



## بررسی رفتار خوردگی فولادهای آستنیتی کروم- منگنزدار در محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک

آرش فتاح الحسینی<sup>۱</sup>، بهاره ایزدی<sup>۲</sup>، محسن اسدی اسدآباد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>. همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی مواد (استادیار)

<sup>۲</sup>. همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی مواد (دانشجوی کارشناسی ارشد)

<sup>۳</sup>. اصفهان، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده مواد (استادیار)

### چکیده

در این تحقیق، دو فولاد آستنیتی کروم- منگنزدار- (بدون نیکل) توسط کوره ذوب القایی تحت خلاء تولید شد و سپس ورق‌هایی از آن به ضخامت ۱۰ میلی‌متر با عملیات‌های نورد گرم متوالی حاصل شد. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات متالوگرافی و نمودار شافلر اصلاح شده، ریزساختار این فولادها فقط شامل تک‌فاز آستنیت است. رفتار خوردگی این فولادها در محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک، توسط آزمون‌های پتانسیل مدار باز و پلاریزاسیون تافل و طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که پتانسیل مدار باز دو فولاد آستنیتی کروم- منگنزدار با گذشت زمان به سمت مقادیر مثبت انتقال می‌یابد. هم‌چنین منحنی‌های پلاریزاسیون تافل نشان دادند که چگالی جریان خوردگی فولادهای آستنیتی تولیدی در محدوده  $10^{-4}$  آمپر بر سانتی‌متر مربع است که نشان‌دهنده مقاومت به خوردگی مناسب آن‌ها در این محیط اسیدی است. منحنی‌های نایکویست دو فولاد آستنیتی کروم- منگنزدار در محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک، یک حلقه خازنی کامل در فرکانس‌های بالا و پایین را نشان دادند.

**واژه‌های کلیدی:** فولاد آستنیتی کروم- منگنزدار؛ نمودار شافلر؛ اسید کلریدریک؛ پلاریزاسیون تافل؛ طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی.

## مقدمه

فولادهای زنگ‌نزن کروم- منگنزدار (فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی کم‌فعال) به دلیل طول عمر رادیواکتیویته<sup>۱</sup> کم‌ترشان نسبت به فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی کروم- نیکل‌دار، برای اجزا ساختاری در صنایع نیروگاهی مناسب هستند [۱-۳]. در این نوع فولادهای زنگ‌نزن عنصر ارزان‌تر و در دسترس‌تر منگنز جایگزین عنصر استراتژیک نیکل شده است [۴-۶].

از دیگر مزایای اصلی فولادهای زنگ‌نزن کروم- منگنزدار می‌توان به مقاومت در برابر سایش<sup>۲</sup> و حفره‌دار شدن<sup>۳</sup> اشاره نمود. هم‌چنین این فولادها به دلیل استحکام بالاترشان در محیط‌های برودتی<sup>۴</sup> در صنایع ابررسانا کاربرد دارند [۷ و ۸].

فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی سری ۳۰۰ در برابر بسیاری از محیط‌های خوردنده مانند اسیدهای آلی و محیط‌های حاوی یون کلر مقاومت به خوردگی خوبی دارند، اما در برخی از محیط‌ها مانند مذاب فلزات سدیم، قلع و لیتیم به دلیل حضور عنصر نیکل مقاومت به خوردگی خوبی ندارند. بسیاری از محققان دلیل این کاهش مقاومت به خوردگی را حل شدن مستقیم نیکل در مذاب فلزات سدیم، قلع و لیتیم دانسته‌اند، در نتیجه کاهش درصد نیکل در فولادهای آستنیتی باعث افزایش مقاومت به خوردگی فلز مذاب می‌شود [۹]. از طرف دیگر باید در نظر داشت که نیکل یک عنصر آلیاژی گران‌قیمت است و جایگزین نمودن آن با عناصر ارزان‌تر مانند منگنز و کربن می‌تواند قیمت این فولادها را به‌طور چشم‌گیری کاهش دهد [۱۰-۱۲].

