نشریهٔ مهندسی متالورژی و مواد

سال بیست و هشتم، شماره یک، ۱۳۹۵

بررسی تحولات فازی و ریزساختارها در یک فولاد میکروآلیاژی حاوی Ti و Nb به روشهای دیلاتومتری و متالوگرافی*

آسیه سادات موسوی محولاتی^(۱) سید صادق قاسمی بنادکوکی^(۲) مهدی کلانتر^(۳)

چکیدہ

در این پژوهش، جزئیات ریزساختارها و تحولات فازی آستنیت در یک فولاد کم کربنی میکروآلیاژی حاوی TI و NB در شرایط سرد شدن پیوسته به روش های دیلاتومتری، متالوگرافی و سختی سنجی بررسی شده است. نتایج نشان می دهند وقتی که سرعت سرد شدن بیش از 2/۵۰ است، منحنی دیلاتومتری فقط یک مرحله تغییرات ابعادی پیوسته در دماهای نسبتاً پایین از خود نشان می دهد که متناسب با محدوده دمای تحول مارتنزیتی است. همچنین برای سرعت سرد شدن بین 2/2°۲۰-۸/۰، منحنی دیلاتومتری تغییرات ابعادی یکنواخت و پیوسته یک مرحله ای در محدوده دمای تحولات فازی بینایتی و مارتنزیتی نشان می دهد در حالیکه درسرعت های سرد شدن آهسته تر از تغییرات ابعادی کاملاً متفاوت دومرحله ی در منحنی دیلاتومتری آشکار شده است که مربوط به تحولات فازی فریتی و بینایتی است. بر اساس این نتایج پیشنهاد می گردد بینایت و مارتنزیت با مکانیزم برشی مشابه تحول مییابند، درحالیکه فریت با مکانیزم نفوذی کاملاً متفاوت از بینایت و مارتنزیت تحول می یابد.

واژه های کلیدی فولاد کم کربنی کم آلیاژ؛ سرد شدن پیوسته؛ دیلاتومتری؛ متالوگرافی؛ فریت، بینایت؛ مارتنزیت.

Investigation of Continuous Cooling Transformations and Microstructures in a Low Carbon Ti-Nb Bearing Microallyed Steel by Means of Dilatometry and Metallography

A.S.Moosavi S.S.Ghasemi M.Kalantar

Abstract

In this investigation, continuous cooling transformations and microstructures have been studied in detail in a low carbon Ti-Nb bearing microalloyed steel by means of dilatometry, metallography and hardness measurements. The results indicate that when the cooling rate is greater than 1°C/s, the dilatation curve is associated with a major dilatation at relatively low transformation temperatures, which is consistent with the martensitic phase transformation. For a cooling rate between 0.2-0.8°C/s, the dilatation curve is also characterized with a uniform single transformation over the martensitic and bainitic phase transformation temperature range. However, as the cooling rate is reduced to less than 0.2°C/s, the dilation curve is characterized with a quite variable double stage transformation which is associated with the ferrite and bainite transformation products. These results suggest that the bainitic and martensitic phase transformations are developed with a similar displacive mechanism, while ferrite is formed by a diffusional mechanism.

Keywords Low Carbon Low Alloy Steel; Continuous Cooling; Dilatometry; Metallography; Ferrite; Bainite; Martensite.

* نسخهٔ نخست مقاله در تاریخ ۹۲/۱۲/۱۰ و نسخهٔ پایانی آن در تاریخ ۹۳/۹/۲۹ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱)دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد.

(۲) نویسنده مسئول: دانشیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد.sghasemi@yazd.ac.ir

(۳) دانشیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد.

