# ارزيابی مقاومت به خوردگی فلز جوش در اتصالات فولاد ميکرو آلياژ API-5L X90 با فرآيند GTAW

جاسم سواری '\*، رضا دهملایی' ، محمد رضا توکلی شوشتری"

ٔ کارشناسی ارشد، <sup>۳۰</sup> استادیار، گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران \* نویسینده مسئول: savaryj1@gmail.com

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

### چکیدہ

در این پژوهش مقاومت به خوردگی فلز جوش در اتصالات فولاد میکرو آلیاز API-5L X90 بررسی گردید. جوشکاری با استفاده از فلزات پرکننده GER120 S-G وER100 د ER90S-B3 توسط فرآیند GTAW انجام شد. بررسیهای ریزساختاری با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM انجام گردید. مطالعات ریزساختاری نشان داد که ریز ساختار فلز پایه شامل فریت و بینتیت دانهای می باشد. و فلزات جوش مختلف تماماً شامل مقادیر مختلفی از فریتهای سوزنی، چند وجهی و جزایر مارتنزیت / آستنیت (MA) می باشند. بیشترین میزان فریت سوزنی در فلز جوش G-S-S مشاهده گردید. نتایج آزمون خوردگی نشان داد که فلز جوش G-S و فلز پایه از کمترین میزان چگالی جریان و نرخ خوردگی برخوردار هستند و بیشترین میزان نرخ خوردگی برای فلز جوش G-S B100 ماد.

كليدواژه: API-5L X90 ، فلز جوش، ريز ساختار، خوردگى پلاريزاسيون

41

44

# **Evaluation of Corrosion Resistance of Weld Metal in x90 API-5L Micro Alloy Steel Joints with GTAW Process**

J. Savari<sup>1\*</sup>, R. Dehmalaei<sup>2</sup>, M. R. Tavakoli Shoushtari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc, <sup>2, 3</sup>Assistant Professor, Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

\* Corresponding Author: savaryj1@gmail.com

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

#### Abstract

In this research, the corrosion resistance of weld metal in API-5L X90 micro-alloy steel joints was investigated. Welding was performed using filler metals ER120S-G, ER100S-G and ER90S-B3 by GTAW process. Microstructural studies were performed using light microscope and SEM scanning electron microscope. Microstructural studies showed that the base metal microstructure consists of ferrite and granular bentite. It was found that different weld metals all contain different amounts of accular Ferrite, polygonal ferrites and martensite / austenite (MA) islands. The highest amount of accular Ferrite was observed in ER 120 SG welding metal. The results of corrosion test showed that ER120SG welding metal and base metal had the lowest flow density and corrosion rate. And the highest corrosion rate was obtained for ER100SG welding metal.

Keywords: API-5L X90, weld metal, microstructure, polarization corrosion

#### ۱\_ مقدمه

امروزه از فولادهای کمآلیاژ با استحکام بالا (HSLA) به دلیل داشتن استحکام بالا همراه با چقرمگی مناسب، جهت حمل و نقل در خطوط لوله نفت، گاز، پتروشیمی و کشتیرانی استفاده مي شوند [۱]. اين نوع فولادها ابتدا با توجه به اينكه از استحكام بالا برخوردار بودن ولى داراي چقرمگي پاييني داشتند. با توجه به توسعه و نیاز صنعت این یک ضعف محسوب می شد. بعد از جنگ جهانی اول با استفاده از روش نورد گرم کنترل شده و همزمان با عملیات حرارت موسوم به ترمکانیکال (TMCP) توانستند علاوه بر استحکام بالا ، چقرمگی مناسبی را ایجاد کنند. اين ويژگىها باعث توسعه اين فولادها از دهه هفتاد ميلاد جهت استفاده در صنایع مختلف به خصوص در خطوط لوله های نفت و گاز گردیده شد. بکارگیری فولادها در خطوط لوله نفت و گاز باید براساس استاندارد API ( American Petroleum Institute) باشند. استاندارد API فولادها را در بخش -API 5L و در دو سطح PSL1 و PSL2 دستهبندی می کند [ ۲ و ۳]. فولاد میکرو آلیاژیX90 از جمله فولادهای HSLA میباشد که بر اساس استاندارد API-5L در سطح فولادهای PSI 2 قرار می گیرد. از جمله عناصر موجود در این فولاد می توان به كروم ، نيوبيوم، موليبدن، نيكل و واناديوم اشاره نمود [۴].

