب) نمایش داده شده است.

برای آشکارسازی ریزساختار فولاد AISI420 از محلول ویلا[۵] (1gr picric acid + 5ml HCl + 100ml ethanol) و برای نمایان ساختن کاربیدها در یک زمینه اچ نشده از معرف ماراکامی[۶] (10g NaOH+10g $K_3Fe(CN)_6$+100ml H_2O) [۱۰] و با استفاده از یک میکروسکوپ نوری Olympus PMG3 و جهت محاسبه درصد مساحت کاربیدها از یک آنالیز تصویری اتوماتیک KONTRON مدل IBS2 استفاده شد.

اندازه دانه اولیه آستنیت مطابق با استاندارد E112 [۱۱] و از روش متقاطع[۷] تعیین شد.

کلیه اندازه‌گیری‌های مقادیر ریزسختی در ریزساختار فولاد مذکور توسط دستگاه ریزسختی‌سنج ساخت شرکت KOOPA مدل MH1 با نیروی اعمالی 1 Kg انجام پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

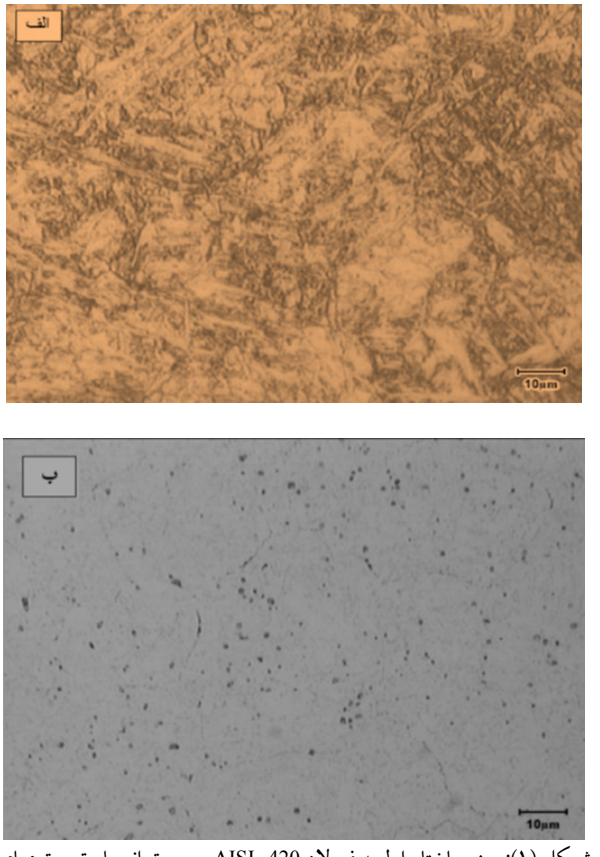
۳-۱- تأثیر دمای آستنیته بر رفتار فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی AISI 420

در شکل‌های (۳- الف، ب و ج) منحنی‌های دیلاتاسیون تأثیر دمای آستنیته بر دماهای بحرانی فولاد AISI 420 نشان داده شده است. دماهای بحرانی از منحنی‌های دیلاتاسیون استخراج و به همراه مقادیر سختی و اندازه دانه آستنیت اولیه در جدول (۲) گزارش شده است.

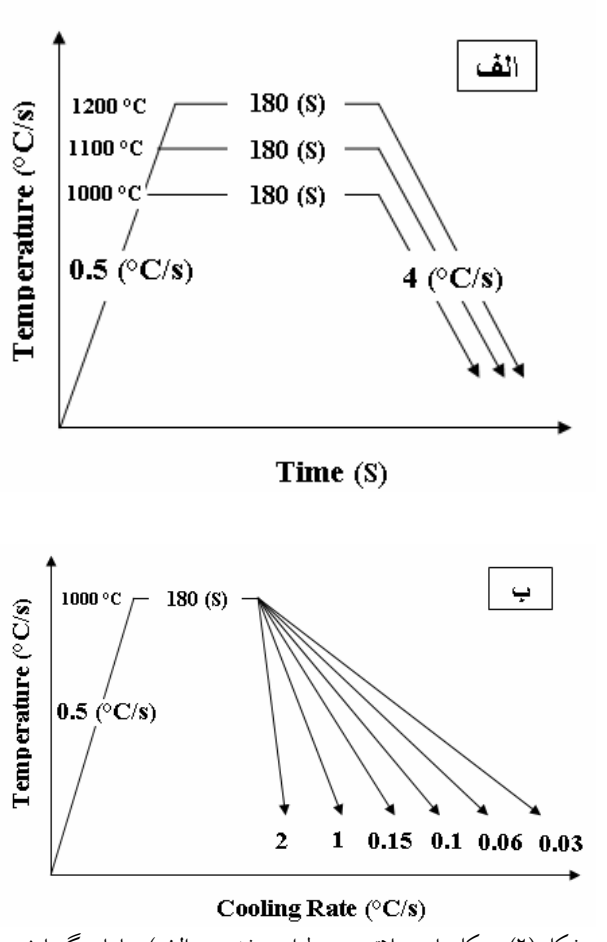
با استفاده از منحنی‌های دیلاتاسیون در شکل (۳) و داده‌های موجود در جدول (۲) روند تغییرات استحاله‌ای در حین

جدول (۱): ترکیب شیمیایی فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی AISI 420.