DOI: 10.22067/ma.v28i1.32846

بالا از یکدیگر تفکیک سازی نمی شوند. گروهی از محققین[10-7] ادعا می نمایند بینایت و مارتنزیت در فولادهای کم کربنی با مکانیزم برشی مشابهی تحول می یابند در حالیکه گروهی دیگر[11,12] ادعا می نماینـد نفوذ و جابجا شدن اتمها در طي تحول بينايتي نقش اساسی بازی نموده و در نتیجه بینایت با مکانیزم نفوذی تشکیل می گردد. ایـن مباحـث در متـالورژی فیزیکـی فولادهای کم کربنی کم آلیاژ و خصوصاً تفکیک سازی ریزساختارها و تحولات فازی بینایتی از مارتنزیتی ادامه دارد و هنوز هم توافق واحدی در این مورد وجود ندارد[11-9]. در این پژوهش، جزئیات ریزساختارها و تحولات فازی آستنیت در یک فولاد کم آلیاژ کم کربنی حاوی مقادیر مشخصی عناصر میکرو آلیاژی نایوبیوم و تیتانیوم در شرایط سرد شدن پیوسته به روشهای ديلاتومتري، متالوگرافي و سختي سنجي بررسي شده است.

مواد و روش تحقیق

فولاد مورد استفاده در این پژوهش از خانواده فولادهای کم کربنی کم آلیاژ استحکام بالا با آنالیز شیمیایی مطابق جدول (۱) می باشد. ضخامت ورق فولاد دریافتی ۱۰ میلیمتر و ساختار آن شامل مخلوطی از ریزساختارهای بینایتی و مارتنزیت تمپرشده می باشد. جهت بررسی تحولات فازی آستنیت در شرایط سرد شدن پیوسته از شد. محفظه نصب نمونه توسط پمپهای تخلیه معمولی و شد. محفظه نصب نمونه توسط پمپهای تخلیه معمولی و شد. محفظه نصب نمونه توسط پمپهای تخلیه معمولی و هرگونه اکسیداسیون سطحی نمونه ها گردید. نمونه های سیلندری شکل به طول ۱۳ میلیمتر، قطر داخلی برجهت نورد از ورق دریافتی تهیه شدند. نمونه ها به برجهت نورد از ورق دریافتی تهیه شدند. نمونه ها به روش القایی به مدت ۵ دقیقه در دمای Ω^{0} مقدمه

در طی طراحی و توسعه فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا، مقادیر کم کربن جهت به دست آوردن مجموعه بالایی از خواص مهندسی نظیر استحکام کششی و چقرمگی همراه با قابلیت جوشکاری در نظر گرفته می شود. در یک مقدار ثابت کربن، استحکام و ضربه یذیری بالاتری را می توان در ریزساختارهای بینایتی-مارتنزیتی در مقایسه با ریزساختارهای فریتی- پرلیتی بدست اورد[1,2]. بر این اساس اضافه نمودن مقادیر مشخصی از عناصر آلیاژی نظیـر کـروم، نیکـل، مـس و بویژه مولیبدن باعث افزایش سختی پذیری جهت دستیابی به ریزساختارهای بینایتی- مارتنزیتی در مقاطع ضخيم مي گردد. همچنين از عناصر كاربيـد سـاز قـوي نظير نايوبيوم، تيتانيوم و واناديوم جهت تشكيل کاربیدها، نیتریـدها و کربونیتریـدهای بسـیار پایـدار در دماهای بالا که به عنوان ریزکننده دانه های آستنیت و افزایش دهنده استحکام و چقرمگی در طی پروسه های ترمومكانيكال مي باشند، نيز استفاده مي شود [6-2]. بنابراین، مقادیر کم کربن در کنار مجموعه مشخصی از عناصـرآلیاژی و کنتـرل پروسـههـای ترمومکانیکـال در فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا منجر به تشکیل ریزساختارهای چند فازی و تحولات فازی پیچیده ای خصوصاً درطی سرد شدن پیوسته می گردد کـه معمـولاً دسته بندی ریزساختارها و تحولات فازی در چنین فولادهای چند فازی کاملاً متفاوت از فولادهای کربنی و کم آلیاژ فریتی- پرلیتی می باشد، چراکه عدم حضور كربن و نتيجتاً عـدم تشكيل كاربيـد باعـث مـي گـردد ریزساختارهای بینایتی شبیه فریت در محدوده گسترده-ای از دماهای میانی بین تحولات فازی آستنیت به فریت – يرليت و آستنيت به مارتنزيت تشکيل گردد[6-2]. نتایج تحقیقاتی نشان می دهد بینایت و مارتنزیت که براحتی در فولادهای کربنی متوسط از یکدیگر قابل تشخیص می باشند، در فولادهای کربن پایین استحکام

