

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



ارزیابی تحولات ریزساختاری و خواص مکانیکی فولاد Fe-13Cr-10Mn-1Ni در فرآیند ترمومکانیکی مارتزیت

سمانه شریعتی^۱، عباس نجفی زاده^۲، علی شفیعی^۳، هومن حسنی^۴

چکیده

در سالهای اخیر تولید فولادهای فوق ریز دانه با خواص مکانیکی مطلوب مورد توجه قرار گرفته است. فرآیند مارتزیت یکی از فرآیندهای ترمومکانیکی جهت تولید فولادهای زنگ نزن فوق ریز دانه/نانوساختار است. هدف از کار حاضر بهبود ریزساختار و خواص مکانیکی فولاد زنگ نزن آستنیتی شبه پایدار Fe-C-Cr-Mn-Ni با استفاده از عملیات ترمومکانیکی پیشرفته مارتزیت می باشد. در این تحقیق نمونه تهیه شده در دمای ۱۲۰۰°C به مدت ۱۵۰ دقیقه آنیل انحلالی شد و در ادامه جهت تبدیل آستنیت به مارتزیت عملیات نورد سرد به میزان ۹۰٪ کاهش در سطح مقطع انجام شد. سپس نمونه های نورد شده در محدوده دمایی ۸۵۰-۷۰۰°C به مدت زمان ۶۰-۱۲۰۰ ثانیه به منظور بازگشت مارتزیت به آستنیت آنیل شدند. بر اساس نتایج بدست آمده، شرایط دستیابی به ساختار تک فاز آستنیتی فوق ریز دانه/نانوساختار با آنیل در دمای ۷۵۰°C به مدت ۴ دقیقه بدست آمد. در این نمونه اندازه دانه نهایی ۲۳۷ نانومتر تعیین گردید.

کلمات کلیدی: فولاد زنگ نزن آستنیتی، فرآیند مارتزیت، آنیل بازگشتی، SEM-TKD

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، اصفهان- فولادشهر- موسسه آموزش عالی صنعتی فولاد- کدپستی ۸۴۹۱۶۶۳۷۶۳ (Smn.shariati@gmail.com)

۲- استاد، اصفهان- فولادشهر- موسسه آموزش عالی صنعتی فولاد- کدپستی ۸۴۹۱۶۶۳۷۶۳

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، اصفهان- فولادشهر- موسسه آموزش عالی صنعتی فولاد- کدپستی ۸۴۹۱۶۶۳۷۶۳

مقدمه

فولادهای زنگ‌زن آستنیتی Fe-Cr-Ni به دلیل داشتن ترکیب منحصر بفردی از خواص مختلف نظیر مقاومت به خوردگی خوب و انعطاف پذیری مناسب یکی از پرکاربردترین و استراتژیک‌ترین انواع فولادها محسوب می‌شوند [۱]. این دسته از فولادها با برخورداری از این خواص در صنایع مهمی نظیر شیمیایی، هوافضا، خودروسازی و غیره جایگاه ویژه‌ای یافته‌اند [۲]. با وجود برخورداری از خواص مطلوب، استحکام کم فولادهای زنگ‌زن آستنیتی و نیز ایجاد حساسیت در انسانها و حیوانات باعث محدود شدن کاربرد آنها می‌شود. علاوه بر این موارد افزایش چشمگیر قیمت نیکل در بازارهای جهانی طی سالهای اخیر مصرف کنندگان را به سوی انواع جدید فولادهای زنگ‌زن آستنیتی با قیمت اقتصادی‌تر هدایت نموده است [۳]. نیتروژن (N) و منگنز (Mn) متداول‌ترین عناصر آستنیت‌زای جایگزین نیکل (Ni) محسوب می‌شوند بنابراین طی سالهای گذشته سعی شده است با استفاده از این عناصر، مقدار عنصر نیکل را کاهش داد و یا حتی به طور کامل حذف نمود [۴-۲].

