

بررسی تأثیر استفاده از حمام سریع سردی آب نمک بر رفتار خوردگی فولاد منگنزی هادفیلد

مسعود سبزی^۱، صادق معینی فر^{۲*}، ابراهیم نجفی بیرگانی^۳

چکیده

در این پژوهش، اثر استفاده از حمام سریع سردی آب نمک بروی رفتار خوردگی فولاد منگنزی هادفیلد مورد بررسی قرار گرفت. برای تهیه فولاد منگنزی براساس استاندارد ASTM A-۱۲۸، ابتدا دو مدل Y شکل از جنس آلومینیوم تهیه شده و سپس قالب گیری به روش سیلیکات سدیم/CO₂ به صورت تغذیه روپسته انجام شد. برای ریخته‌گری نمونه‌ها از کوره القایی بدون هسته کمک گرفته شد. پس از ریخته‌گری، هر دو نمونه تحت عملیات حرارتی آستنیت در دمای ۱۱۰۰°C به مدت ۲ ساعت قرار گرفته و سپس یک بلوک در حمام آب خالص و دیگری در حمام آب نمک ۳ درصد سریع سردی شد. جهت بررسی رفتار خوردگی هر دو نمونه از روش‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک و طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی در محلول ۳/۵٪ NaCl استفاده شد. نتایج هر دو روش نشان می‌دهد، نمونه‌ای که در حمام آب نمک ۳ درصد سریع سردی شده، دارای مقاومت به خوردگی بسیار بالاتری نسبت به نمونه‌ی سریع سردی شده در حمام آب خالص است. این امر به دلیل این بود که: ۱- حمام آب نمک سبب کاهش مقدار کاربیدهای موجود در ریزساختار شده و از تشکیل پیل گالوانیکی جلوگیری می‌کند. ۲- حمام آب نمک سبب افزایش حلالیت کربن در زمینه آستنیت شده که این امر باعث می‌شود تعداد مرزخانه‌ها کاهش یابد.

واژه‌های کلیدی: فولاد منگنزی، رفتار خوردگی، حمام آب نمک، عملیات حرارتی، سریع سردی.

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مواد و متالورژی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

^۲ - استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

^۳ - استادیار، گروه مواد و متالورژی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*- نویسنده مسئول مقاله: moeinifar@gmail.com

پیشگفتار

نسبت به مارتنزیت در فولادهای منگنزی می‌شود. فولاد منگنزی هادفیلد به دلیل دارا بودن مقدار کربن بالا و دانه‌های آستنیت، ساختار آن در حالت ریخته‌گری و رسوب‌های کاربید مرزدانه‌ای است که در این حالت ترد و شکننده بوده و به نوعی غیرقابل استفاده تبدیل شده‌اند. برای رفع این مشکل رواندوست و همکارانش [۹] نشان دادند که اگر پس از ریخته‌گری، این فولاد تحت تند سرمای مستقیم در آب قرار گیرد، کاربیدهای مرزدانه‌ای حذف شده و این عمل از اثرات نامطلوب بروی خواص مکانیکی فولاد جلوگیری می‌کند. در همین راستا، حسینی و همکارانش [۱۲-۱۰] اثبات نمودند که اگر پس از فرآیند عملیات حرارتی آستنیت، فولاد هادفیلد را در حمام آب نمک سرد قرار دهیم، می‌توان از تشکیل ذرات کاربید مرزدانه‌ای در ساختار این فولاد منگنزی جلوگیری نمود.

با توجه به این که یکی از دلایل اصلی کاربرد فولاد منگنزی هادفیلد، مقاومت به سایش بالای آن می‌باشد، مقدم [۱۳]، جانسون [۱۴] و همکارانشان به بررسی خواص سایشی این فولاد پرداختند. مقدم و همکارانش به مقایسه خواص سایشی فولاد منگنزی پروانادیوم با فولاد منگنزی هادفیلد پرداختند و دریافتند که افزودن وانادیوم به فولادهای منگنزی، سبب افزایش مقاومت به سایش آن‌ها تا میزان ۵ برابر بیش‌تر از فولاد منگنزی هادفیلد می‌شود که دلیل آن، تشکیل ذرات کاربید وانادیوم در ساختار فولاد حاوی وانادیوم گزارش شده است. جانسون و همکارانش به مقایسه خواص و ساختار فولاد منگنزی هادفیلد و آلیاژهای آهن با کروم بالا پرداختند و نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که فولاد منگنزی هادفیلد از سختی پایین‌تری برخوردار می‌باشد که این نتایج به دلیل توزیع ذرات کاربید کروم در ساختار آلیاژهای آهن حاوی کروم توجیه شده است. عباسی و همکارانش [۱۵]، برای بررسی رفتار سایشی فولاد منگنزی هادفیلد، از روش پین روی دیسک استفاده نمودند و نشان دادند که با توجه به میزان کارسختی بالای فولاد هادفیلد، ابتدا سایش در اثر کندگی (خراشان) و تغییر شکل پلاستیک شدید پیشرفت می‌کند و سپس با کارسخت شدن سطح، سایش خستگی اتفاق می‌افتد.