سال بیست و هشتم، شماره یک، ۱۳۹۵

نشریهٔ مهندسی متالورژی و مواد

Archive of SID

۲۰۱°C/s الی ۳۰۶ ۲۰۰ ۲۰۰ ۲۰ دمای محیط سرد شدند. جهت آشکارسازی ریزساختارهای چند فازی بوجود آمده، نمونه ها مطابق با روش های متداول پولیش کاری و رنگی سازی ریزساختارهای چند فازی فریتی-بینایتی- مارتنزیتی به روشهای متالوگرافی دومرحلهای با استفاده از محلولهای شیمیایی نایتال ۲٪ و لپرا انجام شد. سختی سنجی به روش استاندارد ویکرز و با وزنه شد. سختی سنجی به روش استاندارد ویکرز و با وزنه بررسی های ریزسختی سنجی فازها توسط دستگاه مدل بررسی های ریزسختی سنجی فازها توسط دستگاه مدل مشاهدات متالوگرافی با استفاده از میکروسکوپ نوری مشاهدات متالوگرافی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی میدل SEM ایجام گردید.

نتايج و بحث

رفت ار دیلات ومتری. به منظ ور تعیین دقیق انواع زیر ساختارها و تحولات فازی در فولاد کم کربنی میکرو آلیاژی مورد مطالعه، سرعت سرد شدن نمونه های دیلاتومتری از ۲۰۱۵° تا ۲۰۵۵ متغیر بود. در شکل (۱) مثال هایی از منحنی های دیلات ومتری بدست آمده پس از اعمال سیکلهای مختلف عملیات حرارتی در شرایط سرد شدن پیوسته از دمای ۲۰۰۰ تا دمای محیط نشان داده شده است. منحنی های تغییرات ابعادی بر حسب دما (منحنی های (۵)) و زمان سرد شدن نمونه ها بر حسب دما (منحنی های (۵)) بطور همزمان و در یک مقیاس ثابت دمایی مشخص شده است. همانطوریکه ملاحظه می گردد سرعت سرد شدن نمونه ها از دمای

1 • 1

آستنیته کردن (C·۱۰۰۰) تا دمای محیط حتی در محدوده دمای آزاد شدن انرژی بالای نهفته در نمونه ها در اثر تحولات فازى أستنيت بصورت كاملاً خطى است. این نکته بیانگر آن است که هرگونه تغییری در شیب منحنی های تغییرات ابعادی بر حسب دما ناشی از تحولات فازي أستنيت مي باشد. وقتى كه سرعت سرد شدن کمتر از C/s/۰۲°۲۰ بود، منحنی دیلاتومتری انبساط دو مرحله ای در محدوده دمایی دگرگونی فازی آستنیت مطابق با شکل (۱–الف) از خـود نشـان داد. بـه منظـور تعيين دقيق دماي شروع تحولات فازي أستنيت به ریزساختارهای مختلف، یک سری آزمایشهای کوئنچ منقطع از دماهای مشخص در طبی سرد شدن پیوسته طراحی و انجام گردید. برای مثال، نمونه های مختلفی با سرعت ۱٬۰۲۶ بطور پیوسته تا محدوده دمای تحولات فازی آستنیت سرد شده و سپس از دمای خاصی تا دمای محیط کوئنچ شدند. بر اساس مشاهدات متالوگرافی، ابتدا فریت در دمای حدود C^{on} تشکیل گردید که مطابق با دمای شروع اولین مرحله تغییرات ابعادی در منحنی دیلاتومتری است. با ادامه سرد شدن نمونه، بینایت در دمای حدود ۲۰^۰C شروع به رشد نموده و مخلوطی از ریزساختارهای بینایتی و مارتنزیتی در دمای C^oC مشاهده گردید که متناسب با دماهای شروع و پایان مرحله دوم تغییرات ابعادی در منحنی دیلات_ومتری نمون_ه سرد ش_ده ب_ا سرعت C/s^۱۰ می باشد.

