نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال هفتم، شماره1، بهار و تابستان 1400، صفحه 96-89

ارزیابی خواص ریزساختاری و بررسی رفتار خوردگی فولاد P460NH جوشکاری شده با استفاده از الکترود E8018-G

حسین طهماسبی منش، علیرضا نصر اصفهانی، سیدمحمدعادل عقیلی

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان.

(دریافت مقاله: 1400/04/23؛ پذیرش مقاله: 1400/06/14)

چکیده

یکی از کاربردهای فولاد میکرو آلیاژی P460NH استفاده از آن در ساخت مخازن تحت فشار است. برای جوشکاری این فولاد می‌توان از الکترود روکش‌دار E8018-G استفاده نمود. در این پژوهش از فرایند جوشکاری دستی با قوس الکتریکی استفاده شد و برای بدست آوردن پارامترهای بهینه جوشکاری، براساس استانداردهای ASME IX، جوشکاری انجام شد. آنگاه با نمونه‌بردای از مقطع جوش سختی سنجی به روش ویکرز انجام و پروفیل سختی برای نواحی مختلف رسم شد. سپس ریزساختار هر ناحیه بررسی و با نتایج سختی سنجی مقایسه گردید. رفتار خوردگی نواحی مؤثر از حرارت، گرده جوش و فلز پایه به‌طور جداگانه با استفاده از آزمون پلاریزاسیون تافل در محلول 3/5 درصد NaCl مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد ریزساختار ناحیه جوش دارای بیشترین درصد پرلیت (62%) و فلز پایه دارای بیشترین درصد (73%) فریت است. همچنین ناحیه متأثر از حرارت دارای بیشترین عدد سختی (298) و فلز پایه دارای کمترین مقدار آن (210) در معیار ویکرز است. ارزیابی رفتار خوردگی مناطق مختلف نیز نشان داد ناحیه متأثر از حرارت دارای بیشترین پتانسیل خوردگی (0/651- ولت) و بیشترین چگالی جریان خوردگی ($1/75 \times 10^{-5}$ آمپر بر سانتی‌متر مربع) است. این در حالی است که فلز پایه با کمترین پتانسیل خوردگی (0/691- ولت) و کم‌ترین چگالی جریان خوردگی ($1/2 \times 10^{-5}$ آمپر بر سانتی‌متر مربع) نسبت به فلز جوش و ناحیه متأثر از حرارت قرار دارد.

کلمات کلیدی: فولاد P460NH، الکترودE8018-G ، پتانسیل خوردگی، جریان خوردگی، سختی، پلاریزاسیون تافل.

Evaluation of microstructural properties and investigation of corrosion behavior of P460NH welded steel using E8018-G electrode

H. Tahmasebi Manesh, A.R. Nasresfahani, S. M. Adel Aghili

Department of Materials Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Isfahan.

(Received 14 July 2021 ; Accepted 5 September 2021)

Abstract

One of the applications of P460NH micro-alloy steel is its use in pressure vessel tanks. Electrode E8018-G can be used for welding this steel. In this study, to obtain the optimal welding parameters, the arc process based on ASME IX standard was used. Then, by sampling from the weld section, Vickers hardness test was performed and hardness profiles were drawn in different areas. Then the microstructure of each area was examined and compared with the hardness test results. The corrosion behavior of the heat affected zone, weld zone and base metal was investigated separately using

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: nasr_alireza@yahoo.com

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

the TOEFL polarization test in a 3.5% solution of NaCl. The results showed that the weld zone had the highest percentage of perlite (%62) and the base metal had the highest percentage of ferrite (%73). Also, the heat affected zone has the highest hardness number (298) and the base metal has the lowest value (210) in the Vickers scale. Evaluation of corrosion behavior of different areas also showed that the heat affected zone has the highest corrosion potential (-0.651v) and the highest corrosion current density (1.75×10^{-5} A/cm^2). This is while the base metal has the lowest corrosion potential (-0.691v) and the lowest corrosion current density (1.2×10^{-5} A/cm^2) compared to the weld metal and the heat affected zone.