فولاد API-5L X90 از سال ۱۹۸۵ با فرآیند ترمودینامیکی فولاد API-5L X90 از سال ۱۹۸۵ با فرآیند ترمودینامیکی طراحی و تولید شده و داری استحکام تسلیم ۶۲۵ مگاپاسکال و استحکام کششی ۶۹۵ مگاپاسکال میباشد. این فولاد علاوه بر دارای استحکام بالا و چقرمگی مناسب از مزیتهای دیگری همچون جوش پذیری خوب به دلیل میزان کربن کم ، مقاومت به خستگی بالا، دمای انتقال شکست نرم به ترد پایین را اشاره نمود. امروزه با توجه به کاهش ضخامت و افزایش قطر داخلی لولهها جهت کاهش هزینه و افزایش راندمان تولید لولههای مورد استفاده در خطوط انتقال نفت و گاز در مناطق سردسیر، بررسی رفتار خوردگی فولادهای مورد استفاده می شود [۴، ۵ و ۶]. ویژه لوله های بکارگیر شده در انتقال نفت و گاز از اهمیت بررسی رفتار خوردگی فولادهای مورد استفاده در صنعت به براین نوع فولادهای ناشی از واکنش های خوردگی میباشد.

این واکنش های خوردگی اغلب از طریق واکنش سیال با لایه درونی و یا محیط با لایه خارجی لوله ایجاد گردیده و باعث به وجود آمدن خسارت جانی و مالی زیادی میشوند. علاوه بر واکنش ها خوردگی، جوشکاری جهت اتصال لوله های نیز بر رفتار خوردگی تاثیر می گذارد. بطوری که سیکل های حرارتی ناشی از جوشکاری باعث تغییر ریز ساختار و مورفولوژی دانه ها میشود. نوع ریز ساختار و مورفولوژی دانه ها نیز ارتباط مستقیمی با میزان و نوع خوردگی دارند [۴].

مي يانگ و همكارانش؛ به بررسي اثر سرعت تغذيه سيم جوش ER100S-G بر خواص مکانیکی و رفتارهای خوردگی الکتروشیمیایی فولاد X90 جوشکاری شده به روش هیبریدی ليزرى (laser-MAG) پرداختند. نتايج نشان داد كه ريزساختار فلز جوش شامل فریت سوزنی (AF) و فریت مرزدانهایی بوده و ريزساختار منطقه متاثر از حرارت (HAZ) عمدتاً از بينيت دانهای (GB) و فریت سوزنی (AF) تشکیل شده است. با افزایش حرارت ورودی، دانهها و رسوبات در فلز جوش و HAZ به طور قابل توجهي رشد مي كنند. نتايج تست خوردگي پلاریزاسیون نشان داد که فلز پایه دارای بالاترین مقاومت به خوردگی بوده و مقاومت به خوردگی فلز جوش با رشد دانهها کاهش مییابد [۸]. سیکلهای حرارتی ناشی از حرارت ورودی جوشکاری باعث تغییر در ریزساختار و کاهش خواص مکانیکی همچون چقرمگی و استحکام ناحیه اتصال می گردد. ریز ساختار فلز جوش و ناحیه متاثر از حرارت درشت دانه (CGHAZ) از مقادیری ترکیبات M / A به صورت بلوکی و رشته ایی (میله مانند) بر روی مرز و درون دانههای وجود دارند و با افزایش حرارت ورودی درشت تر می شوند. می توان گفت که اندازه، شکل و توزیع فاز ثانویه، مارتنزیت / آستنیت (M/A)، در فلز جوش و CGHAZ متفاوت بوده و این تفاوت بر مقاومت به خوردگی تاثیر می گذارد. به گونهایی که فلز پایه به دلیل داشتن ريزساختار و مورفولوژي مناسب تر از ناحيه CGHAZ ، بيشترين مقاومت به خوردگی را دارد و کاهش مقاومت به خوردگی