جدول ۱ ترکیب شیمیایی فولاد میکروآلیاژی مورد استفاده در این پژوهش (بر حسب درصد وزنی).

عناصر	С	Si	Mn	S	Р	Cr	Ni	Cu	Nb	Ti	Al	Fe
درصد وزنی	٠/٢	٠/١	١/٥	•/••٣	•/•1٣	١/٩٨	•/٢٥	•/٣٤	•/•1٧	•/•1٣	•/•۲	بالانس

سال بیست و هشتم، شماره یک، ۱۳۹۵



شکل ۱ منحنی های دیلاتومتری تغییرات ابعادی برحسب دما (a) و زمان برحسب دما (b) نمونههای تهیه شده در سرعت های مختلف سردشدن پیوسته از دمای ۲۰۰۰°C تا دمای محیط: الف) ۲/۵°C/۶؛ ب) ۲/۵°C/۶؛ ج) ۲/۵°C/۶؛ د) ۲۰۰°C/۶.

در سرعتهای سرد شدن متوسط (۰/۸-۰/۲^oC/s) منحنی دیلاتومتری فقط تغییرات ابعادی یک مرحلـه ای کـاملاً یکنواخت و پیوسته مطابق با شکل (۱-ب) از خود نشان داد. همانطوریکه از دیاگرام دیلاتـومتری مشـاهده می گردد، ابتدا در اثـر سـرمایش نمونـه دچـار انقبـاض حجمی میگردد که تغییرات ابعادی آن بصورت کاملاً خطی در نمودار ظاهر شده است. با آغاز استحاله فازی آستنیت به بینایت، انبساط ناشی از تغییر فاز بصورت تغییر شیب محسوسی بر روی منحنی دیلاتومتری در دماهایی حدود ٤٥٥^oC مشاهده می گردد. با ادامه سر د شدن نمونه، منحني ديلاتومتري انبساط يـک مرحلـه اي كاملاً يكنواخت و پيوسته در محدوده دمايي تحولات فازی بینایتی و مازتنزیتی(C°٤٥٥ –۲۲۲) از خود نشان می دهد. در آخرین مراحل تحول فازی آستنیت، تغییر قابل تـوجهی در شـیب منحنـی دیلاتـومتری در دمـایی حدود C^oC مشاهده می گردد که متناسب با دمای پایان تحول مارتنزیتی (M_f) می باشد. پیوستگی و یک

مرحله ای بودن منحنی دیلاتومتری در محدوده دمای تشکیل بینایت و مارتنزیت (C°۵۵۵ -۲۲۲) در نمونه سرد شده با سرعت C/s°۰۵، بیانگر آن است که تحولات فازی بینایتی و مارتنزیتی با مکانیزم مشابهی در این فولاد کمآلیاژ کمکربنی انجام می گردد.

