

Investigate the effect of heat treatment on microstructure of HK and HH steels

Abstract

HK and HH steels have good resistant to oxidation, corrosion and sulphated conditions for high chromium content. In this research the effect of heat treatment on HK & HH steel structures was studied. From both products one 200×200 mm plate was casted. Then a sample was prepared and was studied to observe microstructure before and after heat-treatment. Studies show that mass carbides and sub-particles carbide are clearly observed in HK & HH samples. Mass carbide present in samples found a better distribution after heat treatment of quenching. Continuous carbides dissolve by heat treatment and dissipated in the matrix by spherically and needle like structure which improved the properties of steels. Presence of ferrite and austenite phases caused segregation of alloy elements. Chemical equilibrium between ferritizing and austenitizing alloy elements leads to a completely austenitic matrix steel.

Keywords: fireproof Steel, Hooper, microstructure, Carbide

Conference 2014

بررسی تأثیر عملیات حرارتی بر ریز ساختار فولادهای HK و HH

چکیده

فولادهای HH و HK بعلت بالا بودن درصد کرم، در مقابل اکسید شدن، سایش و سولفید شدن مقاومت خوبی دارند. در این پژوهش تأثیر عملیات حرارتی بر ریز ساختار فولادهای HH و HK بررسی گردید. از هر کدام از دو جنس یک عدد پلیت ۲۰۰×۲۰۰ میلیمتر ریخته‌گری شد. سپس نمونه متالوگرافی تهیه گردید و برای مشاهده ساختار میکروسکوپی قبل و بعد از عملیات حرارتی مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی‌ها نشان داد کاربیدهای توده‌ای و تجمع ذرات ریز کاربید در نمونه HH و HK به وضوح دیده شد. با انجام عملیات حرارتی و سریع سرد کردن، کاربید توده‌ای در مرزخانه توزیع مناسب‌تری پیدا کردند. به این صورت که کاربیدهای پیوسته با حرارت دیدن در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد حل شده و پس از سرد کردن به صورت کروی و سوزنی در زمینه پخش شدند و ساختار بهبود یافت. عدم موازنه شیمیایی باعث انحراف از مقادیر استاندارد می‌شود و وجود فاز فریت و آستنیت و جدایش عناصر آلیاژی را به همراه دارد. موازنه شیمیایی بین عناصر آلیاژی فریت‌زا و عناصر آلیاژی آستنیت‌زا باعث زمینه کاملاً آستنیتی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فولاد نسوز، ساختار میکروسکوپی، کاربید

مقدمه

با توجه به اینکه فولادهای مقاوم به حرارت در صنایع مختلف استفاده می‌شوند و در شرایط کاری بدلیل ریز ساختار نامناسبی که در موقع ریختگری و بعد از آن بوجود می‌آید باعث خوردگی، ایجاد ترک و کاهش خواص مکانیکی آنها و در نتیجه موجب تخریب زودتر و کاهش عمر قطعات می‌شود. بنابراین با بررسی این دو فولاد که نقش زیادی در صنایع بویژه در دمای بالا دارند از خسارات ناشی از آن جلوگیری کرده و عمر آنها را بیشتر نموده و هزینه‌های مربوط به تعمیر و تعویض این قطعات حساس کاهش یابد.

مبانی نظری پژوهش

تولید فولادهای ریختگی مقاوم به حرارت، بدلیل کاربرد بسیار وسیع آنها در صنایع سیمان، گچ و کوره‌های عملیات حرارتی، کوره‌های صنایع متالورژی، توربین‌های گازی و ... از اهمیت خاصی برخوردار است. تولید این خانواده از فولادها در سال‌های اخیر در ایران رشد چشم‌گیری داشته و بازار وسیعی جهت این گونه تولیدات وجود دارد. با توجه به اهمیت ویژه این دسته از فولادها، علاوه بر معرفی متداول‌ترین آنها، ویژگی مهم آنها را نیز به صورت مختصر ذکر می‌نماییم.