مطالعات زیادی در رابطه با استحکام‌دهی این دسته از فولادها و مکانیزم‌های آن صورت گرفته است. از مهمترین روش‌های استحکام‌دهی فولادهای زنگ‌زن می‌توان به ریز کردن دانه‌ها، استحکام‌دهی محلول جامد، استحکام بخشی از طریق استحاله فازی، کار سختی و... اشاره کرد [۵]. از میان مکانیزم‌های مختلف استحکام‌دهی، ریز کردن دانه‌ها تنها روشی است که منجر به بهبود همزمان استحکام و چقرمگی می‌شود. در سالهای اخیر روش‌هایی که جهت ایجاد ساختارهای فوق‌ریز دانه بکار گرفته شده عمدتاً به دو صورت کلی نمود پیدا کرده است، یکی فرآیندهای تغییر شکل پلاستیکی شدید و دیگری فرآیند ترمومکانیکی پیشرفته [۵ و ۶].

یکی از روش‌های ترمومکانیکی پیشرفته که برای تولید فولادهای زنگ‌زن آستنیتی نیمه پایدار فوق‌ریز دانه مورد استفاده قرار گرفته است، فرآیند مارتنزیت می‌باشد. این روش شامل نورد سرد برای تبدیل آستنیت (γ) نیمه پایدار به مارتنزیت (α) در حین کرنش و در ادامه بازگشت مارتنزیت به آستنیت در مرحله آنیل در زمانها و دماهای نسبتاً پائین می‌باشد [۷-۵]. این فرآیند به دلیل سهولت و استفاده جهت تولید قطعات بزرگ نظیر ورق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اخیراً تعدادی از محققین به بررسی تحولات فولادهای زنگ‌زن آستنیتی کم نیکل یا عاری از نیکل پرداخته‌اند. ما و همکاران موفق شدیم با تکرار عملیات بازگشت مارتنزیت فولاد آستنیتی شبه پایدار Fe-0.1C-10Cr-5Ni-8Mn اندازه دانه حدود ۱۰۰ نانومتر تولید نمایند که علاوه بر استحکام بالا (بیش از ۱GPa) دارای ازدیاد طول مناسب (بیش از ۳۰٪) بود [۸]. بهجتی و همکارانش کار بر روی فولادهای آستنیتی با حذف نیکل و افزودن عنصر نیتروژن را انجام دادند. آنها با انجام عملیات بر روی فولاد Fe-18Cr-12Mn-0.05C-X N با درصدهای متفاوت نیتروژن به حداقل اندازه دانه ۲۴۰ نانومتر و استحکام تسلیم ۱۳۲۴ مگاپاسکال در دمای ۹۰۰°C و زمان ۱۰۰۰ ثانیه رسیدند [۱۲].

هدف از این پژوهش آن است که با استفاده از فرآیند ترمومکانیکی مارتنزیت محدوده اندازه دانه فولاد زنگ‌نزن آستنیتی شبه پایدار Fe-Cr-Mn-Ni به محدوده فوق‌ریز دانه و یا نانومتر برسد. علت انتخاب این فولاد علاوه بر قیمت پایین این فولاد، ناپایداری آستنیت در دمای محیط و در نتیجه سهولت تشکیل مارتنزیت می‌باشد.

مواد و روش تحقیق

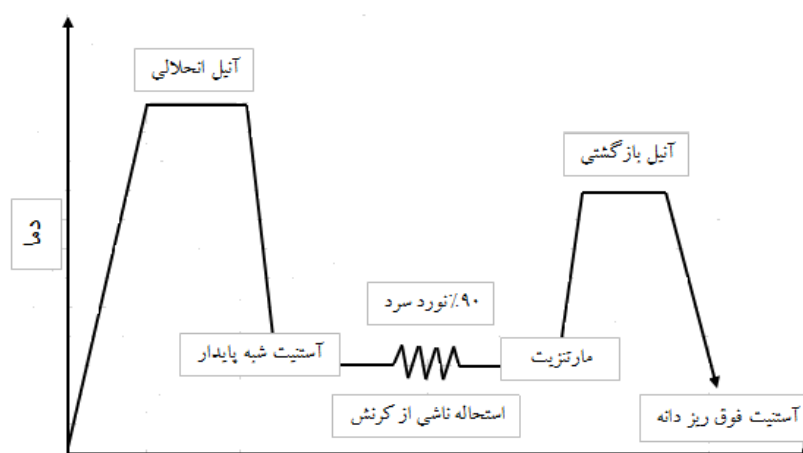
ترکیب شیمیایی فولاد مورد استفاده توسط آنالیز کوانتومتری مشخص گردید که نتیجه آن در جدول ۱ آورده شد.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فولاد مورد استفاده (برحسب درصد وزنی).

Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Cu	N
باقی مانده	۰/۹	۰/۴۶	۱۰/۰۲	۰/۸۶	۱۳/۳	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۷۳	۰/۰۱

جهت دستیابی به ساختار فوق‌ریز دانه/نانوساختار شده در فولاد زنگ‌نزن آستنیتی شبه پایدار Fe-Cr-Mn-Ni ابتدا نمونه‌هایی با ابعاد $60 \times 30 \times 12 \text{ mm}^3$ از جنس فولاد مذکور تهیه شد. سپس به منظور کاهش میزان فریت دلتا و حل شدن کاربیدهای احتمالی در ریز ساختار به مدت ۱۵۰ دقیقه در دمای 1200°C آنیل انحلالی شد. برای جلوگیری از اکسید شدن احتمالی، نمونه‌ها در داخل پودر آلومینا قرار گرفتند. در این مرحله انحلال کاربیدها مدنظر قرار گرفت و هدف نهایی در این مرحله حصول به ریز ساختاری حتی الامکان به صورت محلول جامد با حداقل میزان فریت دلتا بود. پس از حصول ساختار اولیه مناسب نمونه‌ها در دمای اتاق به میزان ۱۰٪ تا ۹۰٪ تحت عملیات نورد سرد قرار گرفتند. پس از ایجاد ساختار مارتنزیتی عملیات آنیل بازگشتی به منظور بازگشت مارتنزیت به آستنیت فوق‌ریز دانه/نانوساختار در محدوده دمایی $850-700^\circ\text{C}$ به مدت ۶۰-۱۲۰۰ ثانیه انجام گرفت. در شکل ۱ نحوه انجام عملیات ترمومکانیکی بکار رفته در این تحقیق نشان داده شده است.

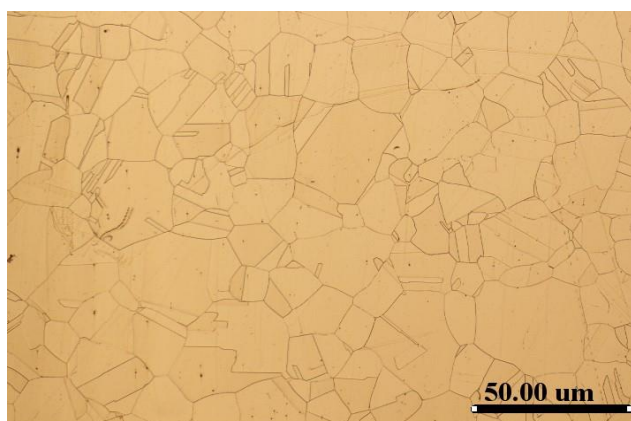
جهت اندازه‌گیری میزان فریت دلتا و همچنین مارتنزیت ایجاد شده در اثر کرنش از دستگاه فریتوسکوپ مدل FMP30 استفاده شد. از آزمون سختی سنجی ویکرز با بار ۱۰ Kg جهت ارزیابی سختی نمونه‌ها در طی مراحل مختلف فرآیند استفاده شد. همچنین جهت بررسی ساختار نمونه‌ها میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ SEM-TKD مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱. شمای فرآیند مورد استفاده در این پژوهش.

نتایج و بحث

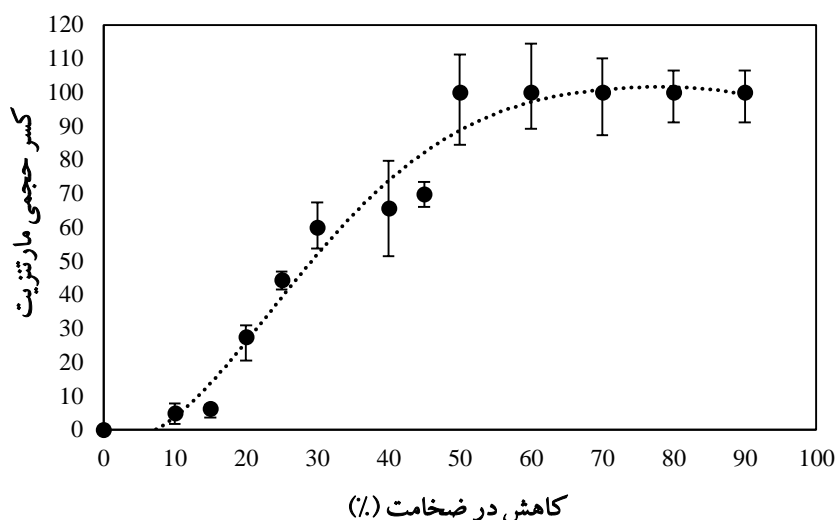
شکل ۲ ریزساختار نمونه آبیل انحلالی شده در دمای 1200°C به مدت ۱۵۰ دقیقه را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود ریزساختار این نمونه شامل دانه های آستیت (با اندازه دانه متوسط $72 \pm 22 \mu\text{m}$) و مقدار ناچیزی فريت دلتا (۵/۰ درصد) می باشد.