ناحیه CGHAZ به میزان، نحوی توزیع و مورفولوژی فاز A / M مرتبط است [۹ و ۱۰]. نحوه تأثیر ریزساختار بر رفتار خوردگی می توان اینگونه بیان کرد که فولادهای با ریزساختار فریت سوزنی ، فریت چندوجهی و فاز مارتنزیت / آستنیتی به ترتیب در مقایسه با یکدیگر کمترین نرخ خوردگی را دارند. زیرا نمونههایی با ساختار فریت سوزنی دارای محصولات خوردگی به صورت یکنواخت، متراکم تر و فشرده تر از دو ریزساختار دیگر می باشد. محصولات خوردگی تشکیل شده بر روی فاز مارتنزیت / آستنیت و فریت چندوجهی به دلیل متخلخل بودن نمی توانند محافظت خوبی را ایجاد کنند. [۱۱ و ۱۲]. در این پژوهش تأثیر حرارت ورودی فرآیند GTAW بر ریز ساختار و مقاومت به خوردگی فلز جوش فولاد میکروآلیاژ

X90 مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته شد. از سیمجوشهای میکروآلسیاژی ER 120S-G ، ER 120S-G و ER 90S-B3 به عنوان فلز پرکننده استفاده گردید.

#### ۲ \_ مواد و روش تحقيق :

در این پژوه ش از فولاد میکرو آلیاژی API X90 با ضخامت ۱۲ میلی متر به عنوان فلز پایه و سیم جوش های میکرو آلیاژی ER 100 S-G ER 120 S-G و ER 90S و B3 به عنوان فلز پرکننده استفاده شد. جدول (۱) ترکیبات شیمیایی فلزات پایه و پرکننده بر اساس نتایج کوانتومتری را نشان می دهد. طرح اتصال به صورت لب به لب و نیم جناقی یک طرفه با زاویه ۷۰ درجه، فاصله ۲ میلی متر و ارتفاع ریشه ۱ میلی متر با دستگاه فرز آماده سازی صورت گردید . شماتیک طرح اتصال در شکل (۱) نشان داده شده است.

مناصر فلز پايه و جوش	с	Si	Mn	Cr	Мо	Ni	Nb.	Ti	Cu	AI	v	Co	N	s	Р	Fe
X90	•/•\$	•/**	1/194	./180	٠/٠٩٠	•/180	•/•₩₹	./.18	./1.0	•/•٣١	•/•**	•/••٣		<./1	•/•11	باقی مانده
ER 120 S-G	•/•٨	•/۶	1/80		۰/۵۵		•/•*	•/•1	٣/۴	_	_	_		•/••٣	•/••₹	باقی ماندہ
ER 100 S-G	•/۶	۱/۶	۰/٣	۱/۴	۰/۳۵						•/•۵					باقی ماندہ
ER 90S- B3	•/1	۰/۵	•/V	۲/۴	ì											باقی مانده

جدول ۱ ـ ترکیب شیمیایی فلز پایه و فلز پر کننده ( درصد وزنی)



شكل 1 ـ شماتيك طراحي اتصال

جوشکاری نمونه ها با روش GTAW تحت حفاظت گاز آرگون با خلوص ۹۹/۹۹ درصد طی ۶ پاس انجام شد. در طی جوشکاری از شدت جریان (I) ۱۵۰ آمپر، ولتاژ (V) ۱۵ ولت و میانگین سرعت (s) ۸۰۶/۰ میلی متر انجام شد. میزان حرارت ورودی (Q) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$Q = 0.6 \frac{VI}{s} \tag{1}$$

به منظور بررسی ریز ساختار نمونه هایی از قطعات جو شکاری شده به ابعاد ۱×۱×۳ سانتی متر به طوری که فلز جوش در و سط آن ها قرار داشت جدا گردید. سنباده زنی نمونه ها از شماره سنباده ۶۰ تا ۲۵۰۰ انجام شد سپس پولیش نمونه ها با ترکیب پودر آلومینا ۲/۰ میکرون و آب مقطر انجام گردید. به منظور حکاکی نمونه ها از محلول نایتال ۲٪ به مدت ۱۰ ثانیه استفاده شد. و ریز ساختار نواحی مختلف جوش و فلز پایه با استفاده از میکرو سکوپ نوری و میکرو سوپ الکترونی روبشی SEM مورد بررسی قرار گرفت.