اولین فولاد منگنزدار آستنیتی که دارای حدود ۱/۲ درصد کربن و ۱۲ درصد منگنز بود، توسط سر رابرت هادفیلد در سال ۱۸۸۲ میلادی تهیه شد. فولاد آستنیتی پر منگنز از دسته فولادهای پرآلیاژی است که معروف‌ترین آن‌ها به نام فولاد هادفیلد است که در صنایع راه آهن کاربرد زیادی دارد. این فولادها با استحکام بالا، انعطاف پذیری خوب، کارسختی بالا و مقاومت عالی در برابر سایش، کاربردهای گسترده‌ای در صنایع گوناگون نظیر صنایع سیمان، معدن، راهسازی و راه آهن دارند [۱۰ و ۱۲]. این فولاد، آلیاژی از آهن، کربن و منگنز است که در موارد خاص بنا به کاربرد آن، عناصر آلیاژی دیگری نیز به آن اضافه می‌شود. یکی از این عناصر، عنصر تیتانیوم می‌باشد که استفاده از آن جهت ریزدانه کردن ساختار و افزایش سختی در این فولاد، نتایج بسیار مثبتی به جای گذاشته است [۳ و ۴]. اگرچه این عنصر با ایجاد کاربیدهای پایدار، سبب افزایش سختی و بهبود مقاومت سایشی فولاد منگنزی هادفیلد شده؛ اما از طرفی هم با ایجاد کاربیدهای مرزدانه‌ای، سبب کاهش چقرمگی آن می‌شود [۵]. از جمله عناصر آلیاژی دیگری که تأثیر آن بروی خواص فولاد منگنزی هادفیلد مورد بررسی قرار گرفته، عنصر بور است. افزودن بور به میزان ۰/۰۰۳-۰/۰۰۴ درصد به فولاد منگنزی هادفیلد باعث کاهش رسوب گذاری طی سرد کردن در فرآیند عملیات حرارتی می‌گردد. هم‌چنین با افزایش مقدار بور به فولاد هادفیلد، متوسط اندازه دانه‌های آستنیتی کاهش می‌یابد [۶].

خیاط و همکارانش [۷] به بررسی تأثیر آلومینیوم بر خواص و ریزساختار فولاد منگنزی هادفیلد پرداختند و دریافتند که افزودن آلومینیوم به فولاد منگنزی هادفیلد، منجر به کاهش کاربیدهای مرزدانه‌ای در ساختار ریختگی شده و مورفولوژی کاربیدها را از حالت پیوسته خارج کرده و به شکل منقطع تبدیل می‌کند. تیان و ژان^۱ [۸] با انجام تحقیقاتشان، نشان داده‌اند که افزایش میزان آلومینیوم در فولادهای منگنزی، نیرو محرکه لازم برای انجام استحاله آستنیت به مارتنزیت را در این فولادها افزایش داده و هم‌چنین دمای تشکیل مارتنزیت (M_s^1) را کاهش می‌دهد. در نتیجه آلومینیوم سبب پایداری فاز آستنیت

¹ Tian and Zhan

² Martensite start

استوانه‌ای به قطر ۷mm و ارتفاع ۳۰mm به وسیله دستگاه تراش تهیه شد. در مرحله بعد نمونه‌های تراشکاری شده به سمباده و پولیش پرداخته شد تا سطحی بدون هیچ آلودگی بدست آید. سپس یک قسمت از نمونه به اندازهی 1cm^2 جهت تماس با محلول $3/5\% \text{NaCl}$ در نظر گرفته و مابقی پوشش داده شد. در این مرحله یک سمت از نمونه استوانه‌ای تهیه شده را به درون محلول $3/5\% \text{NaCl}$ فرو برده و سمت دیگر آن به گیره‌ی دستگاه متصل گردید. به منظور ارزیابی رفتار خوردگی فولاد هادفیلد در محلول $3/5\% \text{NaCl}$ ابتدا هر نمونه در پتانسیل مدار باز به مدت زمان نیم ساعت غوطه ور شد تا به حالت پایدار برسد. پس از آماده سازی نمونه‌های موردنیاز برای آزمون‌های الکتروشیمیایی، ابتدا آزمون OCP بر روی نمونه‌ها انجام گرفت و بعد طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی در پتانسیل مدار باز و با بکارگیری دامنه‌ی 10mV در محدوده فرکانسی 10mHz - 10kHz انجام شد. سپس آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک در محدوده -400mV تا $+1000\text{mV}$ نسبت به OCP و با نرخ روبش $0/01\text{V/S}$ انجام شد. آزمون‌های الکتروشیمیایی با استفاده از پیل استاندارد سه الکترودی، شامل الکتروود مرجع Ag/AgCl ، الکتروود کمکی پلاتین و همچنین از نمونه‌های فولادی مورد آزمون به عنوان الکتروود کار، انجام شدند و سل مذکور به دستگاه پتانسیواستات - گالوانواستات (Autolab) مدل $\text{PGStat}302\text{N}$ متصل گردید. هر دو آزمون الکتروشیمیایی مورد استفاده، در دمای 25°C انجام شده و جهت اطمینان از به دست آمدن نتایج دقیق، هر آزمون الکتروشیمیایی سه مرتبه تکرار شد. پس از پایان هر دو آزمون الکتروشیمیایی، از سطح مورد آزمایش نمونه‌ها به وسیله میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) تصاویری تهیه شد.