شکل ۲. ریز ساختار فولاد پس از عملیات آبیل انحلالی.

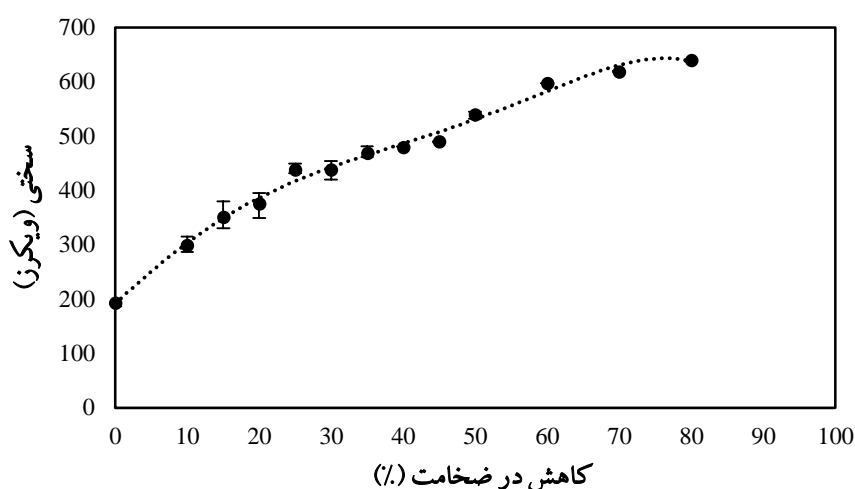
آستیت در فولادهای زنگ نزن آستیتی به عنوان یک فاز شبه پایدار تلقی می شود، به طوری که اعمال کار سرد در دماهای کمتر از M_{d30} سبب تبدیل آستیت به مارتنزیت می شود. شکل ۳ منحنی تغییرات میزان تشکیل مارتنزیت

زنگ نزن کم نیکل مورد تحقیق نشان می دهد. همانطور که در شکل مشخص است کسر حجمی مارتنزیت تقریباً بصورت خطی تا ۳۰٪ کاهش در ضخامت افزایش می یابد تا اینکه در کاهش ضخامت ۵۰٪ به حالت اشباع خود می رسد (تا میزان کاهش در سطح مقطع ۳۰٪ افزایش چشمگیر داشته است).



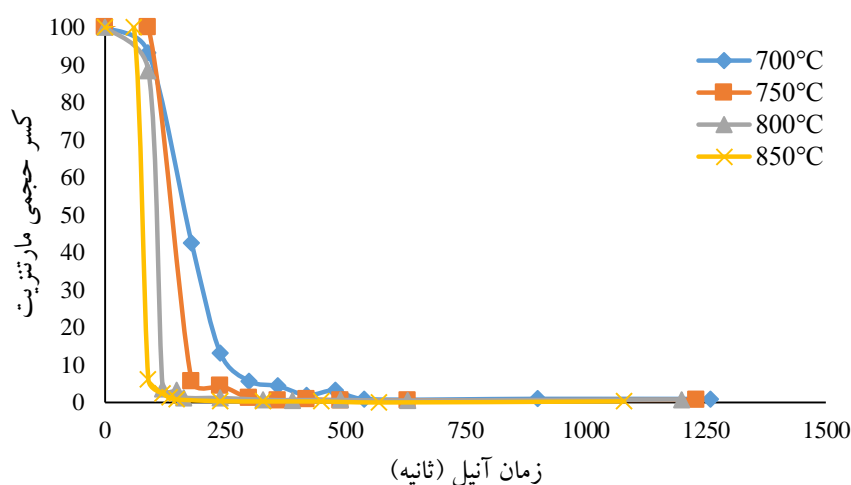
شکل ۳. تغییرات میزان مارتنزیت ناشی از کرنش بر حسب درصد کاهش در ضخامت.

منحنی تغییرات سختی بر حسب درصد کاهش ضخامت در حین نورد سرد نیز در شکل ۴ ارائه شده است. عدد سختی در درصد کاهش ضخامت صفر بیانگر سختی نمونه آنیل انحلالی شده است. همانگونه که مشاهده می شود تا حدود ۳۰٪ کاهش در ضخامت، سختی با سرعت قابل توجهی افزایش می یابد (از ۱۹۳ ویکرز در نمونه آنیل انحلالی به حدود ۴۴۰ ویکرز در نمونه ۳۰٪ نورد سرد رسیده است). این افزایش مقدار سختی مربوط به افزایش چگالی عیوب شبکه کریستالی و همچنین مطابق با شکل ۴ مربوط به افزایش فاز سخت مارتنزیت در اثر افزایش مقدار کرنش است. در ادامه در کاهش ضخامت های بالاتر از ۳۰٪ به دلیل اینکه کمتر استحاله فازی رخ می دهد و فقط مارتنزیت موجود در ریزساختار دچار تغییر شکل می شود و چگالی عیوب درون قطعه به شدت بالا می رود، سختی با شیب ملایمی افزایش یافته تا جایی که در ۹۰٪ کاهش در ضخامت به حداکثر مقدار خود یعنی ۶۶۴ ویکرز می رسد.



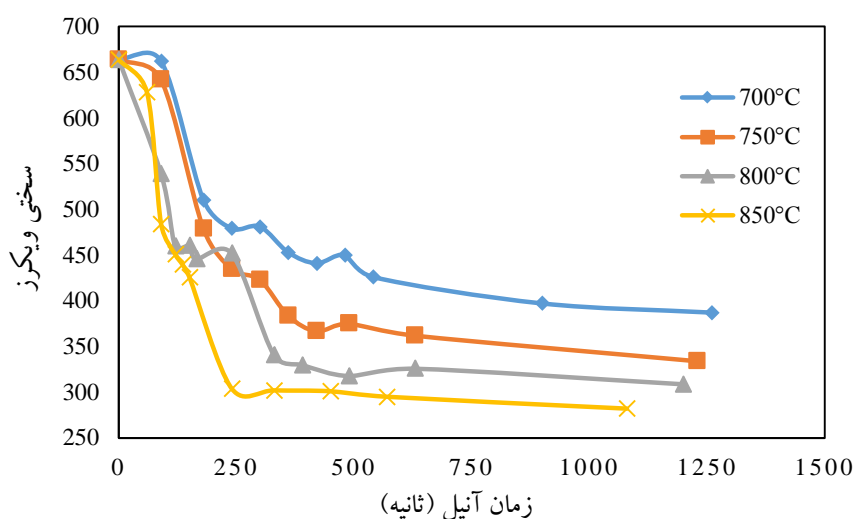
شکل ۴. منحنی تغییرات سختی بر حسب درصد کاهش در ضخامت.

شکل ۵ تغییرات کسر حجمی مارتنزیت در نمونه‌های ۹۰٪ نورد سرد شده را به عنوان تابعی از زمان و دمای آنیل نشان می‌دهد. نرخ تغییرات درصد آستنیت بازگشتی برای زمانهای اولیه بازگشت بسیار بیشتر از دماهای نهایی می‌باشد. همچنین با افزایش دما نرخ بازگشت در زمانهای بسیار کوتاه‌تری رخ می‌دهد که این امر به دلیل دانسیته بسیار بالای عیوب که به عنوان مکان‌های مناسب جوانه‌زنی آستنیت در حین آنیل محسوب می‌شوند است. در دمای ۷۰۰°C نرخ بازگشت مارتنزیت نسبت به سه دمای دیگر پایین‌تر بوده درحالی‌که در دمای ۸۵۰°C تقریباً تمام مارتنزیت پس از ۱۲۰ ثانیه به آستنیت تبدیل می‌شود.



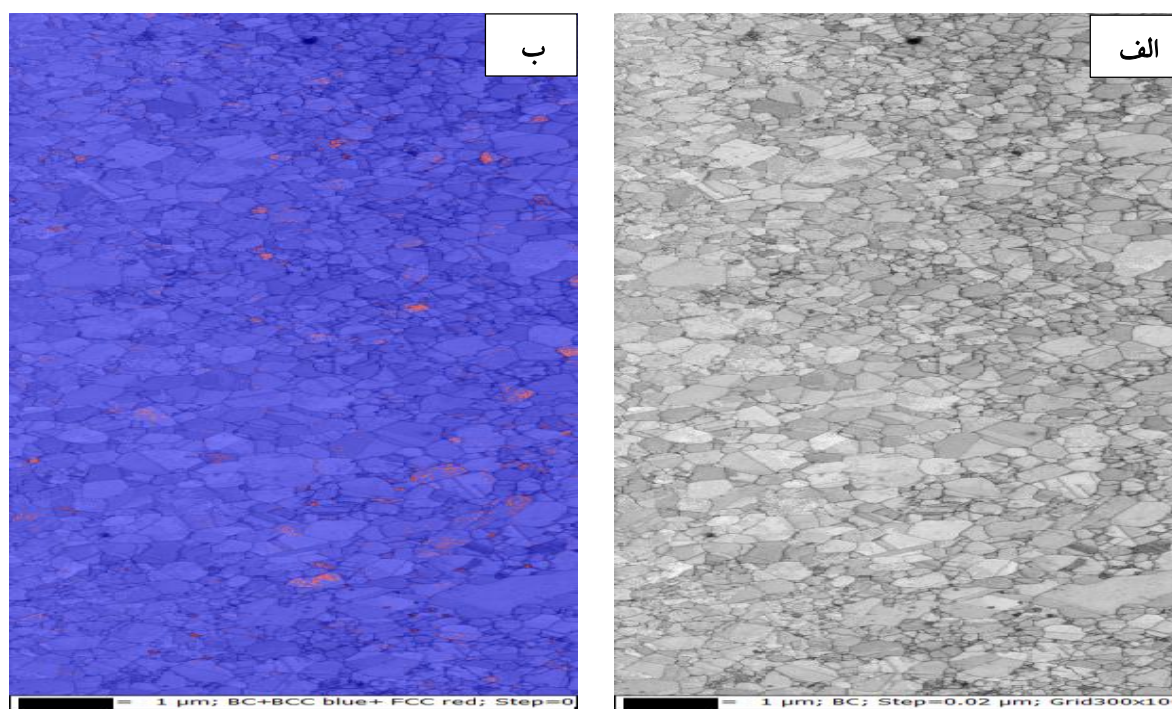
شکل ۵. تغییرات کسر حجمی مارتنزیت به عنوان تابعی از دما و زمان آنیل در نمونه‌های ۹۰٪ نورد سرد شده.

در شکل ۶ نیز تغییرات سختی نمونه‌های یاد شده در حین آنیل به عنوان تابعی از زمان در دماهای مختلف نشان داده شده است. همان طور که در این شکل دیده می‌شود با افزایش دما و زمان آنیل سختی نمونه‌ها کاهش می‌یابد که این امر به دلیل کاهش دانسیته نابجایی‌ها، کاهش مارتنزیت و رشد دانه‌های آستنیت بازگشت یافته در حین آنیل می‌باشد.



شکل ۶. تغییرات سختی به عنوان تابعی از دما و زمان آنیل در نمونه‌های ۹۰٪ نور سرد شده.

هدف اصلی در این پژوهش، حصول یک ساختار کاملاً آستنیتی و تا حد امکان فوق ریز دانه با استفاده از عملیات حرارتی-مکانیکی نور سرد و آنیل بود تا ترکیبی از استحکام بالا و شکل پذیری مناسب بدست آید. شکل ۷ تصویر میکروسکوپ SEM-TKD از ریزساختار نمونه آنیل شده در دمای ۷۵۰°C پس از مدت ۴ دقیقه را نشان می‌دهد. در این شکل یک ساختار بسیار ریزدانه با دانه‌های هم‌محور مشاهده می‌شود. این شکل گویای نمونه‌ای با ۹۹٪ فاز آستنیت و اندازه متوسط دانه حدود 237 ± 36 nm می‌باشد. علت ایجاد چنین ساختاری با اندازه دانه‌های بسیار ریز، دانسیته بسیار بالای عیوب در ریزساختار بعد از نور سرد و اعمال کرنش‌های سنگین است. زمانیکه این ساختار را در دماهای نسبتاً پایین و زمانهای کوتاه آنیل کنیم، به دلیل وجود مکان‌های بشمار برای جوانه‌زنی آستنیت، دانه‌های بسیار ریز تشکیل می‌شوند.