مشکلات فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی (به‌خصوص برای کاربرد در نیروگاه‌های تولید انرژی) سبب شده که محققان زیادی درصدد اصلاح ترکیب شیمیایی این دسته از فولادهای زنگ‌نزن برآیند. بر اساس موارد ذکر شده باید عناصر نیکل، نیتروژن، مولیبدن، نیوبیم، مس و آلومینیم از ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی حذف شده و با عناصر مناسب دیگر جایگزین شوند [۱۰].

در این فولادها، مهم‌ترین مساله جایگزینی نیکل با عناصر مناسب است و منگنز مهم‌ترین عنصر جایگزین است. منگنز نسبت به نیکل از قدرت پایدارسازی آستنیت کم‌تری برخوردار است و از آن‌جا که افزودن بیش از حد منگنز باعث کاهش مقاومت به خوردگی و آسانی تشکیل ترکیبات بین‌فلزی می‌شود لذا باید از ترکیبی از کربن و منگنز برای پایدارسازی فاز آستنیت استفاده کرد [۱۰-۱۲]. اما باید در نظر داشت که افزودن بیش از حد کربن به فاز آستنیت باعث تشکیل  $M_{23}C_6$  در مرزخانه‌ها و کاهش چقرمگی و مقاومت به خوردگی فولاد می‌شود، لذا باید از ترکیب بهینه‌ای از عناصر کربن و منگنز برای پایدار کردن فاز آستنیت استفاده کرد. هم‌چنین باید تا حد امکان غلظت عناصری که باعث ناپایداری فاز آستنیت می‌شوند، مانند کروم، سیلیسیم، تنگستن، وانادیم و تیتانیم را کم کرد [۱۳].

<sup>۱</sup>. long-term radioactivity

<sup>۲</sup>. wear-resistant

<sup>۳</sup>. pitting-resistant

<sup>۴</sup>. cryogenic environments

دلایل بیان شده، باعث شد که در سه دهه اخیر تلاش‌هایی برای طراحی فولادهایی با رادیواکتیویته القایی کم در دنیا و امکان جایگزینی آن‌ها به جای فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی سری ۳۰۰ انجام شود. در این میان فولادهای آستنیتی کروم-منگن‌دار، بهترین گزینه می‌باشند زیرا ساختار آن‌ها مانند فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی سری ۳۰۰ می‌باشد در حالی که فولادهایی با زمینه فریتی و یا مارتنزیتی دارای خواص متمایزی (به‌خصوص مقاومت به خوردگی) نسبت به فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی سری ۳۰۰ هستند. در طراحی فولادهای آستنیتی کروم-منگن‌دار، پس از حذف کردن عناصر نامطلوب، دومین مرحله تعیین ترکیباتی از فولاد است که ساختاری کاملاً آستنیتی داشته باشند و سپس خواص این فولادهای پایه با آلیاژسازی و عملیات حرارتی و مکانیکی بهینه شود [۱۱-۱۳]. تاکنون تحقیقات متعددی در مورد طراحی و بهبود خواص مکانیکی و حرارتی فولادهای آستنیتی کروم-منگن‌دار انجام شده است اما با وجود اهمیت بسیار زیاد مقاومت به خوردگی این فولادها، مطالعات بسیار کمی انجام شده است. هدف از این تحقیق بررسی رفتار خوردگی دو فولاد آستنیتی کروم-منگن‌دار تولیدی در محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک است.

### مواد و روش تحقیق

دو فولاد آستنیتی کروم-منگن‌دار طراحی شده توسط روش ذوب القایی تهیه شدند، در جدول ۱ ترکیب شیمیایی آن‌ها نشان داده شده است. عملیات نورد گرم بر روی شمش‌های ریختگی، به‌منظور تولید ورق از این فولادها انجام شد. بنابراین شمش‌های تولیدی با ضخامت ۴۰ میلی‌متر در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان ۱۲۰ دقیقه گرم شدند. پس از آن ضخامت ابتدا به ۳۰ و سپس ۲۲ میلی‌متر کاهش یافت. در ادامه ورق‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد گرم شدند و ضخامت به ۱۸ و در نهایت به ۱۰ میلی‌متر رسانده شدند. پس از سرد شدن در هوا برای حصول یک ساختار همگن، عملیات آنیل انجام شد. برای این منظور ابتدا ورق‌ها در دمای ۱۰۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه گرم و سپس در آب کوئنچ شدند. برای بررسی ریزساختار نمونه‌ها پس از آماده‌سازی سطحی و اچ توسط محلول (۲۰۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک + ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب + به ازای هر ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول ۰/۵ تا ۱ گرم  $K_2S_2O_8$ ) از میکروسکوپ نوری مدل Leica استفاده شد.

