

تاثیر حرارت ورودی فرآیند SMAW بر ریزساختار و خوردگی فلز جوش اتصالات فولاد API 5L X65 روکش شده با سوپر آلیاژ INCOLOY 825

علی حسینی فرا^{۱*}، رضا دهملایی^۲، مصطفی اسکندری^۳، محمدرضا توکلی شوشتری^۴

^۱ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^{۲و۳} استادیار، گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

* نویسنده مسئول: Alihosseinifar1371@gmail.com

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۰

چکیده

در این پژوهش تاثیر حرارت ورودی فرآیند SMAW بر ریزساختار و رفتار خوردگی فلز جوش اتصالات فولاد API 5L X65 روکش شده با سوپر آلیاژ INCOLOY 825 مورد بررسی قرار گرفت. جوشکاری با حرارت‌های ورودی ۱/۰۳، ۰/۹۹ و ۰/۹۴ کیلوژول بر میلی‌متر با استفاده از فلز پرکننده E7018 توسط فرآیند SMAW انجام شد. برای بررسی ریزساختار از میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی FESEM استفاده شد. ارزیابی رفتار خوردگی فلز جوش با استفاده از آزمون پلاریزاسیون تافل در محلول 3.5% NaCl انجام شد. نتایج ریزساختاری نشان داد که با افزایش حرارت ورودی فریت سوزنی در ریزساختار فلز جوش کاهش یافته است. درحالی که مقادیر فریت‌های ویدمن اشتاتن، چندوجهی و مرزدانه‌ای افزایش یافته است. مشخص گردید که افزایش حرارت ورودی تاثیر منفی داشته و باعث کاهش مقاومت به خوردگی فلز جوش گردیده است.

کلیدواژه: فولاد X65، خوردگی، الکتروود ۷۰۱۸، جوشکاری، فرآیند SMAW

Effect of Input Heat of SMAW Process on Microstructure and Corrosion of Weld Metal API 5L X65 Steel Joints Coated with INCOLOY 825 Superalloy

A. Hosseini far^{1*}, R. Dehmolaie², M. Eskandari³, M. R. Tavakoli Shoushtari⁴

¹ M.Sc, Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Ahvaz, Iran

^{2,3,4} Assistant Professor, Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

* **Corresponding Author:** Alihosseinifar1371@gmail.com

Submission: 2022, 03, 11 **Acceptance:** 2022, 06, 10

Abstract

In this study, the effect of input heat of SMAW process on the microstructure and corrosion behavior of welded metal API 5L X65 steel joints coated with INCOLOY 825 superalloy was investigated. Welding with input heat of 1.03, 0.99 and 0.94 kJ / mm was performed using E7018 filler metal by SMAW process. FESEM scanning light and electron microscopy was used to study the microstructure. Evaluation of corrosion behavior of weld metal was performed using TOEFL polarization test in 3.5% NaCl solution. The microstructural results showed that the needle ferrite in the weld metal microstructure decreased with increasing inlet heat. While the values of Wiedmann Statten ferrites are multifaceted and grain boundaries. It was found that increasing the inlet heat had a negative effect and reduced the corrosion resistance of the weld metal.

Keywords: X65 steel, corrosion, electrode 7018, welding, SMAW Process

۱- مقدمه

فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا تحت عنوان فولادهای HSLA برای اولین بار توسط نیروی دریایی آمریکا توسعه پیدا کرد و در بدنه مخازن و تجهیزات ادوات دریایی مورد استفاده قرار گرفت. مقدار عناصر آلیاژی اضافه شده به این آلیاژها مانند وانادیوم، بور، تیتانیوم، آلومینیوم و نیوبیم ده یا صد برابر کمتر از مقدار عنصر آلیاژی لازم در حالت متداول است [۱-۲]. این فولادها با دارا بودن ترکیب عالی از استحکام، انعطاف پذیری، چقرمگی، شکل پذیری، جوش پذیری، مقاومت در برابر ترک خوردگی هیدروژنی (تردی هیدروژنی)، خوردگی تنشی و همچنین، مقاومت در برابر خستگی از پرکاربردترین دسته فولادها در جهان به حساب می آیند [۳]. فولادهای API دسته‌ای از فولادهای میکروآلیاژی استحکام بالا هستند که انجمن نفت آمریکا آنها را جهت کاربرد در صنایع نفت و گاز معرفی کرده است. این فولادها با دارا بودن استحکام مکانیکی قابل توجه مطابق استاندارد API 5L، در تولید لوله‌های انتقال نفت و گاز و صنایع کشتی سازی به کار برده می شوند. مقاومت تسلیم بالا، ازدیاد طول نسبی بالا، چقرمگی بالا و دمای انتقال شکست نرم به شکست ترد پایین از ویژگی‌های اصلی این فولادها است [۴]. اینکولوی ۸۲۵ یکی از سوپرآلیاژهای پایه آهن - نیکل می‌باشد که به دلیل مقادیر بالای کروم و نیکل از مقاومت به خوردگی خوبی برخوردار می باشد و به دلیل این ویژگی برجسته است که در محیط‌های احیا کننده و اکسید کننده عملکرد خوبی از خود نشان می دهد. خواص مکانیکی خوب در دمای نسبتاً بالا در کنار مقاومت به خوردگی، موجب استفاده از این آلیاژ در صنایع هوا فضا، تجهیزات نفت و گاز، صنایع هسته‌ای و ... گردیده است. به علت وجود مقادیر بالای نیکل و کروم در این آلیاژ و حضور فاز آستنیتی، قابلیت جوشکاری خوبی را می‌توان از آن انتظار داشت. این آلیاژ به دلیل قابلیت مقاومت به خوردگی عالی در محیط‌های اسیدی، مثل اسید سولفوریک و اسید فسفریک، در ساخت لوله‌های محیط‌های اسیدی، تجهیزات چاه‌های نفت و گاز، خطوط تزریق مواد شیمیایی، صنایع هسته‌ای و... به کار می‌رود. همچنین به دلیل استحکام بالای اینکولوی