جهت ارزیابی رفتار خوردگی نواحی مختلف اتصال ، ابتدا نمونههای به ابعاد ۵×۱۲×۱۵ میلیمتر مکعب برش داده شد. سپس نمونهها توسط چسب اپوکسی مانت سرد شدند. سپس برای حذف مقدار جزئی چسب اپوکسی و آمادهسازی سطح نمونه جهت آزمون اقدام به سنبادهزنی از شماره سنباده ۲۲۰ تا ۲۵۰۰ شد.

برای انجام آزمون خوردگی و اندازه گیری نرخ خوردگی از دستگاه پتانسیواستات AutoLab مدل PGSTATA302A و ساخت کشور هلند استفاده شد. در این آزمون از محلول ۲۸۵ درصد سدیم کلراید ( ۳/۵ گرم سدیم کلراید در ۲۵۰ سی سی آبمقطر) به عنوان محلول خورنده و از الکترود Ag/AgCl به عنوان الکترود مرجع و الکترود پلاتینی به عنوان الکترود شمارنده استفاده شد. مدت زمان نگهداری در محلول به منظور پایدار شدن پتانسیل مدار باز برای فلز پایه و فلز جوش با فلز پرکننده G-S R120 S-G ، ER120 S-G

ER 90S-B3 ، ۱۵ دقیقه بود. از آزمون پلاریزاسیون دینامیکی در محدوده پتانسیل ۴۰۰ – میلیولت نسبت به مدار باز تا ۶۰۰ میلیولت با نرخ روبش ۳ میلیولت بر دقیقه استفاده شد. و برای تحلیل نمودارها از نرمافزار Nova بهمنظور محاسبه پتانسیل، چگالی جریان خوردگی مقاوت به خوردگی و نرخ خوردگی مورد استفاده قرار گرفته شد.

> ۳ \_ نتایج و بحث: ۳ \_ ۱ \_ ریز ساختار

در شکل (۲) تصاویر میکروسکوپ نوری و الکترونی ریزساختار فلز پایه X90 نشان داده شده است. ریز ساختار فلز پایه شامل فریت و بینیت دانهای است. شکل (۳) تصاویر میکروسکوپ نوری و الکترونی فلز جوش با فلزات پرکننده میکروسکوپ نوری و الکترونی فلز جوش با فلزات پرکننده است ریز ساختار فلزات جوش شامل فریت سوزنی، فریت چند وجهی، فریت مرزدانهایی و بینیت دانهایی و جزایر مارتنزیتی/آستنیتی (M/A) می باشد.

نحوه تشکیل ریزساختار فولادهای میکرو آلیاژی می توان گفت که فریت چندوجهی نسبت به فریت سوزنی در بازه دمایی بالاتری و با جوانهزنی و رشد فریت از مرزدانههای آستنیت اولیه تشکیل می گردند. با کاهش دما فریت چندوجهی از شکل منظم خود خارج شده به طوری که مرزدانه به صورت تیغههای نا هموار تبدیل می شوند که را آن فریت شبه چند وجهی می نامند. در ادامه با سرد شدن تا دمای محیط، فاز فریت سوزنی، بر روی آخالهای غی فلزی جوانهزنی و به صورت در هم تنیده تشکیل می شوند [۱۳]. کربن حین تشکیل فریت سوزنی پس زده می شود و لایه ای غنی از کربن در فصل مشترک فریت و آستنیت ایجاد می گردد. سپس ضمن سرد شدن ساختار در دمای محیط، مقداری از آستنیت باقیمانده به مار تنزیت و مابقی به صورت می سیت باقی می ماند. به صورت ترکیبات M/A به شکل آستنیت باقی می ماند. به صورت ترکیبات M/A به شکل