برای مقایسه رفتار خوردگی دو فولاد آستنیتی کروم-منگن‌دار تولیدی، الکتروود کار تهیه شد. برای این منظور، پس از اتصال سیم مسی روکش‌دار به نمونه‌ها و انجام مانت سرد، عملیات سنباده‌زنی تر تا سنباده ۱۲۰۰ و عملیات چربی‌زدایی انجام شد. سپس نمونه‌ها با آب دوبار تقطیر شسته و پس از خشک کردن با هوای گرم، به سرعت تحت آزمون‌های الکتروشیمیایی مربوطه قرار گرفتند. آزمون‌های پتانسیل مدار باز و پلاریزاسیون تافل با استفاده از سل استاندارد سه الکتروودی، یک عدد الکتروود پلاتین به‌عنوان الکتروود کمکی و الکتروود نقره/کلرید نقره به‌عنوان الکتروود مرجع انجام شدند. لازم به‌ذکر است که در این پژوهش، تمامی پتانسیل‌ها نسبت به این

الکتروود مرجع گزارش شده است. برای انجام تمامی آزمون‌های الکتروشیمیایی، از محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک استفاده شد.

برای ارزیابی رفتار خوردگی دو فولاد آستنیتی کروم- منگنزدار تولیدی در محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک، ابتدا هر نمونه در پتانسیل مدار باز به مدت ۳۰ دقیقه غوطه‌ور شد تا به حالت پایدار برسد. سپس آزمون‌های پلاریزاسیون تافل با نرخ روبش پتانسیل برابر با ۱ میلی‌ولت بر ثانیه انجام شد [۱۴-۱۶]. و هم‌چنین آزمون‌های طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی در پتانسیل مدار باز و در محدوده فرکانسی ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۱۰۰ میلی‌هرتز با دامنه طول موج ۱۰۰ میلی‌ولت انجام شد [۱۷].

برای انجام آزمون‌های الکتروشیمیایی، از دستگاه پتانسیواستات/ گالوانواستات اتولب و نرم‌افزار نووا (NOVA) استفاده شد و برای اطمینان از نتایج، هر آزمون الکتروشیمیایی سه بار تکرار شد.

### نتایج و بحث

بررسی ریزساختار با استفاده از نمودار شافلر اصلاح شده و مطالعات متالوگرافی:

یکی از روش‌های تعیین پایداری فازها در فولادهای زنگ‌نزن نمودار شافلر<sup>۱</sup> می‌باشد که در آن منطقه پایداری هر فاز برحسب مقادیر نیکل و کروم معادل تعیین می‌شود. روابط ۱ و ۲ روش محاسبه مقادیر نیکل و کروم معادل را برای فولادها نشان می‌دهند [۱۸ و ۱۹]:

$$Ni_e = (Ni) + (Co) + 0.5(Mn) + 0.3(Cu) + 25(N) + 30(C) \quad (1)$$

$$Cr_e = (Cr) + 2(Si) + 1.5(Mo) + 5(V) + 5.5(Al) + 1.75(Nb) + 1.5(Ti) + 0.75(W) \quad (2)$$

در روابط فوق، عناصر در داخل پرانتز برحسب درصد وزنی هستند. در تحقیقات انجام شده روی چندین فولاد کروم- منگنزدار، مشخص شده است که نمودار شافلر قادر به پیش‌بینی فازهای پایدار در آلیاژهای با مقادیر منگنز بالا نبوده و احتیاج به برخی اصلاحات دارد. اصلاحات انجام شده در نهایت منجر به ابداع نمودار شافلر اصلاح شده برای فولادهای کروم- منگنزدار (حداکثر حاوی ۴۰ درصد منگنز) شد که در شکل ۱ نشان داده شده است [۱۰].