عنصر	C	Cr	Mn	Si	Ni	Cu	W	V	Mo	Al	P	S
درصد وزنی	۰/۲	۱۲/۷۲	۰/۴۷	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۲۲	۰/۰۰۳



شکل (۱): ریزساختار اولیه فولاد AISI 420 جهت انجام تست‌های دیلاتومتری، الف) ریزساختار کاملاً اچ شده شامل فریت- مارتنزیت تمپر شده و کاربید، X500 و ب) ریزساختار (کاربیدها) در یک زمینه اچ نشده، X500.



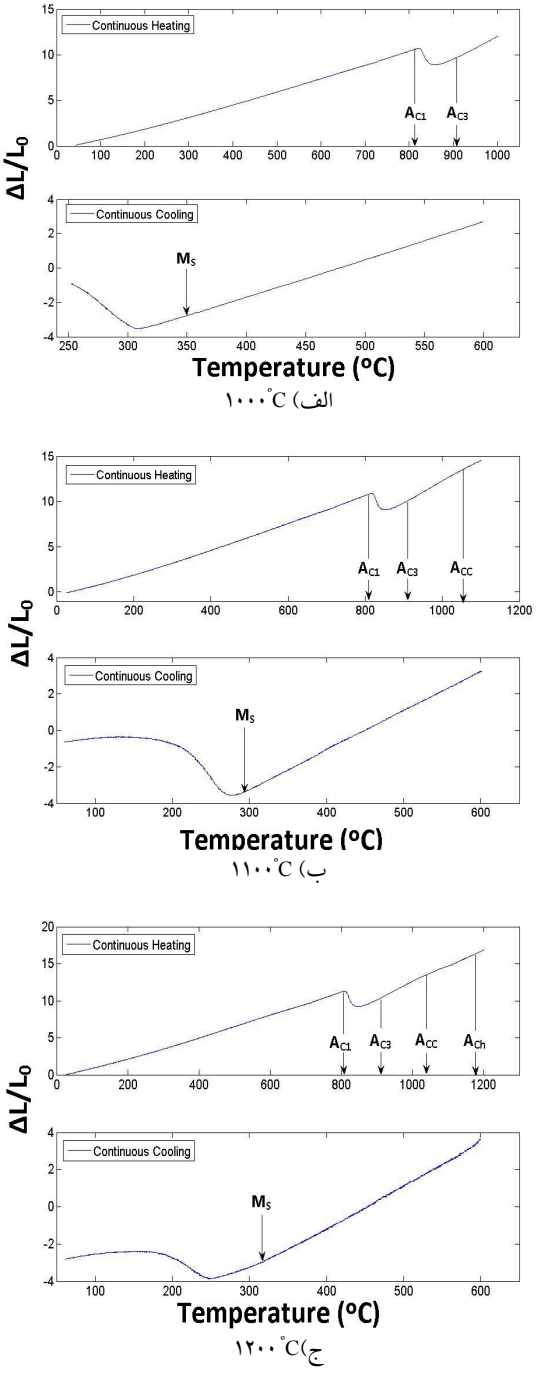
شکل (۲): سیکل‌های دیلاتومتری طراحی شده در: الف) دماهای گرمایش مختلف و ب) نرخ‌های سرمایش مختلف.

گرم کردن مداوم، قابل ملاحظه است که در دمای A_{C1} (۸۱۷ درجه سانتی‌گراد) دانه‌های آستنیت در ریزساختار اولیه فولاد مذکور جوانه‌زنی و رشد می‌کنند و در نهایت در دمای A_{C3} (۹۱۰ درجه سانتی‌گراد) ریزساختار اولیه به غیر از کاربیدها تبدیل به آستنیت می‌شود. فرآیند حل شدن کاربیدها در حین گرمایش مداوم فاز آستنیت در فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی از یک رابطه غیر خطی با افزایش دما تبعیت می‌کند. دمای پایانی حل شدن کاربیدها را در این فولادها Acc و دمای هموژن شدن آستنیت را Ach می‌نامند [۲ و ۱۲]. البته این تغییرات در فولاد AISI 420 به دلیل کم بودن کاربیدها در ریزساختار آنیل شده خام، چشم‌گیر نمی‌باشد و لذا پیدا کردن این دماها با روش‌های گرافیکی معمول امکان‌پذیر نیست. با استفاده از نرم‌افزار ریاضی مت لب[۸] [۱۳] برای این تغییرات بر اساس داده‌های عددی به دست آمده از دستگاه دیلاتومتری و با متغیرهای دما، تغییر طول نسبت به طول اولیه و زمان بهترین معادله انتخاب و سپس با دو بار مشتق‌گیری از معادله به دست آمده دماهای Acc و Ach

مشخص شد. به طوری که مشاهده شد در دمای ۱۰۶۵ درجه سانتی‌گراد تمامی کاربیدها در آستنیت حل شده و با ادامه گرمایش تا دمای ۱۱۸۳ درجه سانتی‌گراد آستنیت کاملاً هموژن می‌شود.