بنا به تعریف فولادهای مقاوم به حرارت فولادهایی هستند که:

در محیط‌هایی با دمای بیش از 650°C قادر به تحمل کار مداوم یا منقطع باشند. این فولادها می‌بایستی در برابر ترک خوردن، تاب برداشتن، خزش، خستگی حرارتی، پیچیدگی و خوردگی در دمای بالا، مقاومت خوبی از خود نشان دهند. فولادهای مورد استفاده در تولید قطعات مقاوم به حرارت عموماً در سه گروه زیر تقسیم می‌شوند:

۱- آلیاژهای حاوی $\text{Cr} 30-8\%$ و نیکل کم یا تقریباً صفر. این آلیاژها در دمای بالا استحکام زیادی نداشته، اما در مقابل اکسیداسیون و تحت توزیع یکنواخت گرما در تنش استاتیک کم (تنش ایستا)، بسیار مقاومند.

۲- آلیاژهای حاوی $\text{Cr} 19\%$ و $\text{Ni} 9\%$ که مقدار کرم آنها بیش از نیکل است. این گروه آلیاژها در شرایط اکسید کننده قادر بکار بوده و در مقابل تغییرات متوسط دما مقاوم می‌باشند. همچنین مقاومت این گروه در مقابل تنش بیش از گروه اول است.

۳- آلیاژهایی که کرم آنها بیش از 10% و نیکل آنها بیش از 23% و مقدار نیکل آنها بیش از کرم است. این آلیاژها در هر دو شرایط اکسید کننده و احیا کننده قادر بکار بوده و در مقابل شک‌های حرارتی مقاومت خوبی دارند. بنابراین در ساخت سبدهای عملیات حرارتی و یا قطعاتی که در آنها توزیع گرما یکنواخت نمی‌باشد کاربرد دارند (هند بوک ASM¹ ۱۳۸۴).

پیشینه پژوهش

عناصر آلیاژی عمده و اصلی در فولادهای ضد زنگ ریختگی در رقابت با یکدیگر برای تشدید فازهای آستنیت یا فریت در ساختار میکروسکوپی آلیاژ می‌باشند (هند بوک ASM ۱۳۸۴). کرم، سیلیسیم، مولیبدن و نیوبیوم تشکیل فریت در ساختار میکروسکوپی آلیاژ را تشدید کرده و نیکل، کربن، نیتروژن و منگنز حضور آستنیت در ساختار آلیاژ را تشدید می‌کنند. با موازنه کردن مقادیر عناصر آلیاژی تشکیل دهنده فریت و آستنیت در داخل محدوده‌های مشخصی که برای این عناصر در آلیاژ توصیه شده است (دهملایی و شمعیان، ۱۳۸۹). امکان کنترل مقدار فریت موجود در فاز زمینه آستنیتی فراهم می‌شود. آلیاژ می‌تواند معمولاً بطور کامل آستنیتی باشد یا حاوی فریت با مقادیر تا ۳۰ درصد یا بیشتر در زمینه آستنیت باشد (شمعیان، ۱۳۸۵). رابطه

¹ASM Handbook

بین ترکیب شیمیایی و ساختار میکروسکوپی در فولادهای ضد زنگ ریختگی این امکان را برای ریخته‌گر بوجود می‌آورد که مقدار فریت در یک آلیاژ را پیش‌بینی و با تنظیم ترکیب شیمیایی آلیاژ خواص ویژه مورد نظر را ایجاد کند (گارسیا و کاستیلو، ۱۳۸۹؛ لینکینگ و زسنگ، ۱۳۹۲).

متغیرهای ریخته‌گری بر ریز ساختار و خواص مکانیکی فولاد نسوز تاثیر می‌گذارد عواملی نظیر دمای باریزی و سرعت انجماد بر مشخصه‌های ریز ساختاری شامل اندازه دانه، نوع و توزیع کاربیدها و خواص کشش می‌باشد. افزایش دمای باریزی سبب افزایش اندازه دانه و ایجاد ریز ساختار با کاربیدهای درشت و پراکنده درون دانه‌ای می‌شوند استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبی کاهش می‌یابد. در مقابل کاهش دمای باریزی سبب کاهش اندازه دانه و ایجاد ریز ساختاری با شبکه کاربیدی بهم پیوسته در مرز دانه‌ها می‌شود (وحدت نیا و همکاران، ۱۳۸۹؛ لینکینگ، ۱۳۹۲).