مقادیر کروم و نیکل معادل محاسبه شده با استفاده از روابط ۱ و ۲ برای دو فولاد آستنیتی کروم- منگنزدار تولیدی در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به مقادیر نیکل و کروم معادل محاسبه شده در جدول ۲ و هم‌چنین نمودار شافلر اصلاح شده، مشخص می‌شود که ریزساختار تمامی فولادهای تولیدی تکفاز آستنیت می‌باشد.

<sup>۱</sup> Schaeffler

تصاویر متالوگرافی سطح نمونه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. مشاهدات تنها ساختار تک‌فاز آستنیت را برای آلیاژهای مورد مطالعه نشان می‌دهد، هم‌چنین یکی از مشخصه‌های ریزساختاری آن‌ها حضور تعداد زیادی دوقلویی آنیل است.

آزمون تغییرات پتانسیل مدار باز:

در شکل ۳ تغییرات پتانسیل مدار باز دو فولاد آستنیتی کروم- منگنزدار در محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک بر حسب زمان نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ابتدای غوطه‌وری، پتانسیل هر دو فولاد آستنیتی به‌طور سریع کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده انحلال لایه اکسیدی تشکیل شده روی سطح در محیط اسیدی است. اما با گذشت زمان، پتانسیل مدار باز به سمت مقادیر مثبت انتقال می‌یابد. این روند برای فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی در محیط‌های اسیدی مشابه نیز گزارش شده که نشان‌دهنده تشکیل لایه رویین و بیش‌تر شدن نقش محافظ‌کننده‌ای آن با گذشت زمان است [۲۰]. هم‌چنین شکل ۳ نشان می‌دهد که پس از گذشت ۳۰ دقیقه، حالت کاملاً پایدار حاصل شده و انجام آزمون‌های الکتروشیمیایی امکان‌پذیر است.

آزمون پلاریزاسیون تافل:

شکل ۴ منحنی‌های پلاریزاسیون تافل دو فولاد آستنیتی کروم- منگنزدار در محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک بعد از غوطه‌وری به مدت زمان ۳۰ دقیقه تحت شرایط پتانسیل مدار باز را نشان می‌دهد. مقادیر چگالی جریان و پتانسیل خوردگی حاصل از این منحنی‌های در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود چگالی جریان خوردگی چهار فولاد تولیدی در محدوده  $10^{-4}$  آمپر بر سانتی‌متر مربع است که نشان‌دهنده مقاومت به خوردگی مناسب آن‌ها در این محیط اسیدی است.

آزمون طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی:

در شکل ۵ منحنی‌های نایکویست (مقادیر امپدانس موهومی بر حسب امپدانس حقیقی) حاصل از طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی دو فولاد آستنیتی کروم- منگنزدار در محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک بعد از غوطه‌وری به مدت زمان ۳۰ دقیقه تحت شرایط پتانسیل مدار باز را نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود دو منحنی نایکویست فولادهای آستنیتی کروم- منگنزدار تولیدی دارای رفتار مشابهی هستند. یک حلقه خازنی کامل از فرکانس‌های بالا تا فرکانس‌های پایین، مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده رفتار خازنی لایه دوگانه الکتریکی تشکیل شده بر روی سطح فولادها می‌باشد و قطر آن به‌طور مستقیم با مقاومت پلاریزاسیون مرتبط می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