در سرعتهای سرد شدن بین C/s^{0} الی c/s^{0}^{0} . منحنی های دیلاتومتری فقط انبساط گسترده یک مرحله ای کاملاً یکنواخت و پیوسته در محدوده دمایی T^{0} . -۲۲۲ از خود نشان می دهند که ناشی از تحول مارتنزیتی است (شکل های 1-ج و1-د). دماهای G^{0} (M_{s}) تحول مارتنزیتی است. از سرعت سرد شدن M_{f}) تحول مارتنزیتی است. از سرعت سرد شدن rotor (rotor) به بالا، دماهای شروع و پایان تحول فازی آستنیت به مارتنزیت خیلی بهم نزدیک است که متناسب با تشکیل ریزساختارهای مارتنزیتی است.

نشریهٔ مهندسی متالورژی و مواد

سال بیست و هشتم، شماره یک، ۱۳۹٥

۱۰۳

سختی سنجی و دیاگرام فاز سرد شدن پیوسته. در شکل (۲) دیاگرام فاز سرد شدن پیوسته (CCT) فولاد کم کربنی میکرو آلیاژی مورد مطالعـه در ایـن پـژوهش نشان داده شده است. سختی ویکرز نمونه ها به همراه منحنیهای سرد شدن پیوسته از دمای C^۰۰۰۰ تـا دمـای محیط در هر سرعت سرد شدن در دیاگرام فاز CCT نشان داده شده است. همانطوریکه ملاحظه می گردد در دیاگرام فاز CCT فقط محدوده دمای تحولات فازی آستنیت به مارتنزیت، آستنیت به بینایت و آستنیت به فریت مشخص شده است و هیچگونه اثری از تشکیل ناحیه فازی پرلیت حتی در سرعتهای سرد شدن بسیار آهسته (۰/۱°C/s) دیکه نمی شود که بیانگر سختى پذيرى فوقالعاده بالاي فولاد مورد پژوهش می باشد. در حداکثر سرعت سرد شدن ممکن در این پژوهش (٤٠٠°C/s)، عـدد سـختی ویکـرز نمونـه ٥٤٨ می باشد که تقریباً برابر با سختی نمونه کوئنچ مستقیم در آب (٥٥١HV10) است. با کاهش سرعت سرد شدن از ۲/۵°۰۲ به ۲°C/۵، سختی نمونه هـا آهنـگ کـاهش ملایمی را از ٥٤٨Η٧10 به ٥٠٢Η٧١٥ نشان می دهند که در اثر پدیده تمپر خود به خودی مارتنزیت است. با ادامه کاهش سرعت سرد شدن نمونه ها از ۱°C/s به ۰/۱°C/s عدد سختی ویکرز نمونیه ها بطور قابل توجهی از ۵۰۲ به ۳۸۶ کاهش می یابد که این پدیده در اثر تشکیل مخلوطی از ریزساختارهای فریتی، بینایتی و مارتنزيتي مي باشد.

متالوگرافی رنگی. شکل (۳) تصاویر متالوگرافی بدست آمده از نمونه های سرد شده با سرعت های مختلف را در شرایطی نشان می دهد که ابتدا توسط نایتال ۲ درصد و سپس با استفاده از محلول لپرا اچ شده اند. همانطوریکه مشاهده می گردد فاز فریت به رنگ سفید براق و با مرزبندی کاملاً مشخصی از سایر ریزساختارها متمایز شده است. هم چنین فازهای سوزنی شکل بینایتی و مارتنزیتی به ترتیب به رنگهای آبی و قهوه ای مشاهده می شوند. کنتراست بالای