در قطعات ریختگری آخال‌ها به عنوان جزء ذاتی فولادها محسوب می‌شوند. آخال‌ها را می‌توان بصورت فازهای غیر فلزی و یا گاهی اوقات بین فلزی مشاهده نمود که در زمینه فلزی مستقر هستند. نتایج نشان می‌دهد آخال‌های اکسیدی حاوی کرم و آلومینیم و سولفیدی حاوی منگنز از جمله آخال‌های رایج در فولادهای ریختگی هستند. وجود آخال در قطعات ریختگی بشدت خواص سایشی، قابلیت ماشینکاری، خواص مکانیکی و حتی مقاومت به خوردگی را تحت تاثیر قرار می‌دهند (گاریسون، ۱۹۹۱؛ کایوشی، ۲۰۱۲).

اگر چه مقدار کربن این آلیاژهای ریختگی بطور فاحشی بالاتر از انواع مشابه نوردی با مقادیر یکسان کرم و نیکل می‌باشد، با این حال ترکیب‌های شیمیایی هیپوئوتکتیک می‌باشند، در هنگام انجماد، ابتدا دندریت‌های آستنیت و در آخر ذرات کاربید تشکیل می‌شوند. که فواصل بین دندریت‌ها را اشغال خواهند کرد (دانا و همکاران، ۱۳۹۰). بنابراین، کاربید بصورت زنجیره‌ای عظیم از ذرات در مرز دانه‌های آستنیت وجود خواهد داشت. در بین انواع کاربیدهای موجود در ساختار میکروسکوپی، کاربید $M_{23}C_6$ ، فاز کاربیدی غالب می‌باشد و به مقدار قابل ملاحظه بر ساختار وجود خواهد داشت، M (فلز) نشان دهنده‌ی مجموع عناصر تشکیل دهنده‌ی کاربید که در ترکیب شیمیایی آلیاژ وجود دارند، می‌باشد. نوع دیگر کاربید، M_6C ، نیز بصورت لامل (lamellar) در ساختار ممکن است وجود داشته باشد. این کاربید ظاهری شبیه به پرلیت داشته و متشکل از صفحات کاربید و آستنیت می‌باشد (کواروبیاس، ۲۰۰۹).

فاز سیگما فازی ترد و سخت می‌باشد و معمولاً از فریت (اما گاهی اوقات مستقیماً از آستنیت) بین تقریباً ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد و اندکی بالاتر از ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد به سرعت تشکیل می‌شود. نیتريد‌ها به همراه کاربیدها باعث افزایش استحکام خزشی فولادهای ضد زنگ ریختگی مقاوم به حرارت می‌شوند. در صورتی که مقدار نیتروژن فولادهای ضد زنگ کم باشد، نیتروژن کاملاً در فاز زمینه انحلال می‌یابد (سالدانا و میراندا، ۲۰۱۴)

روش پژوهش

دو نوع فولاد شامل HH, HK از شرکت صنایع ریختگری اصفهان ریختگری شد. لازم به ذکر است کنترل دقیق ترکیب شیمیایی فولاد مقاوم به حرارت و بدست آوردن ساختار مورد نظر امری دشوار است که می‌توانست درصدهای قابل توجهی از عناصر آلیاژی دچار نوسان و انحراف از مقدار استاندارد باشد و همچنین روی ساختار هم تاثیر بگذارد. باتوجه به اینکه از طرف شرکت ریختگری شده آنالیز گرفته شد و همراه پلیت‌ها ارسال گردید در اینجا نمونه‌ها مجدد به همراه نمونه هوپر استفاده شده برای آنالیز کوانتومتری به آزمایشگاه مرکزی مجتمع مس فرستاده شد و ترکیب شیمیایی عناصر موجود در آن مشخص گردید و با استاندارد مورد نظر مطابقت داده شد. بعد نمونه ای از پلیت، با دستگاه کاتر موجود در شرکت برید شد. درصد هر کدام از فازها معین شد. نمونه‌ای که به آزمایشگاه رازی فرستاده شده بودند از هر کدام یک نمونه متالوگرافی تهیه شد.

آماده سازی نمونه متالوگرافی بر اساس (ASTM E3-11)، میکرو اچ فلزات بر اساس (ASTM E 407-07) و تصاویر میکروسکپ نوری بر اساس (ASTM E 883-11) می‌باشد.

یک نمونه جهت اصلاح ساختار بعد از اینکه متالوگرافی شدند و ساختار بررسی شد جهت عملیات حرارتی برده شد. که برای این کار از کوره عملیات حرارتی مجتمع مس سرچشمه استفاده گردید. برای این کار از دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت نمونه‌ها حرارت دیدند تا کاربیده‌ها کاملاً حل شوند و سپس نمونه‌ها از کوره خارج و سریع سرد شدند که محیط سرد کننده آب بود.

