

تأثیر عملیات حرارتی پیش گرم و جنس فلز پرکننده بر مقاومت به خوردگی فولاد زنگ نزن ۳۰۴ و ۴۲۰ در اتصال غیر همجنس جوشکاری شده

اسحاق قنواتی^۱، اسماعیل جعفری^{۲*}

^۱ کارشناسی ارشد، مهندسی مواد، خوردگی و حفاظت مواد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز
^۲ استادیار گروه مهندسی مواد، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

* نویسنده مسئول: jafarias@iaushiraz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۰۹

چکیده

در این پژوهش خواص خوردگی اتصال غیر همجنس فولاد زنگ نزن مارتنزیتی AISI ۴۲۰ و فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI ۳۰۴ در دو حالت جوشکاری شده با پیش گرم و بدون پیش گرم با فلزهای پرکننده آستنیتی و مارتنزیتی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. پس از انجام جوشکاری به روش TIG، آزمایش های خوردگی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک و سیکلی بر روی نمونه ها انجام شد. هم چنین ریزساختار نمونه ها توسط میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی نتایج به دست آمده از آزمون های خوردگی و ریزساختاری، فلز پرکننده مناسب و هم چنین انجام یا عدم انجام پیش گرمایش تعیین شد. در پایان مشخص شد که انجام عملیات پیش گرم به همراه استفاده از فلز پرکننده آستنیتی، یک شرایط مناسب برای رسیدن به مقاومت به خوردگی بالا در اتصال غیر همجنس فولادهای زنگ نزن AISI ۴۲۰ و AISI ۳۰۴ به یکدیگر می باشد.

کلمات کلیدی: مقاومت به خوردگی، جوشکاری، عملیات حرارتی پیش گرم، فلز پرکننده

The Influence of Preheat Treatment and Filler Metal Type on Corrosion Resistance of 304 and 420 Stainless Steel in Dissimilar Welded Joint

E. Ghanavati ¹, E. Jafari ^{2*}

^{1,2} Department of Materials Science, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

* Corresponding Author: jafarias@iaushiraz.ac.ir

Submission: 2017, 07, 02 Acceptance: 2017, 12, 30

Abstract

In this study corrosion properties of AISI 420 martensite and AISI 304 austenitic stainless steel were investigated in two preheated and with-out preheated treatment with austenite and martensitic filler metals. After welding by TIG method, potentiodynamic and cyclic polarization corrosion tests were performed on the samples. The microstructure of samples were analyzed by optical microscopy and scanning electron microscopy. The suitable filler metal and the preheating process determined by the results of corrosion and microstructural tests. The results showed that preheat treatment with the use of austenitic filler metal was a suitable method for achieving higher corrosion resistance of AISI 420 and AISI 304 stainless steels in the dissimilar welded joint.

Keywords: Corrsion Resistance, Welding, Preheat treatment, Filler metal;

۱ - مقدمه

آلیاژهای زنگ نزن مقاومت بالایی در محیط‌های خوردنده و در درجه حرارت‌های بالا دارند. این فولادها دارای دامنه وسیعی از خواص متفاوت هستند و علاوه بر این قابلیت‌های ویژه آن‌ها را برای کاربردهای خاص مناسب می‌سازد [۱ و ۲].

انواع آستنیتی به سادگی توسط اغلب فرایندهای جوشکاری نفوذی متداول و مقاومتی و لحیم کاری جوشکاری می‌شوند. فولادهای زنگ نزن آستنیتی تأمین کننده بهترین مقاومت خوردگی در میان تمامی فولادهای زنگ نزن هستند؛ بنابراین آن‌ها در معرض تشکیل کاربید کروم تحت شرایط معینی که معمولاً نتیجه آن خوردگی بین دانه‌ای است قرار دارند. فولاد کاملاً آنیل شده از این ضعف مبرا است، اما اگر در هنگام ساخت یا استفاده، آلیاژی در حدود 425°C تا 815°F (1500°F تا 800°F) گرم یا به آرامی در این محدوده سرد شود بعد از گرم کردن به درجه حرارت بالاتر، کاربیدها در فولاد تمایل به تجمع در مرز دانه‌ها پیدا کرده و مسیرهای پیوسته‌ای جهت خوردگی تشکیل می‌دهند. در هنگامی که این روند گرم کردن اتفاق بیفتد به دنبال آن باید آنیل اصلاحی انجام شود [۷-۳].

فولادهای مارتنزیتی از نظر مقاومت خوردگی به اندازه نوع فولادهای فریتی و آستنیتی مقاوم نیستند، دارای خصوصیات خوب شکل پذیری سرد بوده و می‌توانند جوشکاری شوند، اما معمولاً بعد از شکل دهی یا جوشکاری جهت جلوگیری از ترک خوردن نیاز به آنیل دارند و سپس تحت عملیات سخت کاری جهت بهبود استحکام بالاتر و مقاومت خوردگی بهینه قرار می‌گیرند [۱۲-۸]. ضمن گرم کردن فولادهای مارتنزیتی در درجه حرارت سخت کاری، کاربیدهای کروم حل شده و کربن به صورت یکنواخت در ساختار فلزی توزیع می‌شود. اگر عملیات کوئنچ به اندازه کافی سریع باشد، کربن نمی‌تواند مجدداً با کروم ترکیب شود که در این صورت کروم در مقدار مناسب جهت تأمین مقاومت خوردگی بهینه حضور دارد [۱۳ و ۱۴].

فولاد زنگ نزن مارتنزیتی ۴۲۰ به آسانی قابل مارتمپر کردن می‌باشد. در همه شرایط مغناطیسی است. پس از سریع سرمایی و بازپخت، مقاومت خوردگی آن بهینه می‌شود. این فولاد را می‌توان آنیل کامل، آنیل تک دم و یا آنیل مرحله‌ای کرد. دارای کاربردهایی هم چون ابزار برش، لوله‌های تحت فشار، تولید پره‌های توربین، کارد و چنگال، موتورهای جت، قطعات کمپرسور، انواع پمپ و ژنراتورهای بخار، تیغه‌های مخلوط کن، سکوهای داخل آب برای استخراج نفت، بخش‌های ساختمانی، قطعات کمپرسور، پیچ ماشین آلات معدن، تجهیزات دارویی می‌باشد [۸ و ۱۲].

در شرایطی که نیاز به استفاده از فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی ۴۲۰ بلافاصله پس از جوش می‌باشد، بهتر است از فلز پرکننده همجنس برای جوشکاری استفاده شود. ولی اگر در جوشکاری‌هایی هم چون جوش قوس الکتریکی^۱، از فلز پرکننده مارتنزیتی استفاده شود، با

مشکل تردی هیدروژنی در فولاد زنگ نزن مارتنزیتی مواجه خواهیم شد زیرا مارتنزیت دارای حلالیت کم ولی سرعت نفوذ بالای هیدروژن می‌باشد. برای رفع این مشکل، در این پژوهش با پیش گرم کردن قطعه و هم چنین استفاده از روش جوشکاری TIG، از فلز پرکننده مارتنزیتی نیز برای جوشکاری استفاده شد؛ زیرا پیش گرم کردن باعث کاهش ورود هیدروژن به ماده می‌شود و هم چنین به حباب‌های محبوس هیدروژن فرصت خروج از فلز پایه را می‌دهد و جوشکاری TIG نیز با توجه به وجود گاز محافظ، از ورود هیدروژن به جوش جلوگیری می‌کند [۱۵ و ۱۶].

البته یکی از تأثیرات پیش گرمایی زیاد یا بیش از حد، پهن تر شدن ناحیه گرما دیده‌ی جوش است. افزایش پهنای منطقه HAZ، بروز تغییرات ساختاری و کاهش خواص مکانیکی را در سطح گسترده‌تری از فلز پایه متحمل می‌سازد و این، تنها نقطه‌ی ضعف پیش گرمایی البته در شرایطی است که قطعه کار بیش از حد پیش گرم شود. از این رو انتخاب دمای مناسب پیش گرم، یکی از عوامل تأثیرگذار برای جلوگیری از افزایش پهنای ناحیه HAZ می‌باشد. بهترین روش برای محاسبه و انتخاب دمای پیش گرمایی فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی، استفاده از دمای استحاله‌ی آستنیت به مارتنزیت، یعنی نقطه M_s در دیاگرام دما زمان دگرگونی^۲ (T.T.T) مربوط به آن فولاد است. درجه حرارت استحاله‌ی فازی آستنیت به مارتنزیت در فولادهای مارتنزیتی، به مقدار درصد عناصر موجود در این فولاد از قبیل مقدار کربن، منگنز، نیکل، کروم و مولیبدن بستگی زیادی دارد. درجه حرارت شروع مارتنزیتی شدن (M_s) را میتوان به وسیله‌ی معادله (۱) محاسبه نمود:

معادله (۱)

$$M_s (^{\circ}\text{C}) = 540 \times \% \text{C} + 6/3 \times \% \text{Mn} + 36/3 \times \% \text{Ni} + 10/8 \times \% \text{Cr} + 46/6 \times \% \text{Mo}$$

دمای تکمیل یا انتهای استحاله مارتنزیتی شدن نیز معمولاً در حدود ۱۰۰ درجه سانتی گراد کم تر از M_s می‌باشد (معادله ۲). [۱۵ و ۱۶].

$$M_f = M_s - 100 \quad \text{معادله (۲)}$$

درجه حرارت پیش گرمایی، تقریباً همیشه برابر یا اندکی کمتر از دمای M_f انتخاب می‌شود [۱۵ و ۱۶].

بر روی تأثیر عملیات حرارتی پیش گرم فولاد زنگ نزن آستنیتی و مارتنزیتی پژوهش‌هایی در زمینه‌های جوش پذیری فولاد زنگ نزن مارتنزیتی و هم چنین انرژی شکست و مقاومت به خوردگی فولاد زنگ نزن ۳۰۴ انجام شده است که به عنوان نمونه می‌توان به پژوهش‌های انجام شده توسط دارون پرور^۳ (۲۰۱۱) در زمینه‌ی تأثیر پیش گرمایش بر رفتار خوردگی آلیاژ نیکل - آلومینیوم برنز و هم چنین کاسی^۴ (۲۰۱۴) که بررسی تأثیر عملیات پیش گرم و

مدت زمان ۲۰ دقیقه پیش گرم شدند تا سطح و مرکز نمونه‌ها هم‌دم گردد و بلافاصله پس از خروج قطعه از کوره، عملیات جوشکاری انجام شد. جوش انجام شده به روش TIG و با گاز محافظ آرگون (گاز آرگون ۹۹/۹۹٪) و با عوامل ثابت جوشکاری (آمپراژ ۹۰ آمپر و ولتاژ ۲۸ ولت) انجام شد.

فولادهای زنگ‌نزن ۴۲۰ و ۳۰۴ با دو فلز پرکننده ER۴۱۰ و ER۳۰۹L با ضخامت ۲/۴ mm در حالات پیش گرم شده و پیش گرم نشده جوشکاری شدند. فلزهای پرکننده به کار برده شده طبق استاندارد AWS 5.4 انتخاب شده‌اند. پس از اتمام جوشکاری نمونه‌ها در هوای اتاق به آرامی سرد شدند و پس از سرد شدن کامل، سطح نمونه‌ها توسط ژل مخصوص پس از جوشکاری پاک‌سازی شدند [۲۱].

۳-۲- برشکاری نمونه‌ها

نمونه‌ها پس از جوشکاری، توسط دستگاه واتر جت در ابعاد مورد نظر برای انجام آزمایش‌های خوردگی و متالوگرافی برش کاری شدند. دلیل انتخاب دستگاه واتر جت برای برشکاری، برشکاری دستگاه در دمای اتاق می‌باشد زیرا برای آزمایش‌های انجام شده لازم می‌باشد که دمای قطعه به جز در زمان جوشکاری و عملیات حرارتی پیش گرم، بالا نرود تا بتوان به دقت نتایج حرارت‌های ناشی از پیش گرمایش و جوشکاری را بررسی نمود.

۴-۲- آزمایش خوردگی و متالوگرافی

نمونه‌های آزمایش خوردگی طبق استاندارد ASTM G31 آماده‌سازی شدند هم‌چنین نمونه‌های پس از طی مراحل پولیش توسط محلول رالف^۲ با ترکیب شیمیایی زیر اچ شدند [۲۲ و ۲۳].

Ralph: 100 cc H₂O + 200 cc methyl alcohol + 100 cc HCl + 2 gr CuCl₂ + 7 gr FeCl₂ + 5 cc HNO₃

آزمایش خوردگی توسط دستگاه Auto lab Aut TypeIII در صورت پلاریزاسیون سیکی و پتانسیو دینامیک و با استفاده از الکتروود مرجع کالومل و در محدوده ± 1000 از پتانسیل مدارباز بعد از رسیدن پتانسیل نمونه‌ها به حالت پایدار و اندازه‌گیری پتانسیل مدارباز، با سرعت روبش 0.01 V.S^{-1} انجام شد [۲۴]. آزمون‌های

پس گرم بر جوش‌پذیری لیزر فولاد زنگ نزن ۴۲۰ پرداختند اشاره کرد هم‌چنین می‌توان به پژوهش‌های انجام شده توسط کومار^۱ (۲۰۱۲) در مورد تأثیر دمای پیش گرم بر جوش‌پذیری فولاد زنگ نزن مارتنزیتی و هونگ و همکارانش که تأثیر عملیات پیش گرم بر دگرگونی میکروساختار و خواص اتصال غیر همجنس آلایژ فولاد - آلومینیوم را مورد بررسی قرار دادند، اشاره کرد آن‌ها به نتیجه رسیده‌اند که عملیات حرارتی پیش گرم یکی از عوامل مهم بر روی مقاومت به خوردگی و خواص مکانیکی و جوش‌پذیری فولاد های زنگ نزن می‌باشد [۲۰-۱۷].

در این پژوهش مقاومت به خوردگی دو نوع فولاد زنگ نزن آستینیتی و مارتنزیتی در اتصال غیر همجنس مورد توجه قرار گرفته است آنچه این تحقیق را از سایر پژوهش‌های انجام شده متمایز میکند انتخاب نوع فلز پرکننده و عملیات پیش گرمایش و تأثیر این دو عامل بر مقاومت به خوردگی می‌باشد.

۲- روش انجام تحقیق

۲-۱- مواد مصرفی

فولادهای زنگ‌نزن مورد استفاده در این پژوهش، فولاد زنگ‌نزن آستینیتی ۳۰۴ و فولاد زنگ نزن مارتنزیتی ۴۲۰ با ضخامت ۴ میلی‌متر می‌باشند. ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ‌نزن مورد استفاده در این پژوهش از طریق آنالیز کوانتومتری بدست آمده و این نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

ابتدا سطح نمونه‌ها به منظور آماده‌سازی برای جوشکاری تا سمباده ۸۰۰ پولیش و سمباده‌زنی شد و سپس سطح آن‌ها کاملاً چربی‌زدایی شد و به جهت نفوذ بهتر جوش، قطعات از دو طرف با زاویه ۴۵° پخ زده شدند.

۲-۲- عملیات حرارتی و جوشکاری

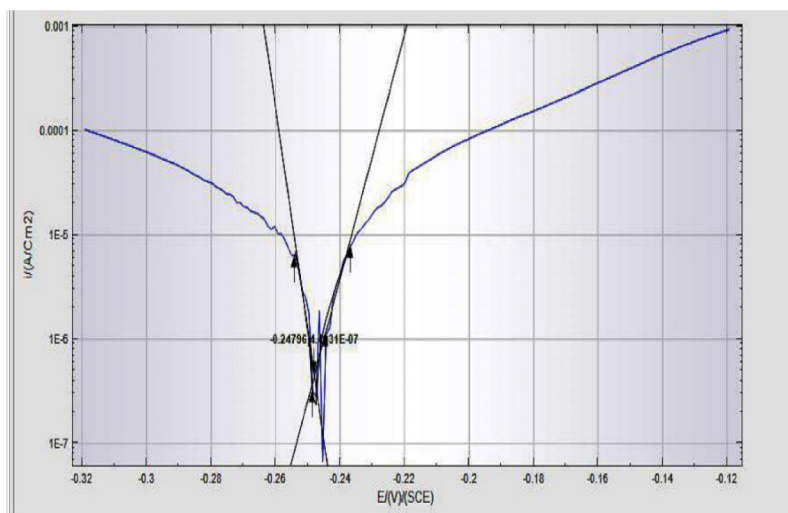
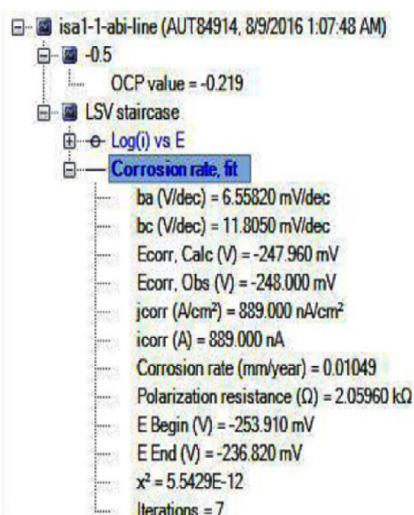
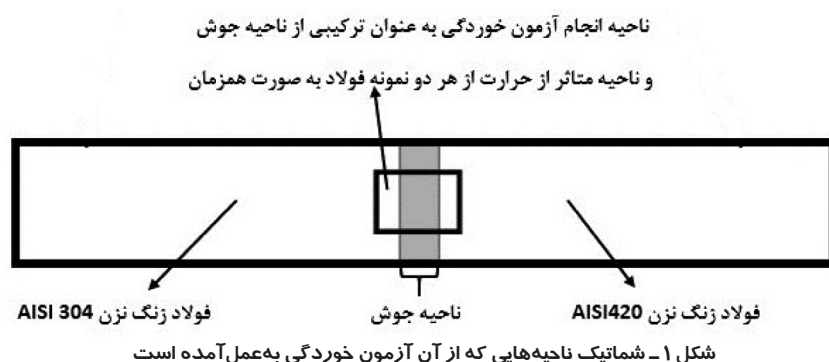
از آنجاکه هدف از پژوهش انجام شده بررسی تأثیر دمای عملیات حرارتی پیش گرم بر خوردگی فولاد زنگ‌نزن در اتصال فولادهای زنگ‌نزن ۴۲۰ و ۳۰۴ جوشکاری شده به یکدیگر با فلزهای پرکننده مختلف می‌باشد، نمونه‌ها در دو حالت پیش گرم شده و پیش گرم نشده، جوشکاری شدند و به منظور انجام عملیات پیش گرمایش، نمونه‌ها توسط کوره الکتریکی در دمای ۲۹۰°C و به

جدول ۱- آنالیز کوانتومتری فولاد زنگ‌نزن ۴۲۰

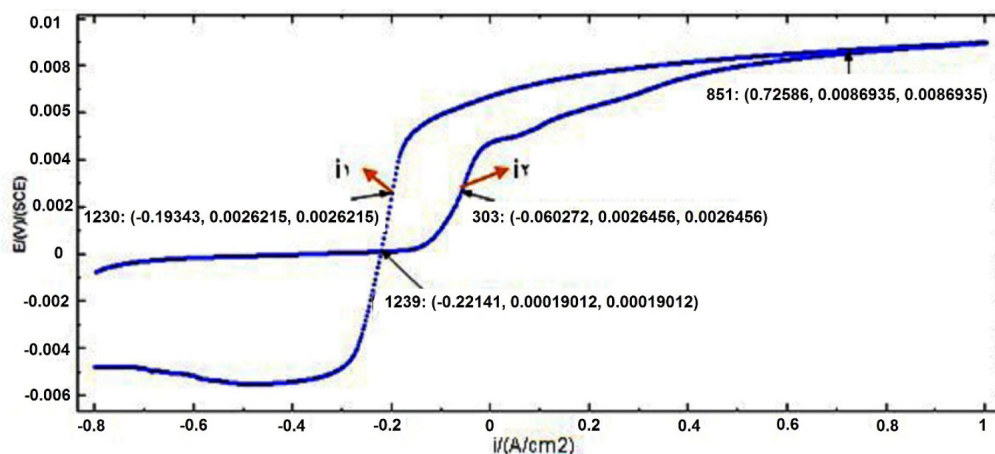
عنصر	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
AISI 420	پایه	۰/۴۲۶	۰/۴۶۸	۰/۴۰۳	۰/۰۰۵	<۰/۰۰۵	۱۴	۰/۰۲۶
AISI 304	پایه	۰/۰۴	۰/۲۱	۱/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۱۹/۳۸	۰/۰۴
عنصر	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
AISI 420	۰/۰۹۱	۰/۰۹	۰/۰۱۴	۰/۰۰۲	<۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۳	<۰/۰۰۲
AISI 304	۸/۴۲	-	-	۰/۰۹	-	-	-	-

آزمون‌های خوردگی در محیط برنامه NOVA 1.8 انجام گردید و عوامل حاصله از آزمون نیز از برنامه مذکور استخراج شدند. نمونه‌ی برون‌یابی عوامل آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک در شکل ۲ نشان داده شده است. نقطه‌های i_p و i_r جهت تعیین پهنای نمودار در آزمایش پلاریزاسیون سیکلی مطابق با شکل ۳ استفاده شد.

خوردگی از ناحیه مشخص شده در شکل ۱ گرفته شده‌اند. هم‌چنین تصاویر ریزساختاری نمونه‌ها با بزرگنمایی $400\times$ توسط میکروسکوپ نوری گرفته شد. آزمایش EDAX از فولادهای زنگ نزن ۴۲۰ پس از جوشکاری نیز تهیه گردید. تصاویر میکروسکوپ نوری از ناحیه‌های جوش از هر دو نوع فولاد و هم‌چنین مرز بین ناحیه جوش و ناحیه متأثر از حرارت از هر دو جنس فولاد گرفته شده است.



شکل ۲ - نمونه‌ای از اندازه‌گیری پارامترهای آزمون پتانسیودینامیک در محیط برنامه NOVA 1.8 (نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده-ی ER۳۰۹L و بدون پیش گرم (نمونه S۴))



شکل ۳ - نمونه‌ای از اندازه‌گیری پارامترهای آزمایش پلاریزاسیون سیکلی در محیط برنامه NOVA 1.8 (نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER410 و با پیش گرم (نمونه S۱))

به منظور اختصار در ادامه‌ی مطالب نام ناحیه‌هایی که از آن‌ها آزمون خوردگی گرفته شده و هم چنین نام نمونه‌ها به صورت جدول ۲ نام گذاری می‌شود.

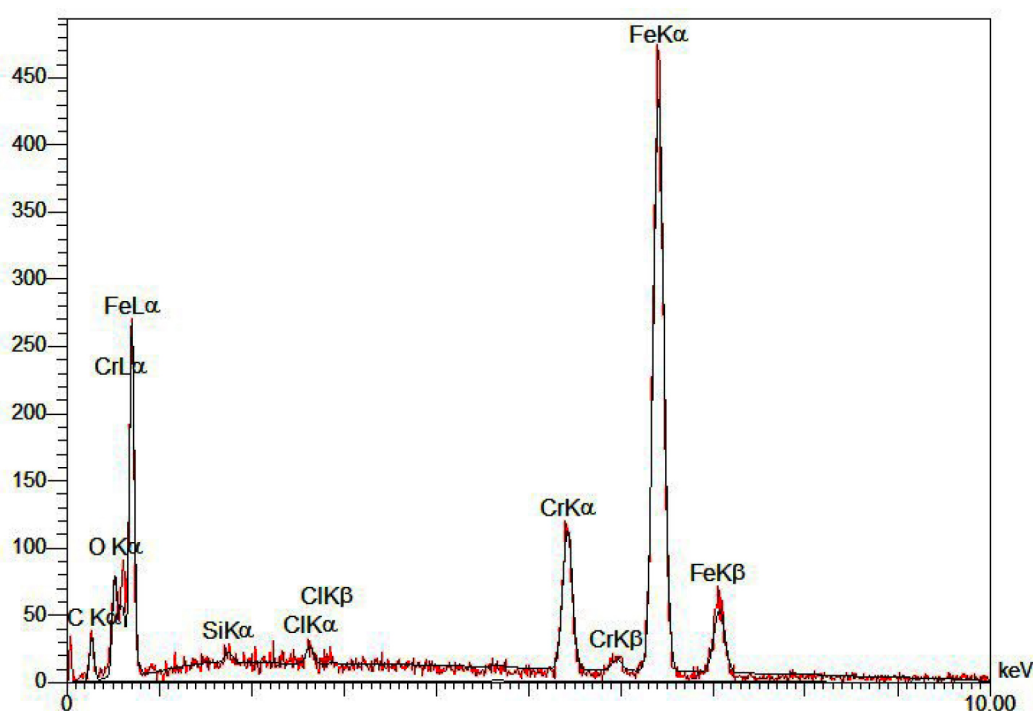
۳- نتایج و بحث

فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی نیاز بیشتری به انجام پیش گرمایش نسبت به فولاد زنگ‌نزن آستنیتی دارند بنابراین اساس انتخاب دمای پیش گرم در این پژوهش در اتصال غیر همجنس، بر اساس ترکیب شیمیایی فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی می‌باشد که با توجه به ترکیب شیمیایی فولاد مارتنزیتی مورد استفاده، دمای محاسبه شده

توسط معادله (۱)، 290°C انتخاب شد. [۱۵].
شکل‌های ۴ و ۵ نتایج آزمایش EDX و SEM را در ناحیه جوش فولاد زنگ‌نزن ۴۲۰ که با فلز پرکننده‌ی ER۴۱۰ جوشکاری و پیش گرم شده است، نشان می‌دهد. با مشاهده شکل ۴ مشخص می‌شود که با توجه به بالا بودن میزان کروم و هم چنین کربن در ناحیه جوش احتمال تشکیل رسوبات کاربیدی در این ناحیه وجود خواهد داشت؛ بنابراین انتظار می‌رود که در این حالت مقاومت به خوردگی کمتری را نسبت به حالت جوشکاری شده با فلز پرکننده آستنیتی به علت تشکیل رسوبات کاربید کروم داشته باشیم [۲۵].

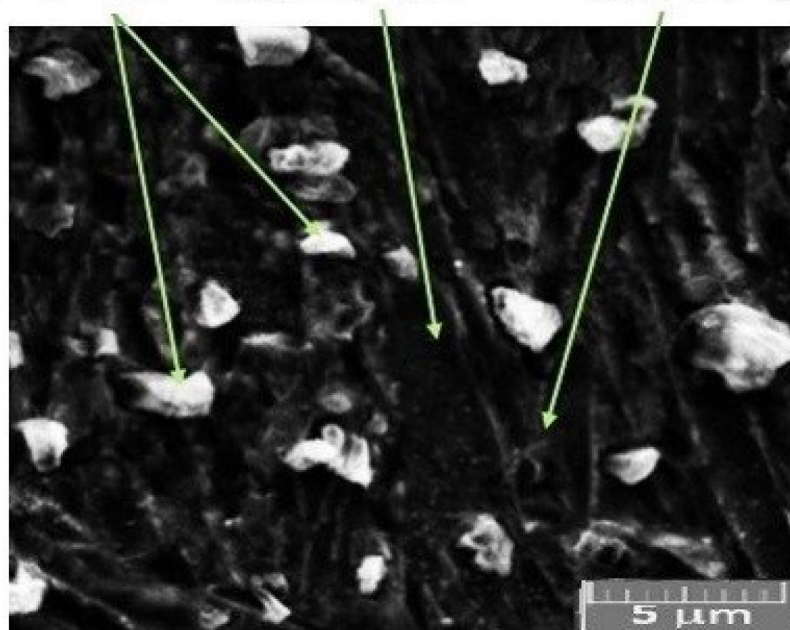
جدول ۲ - نام گذاری اختصاری ناحیه‌هایی که از آن آزمایش خوردگی به عمل آمده است