شکل ۲ ـ تصاویر میکروسکوپی و میکروسکوپی SEM ریز ساختار فلز پایه به ترتیب (الف) و (ب)



شکل ۳ ـ تصاویر میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ SEM ریزساختار به ترتیب نمونه ۱ (الف) و (ب) ER90S-B3 ، نمونه ۲ (ج) و (د) ER120S-G ، نمونه ۳ (ه) و (ی) ER120S-G

ریز ساختار فلز جوش پرشده با فلز پرکننده ER120S-G نسبت به سایر فلز پر کننده دیگر دارای ساختاری ریز دانهتر و از میزان فریت سوزنی بیشتری بر خودار است. ریز ساختار ER100S-G دارای بیشترین میزان فریت شبه چندوجهی و ويدمن اشتاتين بوده. مقدار و نحوه توزيع فاز M/A فلز جوش پرشده با فلز پرکننده ER120S-G نسبت به دیگر فلزات جوش، ریزتر و بهصورت یکنواخت پراکنده شده است. و مقدار و نحوه توزيع فاز M/A فلز پركننده ER90S-B3 داراي توزيع و پراکنندگي يکنواخت تري نسبت به فلز جوش پرشده با فلز کننده ER100S-G دارد. به گونهایی که در فلز جوش ER100S-G ، فاز M/A بیشتر روی مرزدانهها به صورت بهم پیوسته تشکیل شدهاند. تفاوت ریزساختار فلز جوش ER90S-B3 نسبت به فلز جوش ER90S-B3 وجود بینیت دانهایی در فلزجوش ER90S-B3 و فریت مرزدانهایی در ER100S-G و نحوی توزیع و پراکندگی فاز M/A مى باشد.

# ۳\_۲\_ خوردگی

تنوع ریز ساختار، ریزدانگی و توزیع فازهای ثانویه در زمینه بر رفتار خوردگی فلزات جوش تاثیر می گذارند. به گونهایی که هر ریز ساختاری یک رفتار متفاوت الکتروشیمیایی با ریزساختار دیگر داشته و نوع و میزان تراکم تشکیل محصولات خوردگی به ریزساختار وابسته است. نحوه توزیع و تراکم ریزساختار و رسوبات باعث ایجاد تفاوت واکنش آندی و کاتدی ریزساختاری با هر نوع از ریز ساختار دیگر در یک نمونه با محلول خورنده می شود. به طوری که وجود یک فاز یا ذرات در یک زمینه می تواند نقش کاتدی را ایجاد کند و باعث بهوجود آمدن اختلاف پتانسیل بین ریزساختار مختلف یا ذرات با زمینه گردند. و این اختلاف پتانسیل تعیین کننده میزان و نوع رفتار خوردگی نمونه است. میزان تراکم محصولات خوردگی نیز بر رفتار خوردگی تاثیرگذار است. به گونهایی که هر چه انداره دانه کوچک تر باشد، چگالی مرزدانه ها افزایش می یابد. که باعث افزایش مکان های ترجيحي خوردگي شده و محصولات خوردگي متراكم تري را ایجاد میکنند. با تشکیل محصولات خوردگی با تراکم

فصلنامه علوم و مهندسی خوردگی، شماره پیاپی ۴۴ (سال دوازدهم – ۳۴ )، تابستان ۱۴۰۱ ارزیابی مقاومت به خوردگی فلز جوش در اتصالات فولاد میکرو آلیاژ API-5L X90 با فرآیند GTAW