نمونه‌ها سپس توسط کاتر به اندازه کوچکتر بریده شدند و بعد از متالوگرافی مورد بررسی قرار گرفتند. بطور کلی هدف از انجام این نوع بررسی‌ها، بررسی تغییرات ساختار میکروسکوپی در اثر عملیات حرارتی می‌باشد. این بررسی شامل مراحل مختلفی مانند سمباده زنی، پولیش و اچ می‌باشد. برای سمباده‌زنی، سمباده از جنس SiC به همراه ذرات Al_2O_3 و کاربید بور و الماس استفاده شد. روانساز معمولاً آب بوده؛ تا از گرم شدن نمونه و خراب شدن سمباده جلوگیری کند. شماره سمباده مورد استفاده ۳۲۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ می‌باشد. برای پولیش و میکرو پولیش جنس صفحه از کتان بود که توسط ذرات Al_2O_3 یا SiC برای نمونه‌های فولادی بکار می‌رود. برای اچ کردن نمونه از محلول اچ گلیسرژیا استفاده شد. گلیسرژیا شامل ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک، ۲۰-۵۰ میلی لیتر اسید کلریدریک و ۳۰ میلی لیتر گلیسرول می‌باشد. سرانجام نمونه‌ها برای بررسی ساختار با دستگاه SEM مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت.

تجزیه تحلیل داده‌ها

فولادهای ضد زنگ ریختگی مقاوم به حرارت مورد بررسی در این پروژه عبارتند از: فولاد ریختگی مقاوم به حرارت بر طبق استاندارد ACI از نوع HH, HK که به ترتیب معادل استاندارد DIN: 1.4837, DIN: 1.4848 آلمان با آنالیز شیمیایی بدست آمده به روش کوانتومتری شیمیایی با دقت بسیار بالا به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی فولاد ریختگی مقاوم به حرارت HK بکار رفته در ساخت هوپره‌های شارژ به روش کوانتومتری شیمیایی

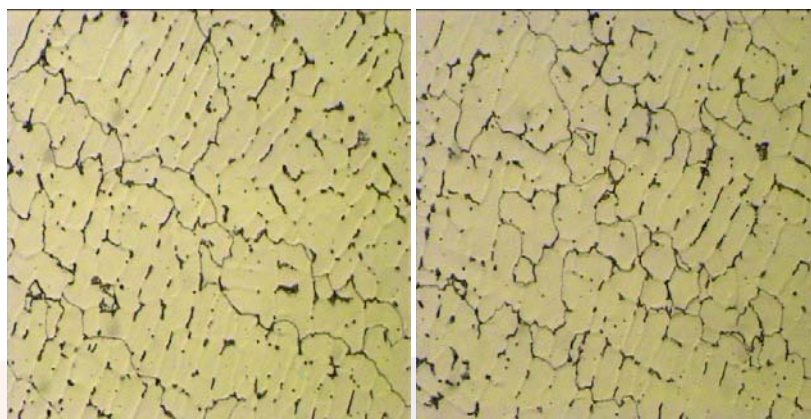
%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Al	%W
۰/۴۷	۰/۹۶	۱/۵	۰/۰۰۷	۰/۰۱	۲۴/۲	۱۹/۴	۰/۴۹	۰/۰۰۸	۰/۰۱
%Nb	%Co	%Cu	%Fe						
۰/۳۲	۰/۶۴	۰/۱۶	۵۱/۴						

جدول ۲- آنالیز شیمیایی فولاد ریختگی مقاوم به حرارت HH بکار رفته در ساخت هوپره‌های شارژ به روش کوانتومتری شیمیایی

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Al	%W
۰/۴۷	۰/۸۲	۱/۸	۰/۰۳	۰/۰۳	۲۴/۰	۱۱/۷	۰/۲۳	۰/۰۱	۰/۰۱
%Nb	%Co	%Cu	%Fe						
۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۲۶	۶۰/۰						