تصاوير متالوگرافي، تفكيك سازي انتخابي فازهاي فریت، بینایت و مارتنزیت را در ریزساختارهای چندفازی به خوبی نشان می دهد. محلول اچ لپرا از محلول های متالوگرافی پرکاربرد جهت رنگی سازی و تفکیک ریزساختارہای چندفازی است. محلول اچ لپرا توسعه یافته در این پژوهش شامل مخلوطی از محلول های شیمیایی پیکرال ٤ درصد و محلول آبی سدیم متابی سولفیت ۱ درصد به نسبت یک به یک می باشد. معمولاً پیکرال موجب خوردگی انتخابی بینایت شدہ و کمک به ایجاد کنتراست فازی پس از رنگی سازی كريستال هاى سوزنى شكل بينايت مى نمايد، درحاليكه محلول شيميايي سديم متابي سولفيت موجب تشديد خوردگی کریستال ہای سوزنی شکل مارتنزیت می گردد. این نمک در داخل آب تولید اجزا SO₄ ،S او H₂O می نماید که در حضور فلزاتی نظیر آهـن، نیکـل، مس و کروم تولید یون های متفاوتی برای تشکیل فیلم-های سولفیدی و تیوسولفاتی بر روی فازهای فریت، بینایت و مارتنزیت می نماید. این فیلم ها در مشاهدات میکروسکوپ نوری به رنگ های مختلفی ظاهر می شوند که باعث ایجاد کنتراست بالا در ریز ساختارهای چندفازی می گردند [۱۳–۱۷].



شکل ۲ دیاگرام CCT فولاد کم کربنی کم آلیاژ همراه با منحنیهای سرعت سرد شدن پیوسته از دمای ⁰C۰۰۰ تا دمای محیط و سختی سنجی از نمونهها نشاندهنده محدوده پایداری فازهای: آستنیت (γ)؛ فریت (Ω)؛ بینایت (B) و مارتنزیت (M) میباشد.

سال بیست و هشتم، شماره یک، ۱۳۹۵

مشاهدات الکترونی و ریزسختی سنجی. در شکل (٤) تصاویر میکروسکوپ الکترونے روبشے برخے از نمونههای دیلاتومتری که با سرعتهای مشخصی بطور پیوسته از دمای C^oC تا دمای محیط سرد شـدهانـد، نشان داده شده است. ریزساختار نمونه کوئنچ مستقیم در آب از دمای آستنیته کردن (C°۱۰۰۰) در تصویر (٤-الـف) أورده شـده اسـت. همانطوريكـه ملاحظـه می گردد ریزساختار این نمونه شامل بسته های مختلفی از کریستال های سوزنی شکل با جهت گیری کریستالوگرافیکی کاملاً متفاوت می باشد که متناسب ب ریزساختار مارتنزیت سوزنی است. در تصویر (٤-ب) ریزساختار نمونـه دیلاتـومتری سـرد شـده بـا حـداکثر سرعت سرد شدن ممکن در ایـن پـژوهش (٤٠٠^oC/s) نشان داده شده است. همانطوریکه مشاهده می گردد ریزساختار این نمونه هم شامل بسته های مختلفی از کریستال های سوزنی شکل مارتنزیتی با آرایش تقریباً مشابه نمونه كوئنچ مستقيم در آب است. از آنجائيكه سختی نمونه دیلاتومتری با حداکثر سرعت سرد شدن ممکن در ایـن پـژوهش (٥٤٨HV10) تقریبـاً برابـر بـا سختی نمونه کوئنچ مستقیم در آب (۱HV10) می باشد، ریزساختار آن هم مشابه ریزساختار نمونه کوئنچ شده در آب از نوع مارتنزیت سوزنی است. ریز ساختارهایی کـه مربـوط بـه کـاهش ملایـم سـختی از ٥٤٨Η٧10 تا ٥٠٢Η٧10 است، در تصاویر (٤-ب، ٤-ج، ٤-د) مشاهده میگردند. این ریزساختارها هم کاملاً مارتنزیتی میباشند چراکه مشابه ریزساختار نمونه کوئنچ شده در آب شامل بسته های پراکنده ای از كريستالهاي سوزني شكل مارتنزيت است. وقتيك سرعت سرد شدن کمتر از C/s ابود، مخلوطی از ریزساختارهای بینایتی و مارتنزیتی مطابق با تصویر (٤- ه) تشکیل شده است. در آهسته ترین سرعت سرد شدن ممکن در ایـن پـژوهش (۰/۱°C/s)، ریزسـاختار نمونـه شامل زمینه بینایتی با مقادیری از فریت مرزدانه ای است (شكل ٤-و).