با توجه به کاربردهای ذکر شده برای فولاد هادفیلد، در همه‌ی کاربردها، فولاد مذکور در معرض عوامل خوردنده بوده (به ویژه در صنایع ریلی) و بدون شک، یکی از علل تخریب این فولاد می‌تواند خوردگی باشد. در صورتی که در پژوهش‌های گذشته بیش‌تر به دنبال بهبود و اصلاح خواص مکانیکی و ریزساختار این فولاد بوده‌اند. لذا در این پژوهش لازم دیده شد که راهکاری جهت بهبود رفتار خوردگی فولاد منگنزی هادفیلد ارائه داده شود که هم در پژوهش‌های پیشین به این موضوع پرداخته نشده بود و هم از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد.

مواد و روش‌ها

فولاد مورد استفاده در این تحقیق، فولاد منگنزی آستنیتی ASTM A-128 [۱۶] بود. برای تهیه این فولاد مطابق با استاندارد ذکر شده، ابتدا دو مدل Y شکل از جنس آلومینیوم تهیه شده و سپس قالب گیری به روش سیلیکات سدیم / CO_2 به صورت تغذیه روبسته انجام شد. برای ریخته گری نمونه‌ها از کوره القایی بدون هسته کمک گرفته شد. قابل ذکر است که ترکیب شیمیایی هر دو بلوک توسط دستگاه کوانتومتر Foundry Master ساخت کشور آلمان کنترل شد و در جدول ۱ نشان داده شده است. پس از ریخته گری، هر دو بلوک تحت عملیات حرارتی آستنیت در دمای 1100°C به مدت ۲ ساعت قرار گرفته و سپس یک بلوک در حمام آب خالص و دیگری در حمام آب نمک ۳ درصد سریع سردی گردید. جهت بررسی ریزساختار نمونه‌های ریخته گری و عملیات حرارتی شده، نمونه‌ها با استفاده از سمباده‌های گوناگون آماده سازی شدند. برای اچ کردن نمونه‌ها از محلول نایتال ۲ درصد استفاده شد. در نهایت ریزساختارهای حاصل توسط میکروسکوپ نوری OLYMPUS مدل CX۲۱ بررسی شد. جهت تهیه‌ی نمونه‌های موردنیاز برای آزمون‌های الکتروشیمیایی از یک یال هر Y بلوک، نمونه

جدول ۱- آنالیز شیمیایی فولاد هادفیلد تولید شده بر حسب درصد وزنی

Sample	C	Mn	Cr	Si	P	Fe
ASTM A-128	۱/۰۵ - ۱/۳۵	۱۱/۵ - ۱۴/۵	۱/۵ - ۲/۵	۱ max	۰/۰۷ max	بقیه
Block Y	۱/۲۱	۱۲/۲۲	۱/۷۳	۰/۴۲۵	۰/۰۲۵	بقیه

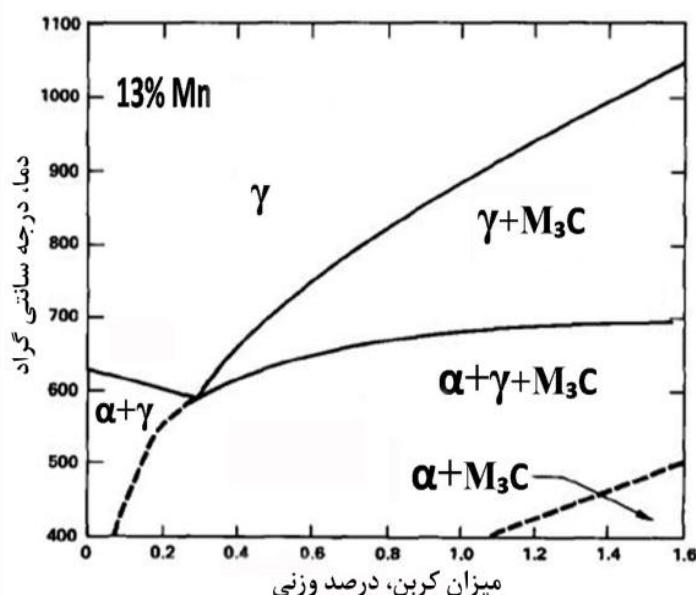
نتایج و بحث

منگنزی هادفیلد با ۱/۲٪C تقریباً از دمای 900°C شروع به تشکیل کرده و تا دمای 400°C ادامه دارد. لذا برای حل شدن کاربیدهای موجود در فولاد منگنزی هادفیلد، لازم است که این فولاد در دماهای بالاتر از 900°C حرارت داده شود. در این حالت کاربیدهای به وجود آمده پس از ریخته گری، حل گشته و کربن موجود در آن به جای واکنش با عناصر کاربیدیابی مانند آهن، کروم و منگنز، به صورت محلول جامد بین نشین در زمینه آستنیتی قرار می‌گیرد.

یکی از رایج‌ترین حمام‌های سریع سردی، حمام آب خالص است. اما قدرت سرد کنندگی آب در حوالی 300°C است، یعنی دمایی که در اکثر فولادها، مارتنزیت شروع به تشکیل شدن می‌کند. با اضافه کردن ۱۰٪NaCl به آب، قدرت سرد کنندگی آن به نحو قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و در عین حال حداکثر قدرت سرد کنندگی آن از 300°C به 500°C افزایش می‌یابد (قدرت سرد کنندگی آب نمک ۱۰ درصد نسبت به آب خالص برابر با ۱/۹۶ است) [۱۹].