نام گذاری اختصاری	نام گذاری اولیه
ناحیه ۱	ترکیبی از ناحیه جوش و ناحیه متأثر از حرارت هر دو جنس فولاد AISI 304 و AISI 420 به صورت هم زمان
S ₁	نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER410 و با پیش گرم
S ₂	نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER410 و بدون پیش گرم
S ₃	نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER309L و با پیش گرم
S ₄	نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER309L و بدون پیش گرم



شکل ۴ - نتیجه آزمون EDX از ناحیه جوش نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER۴۱۰ و پیش گرم شده

ناحیه انجام آزمون EDX فاز زمینه‌ی مارتنزیتی رسوب کاربید کروم

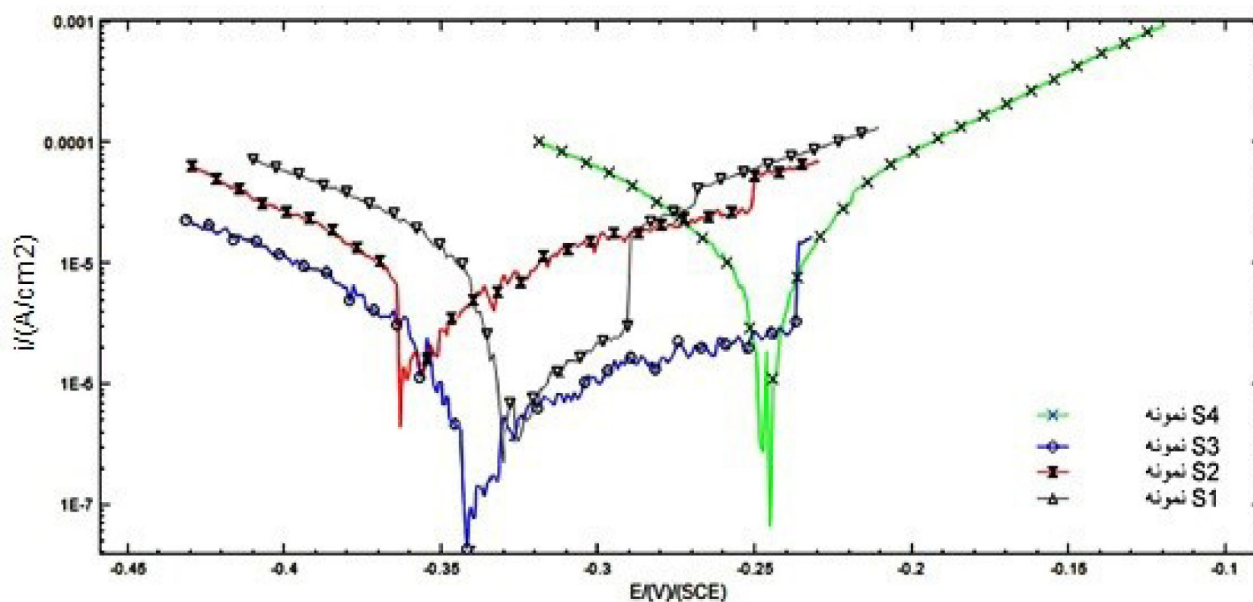


شکل ۵ - SEM از ناحیه جوش با فلز پرکننده‌ی ER۴۱۰ به همراه عملیات حرارتی پیش گرم

تأثیر عملیات حرارتی پیش گرم بر خوردگی حفره‌ای با استفاده از نمودار پلاریزاسیون سیکلی (شکل ۲) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این نمودار در جدول ۴ خلاصه شده است بر اساس این جدول و مقایسه‌ی نمونه‌ی S_1 نسبت به نمونه‌ی S_p و همچنین نمونه‌ی S_p نسبت به نمونه‌ی S_1 مشخص می‌شود که عملیات حرارتی پیش گرم عامل افزایش بازه حفاظت ($E_b - E_{pp}$) در هر دو صورت استفاده از فلزهای پرکننده‌ی ER۳۰۹L و یا ER۴۱۰ در ناحیه ۱ می‌باشد. همچنین بر اساس این جدول پهنای نمودار سیکلی (i_p) و نمونه‌ی S_1 نسبت به نمونه‌ی S_p و همچنین نمونه‌ی S_p نسبت به نمونه‌ی S_1 کاهش یافته است که نشان‌دهنده افزایش مقاومت در برابر خوردگی و یا کاهش میزان خوردگی در اثر پیش گرم می‌باشد. کاهش میزان خوردگی را می‌توان به تأثیر عملیات پیش گرم بر یکنواختی ساختار در فولادهای زنگ‌نزن جوشکاری شده نسبت داد. یکنواختی ساختار در فولادها، عاملی برای جلوگیری از تشکیل کوپل گالوانیکی بین ناحیه جوش و فلز پایه می‌باشد که در نتیجه آن کاهش سرعت خوردگی را خواهیم داشت. هم‌چنین در شکل ۸ که نشان‌دهنده ناحیه جوش از نمونه‌های S_1 و S_p می‌باشد، نیز مشاهده می‌شود که رسوبات ناحیه‌ی جوش از نمونه‌ی S_p در حالت پیش گرم نشده دارای تجمع بیشتری بر مرز دانه‌ها می‌باشند تجمع رسوبات بر مرز دانه‌ها باعث افزایش نواحی آندی بر مرز دانه‌ها و ضعیف‌تر شده مرز دانه‌ها نسبت به دانه‌ها خواهد شد که در نتیجه آن افزایش سرعت خوردگی خواهیم داشت. این موضوع تأییدی بر مطالب گفته شده

در شکل‌های ۸ تا ۱۰ ریزساختار نمونه‌ها پس از جوشکاری نشان داده شده است. ساختار فولاد زنگ نزن مورد استفاده در این پژوهش، مارتنزیتی و به صورت مارتنزیت لایه‌ای می‌باشد که این موضوع با توجه به اینکه میزان کربن فولاد زنگ نزن مورد استفاده (با توجه به جدول ۱)، ۰/۴۲۶٪ می‌باشد، تأیید می‌شود [۲۵].