- ۱) مقادیر نیکل و کروم معادل و هم‌چنین نمودار شافلر اصلاح شده نشان داد که ریزساختار دو فولاد کروم-منگنزدار تولیدی، تک‌فاز آستنیت است و تصاویر متالوگرافی نیز ساختار تک‌فاز آستنیت را نشان دادند.
- ۲) تغییرات پتانسیل مدار باز چهار فولاد آستنیتی در محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک نشان داد که با گذشت زمان، پتانسیل مدار باز آن‌ها مانند فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی به سمت مقادیر مثبت انتقال می‌یابد و زمان ۳۰ دقیقه برای حصول شرایط پایدار مناسب است.
- ۳) نتایج آزمون‌های پلاریزاسیون تافل نشان داد که چگالی جریان خوردگی چهار فولاد آستنیتی تولیدی در محدوده  $10^{-4}$  آمپر بر سانتی‌متر مربع است که نشان‌دهنده مقاومت به خوردگی مناسب آن‌ها در این محیط اسیدی است.
- ۴) آزمون‌های طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی نشان داد که در منحنی‌های نایکویست دو فولاد آستنیتی تولیدی، در محدوده فرکانس‌های بالا و پایین یک حلقه خازنی کامل دیده می‌شود.

## مراجع

۱. Kemp M., Van Bennekom A., Robinson FPA. Mater Sci Eng A. ۱۹۹ (۱۹۹۵) ۱۸۳.
۲. Nijhawan BR., in Stainless Steels `۸۷. The Institute of Metals, York, (۱۹۸۷).
۳. Lula RA., in Manganese Stainless Steels. The Manganese Centre, Paris, (۱۹۸۶)
۴. Chen SR., Davies HA, Rainforth WM. Acta mater. ۴۷ (۱۹۹۹) ۴۵۵۵.
۵. Zhang YS., Zhu XM, Zhong SH. Corros. Sci. ۴۶ (۲۰۰۴) ۸۵۳.
۶. Bi HY., Jiang XX., Li SZ. Wear. ۲۵۵ (۱۹۹۹) ۱۰۴۳.
۷. Lenel UR., Knott BR. Metall. Trans. ۱۸ A (۱۹۸۷) ۸۴۷.
۸. Okazaki Y., Miyahara K., Wade N., Hosoi Y. J. Japan Inst. Metals. ۵۳ (۱۹۸۹) ۵۰۲.
۹. Fenici, P., Boerman, D., Coen, V., Lang, E., Ponti, C., Schule, W., "Properties of Cr-Mn austenitic stainless steels for fusion reactor applications", Nuclear Engineering and Design/Fusion, vol. ۱, pp.۱۶۷-۱۸۳, (۱۹۸۴).
۱۰. Klueh, R.L., Masiaasz, P.J., Lee, E.H., "Manganese as an Austenite Stabilizer in Fe-Cr-Mn-C Steels", Materials Science and Engineering A, vol. ۱۰۲, pp.۱۱۵-۱۲۴, (۱۹۸۸).
۱۱. Piatti, G., Schiller, P., "Thermal and mechanical properties of Cr-Mn-(Ni-free) austenitic steels for fusion reactor application", Journal of Nuclear Materials, vol. ۱۴۱, pp.۴۱۷-۴۲۶, (۱۹۸۶).
۱۲. Foldeaki, M., Ledbetter, H., "Magnetic properties of Cr-Mn austenitic stainless steels", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. ۱۱۰, pp.۱۸۵-۱۹۶, (۱۹۹۲).

پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

۱۳. Onozuka, M., Saida, T., Hirai, S., Kusuhashi, M., Sato, I., Hatakeyama, T., "Low-activation Mn-Cr austenitic stainless steel with further reduced content of long-lived radioactive elements", Journal of Nuclear Materials, vol. ۲۵۵, pp.۱۲۸-۱۳۸, (۱۹۹۸).
۱۴. Betova, I., Bojinov, M., Englund, A., Fabricius, G., Laitinen, T., Makela, K., Saario, T., Sundholm, G., "Contact electric impedance and resistance studies of the conduction mechanism in passive films on ferrous alloys", Electrochim Acta, vol. ۴۶, pp.۳۶۲۷-۳۶۴۰, (۲۰۰۱).
۱۵. Bojinov, M., Fabricius, G., Laitinen, T., Saario, T., Sundholm, G., "Conduction mechanism of the anodic film on chromium in acidic sulphate solutions", Electrochim Acta, vol. ۴۴, pp.۲۴۷-۲۶۱, (۱۹۹۸).
۱۶. Betova, I., Bojinov, M., Laitinen, T., Makela, K., Pohjanne, P., Saario, T., "The transpassive dissolution mechanism of highly alloyed stainless steels I. Experimental results and modelling procedure", Corrosion Science, vol. ۴۴, pp.۲۶۷۵-۲۶۹۷, (۲۰۰۲).
۱۷. J. Zhao and G. Chen, The synergistic inhibition effect of oleic-based imidazoline and sodium benzoate on mild steel corrosion in a CO<sub>2</sub>-saturated brine solution, Electrochimica Acta, ۶۹(۲۰۱۲) ۲۴۷- ۲۵۵.
۱۸. A. J. Sedriks, Corrosion of Stainless Steels, ۲nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., ۱۹۹۶.
۱۹. ASM Handbook, ۹th Ed. Vol. ۳, Alloy Phase Diagrams, ASM International, ۲۰۰۳
۲۰. Ruhi, G., Modi, O.P., Singh, I.B., "Pitting of AISI ۳۰۴L stainless steel coated with nano structured sol-gel alumina coatings in chloride containing acidic environments", Corrosion Science, vol. ۵۱, pp.۳۰۵۷-۳۰۶۳, (۲۰۰۹).

جدول ۱: ترکیب شیمیایی چهار فولاد آستنیتی کروم- منگنزدار تولیدی بر حسب درصد وزنی.

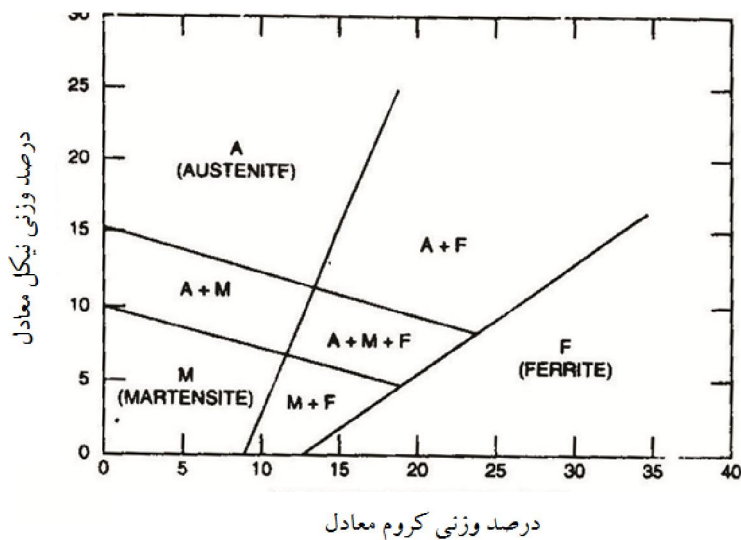
کربن	کروم	منگنز	سیلیسیم	فسفر	گوگرد	وانادیم	تیتانیم	
۰/۰۵۳	۱۱/۳۱	۲۳/۸۵	۰/۷۷۶	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۹۷	۰/۰۴۷۹	۰/۰۰۰۴	فولاد کروم- منگنزدار اول
۰/۲۹۴	۱۰/۳۲	۱۸/۲۶	۰/۱۰۳	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۷۷	۰/۰۵۰۱	۰/۰۰۲۰	فولاد کروم- منگنزدار دوم

جدول ۲: مقادیر نیکل و کروم معادل محاسبه شده بر حسب درصد وزنی با استفاده از روابط ۱ و ۲.