بالا ، باعث دشوار شدن نفوذ يونها از فلز به محلول الكتروليت مي شود. و سرعت واكنش آندي كاهش يافته، كه منجر به کاهش سرعت واکنش های خوردگی می گردد. محصولات خوردگی تشکیل شده بر ریزساختار فریت سوزنی در مقایسه با فریت چند وجهی و فاز M/A فشردهتر است. محصولات خوردگی تشکیل شده بر سطح فریت چندوجهی دارای تخلخل و میزان چسبندگی به زمینه کمتر بوده که باعث نفوذ یونها از فلز به محلول شده و موجب افزایش نرخ خوردگی میشوند [۱۵]. در نتیجه فریت سوزنی داری مقاومت به خوردگی بالاتری نسبت به فریتهای چندوجهی دارد. از پارامترهای تاثیر گذار بر رفتار خوردگی فلزات جوش، میزان کسر حجمی و نحوه توزیع فاز M/A می باشد. به طوری که فاز M/A در مقابل زمینه، نقش کاتد را داشته و واکنش های کاتدی در آن اتفاق میافتد با افزایش اندازه ذرات M/A و توزيع آنها از حالت يكنواخت خارج شوند موجب تغییر در مساحت نواحی کاتدی و آندی شده و نسبت کاتد به آند افزایش می یابد. افزایش این نسبت، باعث افزایش سرعت واکنش های خوردگی شده که منجر به افزایش جریان و نرخ خوردگی میشود [۱۶].

وی می رود می وی می مختلف را شکل (۳) ریز ساختار و اندازه دانه فلزات جوش مختلف را ریز ساختارهای متفاوتی همچون فریت سوزنی، فریت چندوجهی و جزایر مار تنزیتی / آستنیتی (M/A) تشکیل شده است. که میزان ، نحوه توزیع و مورفولوژی آنها به حرارت ورودی و میزان رقت (ترکیب سیم جوش و فلز پایه) وابسته است. نمونه (۳) فلز جوش B-ER12OS، ریزدانگی بیشتری نسبت به سایر فلزات جوش دیگر دارا بوده که باعث افزایش نسبت به سایر فلزات جوش دیگر دارا بوده که باعث افزایش دانهها، مکانهای ترجیحی برای خوردگی افزایش می یابد، که منجر به تشکیل محصولات خوردگی متراکم تر می شوند. نسبت به فریت چند وجهی، لایه محافظ با تراکم بیشتری نسبت به فریت چند وجهی، لایه محافظ با تراکم بیشتری برروی سطح نمونه ایجاد می شود که منجر به کاهش جریان

سایر نمونهها ریزتر بوده و بهصورت یکنواخت پراکنده شدهاند.

۴۸

نمونه (۱) فلز جوش ER90S-B3، دارای ریز ساختار فریت سوزني ، چندوجهي و بينيت دانهايي ميباشد . اندازه دانهها و فاز M/A نسبت به نمونه فلز جوش ER120S-G بزرگ تر بوده که با افزایش اندازه دانهها، چگالی مرز دانههای کاهش می یابد. بلوک های M/A، در شت تر و به صورت میله مانند (رشتهای) در زمینه به صورت غیر یکنواخت یراکنده شدهاند. این تغییر، موجب تغییر در مساحت نواحی کاتدی و آندی می شود؛ و نسبت کاتد به آند افزایش می یابد. افزایش این نسبت، منجر به افزایش سرعت واکنش های خوردگی شده و به دنبال آن، افزایش جریان و نرخ خوردگی می شود. نمونه (۲) فلز جوشER100S-G، دارای ریزساختاری همچون فریت سوزنی، چند وجهی و فریت مرزدانهایی میباشد. در این نمونه میزان فریت چندوجهی نسبت به فریت سوزنی بیشتر بوده و فازهای M/A بیشتر برروی مرز دانهها به صورت کشیده و بهم پیوسته می باشند. نمونه (۲) بر خلاف نمونه (۳)، بهجای آنکه مرز دانههای باعث افزایش مکانهای ترجیحی برای خوردگی و محصول خوردگی متراکم تر را ایجاد کنند. با وجود فاز M/A بر روى مرزدانه ها باعث تشكيل محصول خوردگی غیرمتراکم شده و نسبت کاتد به آند نیز افزایش مییابد. و نهایتا باعث افزایش چگالی جریان خوردگی مي شود.