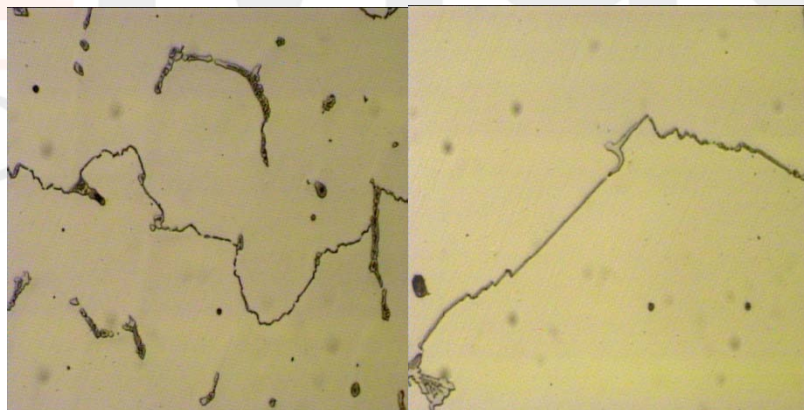
در شکل ۱ و ۲ ساختار میکروسکوپی بعد از اچ HH در اندازه‌های مختلف نشان داده شده است. ساختار دندریتی دانه‌های آستنیت به همراه کاربیده‌های توده‌ای پراکنده در زمینه و مرزدانه‌ها و فیلم کاربیدی در بیشتر مرزدانه‌ها مشاهده می‌شود. در زیر

میکروسکوپ درصد کاربیده‌های توده ای که در ساختار مشاهده می‌شد حدود ۳٪ ~ می‌باشد. در ساختار اینگونه فولادها بدلیل اینکه کربن و نیکل عناصر پایدارکننده آستنیت هستند و کرم عنصر پایدارکننده فریت می‌باشد درصد کربن، کرم و نیکل باید طوری موازنه شوند که ساختار کاملاً آستنیتی باشد و از ایجاد فاز فریت جلوگیری شود. فریت ساختار را دچار مشکل می‌کند و علاوه بر اینکه سختی و استحکام را پایین می‌آورد باعث ایجاد فاز سیگما می‌شود. در اینجا همانطور که گفته شد ساختار کاملاً آستنیتی می‌باشد.

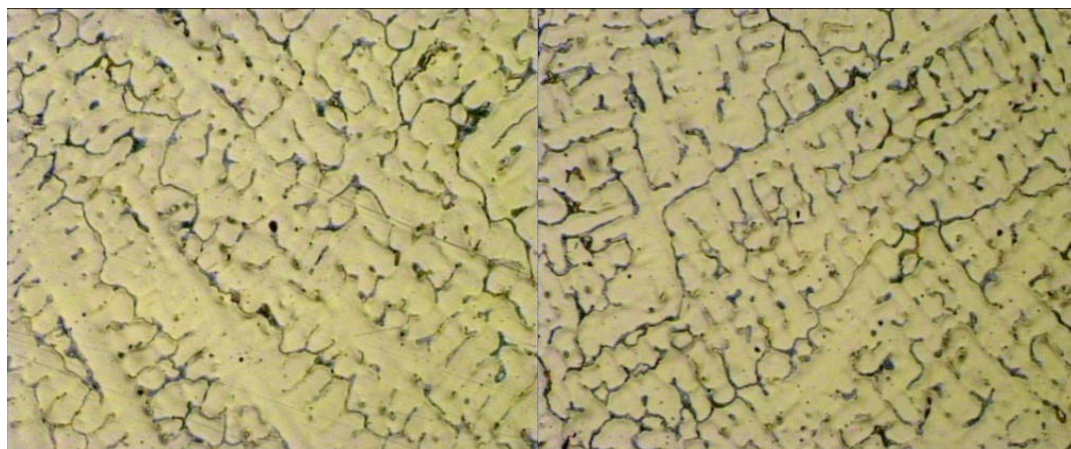


شکل ۱- ساختار دندریتی دانه‌های آستنیت به همراه کاربیده‌های توده‌ای پراکنده در زمینه و مرزدانه‌ها در اندازه‌ی ۲۰۰ میکرو متر HH: محلول ظاهر کننده: گلیسرژیا