۸۲۵ از آن در ساخت وسایل تحت فشار نیز استفاده می‌شود [۵]. لوله‌های روکش دار یک راه حل اقتصادی برای حفظ سطح بالایی از عملکرد خوردگی ارائه می‌دهند. توسعه سریع لوله‌های روکش شده تقاضا برای انواع لایه‌های پوششی از جمله INCOLOY 825 را افزایش داده است. این ماده دارای خواص برجسته‌ای برای جلوگیری از خوردگی است [۶]. کریمی و همکاران به بررسی ریزساختار و خوردگی پلاریزاسیون پتانسیودینامیکی فولاد کم آلیاژ پر استحکام جوشکاری شده API 5L X65 توسط فرایند SMAW با استفاده از الکترودهای (E7018-E8010-E7010) پرداختند. نتایج نشان داد که، مورفولوژی فریت در فلز جوش و ناحیه متأثر از حرارت، نشان از اختلاف رفتار الکتروشیمیایی و نرخ خوردگی نسبت به فلز پایه می‌دهد. تغییرات شدت جریان با توجه به ایجاد تغییر در دانه‌بندی و ساختار متالورژیکی فلز جوش و ناحیه متأثر از حرارت، باعث تغییر در نرخ خوردگی شد [۷]. الساید و همکاران به بررسی مطالعات الکتروشیمیایی بر روی رفتار خوردگی فولاد خط لوله API X65 در محلول‌های کلرید پرداختند. نتایج به وضوح نشان داد که افزایش زمان غوطه‌وری از ۱ ساعت به ۲۴ ساعت قبل از اندازه‌گیری منجر به کاهش سرعت خوردگی و مقاومت در برابر خوردگی فولاد خط لوله API X65 در محلول‌های آزمایش کلرید می‌شود [۸]. ریحان عمر و همکاران به بررسی مقاومت به خوردگی فولادهای X52 و X60 در محلول CO2 حاوی آب نمک در pH 4.4 و ۵۰ درجه سانتیگراد پرداختند. نتایج نشان داد که نرخ خوردگی فولاد X60 نسبتاً بالاتر از فولاد X52 است [۹]. شمعیان و همکاران به بررسی ریزساختار و رفتار خوردگی فولاد خط لوله API X-60 جوش داده شده به روش اصطکاکی اغتشاشی (FS) پرداختند. مشخص شد که ریزساختار و عملکرد خوردگی جوش‌ها به شدت تحت تاثیر پارامترهای جوش قرار دارد. [۱۰]. ژو و همکاران رفتار الکتروشیمیایی فلز جوش، ناحیه متأثر از حرارت (HAZ) و فلز پایه آلیاژهای لوله‌های روکش شده (X65/Inconel 625) در دمای محیط در محلول 3.5%NaCl را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پلاریزاسیون

پتانسیودینامیک نشان می‌دهد که مقاومت به خوردگی لوله‌های روکش شده از (X65/Inconel 625) در محلول 3.5% NaCl در دمای محیط به ترتیب فلز جوش ریشه - فلز جوش رویی - فلز پایه - ناحیه HAZ ریشه - ناحیه HAZ رویی افزایش می‌یابد [۱۱].

در پژوهش پیش رو تاثیر حرارت ورودی فرآیند SMAW بر ریزساختار و رفتار خوردگی فلز جوش اتصالات فولاد API 5L X65 روکش شده با سوپر آلیاژ INCOLOY 825 مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش تحقیق

در این پژوهش از فولاد API 5L X65 روکش شده از سوپر آلیاژ INCOLOY 825 به عنوان فلز پایه استفاده شد. از فلز پایه نمونه‌هایی به ابعاد $12 \times 50 \times 8$ میلی‌متر تهیه شد. طرح اتصال نمونه‌ها به صورت جناقی یک طرفه با زاویه 70° درجه آماده شد به گونه‌ای که روکش سوپر آلیاژ در ریشه اتصال و فاصله ریشه ۲ میلی‌متر و ارتفاع ریشه ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شد. جدول (۱) ترکیب شیمیایی فلزات پایه و فلز پرکننده بر اساس نتایج کوانتومتری را نشان می‌دهد. جوشکاری نمونه‌ها با فرآیند SMAW در سه حرارت ورودی 103°C ، 199°C و 294°C کیلو ژول بر میلی‌متر انجام گرفت. در جدول (۲) پارامترهای فرآیند جوشکاری نشان داده شده است. در هر پاس مقادیر شدت جریان، ولتاژ و سرعت جوشکاری اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه $\eta = H / I \cdot E \cdot V$ حرارت ورودی محاسبه گردید. در این رابطه I شدت جریان، V ولتاژ و S سرعت جوشکاری است.

برای بررسی ریزساختار فلز جوش از میکروسکوپ نوری (OM) مدل Optica استفاده شد. بررسی‌های دقیق‌تر با

استفاده از میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی (FESEM) انجام گردید. برای متالوگرافی نمونه‌هایی در ابعاد $10 \times 10 \times 3$ میلی‌متر برش داده شدند و با استفاده از سنباده‌های ۶۰ تا ۳۰۰۰ پرداخت شدند. سپس با استفاده از پودر آلومینا با دانه بندی $0/3$ میکرومتر و نم‌م مخصوص پولیش صورت گرفت و در نهایت نمونه‌ها با استفاده از محلول نایتال ۲٪ به مدت ۱۰ ثانیه حکاکی شدند.

برای ارزیابی رفتار خوردگی از آزمون پلاریزاسیون Tafel استفاده شد. نمونه‌هایی در ابعاد $5 \times 5 \times 3$ میلی‌متر از فلز جوش برش داده شدند. نمونه‌ها با استفاده از اتصال سیم مسی مانت سرد شدند. برای انجام تست خوردگی، نمونه‌ها با استفاده از سنباده ۶۰ تا ۲۵۰۰ سنباده کاری شدند و در نهایت نمونه‌ها به صورت جداگانه در محلول خورنده 3.5% NaCl به مدت ۱ ساعت قرار گرفتند. به جز فلز جوش، مابقی نواحی توسط لاک پوشانده شد.

برای ارزیابی رفتار خوردگی و نرخ خوردگی از دستگاه پتانسیواستات AutoLab مدل PGSTAT302A، ساخت کشور هلند استفاده شد. برای فولاد X65 و ناحیه متاثر از حرارت آن از سه الکتروود به ترتیب الکتروود Ag/AgCl به عنوان الکتروود مرجع و از الکتروود پلاتینی به عنوان الکتروود شمارنده و همچنین از نمونه‌ها به عنوان الکتروود کمکی استفاده گردید. در این آزمون نرخ روبش $0/003$ میلی ولت بر ثانیه و محدوده پتانسیل برای همه‌ی نمونه‌ها از -1200 تا $+500$ میلی ولت نسبت به پتانسیل مدار باز تعیین گردید. برای تحلیل نمودارها از نرم افزار Nova به منظور محاسبه پتانسیل و چگالی جریان خوردگی استفاده شد.

جدول ۱ - جدول ترکیب شیمیایی اصلاح شده

Fe	S	Al	Nb	Cu	P	C	Si	Mn	Ti	Mo	Cr	Ni	نوع
Bal.	0/03	0/05	0/06	15/0	0/03	0/06	0/3	1/5	0/05	0/04	0/03	0/16	فولاد X65
Bal.	0/005	0/19	0/05	1/7	0/03	0/02	0/15	0/9	0/75	2/7	22/6	3/43 9	اینکولوی ۸۲۵
Bal.	0/014	Bal.	Bal.	Bal.	0/015	0/45	0/40	1/0 1	Bal.	Bal.	Bal.	Bal.	E7018

جدول ۲ - پارامترهای جوشکاری

نمونه	الکتروود	شدت جریان (A)	ولتاژ (V)	حرارت ورودی (kJ/mm)
نمونه اول	E7018	۱۳۵	۱۵	۱/۰۳
نمونه دوم	E7018	۱۲۰	۱۵	۰/۹۹
نمونه سوم	E7018	۱۰۵	۱۵	۰/۹۴

۳- نتایج و بحث

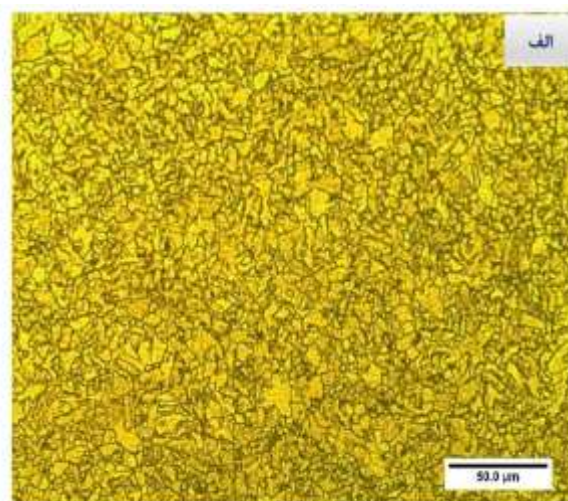
۳-۱- ریزساختار فلز پایه:

شکل (۱) تصاویر میکروسکوپ نوری و الکترونی از فلز پایه فولاد API 5L X65 را نشان می‌دهد. از شکل مشاهده می‌شود که ریزساختار این فولاد ریزدانه و حاوی دو فریت و پرلیت می‌باشد که مناطق تیره رنگ فاز پرلیت و مناطق روشن فاز فریت را نشان می‌دهند. فریت موجود در ریزساختار به شکل‌های فریت چندوجهی، فریت مرزدانه‌ای، فریت ویدمن اشتاین و فریت سوزنی دیده می‌شود. این نتایج توسط مین ژو و همکاران نیز تایید گردیده است [۱۲].

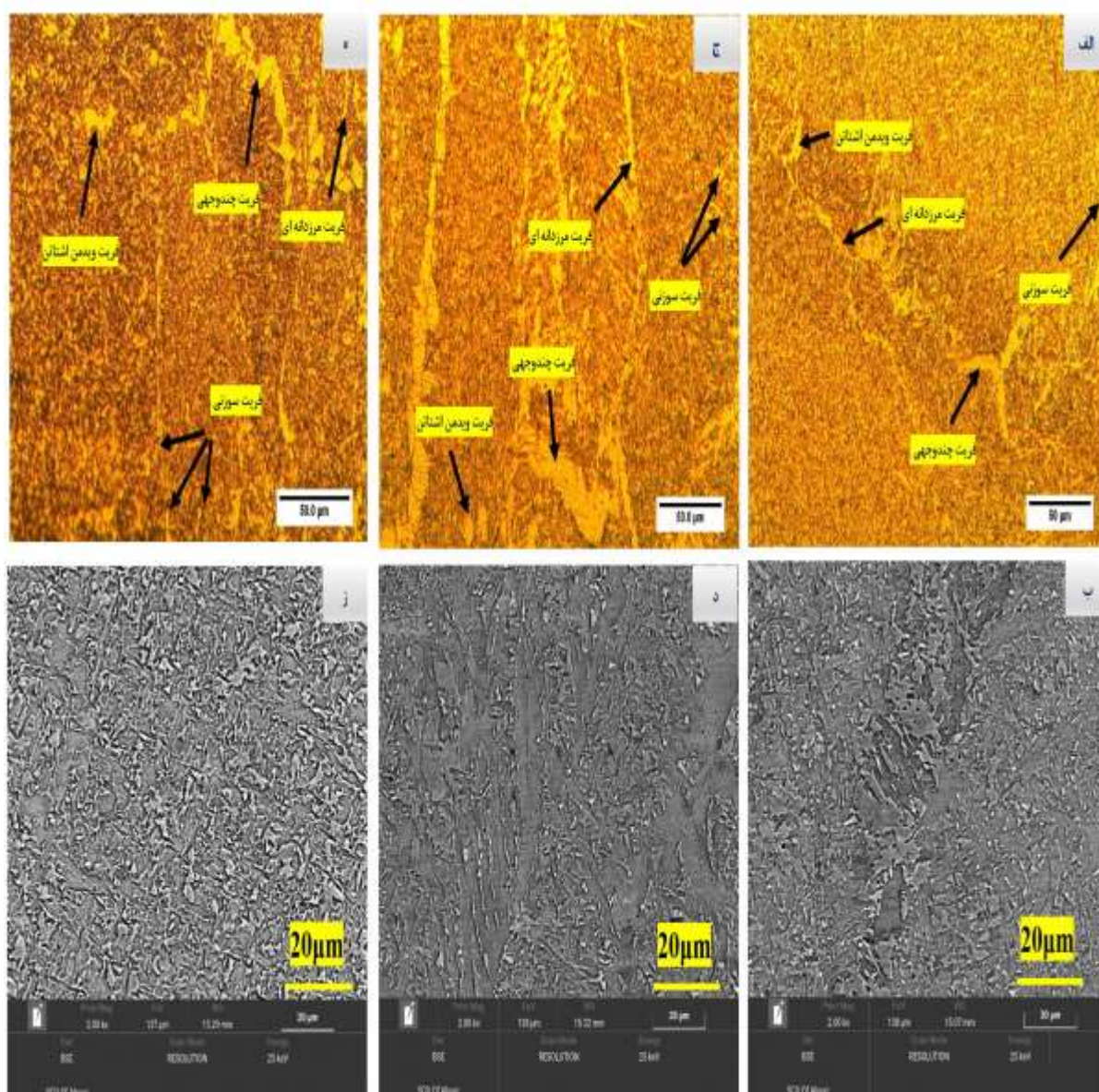
۳-۲- ریزساختار فلز جوش:

شکل (۲) تصاویر میکروسکوپ نوری و الکترونی از فلز جوش را نشان می‌دهد. شکل نشان می‌دهد که ریزساختار فلز

جوش عمدتاً شامل فریت‌های چند وجهی و مرز دانه‌ای است که در بین آنها مقادیری از فریت ویدمن اشتاین و فریت سوزنی هم مشاهده می‌شوند. در دماهای بالا فریت‌های چند وجهی تشکیل می‌گردد و طی سرد شدن فلز جوش فریت‌های مرزدانه‌ای از روی مرزها جوانه زده و شروع به رشد می‌کنند. با ادامه سرد شدن بخشی از این فریت‌ها از روی مرزها به صورت ویدمن اشتاین به درون دانه‌ها رشد می‌کنند و با بیشتر سرد شدن، فریت‌های سوزنی (مقادیر کم) بر روی ناخالصی تشکیل گردیده و شروع به رشد نموده است. مقایسه تصاویر نشان می‌دهد که با افزایش حرارت ورودی به دلیل کاهش سرعت سرد شدن فلز جوش، مقادیر فریت‌های چند وجهی و مرزدانه‌ای افزایش یافته و در مقابل فریت‌های ویدمن اشتاین و سوزنی کاهش یافته است این نتایج توسط مین ژو و همکاران نیز تایید گردیده است [۱۲].



شکل ۱ - تصاویر میکروسکوپی از فولاد API 5L X65 الف- تصویر نوری ب- تصویر الکترونی FESEM



شکل ۲ - تصاویر میکروسکوپ نوری و الکترونی از تاثیر حرارت ورودی بر ریزساختار فلز جوش

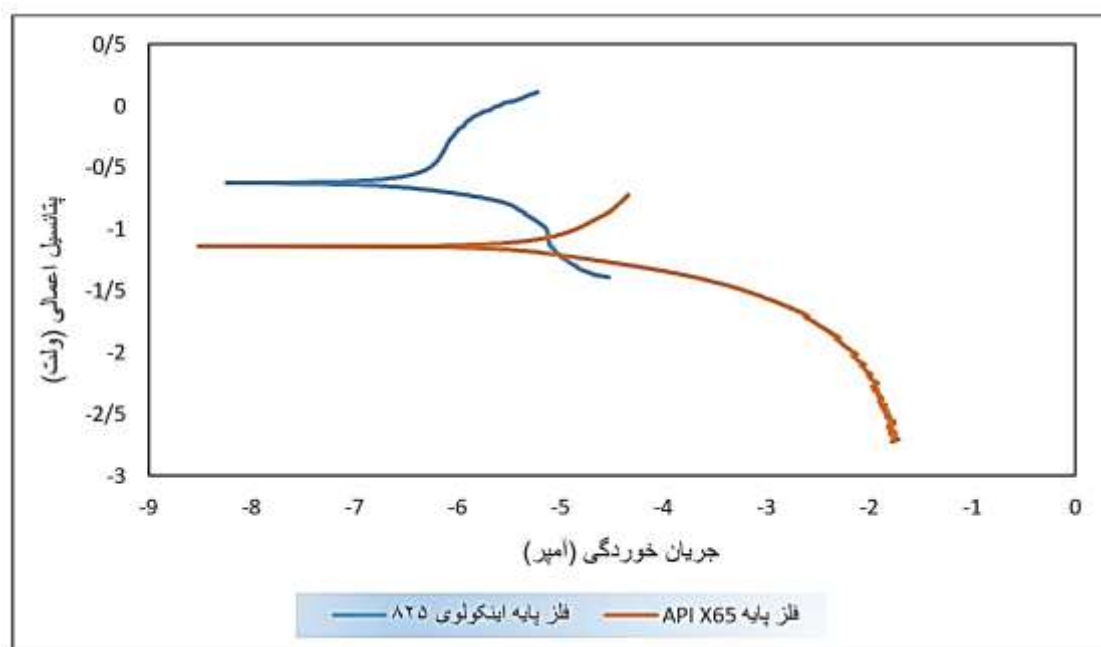
الف، ب: ۱/۰۳ kj/mm ج، د: ۰/۹۹ kj/mm ه، ز: ۰/۹۴ kj/mm

۳-۳- خوردگی:

در شکل (۳) رفتار پلاریزاسیون تافل فلزات پایه X65 و INCOLOY825 و در جدول (۳) پارامترهای حاصل از این نمودارها نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، منحنی مربوط به فلز پایه X65 نسبت به اینکولوی ۸۲۵ به سمت پایین و راست منتقل شده است. به عبارت دیگر، اینکولوی ۸۲۵ پتانسیل خوردگی بالاتر (نجیب تر) و جریان خوردگی کمتری دارد. این امر نشان می‌دهد فلز پایه اینکولوی ۸۲۵ مقاومت به خوردگی بهتری در محیط مذکور دارد. این امر به خوبی با در نظر گرفتن ترکیب شیمیایی فلزات پایه X65 و اینکولوی ۸۲۵ قابل تشریح است. همچنین سوپرآلیاژ اینکولوی ۸۲۵ به دلیل وجود عناصر غنی از نیکل، کروم و مولیبدن مقاوت به خوردگی بالایی از خود نشان می‌دهند که نتایج بدست آمده گویای آن است [۱۳].

در شکل (۴) رفتار پلاریزاسیون تافل فلز جوش در حرارت‌های ورودی مختلف و در جدول (۴) پارامترهای

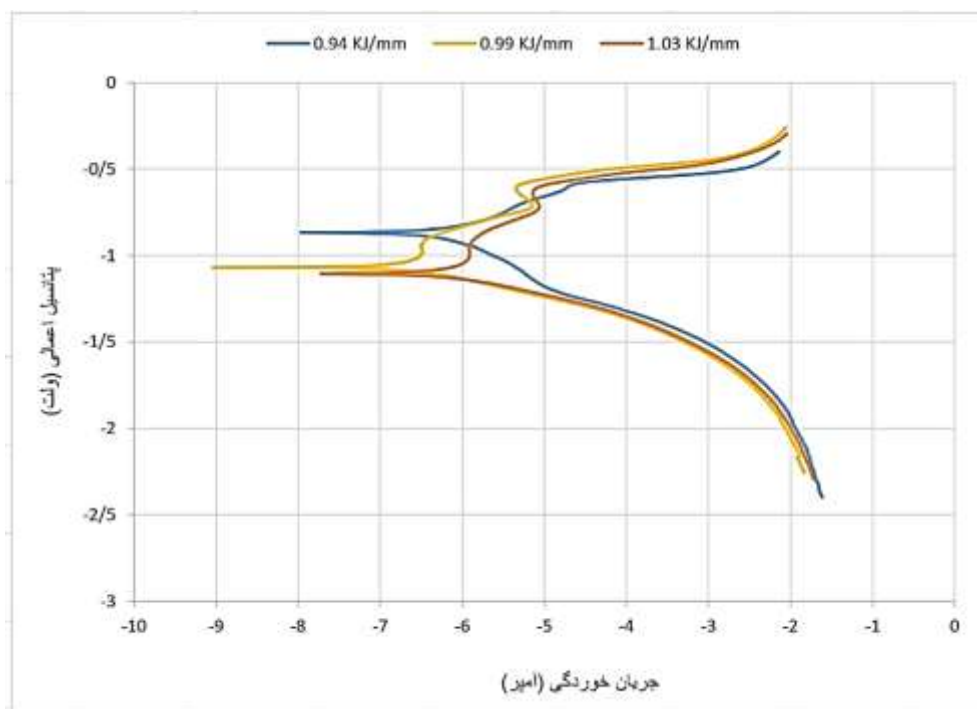
حاصل از این نمودارها نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، منحنی مربوط به نمونه اول ($1/03 \text{ kJ/mm}$) نسبت به نمونه‌های دوم ($0/99 \text{ kJ/mm}$) و سوم ($0/94 \text{ kJ/mm}$) به سمت پایین و راست منتقل شده است. به عبارت دیگر، نمونه سوم پتانسیل خوردگی بالاتر (نجیب تر) و جریان خوردگی کمتری دارد. این امر نشان می‌دهد که نمونه سوم مقاومت به خوردگی بهتری در محیط مذکور دارد. علت این پدیده را می‌توان درشت تر شدن دانه‌ها و افزایش غیر یکنواختی در ساختار فلز جوش در حرارت ورودی‌های بالاتر در مقایسه با حرارت ورودی‌های پایین‌تر دانست. همچنین با توجه به این که ریزساختار فریت سوزنی در مقایسه با فریت چند وجهی فشرده‌تر است و نیز رفتار خوردگی تشکیل شده بر سطح فریت‌های چند وجهی دارای تخلخل بوده که باعث نفوذ یون‌ها و افزایش نرخ خوردگی را ایجاد می‌کنند، در نتیجه فریت سوزنی دارای مقاومت به خوردگی بالاتری نسبت به فریت‌های چند وجهی دارد که نتایج بدست آمده گویای آن است [۱۴].



شکل ۳ - نمودار پلاریزاسیون فلزات پایه در محلول ۵,۳٪ NH₃

جدول ۳ - نتایج استخراج شده از نمودارهای پلاریزاسیون فلزات پایه

نرخ خوردگی (mm/year)	شیب کاتدی (bc) (mv/dec)	شیب آنودی (ba) (mv/dec)	پتانسیل خوردگی (E corr) (mv)	چگالی جریان خوردگی (i corr) ($\mu A/cm^2$)	پتانسیل مدار باز (ocp)	نوع نمونه
۰/۸۱۳۲	۱۸۲/۲۶۰	۵۲۰/۷۹۰	-۱۰۹۴/۵۰	۶۹/۹۸۵۰	-۰/۹۵۰	فلز پایه X65
۰/۲۷۹۳	۳۵۰/۸۰	۲۳۱/۷۷۰	-۶۲۵/۳۵۰	۲۴/۰۴۱۰	-۰/۸۹۱	INCOLOY 825



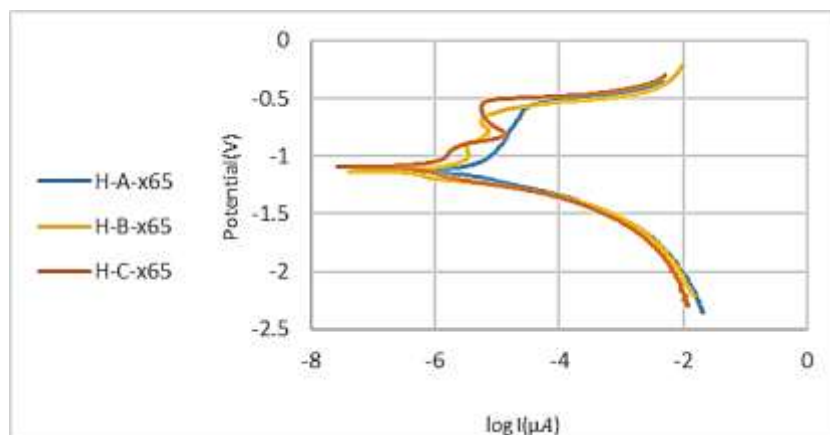
شکل ۴ - نمودار پلاریزاسیون فلز جوش در حرارت های ورودی مختلف 0.94 KJ/mm - 0.99 KJ/mm - 1.03 KJ/mm در محلول NaCl 3.5%

جدول ۴ - نتایج استخراج شده از نمودارهای پلاریزاسیون فلز جوش در حرارت های ورودی مختلف

نرخ خوردگی (mm/year)	شیب کاتدی (bc) (mv/dec)	شیب آنودی (ba) (mv/dec)	پتانسیل خوردگی (E corr) (mv)	چگالی جریان خوردگی (i corr) ($\mu A/cm^2$)	پتانسیل مدار باز (ocp)	نوع نمونه
۰/۸۴۴۶	۱۵۵/۱۲۰	۱۸۵/۸۴۰	-۱۱۰۵/۳۰	۲۰/۵۹۲۰	-۰/۹۰۲	A نمونه اول
۰/۲۳۹۸	۱۷۱/۵۳۰	۲۵۴/۳۴۰	-۱۰۶۷/۹۱	۲/۹۸۹۹۰	-۰/۸۰۰	B نمونه دوم
۰/۰۳۴۷	۱۱۱/۷۵۰	۱۲۹/۰۵۰	-۸۶۹/۴۱۰	۱/۴۵۳۳۰	-۰/۷۶۲	C نمونه سوم

دیگر، نمونه سوم پتانسیل خوردگی بالاتر (نجیب تر) و جریان خوردگی کمتری دارد. این امر نشان می‌دهد که نمونه سوم مقاومت به خوردگی بهتری در محیط مذکور دارد. علت این پدیده را می‌توان به ریز بودن دانه‌ها و مرز دانه‌های بیشتر در حرارت ورودی کمتر در ناحیه متأثر از حرارت دانست که باعث مقاومت به خوردگی بهتر نمونه سوم با حرارت ورودی کمتر می‌شود.

در شکل (۵) رفتار پلاریزاسیون تافل نواحی متأثر از حرارت، در حرارت های ورودی مختلف و در جدول (۵) پارامترهای حاصل از این نمودارها نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، منحنی مربوط به نمونه اول ($1/03 \text{ kJ/mm}$) نسبت به نمونه‌های دوم ($0/99 \text{ kJ/mm}$) و سوم ($0/94 \text{ kJ/mm}$) به سمت پایین و راست منتقل شده است. به عبارت



شکل ۵. نمودار پلاریزاسیون نواحی متأثر از حرارت در حرارت های ورودی مختلف در محلول 3.5% NaCl

جدول ۵. نتایج استخراج شده از نمودارهای پلاریزاسیون نواحی متأثر از حرارت در حرارت های ورودی مختلف

نرخ خوردگی (mm/year)	شیب کاتدی (bc) (mv/dec)	شیب آندی (ba) (mv/dec)	پتانسیل خوردگی (E corr) (mv)	چگالی جریان خوردگی (i corr) ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	پتانسیل مدار باز (E ocp)	نوع نمونه
۰/۹۳۸۷	۲۰۴/۲۱۰	۴۱۰/۱۵۰	-۱۱۳۰	۸۰/۷۸۵۰	-۰/۸۵۹	نمونه اول ($1/03 \text{ KJ/mm}$)
۰/۶۹۶۹۶	۲۲۴/۰۱۰	۸۱۵/۳۷۰	-۱۱۲۸/۹۰	۵۹/۹۸۰۰	-۰/۸۰۰	نمونه دوم ($0/99 \text{ KJ/mm}$)
۰/۱۷۷۴۲	۱۵۰/۶۵۰	۳۳۳/۷۴۰	-۱۰۹۴/۵۰	۱۵/۲۶۸۰	-۰/۷۱۷	نمونه سوم ($0/94 \text{ KJ/mm}$)

نتیجه گیری

- ۱- میکروساختار فلز پایه X65 دارای ساختار ریزدانه و حاوی مناطق تیره رنگ پرلیت و مناطق روشن فاز فریت می‌باشد.
- ۲- ریزساختار فلز جوش ۷۰۱۸ به صورت دانه‌های فریت چندوجهی، فریت مرزدانه‌ای، ویدمن اشتاین و فریت سوزنی می‌باشد. همچنین با افزایش حرارت ورودی به دلیل کاهش سرعت سرد شدن فلز جوش، مقادیر فریت‌های چند وجهی و مرزدانه‌ای افزایش یافته و در مقابل فریت‌های ویدمن اشتاین و سوزنی کاهش یافته است.

۳- با مقایسه رفتار خوردگی هر دو فلز پایه مشخص شد که فلز پایه اینکولوی ۸۲۵ به دلیل وجود عناصر غنی از نیکل، کروم و مولیبدن مقاومت به خوردگی بالایی از خود نشان می‌دهد.

۴- با مقایسه رفتار خوردگی فلز جوش ۷۰۱۸ و ناحیه متأثر از حرارت در حرارت‌های ورودی مختلف، مشخص شد که با کاهش حرارت ورودی مقاومت به خوردگی افزایش می‌یابد و ناحیه HAZ هم با افزایش حرارت ورودی دانه‌ها درشت‌تر شده و بیشتر در معرض خوردگی قرار می‌گیرند. در نتیجه نمونه سوم (0.94 KJ/mm) بیشترین مقاومت به خوردگی و نمونه اول (1.03 KJ/mm) کمترین مقاومت به خوردگی را دارا می‌باشند.

مراجع

- [1] S.Das, A.Ghosh, S.Chatterjee, P.Ramachandra Rao, Evolution of microstructure in an ultra-low carbon Cu- bearing HSLA forging, Scandinavian journal of metallurgy processes and materials engineering, 31, 2002, pp.272-280.
- [2] S.K.Dhua, D.Mukerjee, D.S.Sarma, Influence of tempering on the microstructure and mechanical properties of HSLA-100 steel plates, Metallurgical and Material Transactions A, 32, 2001, pp. 2259-2270
- [3] S.Panwar, D.B.Goel, O.P.Pandey, K.Satya Prasar, Effect of microalloying on aging of a Cu-bearing HSLA-100 (GPT) steel Bulletin of Materials Science, 21, 2006, pp.281-292
- [4]. F. J. Humphreys, M. Hatherly, " Recrystallization and Related Annealing Phenomena", British, 2004.
- [5] J. R. Davis et al " ASM Specialty Handbook: Nickel, Cobalt, and Their Alloys "Printed in the United States of America.2000
- [6] Yoshimi Watanabe, Yoshifumi Inaguma, and Hisashi Sato,; Mater. Lett., 65 (2011) 467.
- [7] M. Sadegh Karimi, A. Jafari, L. Ghanbari, Investigating the effect of electrode material and manual arc welding process parameters on microstructures and corrosion behavior in gas transmission pipelines, Iran Welding and Nondestructive Testing Association, 11th National Welding and Inspection Conference, Tehran - November 4-5, 2009.
- [8] El-Sayed M. Sherif¹, Abdulhakim A. Almajid, Khalil Abdelrazek Khalil, Harri Junaedi and F. H. Latief,
Electrochemical Studies on the Corrosion Behavior of API X65 Pipeline Steel in Chloride Solution, Int. J. Electrochem. Sci., 8 (2013) 9360 – 9370
- [9] Rihan Omar Rihan, Electrochemical Corrosion Behavior of X52 and X60 Steels in Carbon Dioxide Containing Saltwater Solution, Materials Research. 2013; 16(1): 227-236
- [10] Amir Behjat, Morteza Shamanian و Masoud Atapour, Mohammad Ahl Sarmadi, Microstructure and Corrosion Properties of Friction Stir-Welded High-Strength Low - Alloy Steel, The Indian Institute of Metals - IIM 2021.
- [11] Xu LY, LiM, JingHY, Han YD (2013) Electrochemical behavior of corrosion resistance of X65/Inconel 625 welded joints. Int J Electrochem Sci 8:2069
- [12] Min Zhu*, Yongfeng Yuan, Simin Yin, Shaoyi Guo, Corrosion Behavior of X65 and X80 Pipeline Steels under AC Interference Condition in High pH Solution, International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE, Sci., 13 (2018) 10669 – 10678, doi: 10.20964/2018.11.54
- [13] L. Y. Xu, H. Y. Jing, Y. D. Han: Effect of welding on the corrosion behavior of X65/Inconel 625 in simulated solution, International Institute of Welding 2018.
- [14] L. Lan, C. Qiu, D. Zhao, X. Gao, L. Du, " Effect of reheat temperature on continuous cooling bainite transformation behavior in low carbon microalloyed steel", Journal of materials science, Vol.40, 2009