شکل (۴) تصاویر متالوگرافی کاربیدها، پس از عملیات حرارتی در دماهای مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به نوع اچ استفاده شده کاربیدها به صورت نقاط سیاه قابل شناسایی هستند. با توجه به شکل (۳- الف) که در دمای آستنیته ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد مقداری از کاربیدها کاملاً در فاز آستنیت حل نشده بودند، به خوبی مشخص است که کاربیدهای موجود در ریزساختار شکل (۴- الف) شامل کاربیدهای حل نشده و رسوب کرده می‌باشند. با افزایش دمای آستنیته تا ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در ریزساختار شکل (۴- ب) هنوز رسوبات کاربیدی ناچیزی دیده می‌شود. کابالرو[9] و همکارانش [۶] این رسوب‌گذاری را در فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی به سبب برطرف نشدن شیب‌های غلظتی ناشی از حل شدن کاربیدها در زمینه آستنیت می‌دانند. چنانچه در ریزساختار حاصله از دمای آستنیته ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد در شکل (۴- ج) مشاهده می‌شود که رسوب‌گذاری کاربیدها در ریزساختار سریع سرد شده به دلیل همگن بودن آستنیت، متوقف شده است.

شروع دگرگونی مارتنزیت (Ms) برای دماهای آستنیته ۱۰۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۳۵۳، ۲۹۵ و ۳۳۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به دماهای Ms به دست آمده در دماهای آستنیته نامبرده به خوبی روشن است که با همگن‌تر شدن فاز آستنیت دماهای بحرانی در حین سرمایش مداوم نسبت به دمای آستنیته ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. هیسو[10] و همکارانش [۱۴] بیان کردند که با افزایش دمای آستنیته حد حلالیت کربن و عناصر آلیاژی دیگر در آستنیت افزایش یافته و سبب می‌شود که استحکام فاز آستنیت نسبت به استحکام آن در دماهای کمتر، بیشتر شود و در نتیجه دمای Ms کاهش می‌یابد. علت کاهش این دمای استحاله، متصل شدن خوشه‌های جاهای خالی به نابجایی‌ها و در نتیجه به تأخیر افتادن جوانه‌زنی مارتنزیت



الف) ۱۰۰۰°C

ب) ۱۱۰۰°C

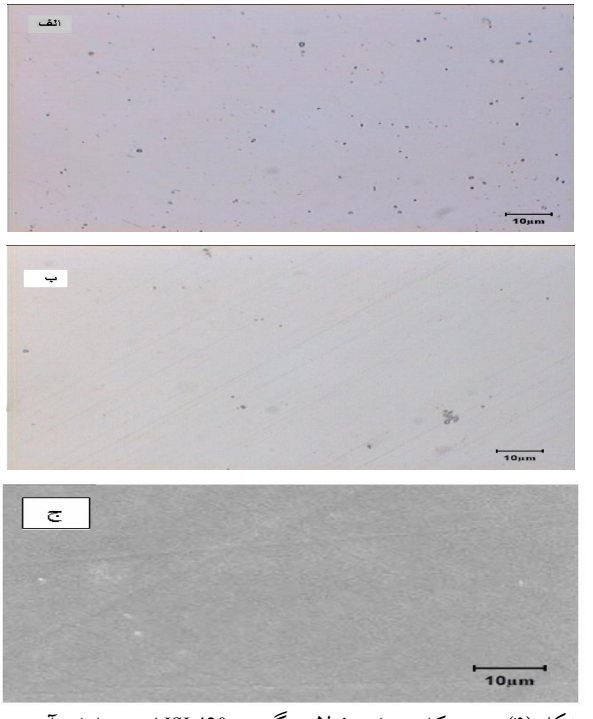
ج) ۱۲۰۰°C

شکل (۳): دماهای بحرانی به دست آمده از منحنی‌های دیلاتاسیون در حین گرمایش و سرمایش مداوم در دماهای آستنیته، الف) ۱۰۰۰، ب) ۱۱۰۰ و ج) ۱۲۰۰°C.

گزارش شده است. با این وجود با افزایش دمای آستنیته از ۱۱۰۰ به ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، دمای Ms به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و نشان می‌دهد که در این دمای آستنیته، همگن

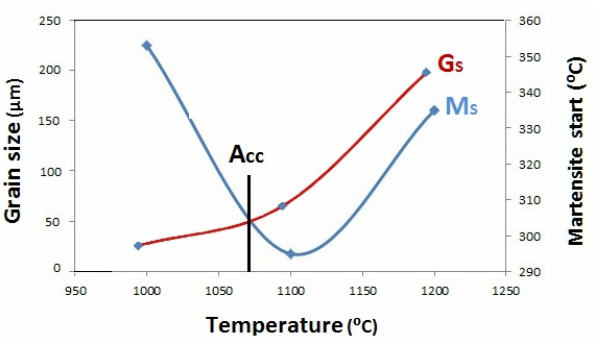
جدول (۲): پارامترهای اندازه‌گیری شده نمونه‌های دیلاتومتری.