فولاد هادفیلد، پرکاربردترین فولاد منگنزی آستنیتی مورد استفاده در صنعت می‌باشد [۴ - ۱] که جهت کاربردهای سایشی پیشنهاد شده و در این پژوهش به بررسی رفتار خوردگی و چگونگی بهبود مقاومت به خوردگی آن پرداخته شده است. ترکیب شیمیایی نمونه‌ی تولید شده در جدول ۱ مشاهده می‌شود. همان گونه که مشاهده می‌شود، کربن در حدود ۱/۲٪ در ترکیب وجود دارد. از طرفی هم عناصری نظیر آهن، کروم و منگنز وجود دارند که همگی کاربیدزا هستند. بنابراین، انتظار می‌رود که ذرات کاربیدی به وجود آمده در فولاد منگنزی هادفیلد، به صورت کاربید کمپلکس $(\text{Fe,Mn,Cr})_{23}\text{C}_6$ باشد. تشکیل کاربید در فولادها نقش مهمی در رفتار خوردگی آن‌ها دارد. به طور مثال، یکی از عمده‌ترین و شایع‌ترین نوع خوردگی در فولادهای زنگ نزن، خوردگی بین دانه‌ای ناشی از رسوب کاربید کروم در مرزدانه‌ها می‌باشد [۱۷].

با توجه به دیاگرام تعادلی Fe-C-Mn که در شکل ۱ [۱۸] نشان داده شده است، ذرات کاربیدی برای فولاد

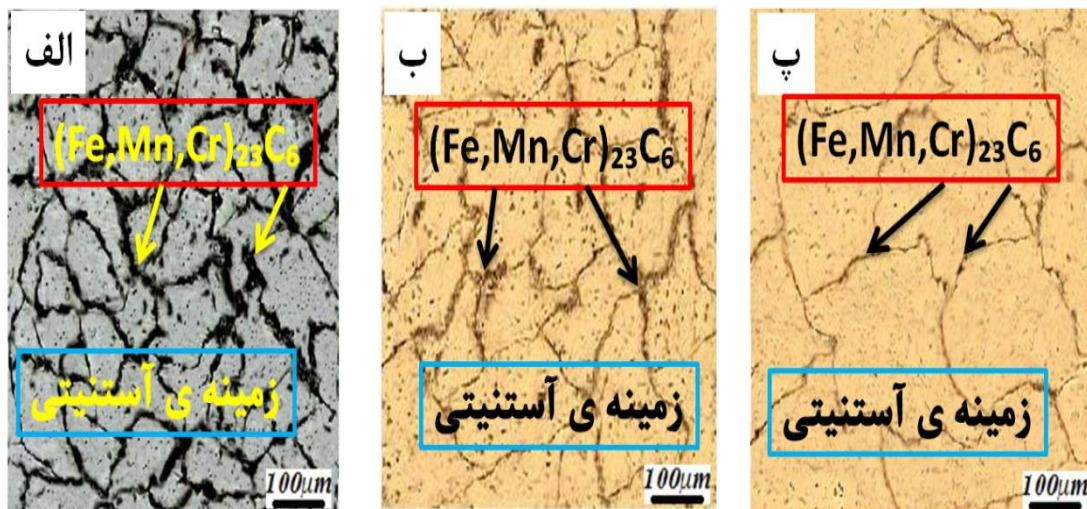


شکل ۱- نمودار تعادلی Fe-C-Mn در ۱۳ درصد وزنی Mn [۱۸]