Keywords: P460NH steel, E8018-G electrode, corrosion potential, corrosion current density, hardness, tafel polarization test.

1- مقدمه

فولاد P460NH به عنوان یک فولاد میکرو آلیاژی دارای کاربردهای فروانی در صنایع مختلف از جمله ساخت مخازن تحت فشار است. این فولاد به دلیل دارا بودن کربن نسبتا بالا دارای مشکلاتی از قبیل جوش‌پذیری ضعیف می‌باشد [2]. فولادهای میکرو آلیاژی، فولادهایی هستند که درصد هرکدام از عناصر وانادیوم، نیوبیوم و تیتانیوم آن‌ها کمتر از 0/1 درصد و مجموع آن‌ها نباید بیشتر از 0/15 درصد باشد. این عناصر نقش بسزایی در خواص نهایی فولاد داشته ولی لزومی ندارد که هر سه آن‌ها در فولاد وجود داشته باشد [1 و 2]. خوردگی جوش پدیده مخربی است که به‌شدت تابع خواص متالورژیکی فلز پایه، فلز پرکننده و فرایند جوشکاری است [3]. درنتیجه در بسیاری از موارد می‌توان انواع خوردگی را در جوش مشاهده نمود. به‌عنوان مثال فلزاتی که توانایی تولید ریزساختارهای متفاوت را دارند، می‌توانند مستعد به خوردگی‌های گالوانیکی، حفره‌ای، تنشی، بین دانه‌ای و تردی هیدروژنی باشند [4].

پزشکیان و همکاران تأثیر اندازه زاویه پخ را بر خصوصیات مکانیکی و ریزساختاری فولاد P460N جوشکاری شده با الکترود E8018-G مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان داد استحکام جوش در نمونه جوشکاری شده با پخ 60 درجه، بیشتر از فلزپایه است. همچنین با توجه به اینکه کاهش زاویه‌پخ می‌تواند موجب تشکیل ترکیبات بین فلزی در ناحیه جوش بشود، درنتیجه کاهش انرژی ضربه جوش را به دنبال خواهد داشت [5]. در تحقیق دیگری غلامی و همکاران تاثیر تکرارپذیری فرایند جوشکاری تعمیری بر ریزساختار، خواص مکانیکی و خوردگی فولاد جوشکاری شده P460N را مورد بررسی قرار دادند

نتایج نشان‌دهنده آن است که چگالی جریان خوردگی در منطقه متأثر از حرارت با افزایش دفعات تعمیر کاهش و سرعت خوردگی در فلز پایه بیشتر از فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت است. همچنین سختی منطقه متأثر از حرارت در نزدیکی فلز پایه برای بار اول تعمیر نسبت به نمونه بدون تعمیر افزایش و در دفعات دوم و سوم کاهش‌یافته است. این در حالی است که سختی منطقه متأثر از حرارت نزدیک به فلز جوش با افزایش دفعات تعمیر بیشتر شده است. خواص کششی، خمشی و ضربه نیز در منطقه متأثر از حرارت پس از اولین تعمیر افزایش و در تعمیرهای بعدی کاهش داشته است [6].

رفیع زاده و همکاران نیز تأثیر میزان حرارت ورودی ناشی از جوشکاری تیگ را بر ریزساختار و خواص مکانیکی فولاد HSLA-100 موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که ریزساختار ناحیه جوش شامل بینیت دانه‌ای، فریت سوزنی، فریت چندوجهی و مقدار کمی مارتنزیت می‌باشد. افزایش حرارت ورودی موجب افزایش نسبی میزان فریت سوزنی و فریت چندوجهی ناحیه جوش و افزایش قابل تامل میزان بینیت به همراه کمی مارتنزیت خواهد شد.

اندازه دانه هر دو ناحیه جوش و متأثر از حرارت نیز نسبت به فلز پایه بسیار درشت‌تر و خواص حاصل از عملیات ترمومکانیکی و رسوب سختی قبلی از بین رفته است. همچنین افزایش مقدار حرارت ورودی موجب شده است سختی مرکز جوش به‌طور نسبی کاهش و ناحیه متأثر از حرارت افزایش یابد [7].