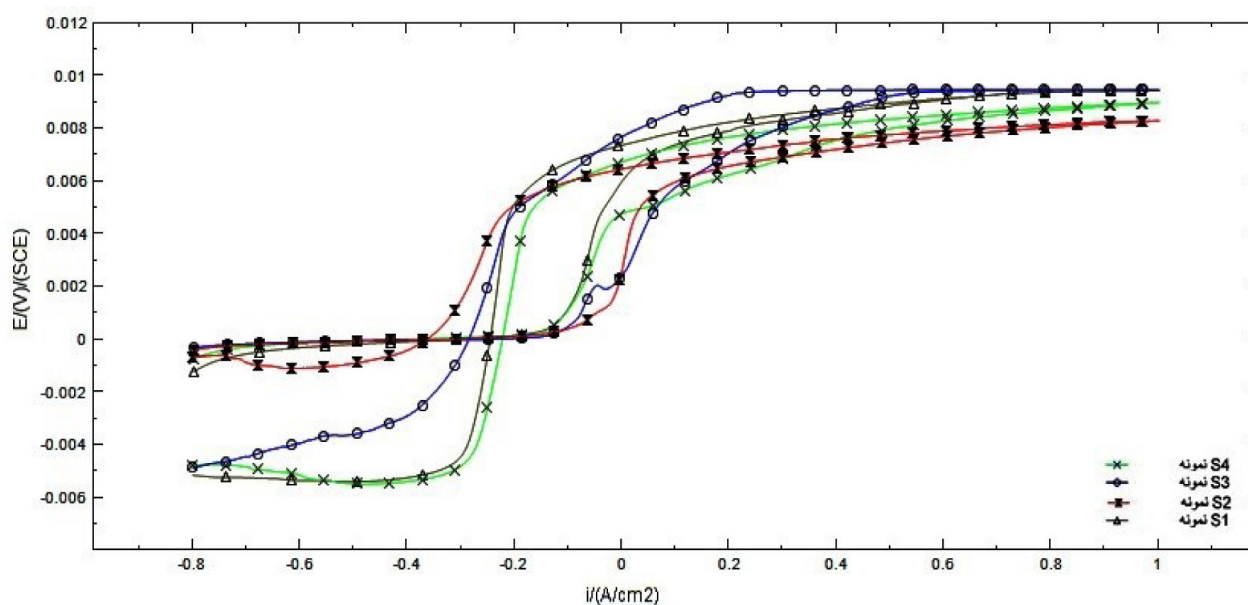
شکل ۶ نتایج آزمون پلاریزاسیون پتانسیو دینامیک در اتصال غیر هم جنس دو فولاد زنگ نزن استفاده شده در این تحقیق را از ترکیب ناحیه‌های جوش و HAZ نشان می‌دهد نتایج این شکل در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس این جدول مشاهده می‌شود که در نمونه‌های S_1 و S_p که توسط فلز پرکننده‌ی ER۴۱۰ جوشکاری شده‌اند، در اثر عملیات حرارتی پیش گرم، سرعت خوردگی (i_{cor}) در ناحیه ۱ که ترکیبی از ناحیه جوش و متأثر از حرارت در هر دو جنس فولاد می‌باشد، کاهش یافته است و هم‌چنین با مقایسه نمونه‌های S_p و S_1 با یکدیگر که توسط فلز پرکننده‌ی ER۳۰۹L جوشکاری شده‌اند، نیز کاهش خوردگی در اثر انجام عملیات حرارتی پیش گرم در ناحیه ۱ مشاهده می‌شود. هم‌چنین با توجه به نتایج به دست آمده از شکل ۶ و جدول ۳ مشاهده می‌شود که تفاوت بسیار محسوسی در پتانسیل مدار باز نمونه‌های پیش گرم شده نسبت به نمونه‌های پیش گرم نشده وجود دارد. علت این تفاوت را می‌توان یکنواختی ساختار و همچنین کم‌تر شدن عیوب ایجاد شده در نمونه‌های پیش گرم شده دانست که در نتیجه نواحی آندی در ناحیه جوش کاهش می‌یابد و بنابراین افزایش پتانسیل مدار باز این نواحی را نسبت به نمونه‌های پیش گرم نشده خواهیم داشت [۲۶ و ۲۷].



شکل ۶ - نتایج آزمایش‌های پلاریزاسیون پتانسیو دینامیک، ناحیه ترکیبی از ناحیه‌های جوش و HAZ

جدول ۳ - نتایج آزمایش‌های پلاریزاسیون پتانسیو دینامیک، ناحیه ترکیبی از ناحیه‌های جوش و HAZ

پارامتر	نمونه	OCP	b_a (mV/dec)	b_c (mV/dec)	i_{cor} (A/Cm ²)	Corrosion Rate (mm/year)	Polarization Resistance (K Ω)
	S ₁	-۰/۳۱۰	۲/۹۴۳	۳۲/۵۵۲	۳۶۲/۷۸ nA/Cm ²	۴/۲۸۰۸×۱۰ ^{-۳}	۳/۲۳۱
	S ₂	-۰/۳۳	۴/۳۰۴	۶۴/۶۴۵	۱/۷۹۳ μ A/Cm ²	۲/۱۱۶×۱۰ ^{-۲}	۹/۷۷۱×۱۰ ^{-۱}
	S ₃	-۰/۳۳۲	۶/۳۰۹	۵۹/۱۹۷	۲۲۲/۳ nA/Cm ²	۲/۶۲۳۲×۱۰ ^{-۳}	۱۱/۱۳۹
	S ₄	-۰/۲۱۹	۶/۵۵۸	۱۱/۸۰۵	۸۸۹ nA/Cm ²	۱/۰۴۹×۱۰ ^{-۲}	۲/۰۵۹



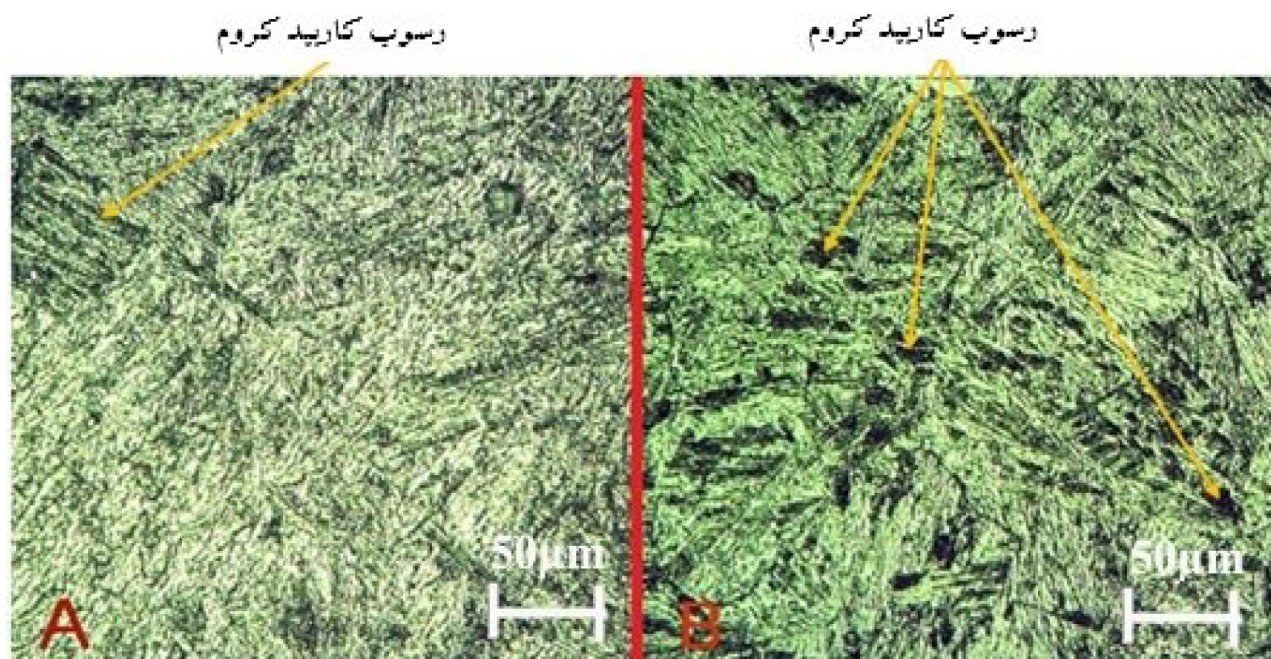
شکل ۷ - نتایج آزمایش‌های پلاریزاسیون سیکیلی، ناحیه ترکیبی از ناحیه‌های جوش و HAZ

ER۳۰۹L ساختار از یکنواختی بیشتری برخوردار می باشد و بنابراین تشکیل کوپل گالوانیکی بین ناحیه جوش و فلز پایه غیرمحمتمل خواهد بود. همچنین از طرف دیگر با بکار گیری فلز پرکننده ER۳۰۹L احتمال شکل گیری مارتنزیت لایه ای که از مقاومت به خوردگی کمتری برخوردار است، در طی فرآیند جوشکاری کمتر خواهد بود. با توجه به این دلایل با بکار گیری فلز پرکننده ER۳۰۹L در اتصال غیر همجنس دو فولاد زنگ نزن آستنیتی و مارتنزیتی بیشترین مقاومت به خوردگی را خواهیم داشت.