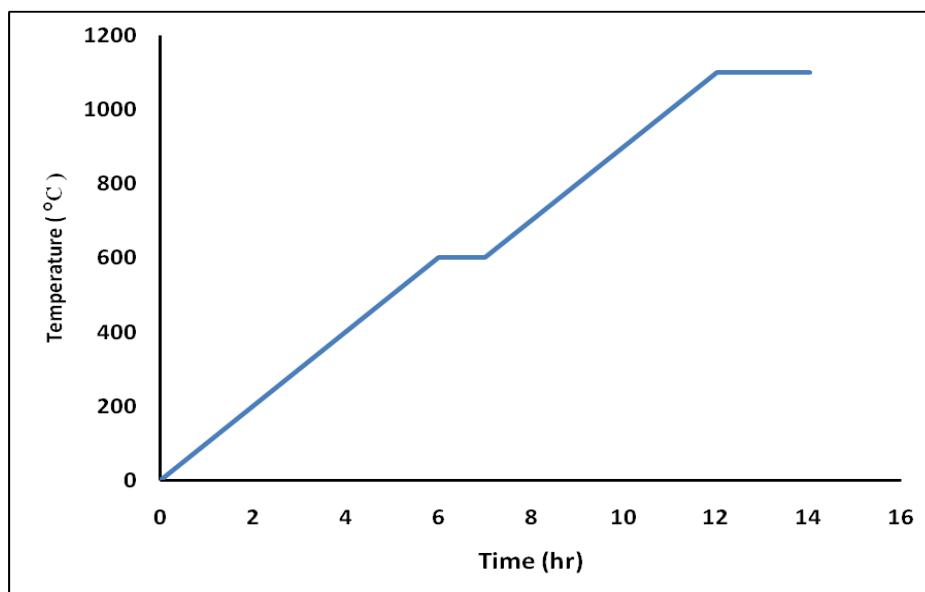
مشاهدات ریزساختاری

شکل ۲، تصاویر متالوگرافی تهیه شده توسط میکروسکوپ نوری از فولاد منگنزی مورد استفاده در این پژوهش را در شرایط گوناگون نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود، در حالت ریخته‌گری و بدون عملیات، ریزساختار متشکل از یک زمینه آستنیتی و مقدار زیادی کاربید پیوسته در مرزها بوده که با انجام عملیات حرارتی در دمای 1100°C (شکل ۳)، از حجم کاربیدها در ریزساختار کاهش یافته و پس از عملیات حرارتی مقداری کاربید پراکنده در ریزساختار مشاهده می‌شود. دلیل زمینه آستنیتی را می‌توان به حضور مقادیر بالای کربن و منگنز و همچنین عملیات حرارتی در دمای 1100°C اثبات نمود. Lee and Choi [۲۰]، نشان دادند که با افزایش منگنز در آلیاژهای منگنزی، دمای شروع تشکیل مارتنزیت به میزان بسیار زیادی کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که در آلیاژهای پر منگنز یک زمینه کاملاً

آستنیتی را می‌توان مشاهده نمود. با توجه به شکل ۲، تصاویر متالوگرافی به خوبی گویای این واقعیت است که نمونه‌ی B که در حمام آب نمک ۳ درصد سریع سردی شده، دارای میزان ذرات کاربیدی بسیار کم‌تری نسبت به نمونه‌ی A که در حمام آب خالص سریع سردی شده، می‌باشد که دلیل این اتفاق قدرت خنک‌کنندگی بیشتر حمام آب نمک ۳ درصد است. نمونه‌ی B با سرعت بیشتری بازهی دمایی $900-400^{\circ}\text{C}$ را طی نموده و فرصت کافی به کربن برای واکنش با عناصر کاربیدزای موجود در ترکیب داده نشده است و ذرات کاربیدی کم‌تری در آن تشکیل شده است. برای بررسی این موضوع، میزان ذرات کاربیدی به وسیله نرم افزار Image J اندازه‌گیری شده است و در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۲- تصاویر متالوگرافی بلوک Y در شرایط: الف) قبل از عملیات حرارتی، ب) سریع سردی شده در آب خالص (نمونه، پ) سریع سردی شده در آب نمک ۳ درصد (نمونه B)



شکل ۳- سیکل عملیات حرارتی اعمال شده به هردو نمونه ی A و B



شکل ۴- تعیین توزیع کاربید در نمونه های مختلف توسط نرم افزار Image J

منجر به افزایش حلالیت کربن در شبکه آستنیت، کاهش مقدار کاربیدها و بزرگ ماندن دانه های آستنیت (به دلیل کاهش مقدار ذرات کاربیدی به عنوان موانع حرکت مرزدانه ها) پس از عملیات آستنیتیه در فولاد هادفیلد گشته است. در واقع رفتار الکتروشیمیایی بهتر نمونه ی B نسبت به نمونه ی A، به دلیل کاهش مقدار ذرات کاربیدی و کاهش تعداد مرزدانه ها می باشد. در مقابل نمونه ی A که دارای میزان کاربید و تعداد مرزدانه ی بیشتری است،

آزمون های الکتروشیمیایی

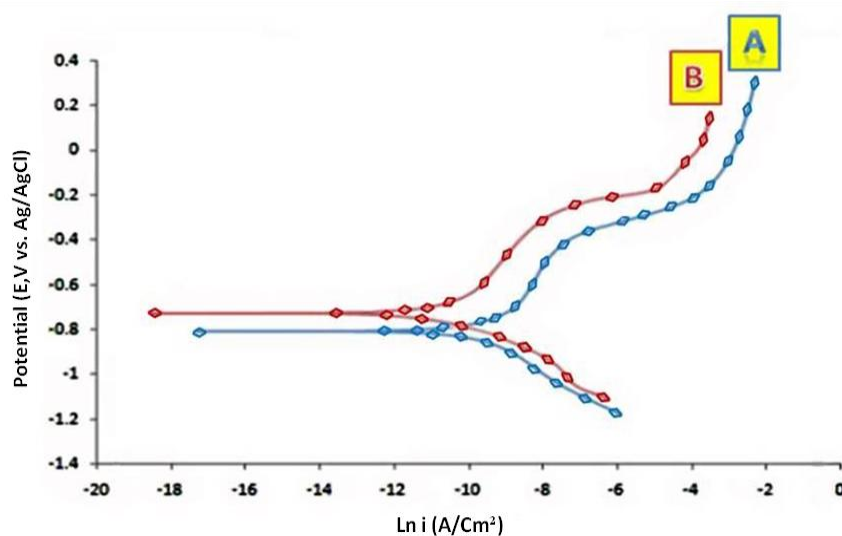
در شکل ۵ نمودار مربوط به آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک و در جدول ۲ نتایج مربوط به این آزمون نشان داده شده است. مشاهده می شود که در بین هردو نمونه ی مورد آزمایش، نمونه ی B از مقاومت به خوردگی بالاتر، پتانسیل خوردگی نجیب تر، جریان خوردگی و نرخ خوردگی پایین تری برخوردار می باشد. با توجه به این که نمونه ی B در حمام آب نمک سریع سردی شده و این امر

پلاریزاسیون پتانسیودینامیک حکایت از این دارد که نمونه‌ی سریع سردی شده در حمام آب نمک رفتار الکتروشیمیایی بهتری دارد.