شماره	دمای آستنیته (°C)	Ac_1 (°C)	Ac_3 (°C)	Acc (°C)	Ach (°C)	Ms (°C)	اندازه دانه (µm)	سختی (Hv)
۱	۱۰۰۰	۸۱۷	۹۱۰	_	_	۳۵۳	۲۲	۵۱۰
۲	۱۱۰۰	۸۱۷	۹۱۰	۱۰۶۵	_	۲۹۵	۶۱	۵۶۵
۳	۱۲۰۰	۸۱۷	۹۱۰	۱۰۶۵	۱۱۸۳	۳۳۵	۱۹۴	۵۵۰



شکل (۴): توزیع کاربیدها در فولاد زنگ‌نزن AISI 420 در دماهای آستنیته الف) ۱۰۰۰، ب) ۱۱۰۰ و ج) ۱۲۰۰°C (محلول اچ ماراکامی).

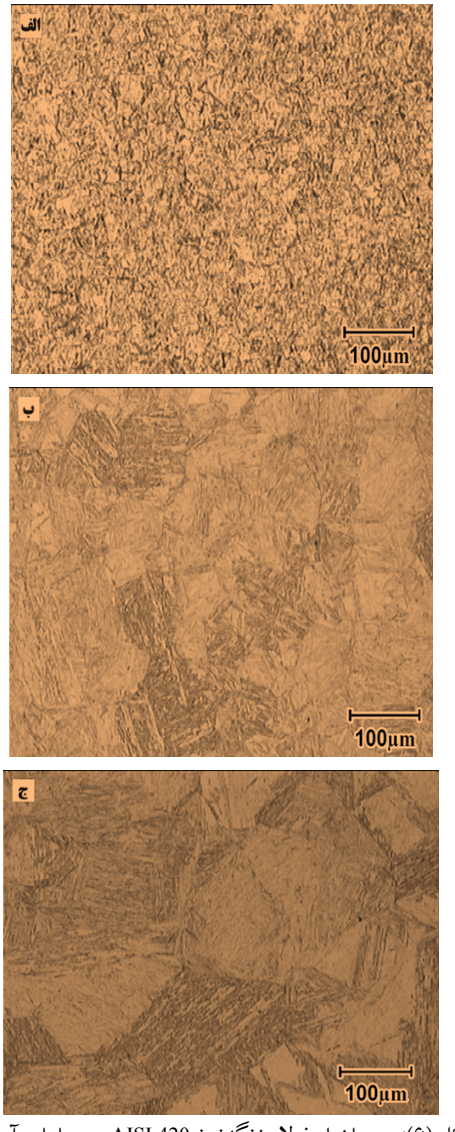
شدن کلیه عناصر آلیاژی در فاز آستنیت نمی‌تواند به خوبی جوانه‌زنی مارتنزیت را به دماهای کمتر منتقل نماید. با توجه به فاکتورهای مؤثر بر دماهای بحرانی و مکانیزم‌های استحکام‌دهی آستنیت در فولادها [۱۵] و جدول (۲) می‌توان اذعان کرد که افزایش دمای Ms از دمای آستنیته ۱۱۰۰ به ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل رشد دانه‌های آستنیتی بوده است. با توجه به شکل (۳- الف) در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد هنوز بسیاری از کاربیدها در ساختار حل نشده‌اند ($Acc = 1065^{\circ}C$) و در نتیجه کاربیدهای موجود در ساختار مانع از رشد دانه‌های



شکل (۵): تغییرات اندازه دانه و دمای شروع مارتنزیت با دما.

آستنیت شده‌اند و اندازه دانه ۲۲ µm می‌باشد. ولی با افزایش دمای گرمایش تا دمای ۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد دیده می‌شود که دانه‌های آستنیت از رشد بسیار بالایی برخوردار شده است (جدول ۲). چنانچه دانون[11] [۱۶ و ۱۷] و فیمندز[12] [۱۸] نشان دادند که ذرات کاربیدی حل نشده در دماهای آستنیته پایین‌تر از رشد دانه‌های آستنیت در حین گرمایش مداوم جلوگیری می‌کنند. در شکل (۵) هم به خوبی دیده می‌شود که از دمای A_{cc} (۱۰۶۵ درجه سانتی‌گراد) به بالا اندازه دانه‌های آستنیت از رشد بسیار بالایی برخوردار بوده است و در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد عدد اندازه دانه و غلظت ترکیب شیمیایی ساختار در جهت پر استحکام‌ترین آستنیت در تعامل بوده و در نتیجه کمترین دمای Ms در این دما به دست آمده است.