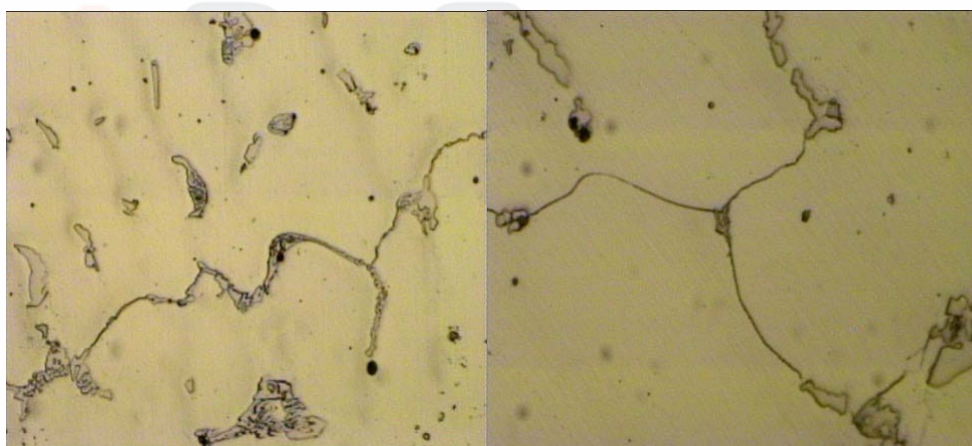
در شکل ۲ فیلم پیوسته کاربید در مرزدانه با بزرگنمایی بالاتر قبل از عملیات حرارتی را مشاهده می‌کنید. کاربید توده‌ای که در مرزدانه وجود دارد می‌تواند خواص را کاهش داده و ایجاد ترک نماید.



شکل ۲- همان ساختار در بزرگنمایی بالاتر و مشاهده فیلم کاربیدی در بیشتر مرزدانه‌ها نمونه HH: محلول ظاهر کننده: گلیسرژیا ساختار میکروسکوپی بعد از اچ نمونه HK در اندازه‌های مختلف در شکل ۳ الی ۵ نشان داده شده است. ساختار دندریتی دانه‌های آستنیت به همراه کاربیده‌های توده‌ای پراکنده در زمینه و مرزدانه‌ها و فیلم کاربیدی در بیشتر مرزدانه‌ها و مقادیری رسوبات ریز کاربیدی عمدتاً در اطراف کاربیده‌های توده‌ای مشاهده می‌شود. در نمونه HK درصد کاربیده‌های توده‌ای که با SEM تعیین شد حدود ۵٪ < بود.

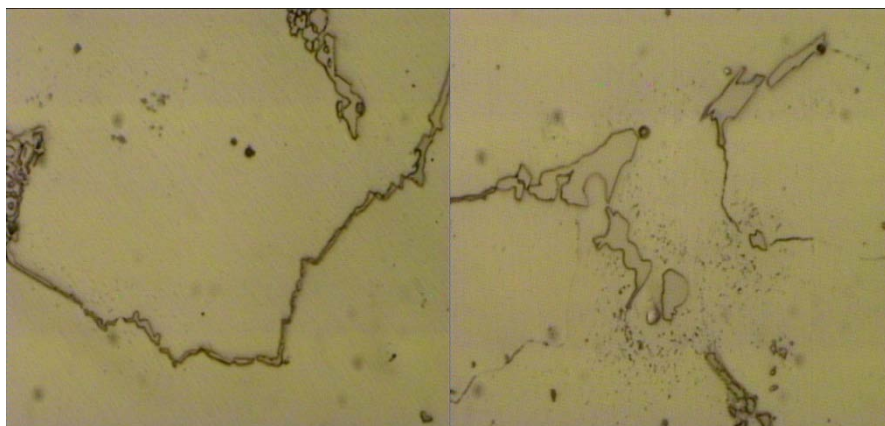


شکل ۳- ساختار دندریتی دانه‌های آستنیت به همراه کاربیدهای توده‌ای پراکنده در زمینه و مرزدانه‌ها نمونه HK: محلول ظاهر کننده: گلیسرژیا

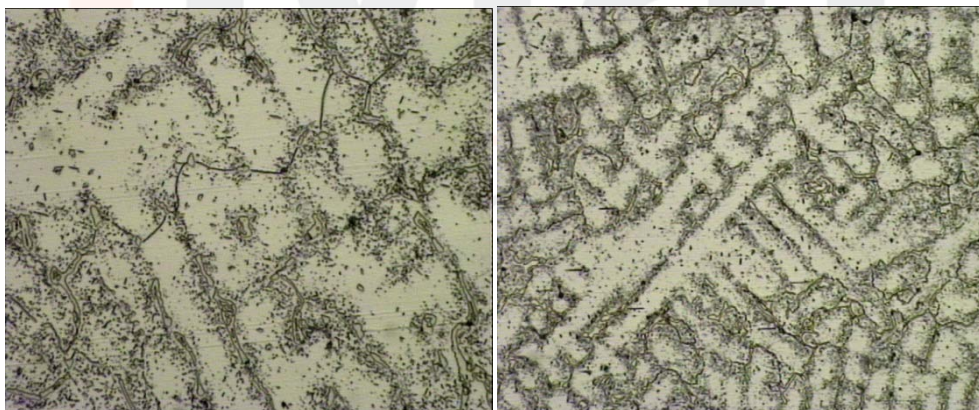


شکل ۴- ساختار HK در بزرگنمایی بالاتر و مشاهده فیلم کاربیدی در بیشتر مرزدانه‌ها. محلول ظاهر کننده: گلیسرژیا