شکل ۷. تصاویر بدست آمده توسط میکروسکوپ SEM-TKD برای نمونه آنیل شده در دمای 750°C به مدت ۴ دقیقه (الف) ریزساختار و (ب) نقشه فازی (رنگ آبی مربوط به فاز آستنیت و رنگ قرمز مربوط به فاز مارتنزیت است).

نتیجه گیری

۱. کرنش اشباع فولاد مورد پژوهش در دمای محیط در کاهش ضخامتی به میزان ۵۰٪ اتفاق افتاد.
۲. با افزایش میزان کارسرد، سختی نمونه‌ها افزایش یافته و این افزایش سختی در مراحل اولیه تغییر شکل شدیدتر است.
۳. با افزایش دما، زمان لازم برای بازگشت مارتنزیت به آستنیت کاهش می‌یابد.
۴. نمونه آنیل بازگشتی در دمای 750°C به مدت ۴ دقیقه ساختار تکفاز آستنیتی با میانگین اندازه دانه ۲۳۷ نانومتر را ایجاد کرد.

مراجع

- 1- N. Nakada, N. Hirakawa, T. Tsuchiyama and S. Takaki, "Grain refinement of nickel-free high nitrogen austenitic stainless steel by reversion of eutectoid structure", Scr. Mater, 57(2), 2007, 153-156.
- 2- A. Di Schino, I. Salvatori and J. M. Kenny, "The Effect of Grain Size on the Mechanical and Cavitation Resistance of a High Nitrogen and Low Nickel Austenitic Stainless Steel", Mater. Sci. Forum, 426-432, 2003, 975-980.

- 3- K. H. Lo, C. H. Shek and J. K. L. Lai, "Recent developments in stainless steels", Mater. Sci. Eng. R Reports, 65(4-6), 2009, 39-104.
- 4- M. Milifisky, N. D. Wispelaere, P. Petrov, J. Ramos, J. E. Reguly, A.H. Hannien, "Characterization of the mechanical properties of low nickel austenitic Stainless steel", Mater. Sci. Eng, 498, 2008, 289-295.
- 5- R. Song, D. Ponge, D. Raabe, J. G. Speer, and D. K. Matlock, "Overview of processing, microstructure and mechanical properties of ultrafine grained bcc steels", Mater. Sci. Eng. A, 441(1-2), 2006, 1-17.
- 6- W. F. Smith, Structure and Properties of Engineering Alloys, 2nd ed. McGraw-Hill, 1993.
- 7- K. Tomimura, S. Takaki, and Y. Tokunaga, "Reversion Mechanism from Deformation Induced Martensite to Austenite in Metastable Austenitic Stainless Steels", ISIJ Int, 31(12), 1991, 1431-1437.
- 8- Y. Ma, J. E. Jin, and Y. K. Lee, "A repetitive thermomechanical process to produce nano-crystalline in a metastable austenitic steel," Scr. Mater, 52(12), 2005, 1311-1315.
- 9- J. Talonen, "Effect strain - induced transformation on mechanical properties of metastable austenitic stainless steels", Doctoral Dissertation, 2007.
- 10- J. Talonen and H. Hänninen, "Formation of shear bands and strain-induced martensite during plastic deformation of metastable austenitic stainless steels", Acta Mater, 55(18), 2007, 6108-6118.
- 11- M. A. Meyers, A. Mishra and D. J. Benson, "Mechanical properties of nanocrystalline materials", Prog. Mater. Sci, 51(4), 2006, 427-556.
- 12- P. Behjati, A Kermanpur, A Najafizadeh, H. S. Baghbadorani, L. P. Karjalainen, J. Jung and Y. Lee, "Design of a new Ni-free austenitic stainless steel with unique ultrahigh strength-high ductility synergy", Mater. Des, 63, 2014, 500-507