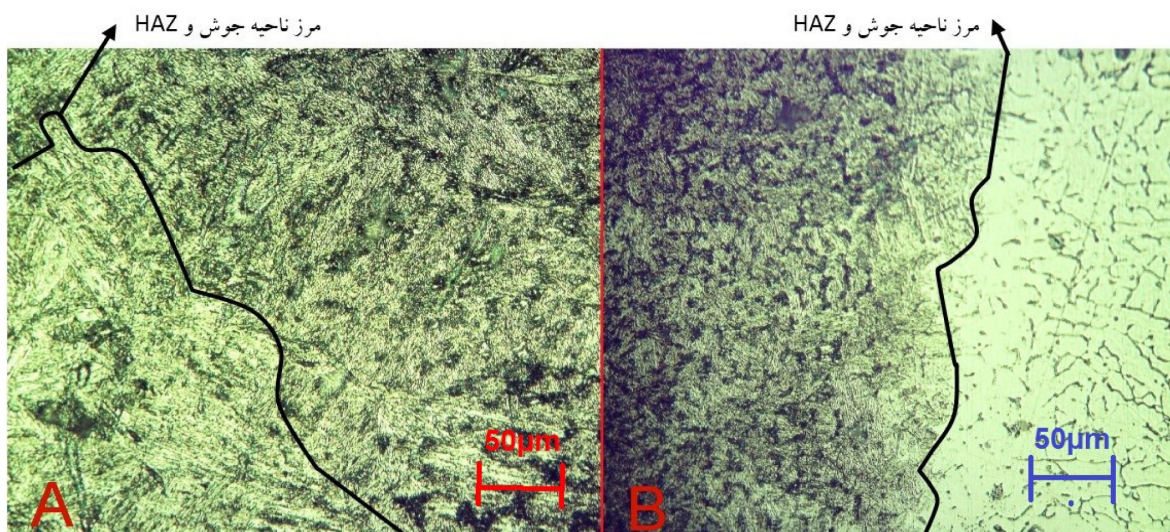
بر اساس نتایج آزمایش های خوردگی ذکر شده در جداول ۳ و ۴، در مقایسه ی تأثیر فلزهای پرکننده ی ER۴۱۰ و ER۳۰۹L بر خوردگی نمونه ها، مشاهده می شود که در هر دو حالت پیش گرم شده و بدون پیش گرم، نمونه های جوشکاری شده توسط فلز پرکننده ی ER۳۰۹L مقاومت به خوردگی بهتری نسبت به فلز پرکننده ER۴۱۰ نشان می دهند. دلیل این پدیده را می توان به ساختار ایجاد شده در طی فرآیند جوشکاری با فلز پرکننده ER۳۰۹L عنوان کرد. همان طوری که در شکل های ۹ و ۱۰ مشاهده می شود در هنگام استفاده از فلز پرکننده ی

جدول ۴ - نتایج آزمایش های پلاریزاسیون سیکلی، ناحیه ترکیبی از ناحیه های جوش و HAZ

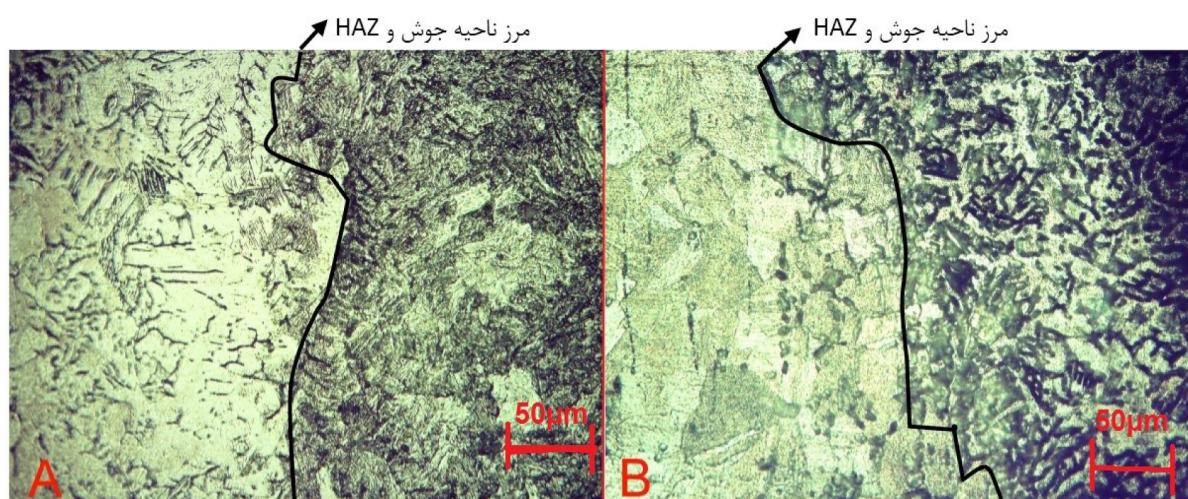
بارامتر نمونه	E_{pp} (V)	E_b (V)	$E_b - E_{pp}$ (V)	i_2 (A/Cm ²)	i_1 (A/Cm ²)	$i_2 - i_1$ (A/Cm ²)
S ₁	$1/9.01 \times 10^{-4}$	$8/693 \times 10^{-3}$	$8/5.03 \times 10^{-3}$	$-6/0.27 \times 10^{-2}$	$-1/994 \times 10^{-1}$	$1/391 \times 10^{-1}$
S ₂	$2/563 \times 10^{-5}$	$8/2.06 \times 10^{-3}$	$8/18 \times 10^{-3}$	$7/629 \times 10^{-4}$	$-2/7.02 \times 10^{-1}$	$2/7.09 \times 10^{-1}$
S ₃	$1/847 \times 10^{-6}$	$9/466 \times 10^{-3}$	$9/464 \times 10^{-3}$	$1/541 \times 10^{-2}$	$-2/36 \times 10^{-1}$	$2/514 \times 10^{-1}$
S ₄	$7/522 \times 10^{-5}$	$8/849 \times 10^{-3}$	$8/773 \times 10^{-3}$	$-6/515 \times 10^{-2}$	$-2/262 \times 10^{-1}$	$1/611 \times 10^{-1}$