شکل ۶، نمودار نایکویست مربوط به آزمون طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی در محلول ۳/۵٪ NaCl را برای هر دو نمونه نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود نمونه B مقاومت واقعی امپدانس (Z') بیشتر نسبت به نمونه A دارد. از آزمون طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی مقادیر مقاومت واقعی امپدانس $\Omega \cdot \text{cm}^2$ ۲۲۴ برای نمونه A و $269 \Omega \cdot \text{cm}^2$ برای نمونه B بدست آمد. در مجموع با مقایسه نمودارهای نایکویست نمونه‌های A و B، مشاهده می‌شود که قطر نیم دایره نمودارهای نایکویست که نمادی از مقاومت پلاریزاسیون نمونه‌هاست، برای نمونه B بیشتر است. همچنین نتایج مقاومت به خوردگی حاصل شده از آزمون طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی با آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک همخوانی دارند.

مقاومت به خوردگی پایین‌تر، پتانسیل خوردگی منفی‌تر، جریان خوردگی و نرخ خوردگی بیش‌تری نسبت به نمونه‌ی B دارد. ذرات کاربیدی، ترکیب‌هایی هستند که به پایدارترین حالت رسیده‌اند و دیگر تمایلی به واکنش با محیط اطراف ندارند. بنابراین زمانی که کاربرد $(\text{Fe, Mn, Cr})_{23}\text{C}_6$ در فولاد منگنزی هادفیلد تشکیل می‌شود، به دو دلیل خوردگی را تشدید می‌کنند: ۱- همان گونه که در تصاویر متالوگرافی دیده شد، نمونه‌ی A به دلیل داشتن میزان کاربید بیش‌تر، دارای اندازه دانه‌ی کم‌تری نسبت به نمونه‌ی B می‌باشد. در نتیجه در نمونه‌ی A تعداد مرزدانه‌ها بیش‌تر بوده و مرزدانه‌ها محل‌های پراثرژی هستند که از نظر شیمیایی فعال‌ترند و تمایل به خوردگی را افزایش می‌دهند.

۲- هنگامی که ذرات کاربیدی نجیب‌تر در کنار زمینه فعال قرار می‌گیرند، زوج الکتروشیمیایی تشکیل داده (به دلیل متفاوت بودن رفتار الکتروشیمیایی ذرات کاربیدی و زمینه‌ی آستنیتی) و در نهایت سبب تضعیف شدن مقاومت به خوردگی خواهد شد. در مجموع، نتایج آزمون

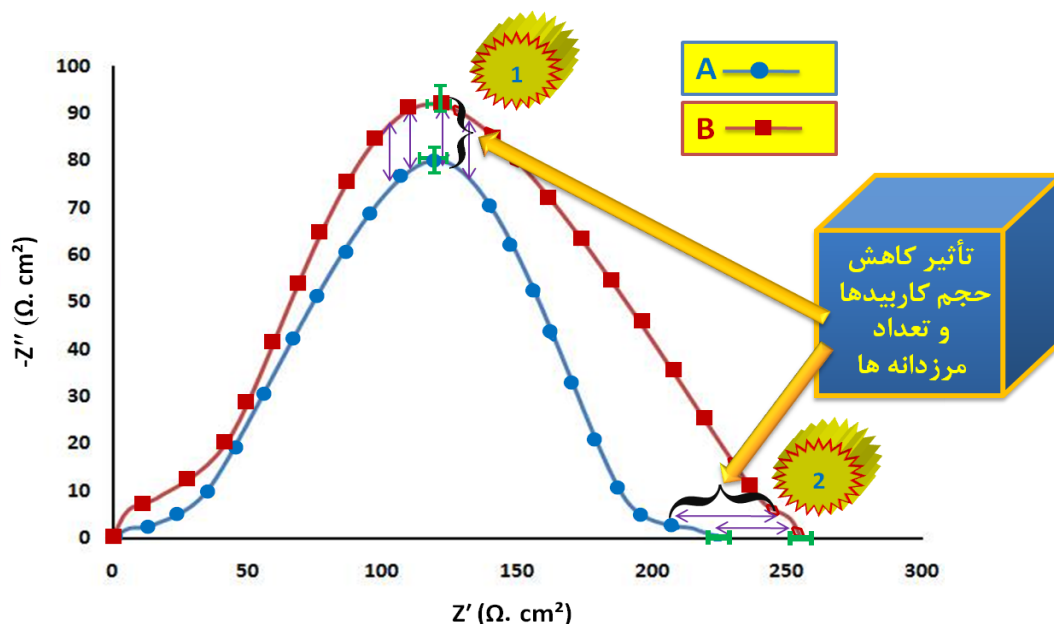


شکل ۵- نمودارهای مربوط به آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک در حداقل سه بار تکرارپذیری

جدول ۲- نتایج آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک

Corr. Rate (mm/year)	R_p ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	E_{corr} (mV vs. Ag/AgCl)	i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	محیط سریع سردی	کد اختصاری	نمونه
۰/۸۲۸۱	140 ± 5	-819 ± 10	155 ± 5	حمام آب خالص	A	بلوک اول
۰/۴۵۳۷	386 ± 5	-711 ± 10	38 ± 5	حمام آب نمک ۳٪	B	بلوک دوم

i_{corr} : جریان خوردگی، E_{corr} : پتانسیل خوردگی، R_p : مقاومت پلاریزاسیون، Corr. Rate: نرخ خوردگی.