شکل (۴)، منحنی پلاریزاسیون دینامیکی فلز پایه و فلزات جوش با فلزات ير كننده ER100 S-G، ER120 S-G و ER 90S-B3 را نشان مي دهد.نتايج آزمون خوردگي مربوط به فلزات جوش از قبيل جريان خوردگی، چگالی جريان، یتانسیل و نرخ خوردگی که توسط نرم افزار Nova و به روش برون یابی شیب خطوط تافل منحنی های آند و کاتدی محاسبه گردید، در جدول (۲) آورده شده است. و با بررسی نتایج بدست آمده، مشخص گردید که فلزات جوش ER120S-G و ER100S-G، به ترتیب دارای کم ترین و بیشترین چگالی جریان خوردگی را دارند و لذا، بالاترین و پایین ترین میزان مقاومت به خوردگی را دارند. تغییر در رفتار خوردگی فلزات جوش را می توان به تنوع ریز ساختار و توزیع فازهای موجود مرتبط دانست. با توجه به بحثهای ریز ساختاری انجام شده و از آنجایی که عمده ریزساختار فلز جوش ER120S-G از فریت سوزنی تشکیل گردیده است، می توان گفت که تفاوت فعالیت شیمیایی فازها در زمینه ناچیز است. میزان و نحوه توزيع فاز M/A فلز جوش ER100S-G بيشتر در مرزدانه و به هم پیوسته تر بوده که باعث افزایش سرعت واکنشهای خوردگی شده. که در نهایت جریان و نرخ خوردگی افزایش مى يابد. فلز يايه نسبت به نمونه ER90S-B3 و ER100S-G به ترتیب کمترین چگالی جریان و نرخ خوردگی را دارد. نتایج بدست آمده از جدول با مباحث ریز ساختاری تطابق دار د.



شکل۴ ـ منحنی پلاریزاسیون دینامیکی فولاد X90 و فلز جوش ER 100 S-G ، ER 120 S-G و ER 90S-B3 در حرارت ورودی یکسان

(mr	نرخ خوردگی(n/year	شیب کاتدی (Bc) (mv/dec)	شیب آندی (Ba) (mv/dec)	چگالی جریان خورد گی(4.cm)	پتانسیل خوردگی (mv)	پتانسیل مدار باز (ocp)	نمونه
	•/1879	97/97	4.7/40	14/0810	-943/11	•/919 -	X90
	•/٣۴١٧	٨٨/٠۶٠	54./76.	29/61	-0.9/11	•/۵۳۲ -	ER90S-B3
	•/۴۸۵•	1.0/91	<b>YQ./.Y</b>	F1/VFF	-0.9/14.	-•/ <b>۵</b> •۷	ER100S-G
	•/148٣	97/884	۲۰۰/۳۳	1Y/VV	-9•9/9V	-•/۵۶۸	ER120S-G

جدول۲ ـ نتايج حاصل از خوردگی پلاريزاسيون ديناميکی فلز پايه و فلز جوش ER100 S-G ، ER 120 S-G و ER 90S-B3 و ER100

#### نتيجه گيري

در این پژوهش تأثیر حرارت ورودی فرآیند GTAW بر ریز ساختار و مقاومت به خوردگی فلز جوش فولاد میکرو آلیاژ X90 مورد بررسی قرار گرفته شد. اهم نتایج بدست آمده از قرار زیر است:

- ریز ساختار فلز پایه شامل فریت و بینیت دانه ایی بوده و فلزات جوش شامل فریت سوزنی ، فریت چندوجهی و جزایر مارتنزیتی
  / آستنیتی (M/A) می باشد.
- ریزساختار فریت سوزنی به دلیل تراکم بیشتر دارای مقاومت به خوردگی بهتر نسبت به فریت چند وجهی دارد. و فلز جوش پرشده با فلز پرکننده ER120S-G دارای بیشترین میزان فریت سوزنی می باشد.
- هر چه ریزساختار دارای جزایر مارتنزیتی / آستنیتی (M/A) کوچک تر و با توزیع یکنواخت تر در زمینه پراکنده شده باشند.
  مقاومت به خوردگی بیشتری دارد. فلز جوش پر شده با فلز پر کننده ER120S-G دارای M/A ریزتر و با توزیع یکنواخت تر
  در زمینه پراکنده شده است.
- با بررسی نمودار خوردگی پلاریزاسیون و جدول نتایج خوردگی، کمترین نرخ خوردگی و چگالی جریان را فلز جوش پر شده
  با فلز پر کننده ER120S-G دارا میباشد. سپس فلز پایه نسبت به نمونه ER90S-B3 و ER100S-G به تر تیب کمترین چگالی
  جریان و نرخ خوردگی را دارا میباشد.
- فاز M/A در ریز ساختار فلز پر کننده ER100S-G ، نسبت به دو نمونه دیگر، بیشتر به روی مرز دانه ها تشکیل شده است. که
  باعث کاهش مقاومت به خوردگی آن شده است.