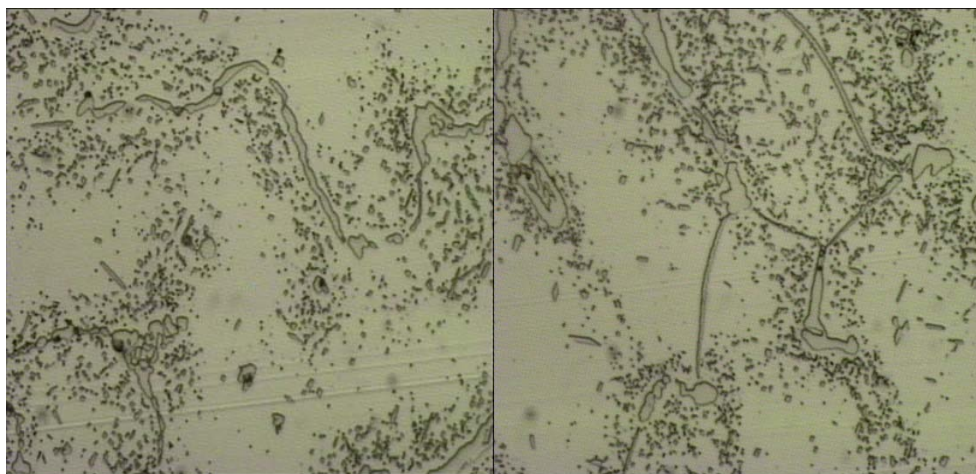
در شکل شماره ۵ کاربیدهای توده‌ای را نشان می‌دهد به همراه ذرات ریز رسوبات کاربیدی در اطراف آنها که این ذرات یا فرصت نیافتند که مجتمع شوند و به شکل توده‌ای دربیایند و یا بدلیل اینکه کرم موجود در نمونه با کربن ترکیب شده و به صورت کاربید توده‌ای در آمده و در اطراف آن غلظت کرم کمتر شده و به صورت نقاط ریز در اطراف کاربیدهای توده‌ای تشکیل شده‌اند.



شکل ۵- فیلم کاربیدی و مقادیری رسوبات ریز کاربیدی عمدتاً در اطراف کاربیدهای توده‌ای نمونه HK؛ محلول ظاهر کننده: گلیسرژیا کوپن‌ها بعد از اینکه عملیات حرارتی شدند برای بررسی ساختار به آزمایشگاه برده شد و پس از آماده سازی با محلول گلیسرژیا اچ شد. در شکل‌های ۶ و ۷ ساختار دو فولاد را نشان داده است. کاربید توده‌ای و ذرات ریز کاربید به صورت پراکنده در زمینه آستنیت و مرزدانه‌ها توزیع شده است؛ و همچنین مشاهده تجمع ذرات ریز کاربید کروی و سوزنی در اطراف کاربیدهای توده‌ای نمایان است. با عملیات حرارتی که گرم کردن کوپن‌ها در دمای حل شدن کاربید و سپس سرد کردن سریع می‌باشد کاربیدهای توده‌ای و پیوسته حل شدند؛ و بدلیل سرعت سرد کردن زیاد فرصت تجمع نیافتند و اکثراً به صورت پراکنده در زمینه توزیع شدند و از تشکیل کاربید پیوسته و توده‌ای تا حدودی جلوگیری شد.



شکل ۶- ساختار متالوگرافی کوپن‌های عملیات حرارتی شده. سمت چپ کوپن HH و سمت راست کوپن HK را با بزرگنمایی $50\times$ مشاهده می‌شود.



شکل ۷- ساختار متالوگرافی کوپن‌های عملیات حرارتی شده. الف) سمت چپ کوپن HH و ب) سمت راست کوپن HK را با بزرگنمایی $20\mu m$ مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری

کاربیدهای توده‌ای و تجمع ذرات ریز کاربید در نمونه کوپن HH و HK به وضوح دیده شد. کاربیدها در بین دندریت‌های آستنیت تشکیل شد. کاربید توده‌ای در مرز دانه با انجام عملیات حرارتی و سریع سرد کردن توزیع مناسب‌تری پیدا کردند و به صورت کروی و سوزنی در زمینه پخش شدند و ساختار بهبود یافت. عدم موازنه شیمیایی باعث انحراف از مقادیر استاندارد می‌شود و وجود فاز فریت و آستنیت و جدایش عناصر آلیاژی را به همراه دارد. موازنه شیمیایی بین عناصر آلیاژی فریت‌زا و عناصر آلیاژی آستنیت‌زا باعث زمینه کاملاً آستنیتی می‌شود. پیشنهاد می‌شود که میزان خوردگی فولادها با ساختار عملیات حرارتی که اصلاح شده بررسی شود. استحکام مکانیکی این فولادها با ساختار اصلاح شده بررسی شود.

منابع

- ۱- دانا، محمد مهدی، شمعانیان، مرتضی، ساعتچی، احمد، و مهدی امینی، (۱۳۹۰). بررسی تاثیر پدیده پودری شدن بر تغییرات ریز ساختاری فولاد مقاوم به حرارت HP-Nb پیر شده، پنجمین همایش مشترک انجمن مهندسی متالورژی ایران، اصفهان: انجمن علمی ریخته‌گری ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۲- دهملایی، رضا، شمعانیان، مرتضی (۱۳۸۹). بررسی ارتباط ریز ساختار و خواص مکانیکی در فولاد مقاوم به حرارت Cr-35Ni25، سمپوزیوم فولاد ۱۳۸۹، اصفهان: انجمن آهن و فولاد ایران.
- ۳- شمعانیان، مرتضی، (۱۳۸۵). بررسی ریز ساختار فولاد HK40 در شرایط ریختگی و پیرشده، هفتمین سمینار ملی مهندسی سطح و عملیات حرارتی، اصفهان: انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۴- وحدت نیا، مهدیه، عباسی، مجید، بلالی اوصیاء، موسی، نوایی، علی، (۱۳۸۹). اثر متغیرهای ریخته‌گری بر ریزساختار و خواص مکانیکی فولاد نسوز DIN:1.4848، سمپوزیوم فولاد ۱۳۸۹، اصفهان: انجمن آهن و فولاد ایران

- 5- Covarrubias, O, Osvaldo, E, (2009). " Metallurgical Effects of Solution Heat Treatment Temperatures of Alloy Haynes™ HR-120™ for Land-Based Turbine Application", IMRC 2009.
- 6- Saldana-Garces, R, Miranda-Perez, A, (2014). "Microstructural and Mechanical Properties of 308 and 409 Stainless Steel Welded by GTAW process", Symposium 5C- Structural and chemical characterization of Metals, Alloy and compounds, MRS Proceedings, Cambridge, vol 1616.
- 7- linqing, xu, zesheng, yan, (2013). "precipitation kinetics of M23C6 in T/P92 heat-resistant steel by applying soft-impingement correction", Journal of Materials Research, vol 28, no 11, pp 1529-1537
- 8- Garrison, W, Maloney, J, (1991). "sulfide Stability, Void Nucleation and the toughness of Ultra High Strength Steels", MRS Proceedings, vol 186.
- 9- Qiuzhi, Gao, Yongchang, Liu, (2012). " Martensite transformation in the modified high Cr ferritic heat-resistant steel during continuous cooling", Journal of Materials Research, vol 27, no 21, pp 2779-2789
- 10- ASM Handbook, (2005). Heat Resistance Alloys, vol. 1, London
- 11- Garcia, J, Castillo, M, (2010). "Carbide Precipitation Study in a High Heat Resistance Austenitic Stainless Steel HK 40", Structural and chemical characterization of Metals, Alloy and compounds, MRS Proceedings, Cambridge, vol 1275.
- 12- linqing, xu, zesheng, yan, (2013). "Microstructure evolution and martensitic transformation behaviors of 9Cr-1.8W-0.3Mo ferritic heat-resistant steel during quenching and partitioning treatment", Journal of Materials Research, vol. 28, no 20, pp 2835-2843.

iMat
Conference 2014