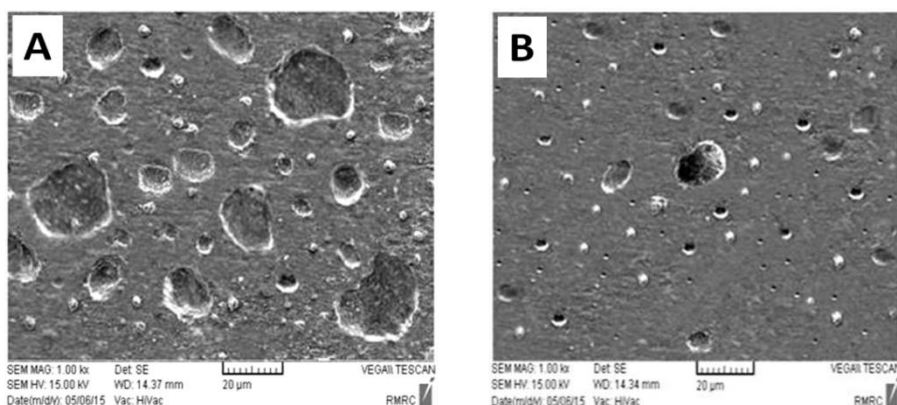
شکل ۶- نمودار نایکویست مربوط به آزمون طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی در حداقل سه بار تکرارپذیری

هم‌چنین سطح خوردگی هر دو نمونه با نتایج حاصل شده از آزمون‌های الکتروشیمیایی مطابقت دارد. در واقع با بررسی‌های سطح خوردگی مشخص شد که خسارات خوردگی در فولاد منگنزی هادفیلد به شکل حفره‌هایی در لایه‌های سطحی می‌باشد که تعداد و عمق این حفره‌ها با سریع سردی در حمام آب نمک کاهش یافته است.

به طور کلی در این پژوهش مشخص شد که حضور نمک در محلول سریع سردی، منجر به بهبود رفتار الکتروشیمیایی در فولاد هادفیلد می‌شود. دلیل این پدیده، قدرت سرد کنندگی بالای حمام آب نمک و توانایی در کاهش حجم کاربیدها، تعداد مرزدانه‌ها و ممانعت از تشکیل پیل گالوانیکی می‌باشد.

بررسی سطح خوردگی

پس از پایان آزمون‌های الکتروشیمیایی، از سطح مورد آزمون هر دو نمونه‌ی A و B توسط میکروسکوپ الکترون روبشی تصاویری تهیه شده که در شکل ۷ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود در نمونه‌ی A (سریع سردی شده در آب خالص)، اندازه حفرات در سطح فولاد نسبت به نمونه‌ی B (سریع سردی شده در حمام آب نمک ۳٪) بسیار درشت‌تر هستند. در نمونه‌ی A عمق حفره‌های ایجاد شده در سطح بیش‌تر است. چون در نمونه‌ی A حجم ذرات کاربیدی و تعداد مرزدانه‌ها بیش‌تر بوده و این امر به خوردگی میکروگالوانیکی کمک کرده است.



شکل ۷- تصاویر SEM از سطح مورد استفاده ی نمونه‌ها در آزمون‌های الکتروشیمیایی

نتیجه گیری

مرزدا نه‌ها و تشکیل پیل گالوانیکی در فولاد هادفیلد جلوگیری می‌نماید.
۴- با بررسی سطوح خوردگی فولاد منگنزی هادفیلد توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی، دیده شد که خسارات خوردگی در این فولاد به شکل حفره می‌باشد و تعداد این حفره‌ها با استفاده از حمام سریع سردی آب نمک کاهش می‌یابد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود واجب می‌دانند که از همکاری‌های مهندس آرش پوربشارتی، مهندس امین قدم دزفولی و کلیه اساتید و دوستانی که در این پژوهش ما دزفولی یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

براساس مطالعات ریزساختاری و آزمون‌های الکتروشیمیایی انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که:
۱- رفتار خوردگی فولاد منگنزی هادفیلد به شدت تحت تأثیر ترکیب محلول سریع سردی می‌باشد. به گونه‌ای که هراندازه سرعت سریع سردی پس از عملیات حرارتی بیشتر باشد، فولاد هادفیلد هم مقاومت به خوردگی بهتری را از خود نشان می‌دهد.

۲- با توجه به نتایج بدست آمده از آزمون‌های الکتروشیمیایی، مشخص شد که استفاده از حمام سریع سردی آب نمک، باعث افزایش مقاومت به خوردگی در فولاد منگنزی هادفیلد می‌شود. با استفاده از دو حمام سریع سردی آب خالص و آب نمک ۳٪، نشان داده شد که نمونه سریع سردی شده در حمام آب نمک ۳٪، مقاومت به خوردگی بالاتری را از خود نشان می‌دهد.

۳- حمام آب نمک به دلیل قدرت سرد کنندگی بالا از تشکیل کاربیدهای درشت و مرزدا نه‌ای، افزایش تعداد

References :

1-D. K. Subramanya, A. E. Swansiger and H.S. Avery, "Austenitic Manganese Steels", ASM Metals Handbook, 10th ed., Vol.1, pp.822-840, 1991.

۲- آ. پوربشارتی، "مقدمه ای بر فولاد های هادفیلد"، پایانامه کارشناسی، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، بهمن ۱۳۹۲.