کروم معادل	نیکل معادل	فولاد کروم- منگنزدار اول	فولاد کروم- منگنزدار دوم
۱۲/۸۶	۱۳/۵۲	۱۰/۵۳	۱۷/۹۵

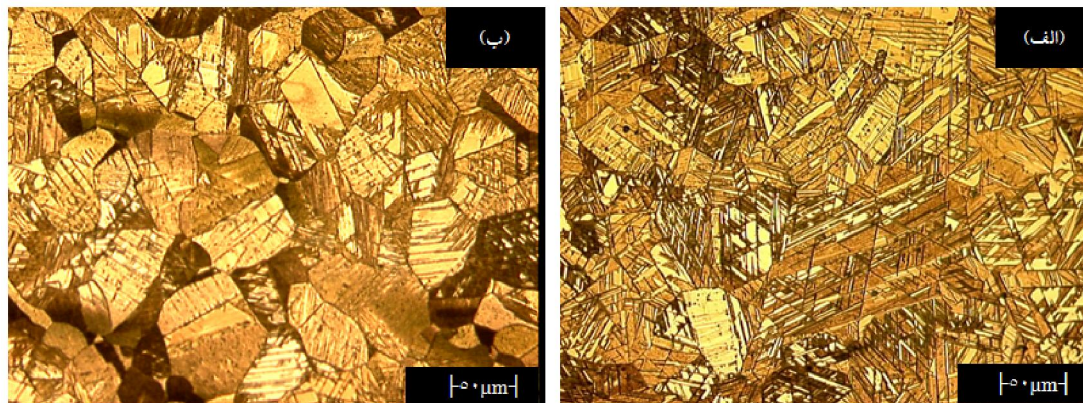
جدول ۳: مقادیر چگالی جریان و پتانسیل خوردگی چهار فولاد آستنیتی کروم- منگنزدار تولیدی حاصل از منحنی پلاریزاسیون تافل در محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک.

پتانسیل خوردگی (ولت)	چگالی جریان خوردگی (آمپر بر سانتی متر مربع)	
-۰/۵۸	$1/4 \times 10^{-4}$	فولاد آستنیتی کروم- منگنزدار اول
-۰/۵۲	$2/3 \times 10^{-4}$	فولاد آستنیتی کروم- منگنزدار دوم

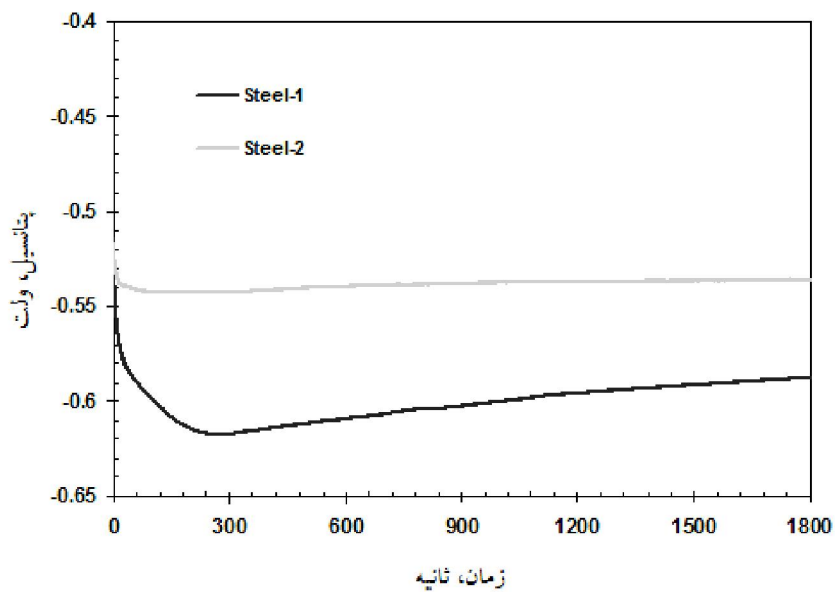


شکل ۱: نمودار شافلر اصلاح شده برای فولادهای حاوی ۱۰ تا ۴۰ درصد منگنز [۶].