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

جدول 1- ترکیب شیمیایی فلز پایه (فولاد P460NH) بر اساس درصد وزنی.

عنصر	Fe	C	Si	Mn	Ni	P	S	CR	Mo
درصد وزنی	مابقی	۰/۱۸۴	۰/۴۹۴	۱/۴۰۶	۰/۰۵۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۴۸	۰/۰۳۰
عنصر	V	Nb	Ti	Al	Cu	Co	W	Sn	Pb
درصد وزنی	۰/۰۹۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۲۷	۰/۲۰۱	۰/۱۴	۰/۰۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۲

جدول 2- ترکیب شیمیایی الکترود (E8018-G) مورد استفاده برای جوشکاری.

عنصر	Fe	C	Si	Mn	Ni	Mo
درصد وزنی	پایه	۰/۰۶	۰/۳	۱/۲	۰/۸	۰/۳۵

جدول 3- نحوه انتخاب پارامترهای جوشکاری با توجه به نوع الکترود مصرفی.

ماده مصرفی	قطر (mm)	شماره پاس	ولتاژ (V)	شدت‌جریان (A)	سرعت جوشکاری (cm/min)	حرارت ورودی (KJ/cm)	میانگین حرارت ورودی (KJ/cm)
E8018-G	۳/۲۵	۱ (پاس ریشه)	۲۴	۱۲۰	۸	۱۶/۲	۱۳
	۳/۲۵	۲ (پاس پرکن)	۲۴	۱۱۰	۱۲	۱۳/۲	
	۳/۲۵	۳ (پاس نما)	۲۴	۱۲۰	۱۸	۹/۶	

بررسی رفتار خوردگی فولاد P460NH که به روش جوشکاری دستی با قوس الکتریکی با زاویه پخ یک طرفه انجام شده باشد ازجمله مواردی است که تاکنون انجام‌نشده است. در این تحقیق فولاد فوق استفاده از الکترود E8018-G جوشکاری و تأثیر ریزساختار و فازهای موجود در نواحی سه‌گانه جوشکاری بر رفتار خوردگی آن موردتحقیق و بررسی قرار گرفته است.

2-مواد و روش تحقیق

در این پژوهش از دوتکه ورق 16 میلی‌متری فولاد میکرو آلیاژی P460NH با ترکیب آلیاژی مطابق با جدول(1) و ابعاد 16mm ×200 ×600 برای جوشکاری استفاده شد. آماده‌سازی نمونه‌ها و طرح اتصال مطابق شکل (1) و به‌صورت جناقی یک‌طرفه (V شکل) با زاویه نهایی 60 درجه، فاصله اتصال 2/5 میلی‌متر ایجاد و سپس عملیات جوشکاری با استفاده از الکترود E8018-G ساخت شرکت بوهلر (جدول 2) با قطب مثبت (DCEP) مطابق با پارامترهای جدول (3) انجام شد. میزان حرارت ورودی با استفاده از رابطه (1) قابل‌محاسبه است:

$$H = 60\frac{VI}{S} \quad (1)$$

V= ولت

S= سرعت (سانتی‌متر بر دقیقه)

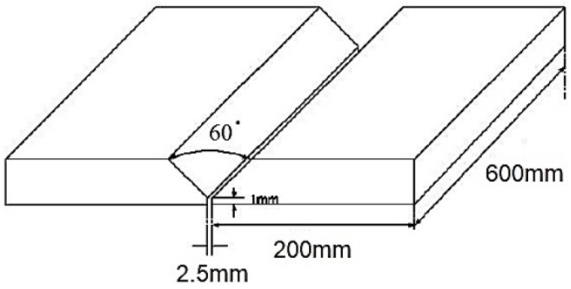
H = حرارت ورودی(ژول بر سانتی‌متر)

I= شدت‌جریان (آمپر)