3-M.B. Limoei and Sh. Hosseini, "Optimization of properties and structure

with addition of titanium in hadfield steels", Proc. Conf. of Metal 2012, Czech Republic, Vol. 1, p. 6, 2012.

۴-و. نعمتی نجف آبادی، ح. مناجاتی زاده، ک. امینی و م. بهرامی علمدارلو، "تغییرات خواص مکانیکی و سایشی فولاد هادفیلد توسط عنصر تیتانیوم"، ماهنامه صنعت ریخته گری، سال ۳۱ شماره ۹۴، ص ۷۰ - ۷۵، بهمن و اسفند ۱۳۹۱.

۵-و. نجف آبادی، ح. مناجاتی زاده و ک. امینی، "بررسی تأثیر تیتانیوم بر بهبود خواص فولاد هادفیلد ASTM A128-C"، فصلنامه علمی پژوهشی فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، سال هفتم شماره اول، ص ۴۵ - ۵۴، بهار ۱۳۹۲.

۶- م. مهری، م. رواندوست و ع.ج. صالحی، "بررسی اثر افزودن فرو بور بر ریز ساختار فولاد منگنزی هادفیلد"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره ی سالانه ی انجمن مهندسیین متالورژی ایران، اصفهان، ج.۱، ص ۸، ۱۳۸۶.

۷- م. خیاط، ش. خیراندیش و م. عباسی، "تأثیر آلومینیم بر ریزساختار فولاد آستنیتی منگنزی هادفیلد در شرایط مختلف عملیات حرارتی"، مجموعه مقالات دومین همایش بین المللی و هفتمین همایش مشترک انجمن مهندسی متالورژی ایران و انجمن ریخته گری ایران، سمنان، ج ۱، ص ۵، ۱۳۹۲.

8-X. Tian and Y. Zhang, "Mechanism on the Effect of Al upon the $\gamma \rightarrow \epsilon$ Martensite Transformation in the Fe-Mn Alloys", Journal of Material Science and Technology, Vol. 12, pp. 369-372, 1996.

- ۹-م. رواندوست، م. نقوی و م.ح. شاعری، "بررسی اثر کوئنچ مستقیم بر ریز ساختار فولاد منگنزی هادفیلد"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره سالانه انجمن مهندسين متالورژی ایران، اصفهان، ج ۱، ص ۹، ۱۳۸۶.
- ۱۰-ش. حسینی، م. ب. لیمویی، ا. ابراهیمی قایی و ن. عرب، "تأثیر ترکیب محلول کوئنچ بر میزان حجم کاربید، ماکرو و میکرو سختی فولادهای منگنزی هادفیلد"، نشریه علمی فنی و تخصصی چدن و فولاد، شماره ۱، ص ۲۱-۲۵، آذر ۱۳۹۰.
- 11-Sh. Hosseini, M. B. Limooei, M. Hossein Zade, E. Askarnia, and Z. Asadi, "Optimization of Heat Treatment Due to Austenising Temperature, Time and Quenching Solution in Hadfield Steels", World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol.7, 2013, pp. 1940-1943.
- 12-Sh. Hosseini and M.B. Limooei, "Optimization of Heat Treatment to Obtain Desired Mechanical Properties of High Carbon Hadfield Steels", World Appl. Sci. J., Vol. 15, pp. 1421-1424, 2011.
- 13- E.G. Moghaddam, N. Varahram and P. Davami, "On the comparison of microstructural characteristics and mechanical properties of high-vanadium austenitic manganese steels with the Hadfield steel", Mate. Sci. and Eng. A, Vol. 532, pp. 260-266, 2011.
- 14-J.O. Agunsoye, T.S. Isaac, and A.A. Abiona, "On the Comparison of Microstructure Characteristics and Mechanical Properties of High Chromium White Iron with the Hadfield Austenitic Manganese Steel", JMMCE, Vol. 1, pp. 24-28, 2013.
- ۱۵-م. عباسی، ش. خیراندیش، ی. خرازی و ج. حجازی، "بررسی تاثیر برخی عوامل اصلی بر رفتار سایشی فولاد هادفیلد"، نشریه علوم و مهندسی سطح، سال ۵ شماره ۷، ص ۶۹ - ۸۰، تابستان ۱۳۸۸.
- 16-Annual book of ASTM standards, "ASTM 128 A / 128 M, Standard specification for steel castings, austenitic manganese", ASTM Int., vol. 1, 1980.
- ۱۷-خ. مرشد بهبهانی و م. پاکشیر، "تعیین درجه ی حساس شدن فولاد ضدزنگ AISI ۶۱۳ با استفاده از
- آزمون امیدانس الکتروشیمیایی، مجله مواد نوین، سال ۴ شماره ۴، ص ۲۹-۴۲، تابستان ۱۳۹۳.
- ۱۸-م. مرعشی، "متالورژی کاربردی فولادها"، جلد دوم، چاپ سوم، انتشارات آزاده، تهران، ۱۳۸۵.
- ۱۹-م.ع. گلعدار، "اصول و کاربرد عمایات حرارتی فولادها"، جلد دوم، چاپ نهم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، پاییز ۱۳۸۸.
- 20-Y.K. Lee and C.S. Choi, "Driving Force for $\gamma \rightarrow \epsilon$ Martensitic Transformation and Stacking Fault Energy of γ in Fe-Mn Binary System", Metallurgical and Material Transaction A, Vol. 31A, pp. 355-360, 2000.