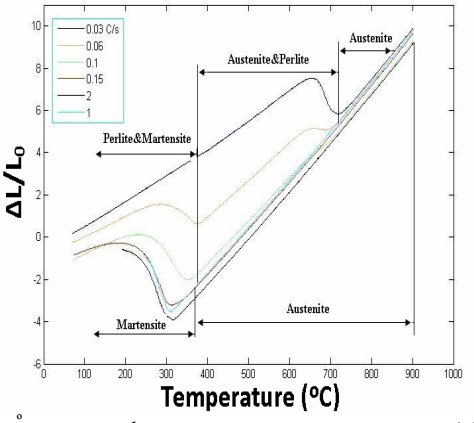
شکل‌های (۶- الف، ب و ج) ریزساختارهای فولاد سریع سرد شده را نشان می‌دهد. شکل‌گیری مارتنزیت لایه‌ای نمایان است. البته مقداری آستنیت باقی‌مانده در ریزساختار وجود دارد که با میکروسکوپ نوری به خوبی امکان آشکار شدن را ندارد.



شکل (۶): ریزساختار فولاد زنگ‌نزن AISI 420 در دماهای آستنیته الف) ۱۰۰۰، ب) ۱۱۰۰ و ج) ۱۲۰۰°C (محلول اچ ویللا).

همچنین در شکل‌های (۶- الف و ب) مقداری کاربید وجود دارد.

در نمونه‌های سریع سرد شده از دماهای آستنیته ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد مقادیر سختی با توجه به جدول (۲) بین ۵۱۰ تا ۵۶۵ ویکرز می‌باشد. باز هم علی‌رغم اینکه دمای آستنیته و استحکام‌بخشی آن با هموژن شدن ساختار افزایش یافته ولی مقدار سختی از دمای ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد یک روند نزولی در پیش گرفته است. این موضوع را می‌توان به دلیل افزایش آستنیت باقی‌مانده در بین لایه‌های مارتنزیت و همچنین



شکل (۷): منحنی‌های دیلاتومتری برای نمونه‌هایی که در دمای ۱۰۰۰°C به مدت ۱۸۰ ثانیه آستنیته و به دنبال آن با سرعت‌های مختلف سرد شده‌اند.

رشد زیاد دانه‌های آستنیت اولیه در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و کاهش یافتن استحکام برشی آستنیت، دانست.

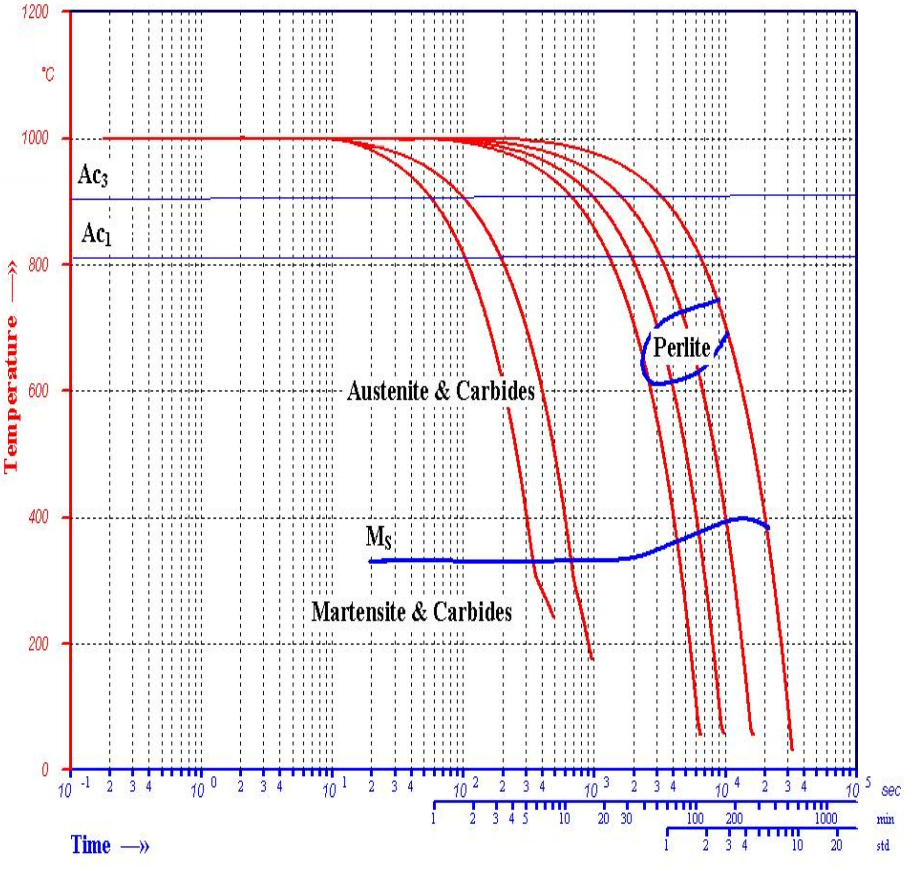
۳-۲- تأثیر سرعت سرمایش بر رفتار فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی AISI 420

در شکل (۷) منحنی‌های دیلاتاسیون (بعد از عملیات آستنیته در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد) برای بررسی تأثیر سرعت سرمایش بر دماهای بحرانی فولاد AISI 420 نشان داده شده است. با توجه به این منحنی‌ها دماهای بحرانی فولاد AISI 420 برای هر یک از سرعت‌های سرمایش در جدول (۳) ثبت شدند. بر اساس این داده‌ها منحنی CCT[۱۳] فولاد AISI 420 در شکل (۸) رسم شد. در نرخ سرمایش ۰/۰۳ °C/s دیده می‌شود که تقریباً همه آستنیت به پرلیت تبدیل شده است. زیرا خط Ms سقوط کرده و مقدار آستنیت ناچیزی، برای تبدیل شدن به مارتنزیت وجود دارد. در نرخ‌های سرمایش ۰/۰۶ الی ۰/۱۵ °C/s از فاز آستنیت در دمای بالا بر اثر مکانیزم جوانه‌زنی و رشد ابتدا به پرلیت تبدیل می‌شود. پس از پایان یافتن تشکیل پرلیت و با ادامه کاهش دما مارتنزیت نیز تشکیل می‌شود که بیانگر این است که همه آستنیت موجود فقط تبدیل به پرلیت نشده و مقداری از آن صرف تشکیل مارتنزیت شده است. در نرخ‌های سرمایش ۰/۱۵ °C/s و بالاتر پرلیت امکان تشکیل شدن را ندارد و در نتیجه آستنیت کاملاً به مارتنزیت تبدیل می‌شود.

در دیاگرام CCT شکل (۸) فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی AISI420

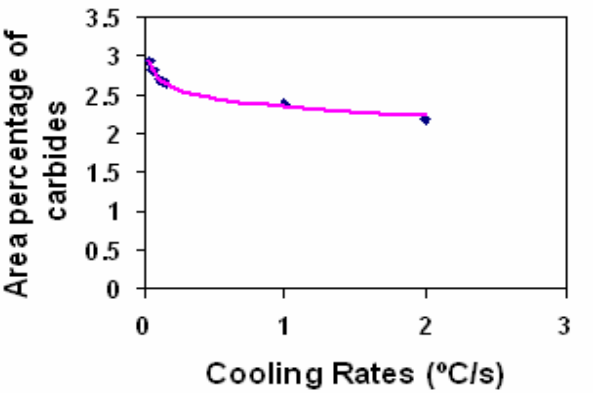
جدول (۳): دماهای بحرانی فولاد AISI 420 به دست آمده برای هر نرخ سرمایش.

شماره	نرخ سرمایش (ºC/s)	Ps (ºC)	Pf (ºC)	Ms (ºC)	سختی (Hv)
۱	۰/۰۳	۷۳۷	۶۹۰	۳۸۳	۱۸۵
۲	۰/۰۶	۷۲۴	۶۲۶	۳۸۹	۲۲۰
۳	۰/۱	۷۱۸	۶۱۸	۳۶۹	۳۹۲
۴	۰/۱۵	۶۶۰	۶۱۰	۳۵۷	۴۷۰
۵	۱	_	_	۳۵۳	۵۰۰
۶	۲	_	_	۳۵۳	۵۱۰



شکل (۸): دیاگرام CCT فولاد AISI 420 (دمای آستنیته ۱۰۰۰°C و زمان آستنیته ۱۸۰ ثانیه).

یک شیب در خط دمای Ms دیده می‌شود و با افزایش نرخ سرمایش مقدار دمای Ms به درجه حرارت‌های پایین‌تر تغییر می‌کند. همچنین در شکل (۹) مشاهده می‌شود که با افزایش نرخ سرمایش درصد مساحت کاربیدها کاهش می‌یابد و نشان می‌دهد که با افزایش نرخ سرمایش عناصر آلیاژی در آستنیت فرصت تشکیل کاربید را نداشته و سبب بالا نگه داشتن استحکام آستنیت به دلیل بالا بودن غلظت عناصر آلیاژی نسبت به نرخ‌های سرمایش کمتر، شده است و در نتیجه موجب کاهش دمای Ms

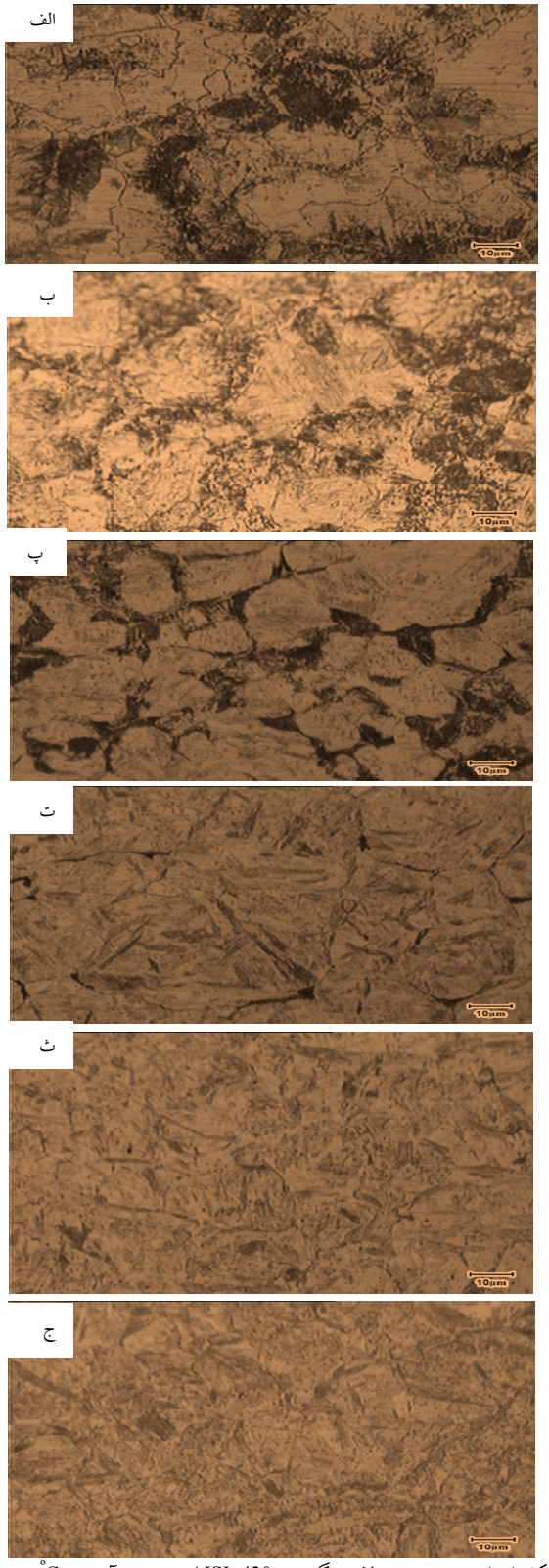


شکل (۹): تغییرات درصد مساحت کاربیدها با نرخ سرمایش.

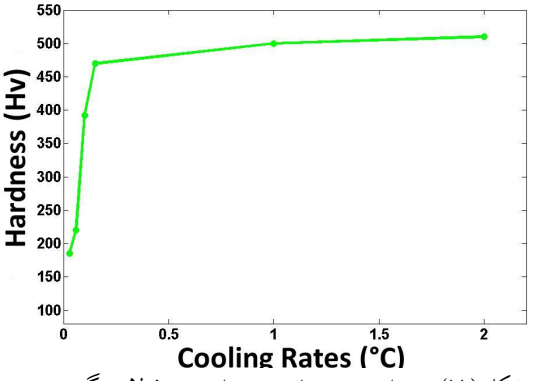
می‌شود. در نرخ‌های سرمایش سریع که رسوب‌گذاری کاربیدها کم است، شیب دمای Ms تغییر چندانی نخواهد کرد و این موضوع بیانگر این است که ترکیب شیمیایی فاز آستنیت در حین استحاله به مارتنزیت تغییر چندانی نمی‌کند. البته انتظار می‌رود که حتی در نرخ‌های سرمایش فوق سریع هم در ساختار کاربید وجود داشته باشد زیرا با توجه به شکل (۳- الف) در دمای آستنیته ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد هنوز در ساختار کاربیدهای حل نشده وجود دارد.

در شکل‌های (۱۰- الف الی ت) مشاهده می‌شود که پرلیت در مرزهای دانه مارتنزیت تشکیل شده است. در شکل‌های (۱۰- الف و ب) به دلیل اینکه نرخ سرمایش بسیار آهسته می‌باشد، پرلیت فرصت رشد پیدا کرده و اکثر حجم دانه آستنیت اولیه را به خود اختصاص داده است. البته در شکل (۱۰- الف) مارتنزیت بسیار اندک است و ساختار تقریباً پرلیتی می‌باشد. در شکل‌های (۱۰- ث الی ج) ساختار کاملاً مارتنزیتی است و امکان تشکیل پرلیت به هیچ وجه امکان‌پذیر نبوده است. شایان ذکر است که در همه ریزساختارهای فوق رسوبات کاربید نیز وجود دارد.

در شکل (۱۱) تغییرات سختی با نرخ سرمایش رسم شده است. با افزایش نرخ سرمایش سختی نیز به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. در نرخ‌های سرمایش ۰/۰۳ تا ۰/۰۶ $^{\circ}C/s$ سختی به دلیل وجود پرلیت زیاد در ساختار اندک است. با افزایش نرخ



شکل (۱۰): ریزساختار فولاد زنگ‌نزن AISI 420 در دمای آستنیته ۱۰۰۰ $^{\circ}C$ در نرخ‌های سرمایش الف) ۰/۰۳، ب) ۰/۰۶، پ) ۰/۱، ت) ۰/۱۵، ث) ۱ و ج) ۲ $^{\circ}C/s$ (محلول اچ ویلا).



شکل (۱۱): تغییرات سختی با نرخ سرمایش در فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی AISI 420.

سرمایش و تشکیل ساختاری کاملاً مارتنزیتی در ساختار فولاد مذکور، سختی نیز افزایش یافته است.

۴- نتیجه‌گیری

۱- با کاهش دمای گرمایش و کاهش نرخ سرمایش میزان کاربیدها در ساختار افزایش می‌یابد.

۲- با افزایش دمای گرمایش بالاتر از ۱۰۶۵ درجه سانتی‌گراد اندازه دانه‌های آستنیت اولیه افزایش می‌یابد.

۳- با افزایش نرخ سرمایش، میزان کاربیدها در ریزساختار کاهش یافته و دمای MS کاهش می‌یابد.

۴- در این فولاد در نرخ‌های سرمایش بسیار پایین هم، قابلیت تشکیل مارتنزیت وجود دارد.

۵- مراجع

[1] F. B. Pickering, "Physical Metallorgy of Stainless Steels Developments", Int. Met. Rev. 211, pp. 228-241, 1976.

[2] C. Garcia de Andres and L. F. Alvarez, "Optimization of the Properties Obtained by Quenching in Martensitic Stainless Steels X30-40Cr13 and X40-60CrMoV14", Material Science, pp. 1264-68, 1993.

[3] J. Y. Park and Y. S. Park, "The Effect of Heat-Treatment Parameters on Corrosion Resistance and Phase Transformation of 14Cr-3Mo Martensitic Stainless Steel", Materils Scince and Engineering, A449-451, pp. 1131-1134, 2007.

[4] M. C. Tasi, C. S. Chiou, J. S. Du and J. R. Yang, "Phase Transformation in AISI410 Stainless Steel", Materials Scince and Engineering A332, pp. 1-10, 2002.

[5] J. R. Yang, T. H. Yu and C. H. Wang, "Martensitic Transformation in AISI440C Stainless Steel", Materils Scince and Engineering ,Vol. 438-440, pp. 276-280, 2006.

[6] F. G. Caballero, L. F. Alvarez, C. Capdevila and C. Garcia de Andres, "The Origin of Splitting Phenomena in the Martensitic Transformation of Stainless Steels", Scripta Materialia, Vol. 49, pp. 315-320, 2003.

[7] M. A. Neri and R. Colas, "Analysis of a Martensitic Stainless Steel that Failed Due to the Presence of Coarse Carbides", Material Characterization, Vol. 47, Issue 3, pp. 283-289, 2001.

[8] C. F. Alvarez, C. Garcia and V. Lopez, "Continuous Cooling Transformation in Martensitic Stainless Steels", ISIJ International, Vol. 34, No. 6, pp. 516-21, 1994.

[9] ASM Hanbook, Vol. 11, Material Selection, 9th Edition, Metals Handbooks, ASM International, 1984.

[10] V. Voort and G. F. James, H. M. Metallhandbook, 9th.Vol. 9, Metallography and Microstructure, ASM, Metal Park. OH, pp. 282, 1985.

[11] ASTM E112, Annual Book of ASTM Standards, Section 3, Vol. 3.01, pp. 403-436, 1992.

[12] C. Garcia de Andres, F. G. Caballero, C. Capdevila and L. F. Alvarez, "Application of Dilatometric Analysis to the Study of Solid-Solid Phase Transformation in Steels", Material Characterization, Vol. 48, pp. 101-11, 2002.

[13] MATLAB: "The Math Works Software", Version 7.1.0.19920(R14), May 06, 2010.

[14] T. Y. Hsu and Y. Linfah, "Influence of Strain Rate and State of Stress on the Formation of Ferrite in AISI 304 Stainless Steel", Material Scince, Vol. 18, pp. 3213-18, 1983.

[15] T. Sourmail and C. Garcia-Mateo, "Critical Assessment of Models for Predicting Ms Temperature of Steels", Materials Scince, Vol. 34, Issue 4, pp. 323-334, 2005.

[16] A. Danon, C. Servant, A. Alamo and J. C. Brachet, "Heterogeneous Austenite Grain Growth in 9Cr Martensitic Steels: Influence of Heating Rate and the Austenitization Temperature", Material Scince and Engineering, A348, pp. 122-132, 2003.

[17] A. Danon and A. Alamo, "Behavior of Eurofer97 Reduced Activation Martensitic Steel Upon Heating and Cooling", Nuclear Materials, Vol. 307-311, pp. 479-483, 2002.

[18] J. Femmandez, S. Illescas and J. M. Guilemany, "Effect of Microalloying Elements on the Austenitic Grain Growth in a Low Carbon HSLA Steel", Materials Letters, Vol. 61, pp. 2389-2392, 2007.

۶- پی‌نوشت

1- Garcia
2- Alvarez
3- Conventional
4- Optimum
5- Villela
6- Marakami's Reagent

7- Intercept
8- MATLAB
9- Caballero
10- Hsu
11- Daonon
12- Femmandez
13- Continuouse Cooling Transformation