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ نوری از ریزساختار نمونههای تهیه شده به روش متالوگرافی رنگی دومرحلهای بر پایه نایتال ۲٪ و لپرا: (الف) کوئنچ مستقیم در آب؛ (ب) ۲/۵°C/s (ج) ۲۰/۵°C/s و (د) مارتنزیت، بینایت و فریت بهترتیب با علامتهای M. B و ۲ مشخص شدند.





شکل ٤ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه های دیلاتومتری که با سرعت های مختلفی بطور پیوسته از دمای ۲۰۰۰^oC تا دمای محیط سرد شدند: الف) کوئنچ مستقیم در آب؛ ب) ۲۰۰^oC/s و ۲/۵^oC/s د) ۲/۵^oC/s و ۲/۵^oC/s. فازهای مارتنزیت، بینایت و فریت بهترتیب با علامتهای M B و F مشخص شدند.

شکل (۵) تصویر رنگی سازی فازهای بینایت و مارتنزیت را به همراه اثر ریزسختی سنجی آنها نشان می دهد. متوسط عدد سختی برای فاز آبیو۳۰۵H۷۱0g و برای فاز قهوه ای ۳۷۲H۷۱0g می باشد. ملاحظه می شود سختی فازهای آبی و قهوه ای رنگ اختلاف زیادی داشته که به ترتیب مربوط به تشکیل فازهای بینایت و مارتنزیت است. این نتایج صحت اطلاعات حاصل ازمتالوگرافی رنگی را نشان می دهد.



سال بیست و هشتم، شماره یک، ۱۳۹۵

بررسی تحولات فازی و ریزساختارها در یک فولاد...

(۰/۸۰–۰/۲[°]C/s)، انبساط یک مرحلهای کاملاً یکنواخت و پیوسته در منحنی دیلاتومتری مشاهده می گردد که بیانگر سینتیک یکسان تحولات فازی

 ٤. در سرعتهای سرد شدن کمتر از ۲۰°۲۰، شیب منحنی دیلاتومتری در محدوده دمایی تحولات فازی آستنیت به فریت و بینایت (۲۰۰۰–۳۰۰) بطور گسترده ای تغییر می نماید. نتایج دیلاتومتری نشان می دهد که بینایت و فریت با مکانیزم کاملاً متفاوتی

٥. استفاده از نایتال ۲ درصد و محلول شیمیایی لپـرا در

متالوگرافی رنگی ریزساختارهای چندفازی فریتی-

بینایتی- مارتنزیتی سبب آشکارسازی فازهای فریت مرزدانه ای با وضوح کافی به رنگ سفید روشن و

تفکیک سازی فازهای بینایت و مارتنزیت به ترتیب

به رنگ های آبی و قهوه ای و بـا کنتراسـت مناسـب

٦. بررسی ریزسختی سنجی فازهای رنگی سازی شده

بیانگر دقت بالای آشکارسازی ریزساختارهای

چندفازي فريتي – بينايتي – مارتنزيتي با متالو گرافي

رنگی دومرحلهای بریایه نایتال و لبرا می باشد.

بينايتي و مارتنزيتي است.

تشکیل می گردند.

گر دىد.



شکل ۵ تصویر میکروسکوپ نوری به همراه ریزسختی سنجی از فازهای سوزنی شکل رنگیسازی شده بیانگر دقت بالای روش متالوگرافی رنگی در تفکیک سازی فازهای بینایت (آبی رنگ) و مارتنزیت (قهوهای رنگ) در ریزساختارهای چندفازی است.