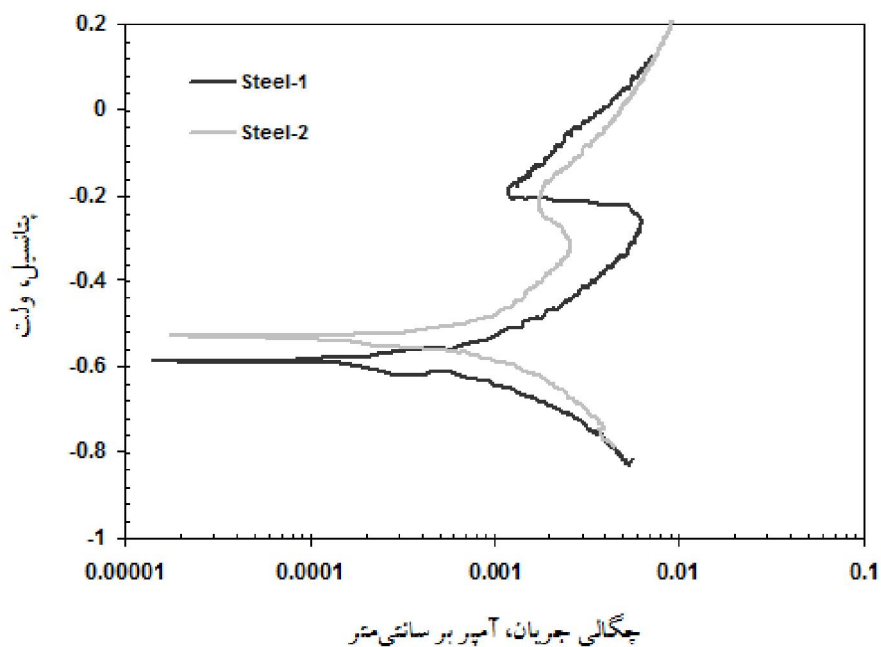




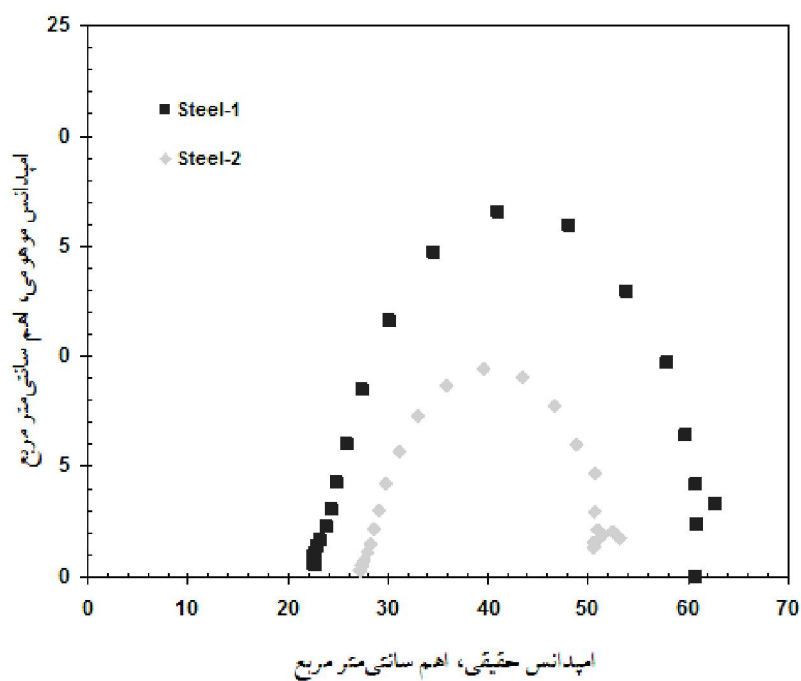
شکل ۲: ریزساختار نوری دو فولاد آستنیتی کروم-منگنزدار تولیدی در بزرگنمایی ۲۰۰: (الف) فولاد کروم-منگنزدار اول و (ب) فولاد کروم-منگنزدار دوم



شکل ۳: منحنی‌های تغییرات پتانسیل مدار باز فولادهای آستنیتی کروم-منگنزدار تولیدی در محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک.



شکل ۴: منحنی‌های پلاریزاسیون تافل فولادهای آستنیتی کروم-منگنزدار در محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک بعد از ۳۰ دقیقه غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز.



شکل ۵: منحنی‌های نایکوئیست فولادهای آستنیتی کروم-منگنزدار تولیدی در محلول ۰/۰۵ مولار اسید کلریدریک بعد از ۳۰ دقیقه غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز.