تأثیر عملیات حرارتی پیش‌گرم و جنس فلز پرکننده بر مقاومت به خوردگی فولاد زنگ‌نزن 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 پیش‌گرم و بدون پیش گرم با فلزهای پرکنندهی آستنیتی و مارتنزیتی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. پس از انجام جوشکاری به روش TIG[1]، آزمایش‌های خوردگی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک و سیکلی بر روی نمونه‌ها انجام شد. هم‌چنین ریزساختار نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی موردبررسی قرار گرفت. با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از آزمون‌های خوردگی و ریزساختاری، فلز پرکنندهی مناسب و هم‌چنین انجام یا عدم انجام پیش‌گرمایش تعیین شد. در پایان مشخص شد که انجام عملیات پیش‌گرم به همراه استفاده از فلز پرکنندهی آستنیتی، یک شرایط مناسب برای رسیدن به مقاومت به خوردگی بالا در اتصال غیر هم‌جنس فولادهای زنگ‌نزن AISI ۴۲۰ و AISI ۳۰۴ به یکدیگر می‌باشد.

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

1 - Tungsten Inert Gas

[Downloaded from journal.ica.ir on 2026-11-07]

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 scnning 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;

[Downloaded from journal.ica.ir on 2026-11-07]

۱ ـ مقدمه

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

انواع آستنیتی به‌سادگی توسط اغلب فرایندهای جوشکاری نفوذی متداول و مقاومتی و لحیم‌کاری جوشکاری می‌شوند. فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی تأمین‌کننده 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 بین‌دانه‌ای است قرار دارند. فولاد کاملاً آنیل شده از این ضعف مبرا است، اما اگر در هنگام ساخت یا استفاده، آلیاژی در حدود ۴۲۵°C تا ۸۱۵ (۱۵۰۰°F تا ۸۰۰) گرم یا به آرامی در این محدوده سرد شود بعد از گرم کردن به درجه حرارت بالاتر، کاربیدها در فولاد تمایل به تجمع در مرزدانه‌ها پیداکرده 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 ـ ۳].

فولادهای مارتنزیتی ازنظر مقاومت خوردگی به‌اندازه نوع فولادهای فریتی و آستنیتی مقاوم نیستند، دارای خصوصیات خوب شکل‌پذیری سرد بوده و میتوانند جوشکاری شوند، اما معمولاً بعد از شکل‌دهی یا جوشکاری جهت جلوگیری از ترک خوردن نیاز به آنیل دارند و سپس تحت عملیات سخت‌کاری جهت بهبود استحکام بالاتر و مقاومت خوردگی بهینه قرار می‌گیرند [۱۲ ـ ۸]. ضمن گرم کردن فولادهای مارتنزیتی در درجه حرارت سخت‌کاری، کاربیدهای کروم حل‌شده و کربن به‌صورت یکنواخت در ساختار فلزی توزیع می‌شود. اگر عملیات کوئنچ به‌اندازه کافی سریع باشد، کربن نمی‌تواند مجددا 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 به‌آسانی 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 دما و یا آنیل مرحله‌ای کرد. دارای کاربردهایی هم‌چون ابزار برش، لوله‌های تحت‌فشار، تولید پره‌های توربین، کارد و چنگال، موتورهای جت، قطعات کمپرسور، انواع پمپ و ژنراتورهای بخار، تیغه‌های مخلوط‌کن، سکوهای داخل آب برای استخراج نفت، بخش‌های ساختمانی، قطعات کمپرسور، پیچ ماشین‌آلات 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 پرکنندهی هم‌جنس برای جوشکاری استفاده شود. ولی اگر در جوشکاری‌هایی هم‌چون جوش قوس الکتریکی[1]، از فلز پرکننده مارتنزیتی استفاده شود، با مشکل تردی هیدروژنی در فولاد زنگ‌نزن 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 هم‌چنین استفاده از روش جوشکاری TIG، از فلز پرکنندهی مارتنزیتی نیز برای جوشکاری استفاده شد؛ زیرا پیش‌گرم کردن باعث کاهش ورود هیدروژن به ماده می‌شود و هم‌چنین 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 پیش‌گرمایی زیاد یا بیش از حد، پهن‌تر 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 بیش‌ازحد پیش گرم شود. ازاین‌رو 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_f در دیاگرام دما زمان دگرگونی (T.T.T)[2] 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 به‌وسیله‌ی معادله (۱) محاسبه نمود:

معادله (۱)

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

دمای تکمیل یا انتهای استحاله مارتنزیتی شدن نیز معمولاً در حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد کم‌تر از Ms می‌باشد (معادله ۲). [۱۵ و ۱۶].

معادله (۲)

$$M_f = Ms - 100$$

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

بر روی تأثیر عملیات حرارتی پیش‌گرم فولاد زنگ نزن آستنیتی و مارتنزیتی پژوهش‌هایی در زمینه‌های جوش‌پذیری فولاد زنگ نزن مارتنزیتی و هم‌چنین انرژی شکست و مقاومت به خوردگی فولاد زنگ نزن ۳۰۴ انجام‌شده است که به‌عنوان نمونه می‌توان به پژوهش‌های انجام‌شده توسط دارون پرور[3] (۲۰۱۱) در زمینه‌ی تأثیر پیش‌گرمایش بر رفتار خوردگی آلیاژ نیکل ـ آلومینیوم برنز و هم‌چنین کاسی[4] (۲۰۱۴) که بررسی تأثیر عملیات پیش‌گرم و

1 - Arc Weld
2 - Time Temperature Transformation
3 - Daroonparvar
4 - Kose

[Downloaded from journal.ica.ir on 2026-11-07]

پس‌گرم بر جوش‌پذیری لیزر فولاد زنگ نزن ۴۲۰ پرداختند اشاره کرد هم‌چنین می‌توان به پژوهش‌های انجام‌شده توسط کومار[1] (۲۰۱۲) در مورد تأثیر دمای پیش‌گرم بر جوش‌پذیری فولاد زنگ نزن مارتنزیتی و هونگ و همکارانش که تأثیر عملیات پیش‌گرم بر دگرگونی میکروساختار و خواص اتصال غیر هم‌جنس آلیاژ 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 ـ ۱۷].

در این پژوهش مقاومت به خوردگی دو نوع فولاد زنگ نزن آستنیتی و مارتنزیتی در اتصال غیر هم‌جنس موردتوجه قرارگرفته است آنچه این تحقیق را از سایر پژوهش‌های انجام‌شده متمایز میکند انتخاب نوع فلز پرکننده و عملیات پیش‌گرمایش و تأثیر این دو عامل بر مقاومت به خوردگی می‌باشد.

۲ـ روش انجام تحقیق

۲ ـ ۱ ـ مواد مصرفی

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

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

۲ ـ ۲ ـ عملیات حرارتی و جوشکاری

ازآنجاکه هدف از پژوهش انجام‌شده بررسی تأثیر دمای عملیات حرارتی پیش گرم بر خوردگی فولاد زنگ‌نزن در اتصال فولادهای زنگ‌نزن ۴۲۰ و ۳۰۴ جوشکاری شده به یکدیگر با فلزهای پرکنندهی مختلف می‌باشد، نمونه‌ها در دو حالت پیش‌گرم شده و پیش‌گرم نشده، جوشکاری شدند و به‌منظور انجام عملیات پیش‌گرمایش، نمونه‌ها توسط کوره الکتریکی در دمای ۲۹۰ °C و به مدت‌زمان ۲۰ دقیقه پیش‌گرم شدند تا سطح و مرکز نمونه‌ها هم‌دما گردد و بلافاصله پس از خروج قطعه از کوره، عملیات جوشکاری انجام شد. جوش انجام‌شده 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 پرکنندهی ER۴۱۰ و ER۳۰۹L باضخامت mm ۲/۴ در حالات پیش‌گرم شده و پیش‌گرم نشده جوشکاری شدند. فلزهای پرکنندهی به‌کاربرده شده طبق استاندارد AWS 5.4 انتخاب‌شده‌اند. پس از اتمام جوشکاری نمونه‌ها در هوای اتاق به‌آرامی سرد شدند و پس از سرد شدن کامل، سطح نمونه‌ها توسط ژل مخصوص پس از جوشکاری پاک‌سازی شدند [۲۱].

۲ ـ ۳ ـ برشکاری نمونه‌ها

نمونه‌ها پس از جوشکاری، توسط دستگاه واتر جت در ابعاد موردنظر برای انجام آزمایش‌های خوردگی و متالوگرافی برش‌کاری شدند. دلیل انتخاب دستگاه واتر جت برای برشکاری، برشکاری دستگاه در دمای اتاق می‌باشد زیرا برای آزمایش‌های انجام‌شده لازم می‌باشد که دمای قطعه به‌جز در زمان جوشکاری و عملیات حرارتی پیش‌گرم، بالا نرود تا بتوان به‌دقت نتایج حرارت‌های ناشی از پیش‌گرمایش و جوشکاری را بررسی نمود.

۲ ـ ٤ ـ آزمایش خوردگی و متالوگرافی

نمونه‌های آزمایش خوردگی طبق استاندارد G31 ASTM آماده‌سازی شدند هم‌چنین نمونه‌های پس از طی مراحل پولیش توسط محلول رالف[2] با ترکیب شیمیایی زیر اچ شدند [۲۲ و ۲۳].

Ralph: 100 cc H_2o + 200 cc methyl alchol + 100 cc HCl + 2 gr $CuCl_2$ + 7 gr $FeCl_2$ + 5 cc HNo_3

آزمایش خوردگی توسط دستگاه Auto lab Aut TypeIII به دو صورت پلاریزاسیون سیکلی و پتانسیو دینامیک و با استفاده از الکترود مرجع کالومل و در محدوده ۱۰۰۰± از پتانسیل مدارباز بعد از رسیدن پتانسیل نمونه‌ها به حالت پایدار و اندازه‌گیری پتانسیل مدارباز، با سرعت روبش $V.S^{-1}$ ۰/۰۱ انجام شد [۲۴]. آزمون‌های

جدول ۱ ـ آنالیز کوانتومتری فولاد زنگ‌نزن ۴۲۰

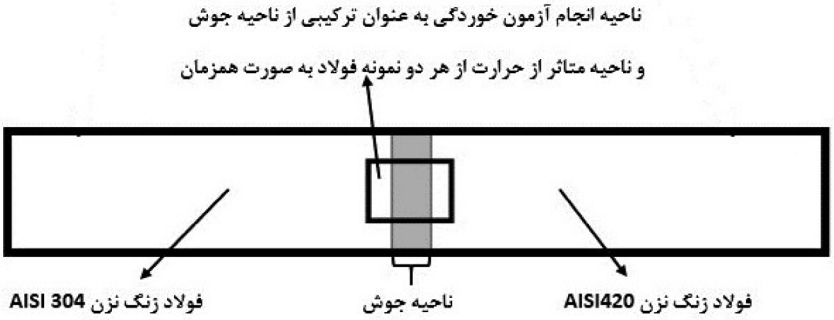
عناصر	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
AISI 420	پایه	۰/۴۲۶	۰/۴۶۸	۰/۴۰۳	۰/۰۰۵	<۰/۰۰۵	۱۴	۰/۰۲۶
AISI 304	پایه	۰/۰۴	۰/۲۱	۱/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۱۹/۳۸	۰/۰۴
عناصر	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
AISI 420	۰/۰۹۱	۰/۰۹	۰/۰۱۴	۰/۰۰۲	<۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۳	<۰/۰۲
AISI 304	۸/۴۲	-	-	۰/۰۹	-	-	-	-

1 - Hong
2 - Ralph

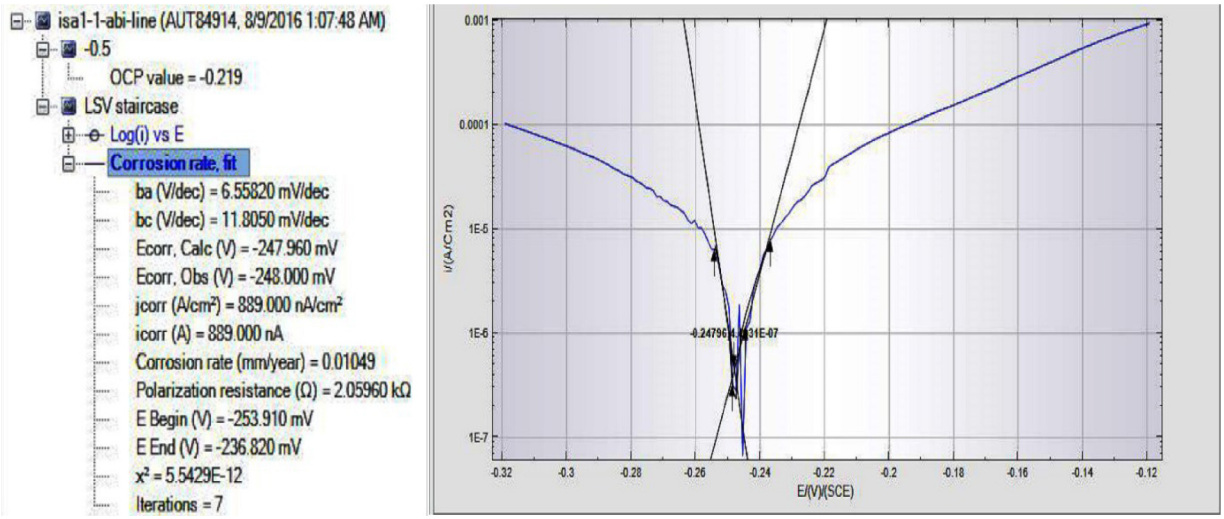
[Downloaded from journal.ica.ir on 2026-11-07]

خوردگی از ناحیه مشخص‌شده در شکل ۱ گرفته شده‌اند.
هم‌چنین تصاویر ریزساختاری نمونه‌ها با بزرگنمایی ۴۰۰X 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 گرفته‌شده است.

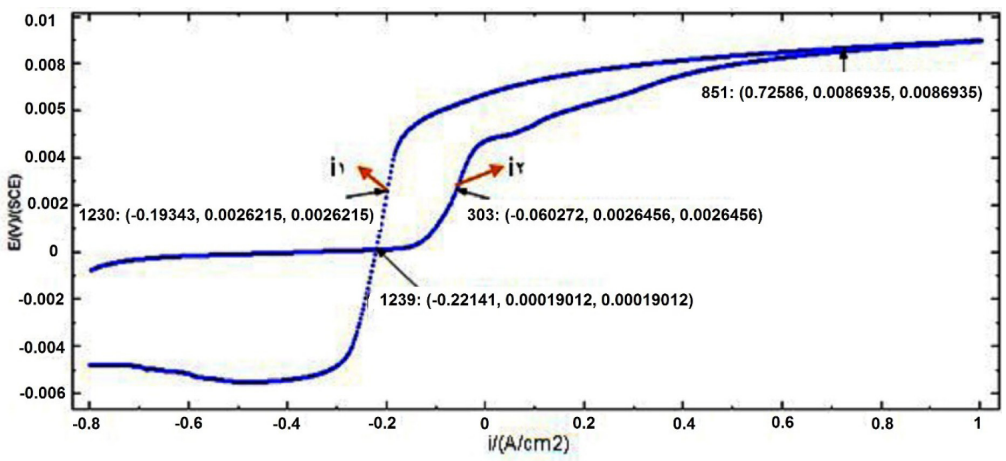
آزمون‌های خوردگی در محیط برنامه NOVA 1.8 انجام گردید و عوامل حاصله از آزمون نیز از برنامه‌ی مذکور استخراج شدند. نمونه‌ی برون‌یابی عوامل آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک در شکل ۲ نشان داده‌شده است. نقطه‌های i_1 و i_2 جهت تعین پهنای نمودار در آزمایش پلاریزاسیون سیکلی مطابق با شکل ۳ استفاده شد.



شکل ۱ ـ شماتیک ناحیه‌هایی که از آن آزمون خوردگی به‌عمل‌آمده است



شکل ۲ ـ نمونه‌ای از اندازه‌گیری پارامترهای آزمون پتانسیو دینامیک در محیط برنامه NOVA ۱.۸ (نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده-ی ER۳۰۹L و بدون پیش گرم (نمونه S٤))



شکل ۳ ـ 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 S1))

[Downloaded from journal.ica.ir on 2026-11-07]

به‌منظور اختصار در ادامه‌ی مطالب نام ناحیه‌هایی که از آن‌ها آزمون خوردگی گرفته‌شده و هم‌چنین نام نمونه‌ها به‌صورت جدول ۲ نام‌گذاری می‌شود.

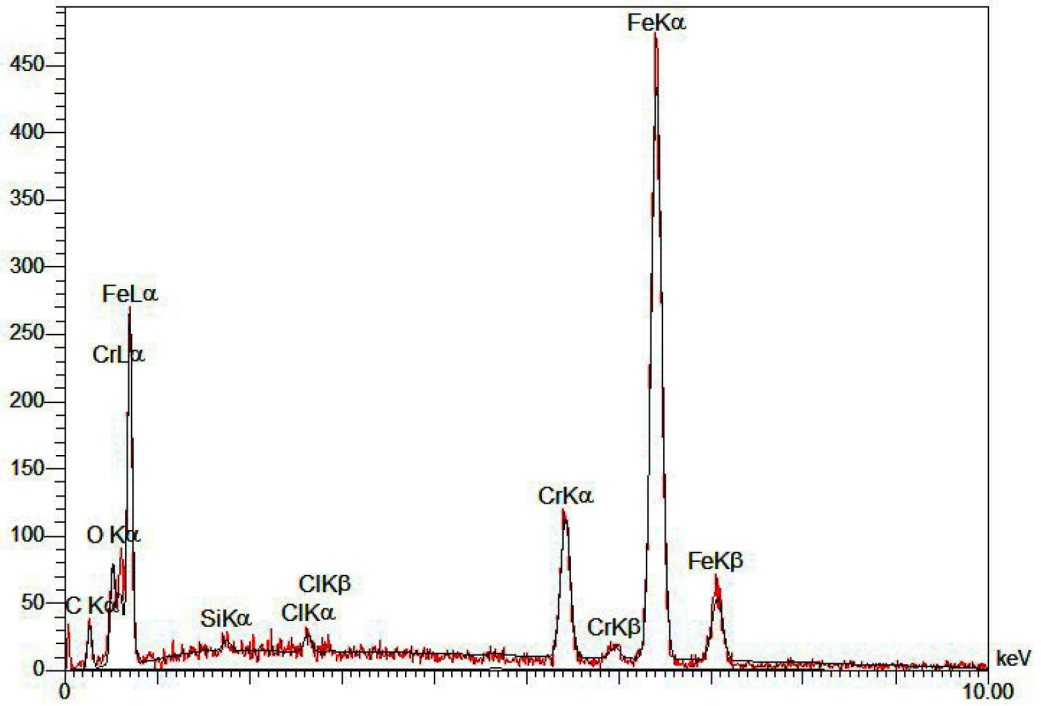
۳ ـ نتایج و بحث

فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی نیاز بیشتری به انجام پیش‌گرمایش نسبت به فولاد زنگ‌نزن آستنیتی دارند بنابراین اساس انتخاب دمای پیش‌گرم در این پژوهش در اتصال غیر هم‌جنس، بر اساس ترکیب شیمیایی فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی می‌باشد که با توجه به ترکیب شیمیایی فولاد مارتنزیتی مورداستفاده، دمای محاسبه‌شده توسط معادله (۱)، ۲۹۰ °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 پیش‌گرم شده است، نشان می‌دهد. با مشاهده شکل ۴ مشخص می‌شود که با توجه به بالا بودن میزان کروم و هم‌چنین 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].

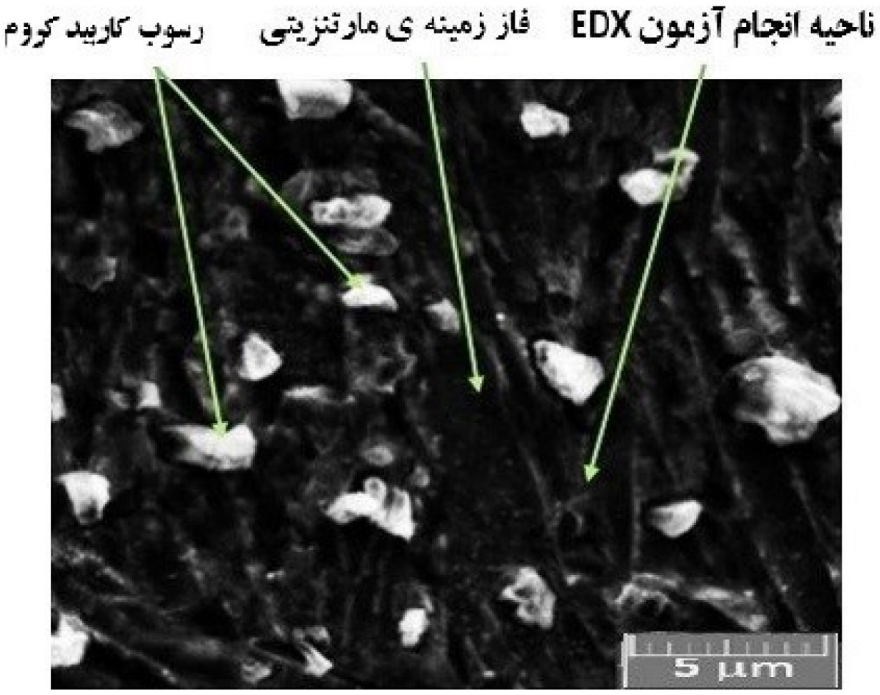
جدول ۲ ـ نام‌گذاری اختصاری ناحیه‌هایی که از آن آزمایش خوردگی به‌عمل‌آمده است

نام‌گذاری اختصاری	نام‌گذاری اولیه
ناحیه ۱	ترکیبی از ناحیه جوش و ناحیه متأثر از حرارتِ هر دو جنس فولاد AISI 420 و AISI 304 به‌صورت هم‌زمان
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 ٤ ـ نتیجه آزمون EDX از ناحیه جوش نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER٤١٠ و پیش‌گرم شده

[Downloaded from journal.ica.ir on 2026-11-07]



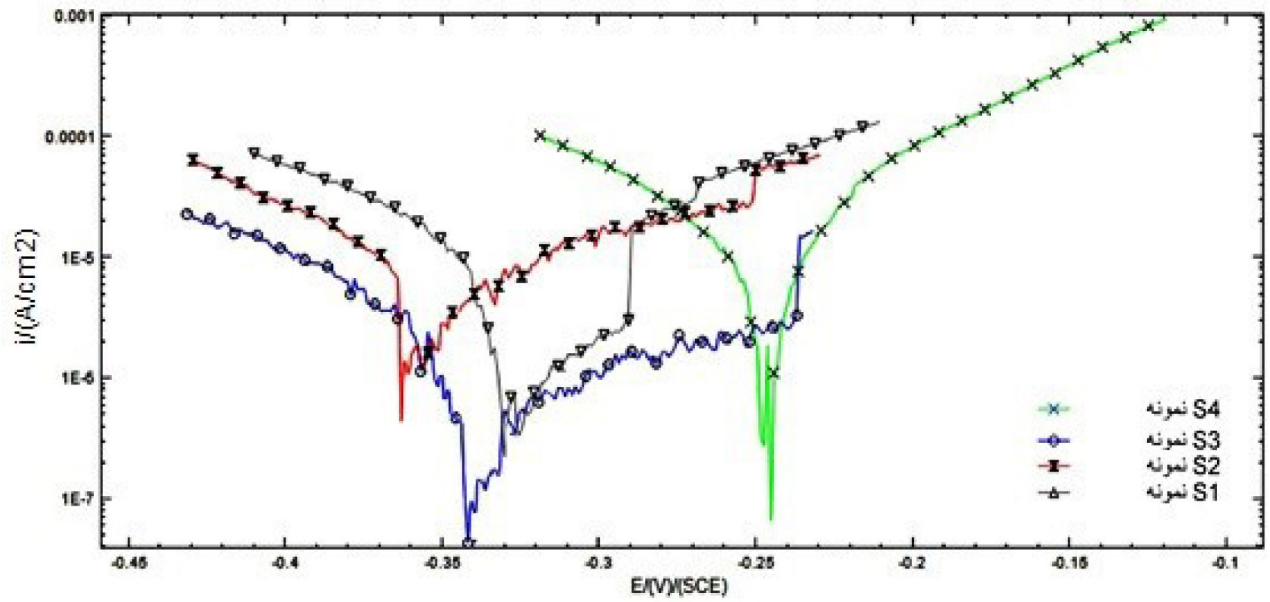
شکل ۵ ـ شکل SEM از ناحیه جوش با فلز پرکننده‌ی ER۴۱۰ به همراه عملیات حرارتی پیش‌گرم

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

شکل ۶ نتایج آزمون پلاریزاسیون پتانسیو دینامیک در اتصال غیر هم‌جنس دو فولاد زنگ نزن استفاده‌شده 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_2 که توسط فلز پرکننده‌ی ER۴۱۰ جوشکاری شده‌اند، در اثر عملیات حرارتی پیش‌گرم، سرعت خوردگی (i_{cor}) در ناحیه ۱ که ترکیبی از ناحیه جوش و متأثر از حرارت در هردو جنس فولاد می‌باشد، کاهش‌یافته است و هم‌چنین با مقایسه نمونه‌های S_3 و S_4 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 به‌دست‌آمده از شکل ۶ و جدول ۳ مشاهده می‌شود که تفاوت بسیار محسوسی در پتانسیل مدارباز نمونه‌های پیش‌گرم شده نسبت به نمونه‌های پیش گرم نشده وجود دارد. علت این تفاوت را می‌توان یکنواختی ساختار و همچنین کم‌تر شدن عیوب ایجادشده در نمونه‌های پیش‌گرم شده دانست که درنتیجه نواحی آندی در ناحیه جوش کاهش می‌یابد و بنابراین افزایش پتانسیل مدارباز این نواحی را نسبت به نمونه‌های پیش‌گرم نشده خواهیم داشت [۲۶ و ۲۷].

تأثیر عملیات‌حرارتی پیش گرم برخوردگی حفره‌ای با استفاده از نمودار پلاریزاسیون سیکلی (شکل ۲) موردبررسی قرارگرفته است. نتایج این نمودار در جدول ۴ خلاصه‌شده است بر اساس این جدول و مقایسه‌ی نمونه‌ی S_1 نسبت به نمونه‌ی S_2 و هم‌چنین نمونه‌ی S_3 نسبت به نمونه‌ی S_4 مشخص می‌شود که عملیات حرارتی پیش گرم عامل افزاینده‌ی 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_2 و i_1) نمونه‌ی S_1 نسبت به نمونه‌ی S_2 و همچنین نمونه‌ی S_3 نسبت به نمونه S_4 کاهش‌یافته است که نشان‌دهنده افزایش مقاومت در برابر خوردگی و یا کاهش میزان خوردگی در اثر پیش‌گرم می‌باشد. کاهش میزان خوردگی را می‌توان به تأثیر عملیات پیش‌گرم 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 درنتیجه آن کاهش سرعت خوردگی را خواهیم داشت. هم‌چنین در شکل ۸ که نشان‌دهنده‌ی ناحیه جوش از نمونه‌های S_1 و S_2 می‌باشد، نیز مشاهده می‌شود که رسوب‌های نمونه در حالت پیش‌گرم نشده دارای تجمع بیشتری بر مرزدانه‌ها می‌باشند تجمع رسوبات بر مرز دانه‌ها باعث افزایش نواحی آندی بر مرز دانه‌ها و ضعیف‌تر شده مرز دانه‌ها نسبت به دانه‌ها خواهد شد که درنتیجه آن افزایش سرعت خوردگی خواهیم داشت. این موضوع تأییدی بر مطالب گفته‌شده

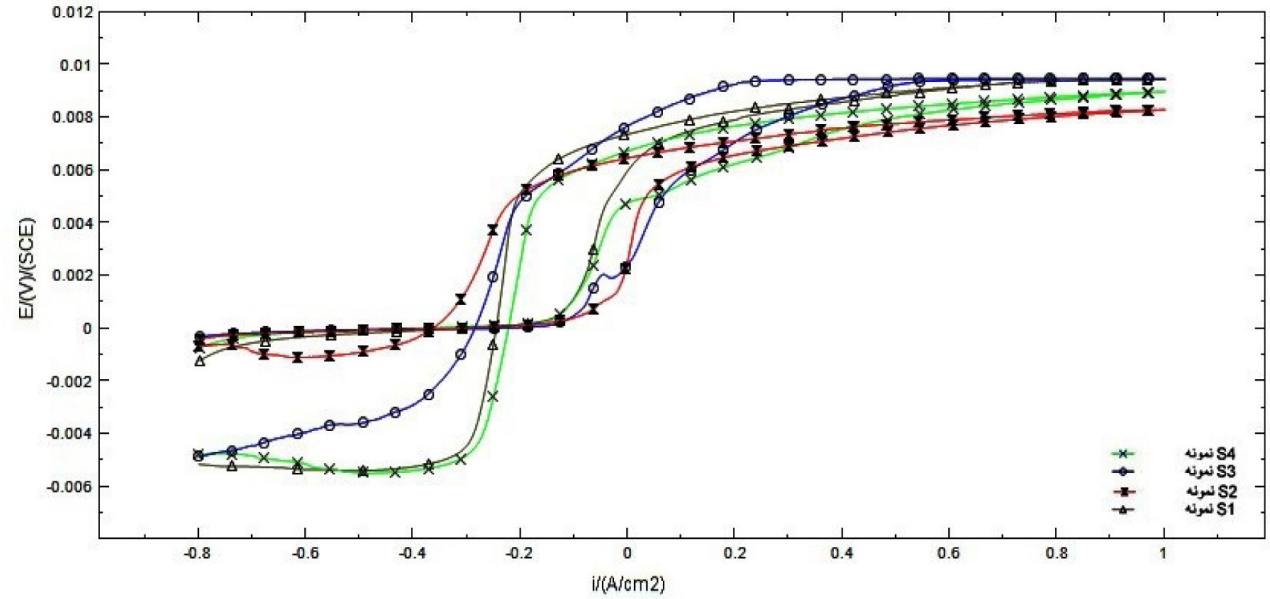
[Downloaded from journal.ica.ir on 2026-11-07]



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

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

Polarization Resistance (KΩ)	Corrosion Rate (mm/year)	i_{cor} (A/Cm^2)	b_c (mV/dec)	b_a (mV/dec)	OCP	پارامتر / نمونه
۳/۲۳۱	۴/۲۸۰۸×۱۰$^{-۳}$	۳۶۲/۷۸ nA/Cm^2	۳۲/۵۵۲	۲/۹۴۳	-۰/۳۱۰	S_1
۹/۷۷۱×۱۰$^{-۱}$	۲/۱۱۶×۱۰$^{-۲}$	۱/۷۹۳ µA/Cm^2	۶۴/۶۴۵	۴/۳۰۴	-۰/۳۳	S_2
۱۱/۱۳۹	۲/۶۲۳۲×۱۰$^{-۳}$	۲۲۲/۳ nA/Cm^2	۵۹/۱۹۷	۶/۳۰۹	-۰/۳۳۲	S_3
۲/۰۵۹	۱/۰۴۹×۱۰$^{-۲}$	۸۸۹ nA/Cm^2	۱۱/۸۰۵	۶/۵۵۸	-۰/۲۱۹	S_4



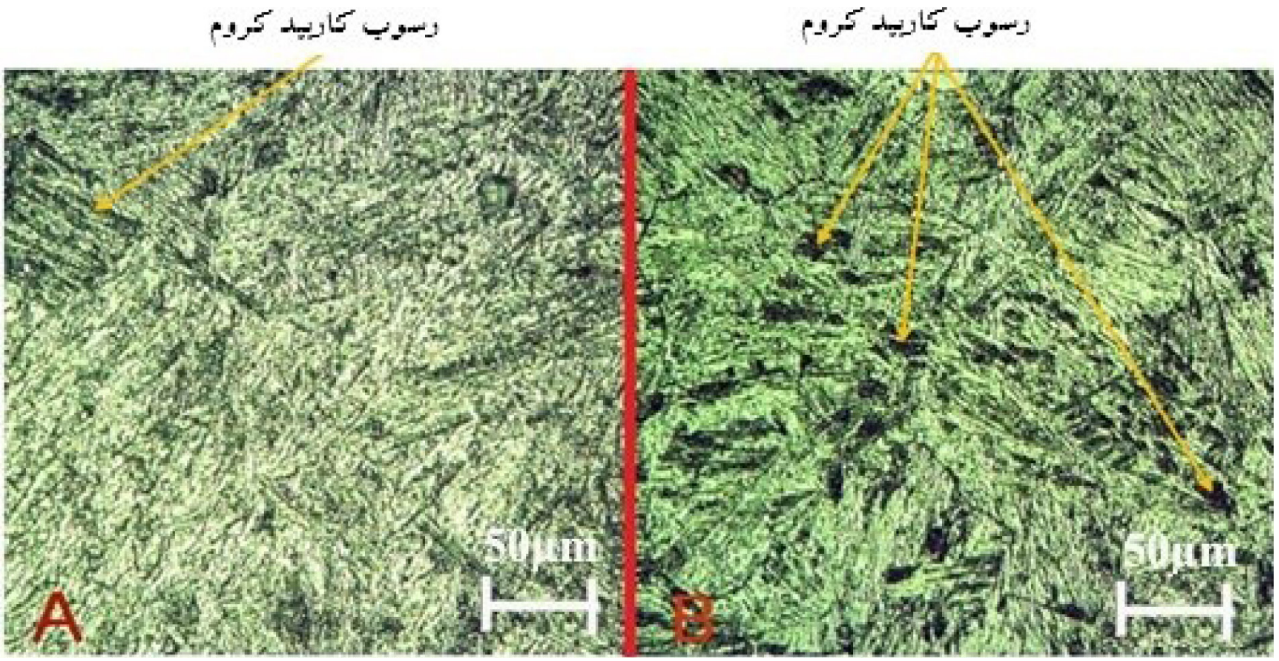
شکل ۷ ـ نتایج آزمایش‌های پلاریزاسیون سیکلی، ناحیه ترکیبی از ناحیه‌های جوش و HAZ

[Downloaded from journal.ica.ir on 2026-11-07]

بر اساس نتایج آزمایش‌های خوردگی ذکرشده در جداول ۳ و ۴، در مقایسه‌ی تأثیر فلزهای پرکننده‌ی ER۴۱۰ و ER۳۰۹L بر خوردگی نمونه‌ها، مشاهده می‌شود که در هر دو حالت پیش گرم شده و بدون پیش گرم، نمونه‌های جوشکاری شده توسط فلز پرکننده‌ی ER۳۰۹L مقاومت به خوردگی بهتری نسبت به فلز پرکننده ER۴۱۰ نشان می‌دهند. دلیل این پدیده را می‌توان به ساختار ایجادشده در طی فرآیند جوشکاری با فلز پرکننده ER۳۰۹L عنوان کرد. همان‌طوری که در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود در هنگام استفاده از فلز پرکننده‌ی ER۳۰۹L ساختار از یکنواختی بیشتری برخوردار می‌باشد و بنابراین تشکیل کوپل گالوانیکی بین ناحیه جوش و فلز پایه غیرمحتمل خواهد بود. همچنین از طرف دیگر با بکار گیری فلز پرکننده‌ی ER۳۰۹L احتمال شکل‌گیری مارتنزیت لایه‌ای که از مقاومت به خوردگی کمتری برخوردار است، در طی فرآیند جوشکاری کمتر خواهد بود. با توجه به این دلایل با بکار گیری فلز پرکننده‌ی ER۳۰۹L در اتصال غیر هم‌جنس دو فولاد زنگ نزن آستنیتی و مارتنزیتی بیشترین مقاومت به خوردگی را خواهیم داشت.

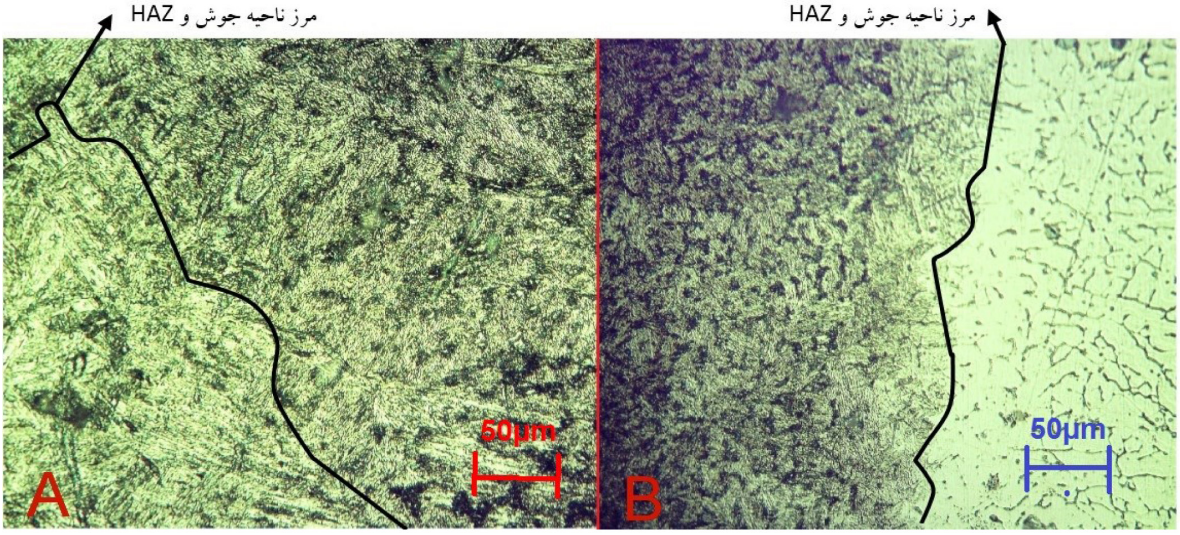
جدول ٤ ـ نتایج آزمایش‌های پلاریزاسیون سیکلی، ناحیه ترکیبی از ناحیه‌های جوش و HAZ