نتیجه گیری ۱. دیاگرام فاز CCT یک فولاد کم آلیاژ کم کربنی به روش دیلاتومتری _متالوگرافی – سختی سنجی مشخص گردید. ۲. دیاگرام فاز CCT یک ناحیه فازی گسترده ای را برای تحول فازی مارتنزیتی در سرعتهای سرد شدن پیوسته ۲۵'۱ الی ۲۰۰[°]۲۰ نشان می دهد. ۳. در محدوده دمایی تحولات فازی بینایتی و مارتنزیتی (2° ۲۵-۲۲۲) در سرعتهای سرد شدن متوسط

مراجع

- Krauss G., "Steels: Processing, Structure and Performance", 3rd Edition, ASM International, pp. 125, (2005).
- Krauss G., "Quenched and Tempered Martensitic Steels: Microstructures and Performance", *Comperehensive Materials Processing*, Vol. 12, pp. 363, (2014).
- 3. Dunne D.P., Ghasemi Banadkouki S.S., "Isothermal Transformation Prodocts in a Cu-bearing High Strength Low Alloy Steels", *International Journal of ISIJ*, Vol. 36, No. 3, pp. 324, (2006).
- Ohmori Y., International Symposium on "New Aspects of Microstructures in Modern Low Carbon High Strength Steels", *Bain tic Transformation in Extremely Low Carbon Steels*, Tokyo, p. 278, (1994).
- 5. Okaguchi S., "Morphology of Widmanstätten and Bainitic Ferrites", *Material Transactions Japanese Institute of Metal*, Vol. 32, pp. 697, (1991).

نشر بهٔ مهندسی متالورژی و مواد

www.SID.ir

۱.۷

- 6. Giovanni G.F.M.S., "Effect of cooling rate and coiling temperature on the final microstructure of HSLA steels after HSM or laboratory TMP processing", University of Pittsburgh, (2009).
- Katsumata M., Ishiyama O., Inoue T., Tnaka T., "Microstructure and Mechanical Properties of Bainite Containing Martensite and Retained Austenite in Low Carbon HSLA Steels", *Materials Transaction*, JIM, Vol. 32, No. 8, pp. 715, (1991).
- Trzaska J., Jagie A., Dobrzański L.A., "The calculation of CCT diagrams for engineering steels", *Materials Science and Engineering*, Vol. 39, pp. 13, (2009).
- Nambu S., "In situ Observation and Crystallographic Analysis of Martensitic Transformation in Steel", *Acta Materialia*, Vol. 61, No. 13, pp. 4831, (2013).
- Zhu K. et al, "The Effect of Prior Ferrite Formation on Bainite and Martensite Transformation Kinetics in Advanced High Strength Steels", *Acta Materialia*, Vol. 61, No. 16, p. 6025, (2013).
- VanBohemen S.C., Sietsma J., "The Kinetics of Bainite and Martensite Formation in Steels During Cooling", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 527, No. 24-25, (2010).
- Hu K.M., Bhadeshia H.K.D.H., "Extremely Fine Pearlite by Continuous Cooling Transformation", *Scripta Materialia*, Vol. 67, No. 1, pp. 53, (2012)
- 13. VanderVoort G. F., "Color Metallography, Microsc Microanal", *Microscopy Society of American*, p. 70, (2004).
- LePera F. S., "Improved Etching Technique to Emphasize Martensite and Bainite in High Strength Dual-Phase Steel", *Journal of Metals*, pp. 38, (1980).
- 15. Mehranfar S. et al, "Improved Color Metallography for a Low Alloy Hardened Cast Iron", *ISIJ International*, Vol. 52, No. 9, p. 1649, (2012).
- Girault E., et al, "Metallographic Methods for Revealing the Multiphase Microstructures of TRIP-Assisted Steels", *Materials Characterization*, Vol. 40, pp. 111, (1998).
- 17. Zakernia H. et al, "Color Metallography: a suitable method for characterization of martensite and bainite in multiphase steels", *International Journal of ISSI*, Vol. 6, pp. 14, (2009).