مراجع

- [1] F.F.Eliyan, E.Sadig Mahdi," Electrochemical evaluation of the corrosion behaviour of API-X100 pipeline steel in aerated bicarbonate solutions", Corrosion Science,2012
- [2] J.M. Zhang, C.Y. Huo, "NbC-TiN co-precipitation behavior and mechanical properties of X90 pipeline steels by critical-temperature rolling process ", International Journal of Pressure Vessels and Piping,2018
- [3] A. Yu. Ivanov, R. V. Sulyagin, "Formation of structure in the heat affect zone and properties of welded joint of pipe steels of strength classes X80 and X90", Metal Science and Heat Treatment, Vol. 53, No. 11 – 12, March, 2012
- [4] D. Zhang, L. Gong, X. Chen"Effect of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of API X90 Pipeline Steel Welded Joints", The Indian Institute of Metals - IIM 2019
- [5] B.Guo, J. Xu," Process, Microstructure and Mechanical Properties of X90 Pipeline Steel", Materials Science Forum, 2016
- [6] D. Zhang, L.Gong,X. Chen"Effect of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of API X90 Pipeline Steel Welded Joints", The Indian Institute of Metals - IIM 2019
- [7] Y. ARAI, H.NAGAYAMA, " Development of X90-X100 Seamless Line Pipes and Their Application " NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL TECHNICAL REPORT, 2015
- [8] M.Yang, Y.Liu, J. Zhang, "Hybrid Laser-Arc Welding of X90 Pipeline Steel: Effect of Laser Power on Microstructure and Mechanical Properties" METALLURGE AND MATEREALS ENGINEER - IIM 2018
- [9] L.Yang, Y. Sui, P.Xi, "Microstructure and Properties of Weld CGHAZ under Different Heat Input for X90 Pipeline Steel" Materials Science Forum, 1662-9752, Vol. 850, pp 943-949, 2016
- [10]W.Zhao , Y. Zou," Corrosion behavior of reheated CGHAZ of X80 pipeline steel in H2S-containing environments", Materials and Design,2016
- [11] L.W. Wang, Z.Y. Liu, "In situ corrosion characterization of simulated weld heat affected zone on API X80 pipeline steel", Corrosion Science, 2014

Downloaded from journal.ica.ir on 2025-07-25

- [12] Y.bGuo, Ch. Li," Effect of microstructure variation on the corrosion behavior of high-strength low-alloy steel in 3.5wt% NaCl solution", Minerals, Metallurgy and Materials, 2015
- [13]W. Dan, Zh, Shujian, Zh. Qingdong, " The influence of Cr on the microstructure and electrochemical behavior of high strength low-alloy steel", Materials Research Express, 10.1088/2053-1591/ab9ae6,2020
- [14]N. Huda , A.R.H.Midawi,"Influence of martensite austenite (MA) on impact toughness of X80 line

pipesteels", Materials Science & Engineering, 2016

01

- [15]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
- [16]H. Okada, F. Matsuda, K. Ikeuchi ,Z. Li. "Decomposition behaviour of M-A constituent and recovery of toughness deterioration of HAZ toughness in 780 and 980 MPa class HSLA steels welded with high heat inputs and its improvement", Welding international,1995

[ Downloaded from journal.ica.ir on 2025-07-25 ]