پارامتر / 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	۱/۹۰۱×۱۰$^{-۴}$	۸/۶۹۳×۱۰$^{-۳}$	۸/۵۰۳×۱۰$^{-۳}$	-۶/۰۲۷×۱۰$^{-۲}$	-۱/۹۹۴×۱۰$^{-۱}$	۱/۳۹۱×۱۰$^{-۱}$
S_2	۲/۵۶۳×۱۰$^{-۵}$	۸/۲۰۶×۱۰$^{-۳}$	۸/۱۸×۱۰$^{-۳}$	۷/۶۲۹×۱۰$^{-۴}$	-۲/۷۰۲×۱۰$^{-۱}$	۲/۷۰۹×۱۰$^{-۱}$
S_3	۱/۸۴۷×۱۰$^{-۶}$	۹/۴۶۶×۱۰$^{-۳}$	۹/۴۶۴×۱۰$^{-۳}$	۱/۵۴۱×۱۰$^{-۲}$	-۲/۳۶×۱۰$^{-۱}$	۲/۵۱۴×۱۰$^{-۱}$
S_4	۷/۵۲۲×۱۰$^{-۵}$	۸/۸۴۹×۱۰$^{-۳}$	۸/۷۷۳×۱۰$^{-۳}$	-۶/۵۱۵×۱۰$^{-۲}$	-۲/۲۶۲×۱۰$^{-۱}$	۱/۶۱۱×۱۰$^{-۱}$

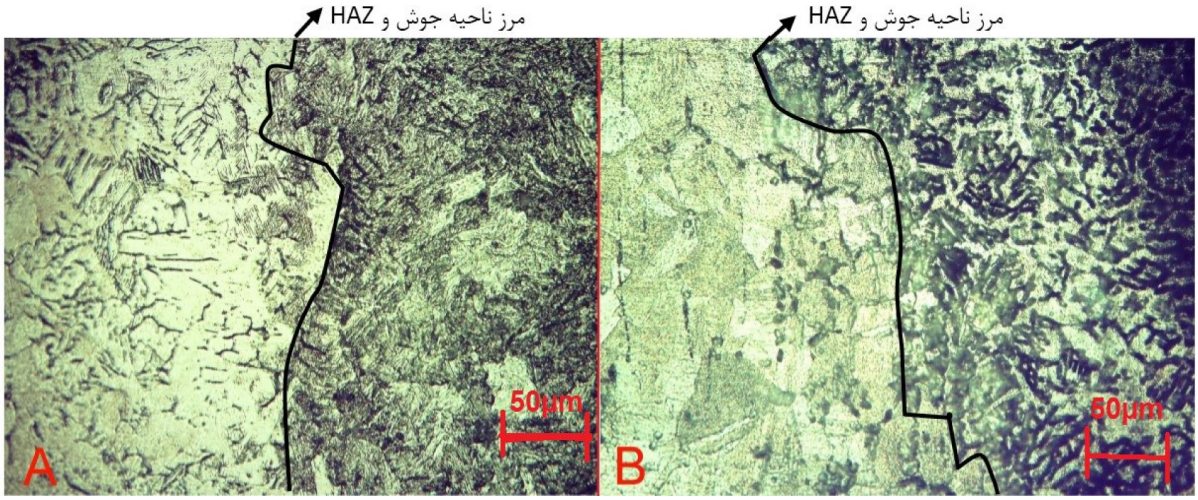


شکل ۸ ـ شکل ناحیه جوش (فلز پرکننده‌ی ER٤١٠) با بزرگنمایی ٤٠٠ برابر (فاز زمینه مارتنزیت)
A: نمونه پیش گرم شده (نمونه S_1) B: نمونه پیش گرم نشده (نمونه S_2)

[Downloaded from journal.ica.ir on 2026-11-07]



شکل ۹ ـ مرز ناحیه جوش و HAZ با بزرگنمایی ٤٠٠ برابر
A: نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER٤١٠ و با پیش گرم B: نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER٣٠٩L و با پیش گرم
سمت راست: ناحیه جوش سمت چپ: ناحیه HAZ (فولاد زنگ نزن ٤٢٠ با زمینه مارتنزیتی)



شکل ۱۰ ـ مرز ناحیه جوش و HAZ با بزرگنمایی ٤٠٠ برابر
A: نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER٤١٠ و با پیش گرم B: نمونه‌ی جوشکاری شده با فلز پرکننده‌ی ER٣٠٩L و با پیش گرم
سمت راست: ناحیه جوش سمت چپ: ناحیه HAZ (فولاد زنگ نزن ٣٠٤ با زمینه آستنیتی)

نتیجه‌گیری

ـ دمای مناسب برای انجام عملیات پیش گرم در اتصال غیر هم‌جنس دو فولاد زنگ‌نزن آستنیتی و مارتنزیتی مورداستفاده در این پژوهش در حدود ۲۹۰ °C می‌باشد.

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

ـ بهترین روش برای جوشکاری غیر هم‌جنس دو فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴ و مارتنزیتی ۴۲۰ استفاده از فلز پرکننده‌ی ER۳۰۹L به همراه عملیات پیش‌گرم در دمای ۲۹۰ °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.

[Downloaded from journal.ica.ir on 2026-11-07]

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. Poulose, R. Sanjeev kumar, M. Prabakaran, R. Rajkumar, Investigation of mechanical properties and microstructure of GTAW on dissimilar metals, Inte rnational 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 martinsitic 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.

[۱۵] معینیان. 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

[Downloaded from journal.ica.ir on 2026-11-07]

[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.

[Downloaded from journal.ica.ir on 2026-11-07]