شکل ۸ - شکل ناحیه جوش (فلز پرکننده ی ER۴۱۰) با بزرگنمایی ۴۰۰ برابر (فاز زمینه مارتنزیت)
A: نمونه پیش گرم شده (نمونه S_۱) B: نمونه پیش گرم نشده (نمونه S_۲)



شکل ۹ - مرز ناحیه جوش و HAZ با بزرگنمایی ۴۰۰ برابر
A: نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER۴۱۰ و با پیش گرم
B: نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER۳۰۹L و با پیش گرم
سمت راست: ناحیه جوش سمت چپ: ناحیه HAZ (فولاد زنگ نزن ۴۲۰ با زمینه مارتنزیتی)



شکل ۱۰ - مرز ناحیه جوش و HAZ با بزرگنمایی ۴۰۰ برابر
A: نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER۴۱۰ و با پیش گرم
B: نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER۳۰۹L و با پیش گرم
سمت راست: ناحیه جوش سمت چپ: ناحیه HAZ (فولاد زنگ نزن ۳۰۴ با زمینه آستنیتی)

نتیجه گیری

- دمای مناسب برای انجام عملیات پیش گرم در اتصال غیر همجنس دو فولاد زنگ‌نزن آستنیتی و مارتنزیتی مورد استفاده در این پژوهش در حدود 290°C می‌باشد.

- در صورت استفاده از فلز پرکننده‌ی مارتنزیتی برای جوشکاری فولاد زنگ نزن مارتنزیتی ۴۲۰ حتما باید از عملیات حرارتی پیش گرم استفاده کرد در این صورت افزایش مقاومت به خوردگی را نسبت به نمونه‌های پیش گرم نشده خواهیم داشت.

- بهترین روش برای جوشکاری غیر همجنس دو فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴ و مارتنزیتی ۴۲۰ استفاده از فلز پرکننده‌ی ER۳۰۹L به همراه عملیات پیش گرم در دمای 290°C می‌باشد که علت را می‌توان به کاهش احتمال تشکیل مارتنزیت لایه‌ای و هم‌چنین یکنواختی ساختار حاصله در اثر استفاده از فلزهای پرکننده‌ی آستنیتی نسبت به فلزهای پرکننده‌ی مارتنزیتی برای اتصال غیر همجنس در طی فرآیند جوشکاری ربط داد.

مراجع

- [1] P. D. Harvey, Engineering properties of steel, ASM International, first Ed, 1982.
- [2] P. M. Unterweise, H.E. Boyer and J. J. Kubbs, Heat treater's guide: standard practices and procedures for steel, American Society for Metals, 2010.
- [3] M. Ahmed, A. Mu'az, Effect of heat treatment temperature on mechanical properties of the AISI 304 stainless steel, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 3, 2014, pp. 9516-9520.
- [4] M. Dadfar, M. Fathi, M. Karimzadeh, A. Saatchi, Effect of TIG welding on corrosion behavior of 316L stainless steel, Materials Letters, Vol. 61, 2007, pp. 2343-2346.
- [5] A. Afolabi, N. Peleowo, Effect of heat treatment on corrosion behaviour of austenitic stainless steel in mild acid medium, international conference on chemical, Ecology and Environmental Sciences, Pattaya, 2011, pp. 380-383.
- [6] E. Akinlabi, A. Akinlabi, Characterising the effects of heat treatment on 3CR12 and AISI 316 stainless steels, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, Vol. 8, 2014, pp. 254-259.
- [7] N. Poulouse, R. Sanjeev kumar, M. Prabakaran, R. Rajkumar, Investigation of mechanical properties and microstructure of GTAW on dissimilar metals, International Journal of Applied Research, Vol. 7, 2015, pp. 97-99.
- [8] A. Nasery Isfahany, H. Saghafian, The effect of heat treatment on mechanical properties and corrosion behavior of AISI420 martensitic stainless steel, Journal of Alloys and Compounds, Vol. 509, 2011, pp. 3931-3936.
- [9] Rajasekhar, Corrosion behavior of martensitic stainless steels-role of composition and heat treatment procedures, International Journal of Science and Research (IJSR), Vol. 4, 2015, pp. 2795-2798.
- [10] C. Köse, R. Kaçar, The effect of preheat & post weld heat treatment on the laser weldability of AISI 420 martensitic stainless steel, Materials and Design, Vol. 64, 2014, pp. 221-226.
- [11] A. Rajasekhar, Effect of welding process and weld treatment on microstructure and mechanical properties of AISI 431 martensitic stainless steel, International Journal of Technical Research and Applications, Vol. 3, 2015, pp. 280-285.
- [12] M. Dewan, J. Liang, M. Wahab, A. Okeil, Effect of post-weld heat treatment and electrolytic plasma processing on tungsten inert gas welded AISI 4140 alloy steel, Materials and Design, Vol. 54, 2014, pp. 6-13.
- [13] Rajasekhar, Influence of microstructure on mechanical properties of martensitic stainless steel Welds, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), Vol. 12, 2015, pp. 5-10.
- [14] A. Salih, M. Zaidi Omar, S. Junaidi, Z. Sajuri, Effect of different heat treatment on the SS440C martensitic stainless steel, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 5, 2011, pp. 867-871.
- [15] معینان. مهرداد، کلید جوشکاری (جلد اول)، چاپ دوم، تهران: انتشارات آزاده، چاپ دوم، ۱۳۸۳.
- [16] Cp. Dillon, Corrosion resistance of stainless Steels Corrosion, Taylor and Francis, New York, 2000.
- [17] M.R. Daroonparvar, M. Mazar Atabaki, A. Vakili, Effect of pre-heat treatment on corrosion behavior of Nickel-Aluminium Bronze alloy, Metalurgija - MJoM, Vol. 17, 2011, Pp. 183-198.
- [18] C. Köse, R. Kaçar, The effect of preheat & post weld heat treatment on the laser weldability of AISI 420 martensitic Stainless steel, Materials and Design, Vol. 64, 2014, pp. 221-226

- [19] S. Kumar, G.P. Chaudhari, S.K. Nath, B. Basu, Effect of preheat temperature on weldability of martensitic stainless steel. *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 18, 2012, pp. 1382-1386.
- [20] M. Hong, Q. Guoliang, W. Liyuan, Effects of preheat treatment on microstructure evolution and properties of brazed-fusion welded joint of aluminum alloy to steel, *Materials and Design*, Vol. 90, pp. 330-339.
- [21] Specification for stainless steel electrodes for shielded metal Arc welding, American Welding Society (AWS), AWS A5.4/A5.4M, 2006.
- [22] Standard practice for laboratory immersion corrosion testing of metals, G 31, ASTM International, 2009.
- [23] ASM Metal Handbook, Metallography and Microstructures, 1985.
- [24] Standard practice for preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens, ASTM International, G1, 2009.
- [25] M. A. Golozar, Principle and applications of heat treatment of Steels, 2010.
- [26] M.G. Fontana, Corrosion engineering, McGraw-Hil, 9th Ed, 1985.
- [27] A. Schweitzer, Fundamentals of corrosion, Taylor and Francis, 2010.