همچنین جهت بررسی‌های ریزساختاری ابتدا از نواحی مختلف اتصال نمونه‌هایی با ابعاد 16×40×60 میلی‌متر در راستای خط جوش تهیه و پس از سنگ‌زنی و سنباده‌زنی تا شماره 3000 در محلول‌های پیکرال 2 درصد و نایتال 2 درصد به ترتیب به مدت 15 و 150 ثانیه حکاکی شد. سپس با استفاده از میکروسکوپ نوری (OM) مناطق مختلف جوش مورد بررسی قرار گرفت. برای بدست آوردن پروفیل سختی مقطع جوش از روش ویکرز تحت بار 30 کیلوگرم استفاده شد. پروفیل موردنظر در راستای دو خط عمود بر هم از مرکز جوش به‌گونه‌ای انتخاب شد که کلیه مناطق جوش، ناحیه متأثر از حرارت و فلز پایه را در برگیرد. نقاط سختی سنجی بافاصله یک میلی‌متر از هم انتخاب و هر سختی سه بار تکرار و درنهایت میانگین آن‌ها در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری خواص انرژی جذب حاصل از آزمون ضربه، آزمون ضربه به روش شارپی بر اساس استاندارد ASTM E23-07 [8] انجام شد. به همین منظور سه نمونه با ابعاد 10×10×55 میلی‌متر برای هر ناحیه از نواحی سه گانه حاصل از جوشکاری فولاد P460NH با الکترود E8018-G تهیه و آزمون انجام شد. در پایان برای بررسی رفتار خوردگی،

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

پتانسیل مدارباز و پلاریزاسیون تافل مناطق مختلف جوش در محیط آبی 3/5% نمک طعام با استفاده از دستگاه پتانسیواستات EG & G مورد بررسی قرار گرفت.

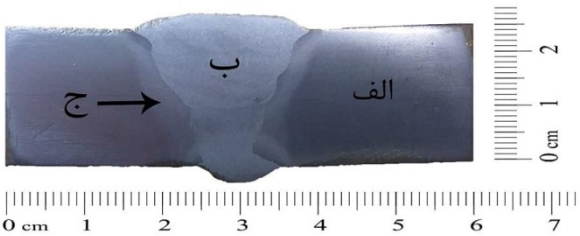


شکل1- شمایی از طرح اتصال جهت جوشکاری ورق فولادی P460NH.

3-نتایج و بحث

3-1- ریزساختار

شکل(2) تصویر میکروسکوپی نوری از درشت ساختار (ماکرو) مقطع جوش را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این تصویر ملاحظه می‌شود پهنای ناحیه جوش در قسمت ریشه حدود 10 میلی‌متر و در قسمت بالای آن 20 میلی‌متر است. این در حالی است که ناحیه متأثر از حرارت در دو طرف آن با پهنای حدود 5 میلی‌متر به‌وضوح قابل مشاهده است.



شکل 2- مقطع نمونه جوشکاری شده فولاد P460NH با الکترود E8018-G
الف- فلز پایه ب- ناحیه جوش ج- ناحیه متأثر از حرارت (حکاکی شده توسط محلول‌های پیکرال 2 درصد و نایتال 2 درصد).

شکل‌های(3و4) به ترتیب تصویر میکروسکوپی نوری شرکت المپوس و تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (FESEM) از ریزساختار فلزپایه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل ملاحظه می‌شود فلزپایه دارای ساختار فریتی- پرلیتی است که رنگ روشن نشان‌دهنده فریت و رنگ تیره نشان‌دهنده پرلیت است. این نوع ساختار را می‌توان متأثر از عملیات نرماله کردن و اعمال نورد و جهت‌گیری پرلیت‌ها در جهت اعمال نورد دانست [9]. همچنین با بررسی دقیق‌تر ریزساختار فلز پایه با استفاده از نرم‌افزار ImageJ و بررسی آنالیز فازی تصویری و عددی آن (شکل 3- ب و ج) مشاهده می‌شود که میزان فریت نسبت به پرلیت در فلز پایه بیشتر است. این در حالی است که ناحیه متأثر از حرارت شامل ریزساختار فریتی- پرلیتی با فریت‌های سوزنی شکل است. وجود این نوع ریزساختار را می‌توان ناشی از سرعت سرد شدن بالا در این ناحیه دانست [10].

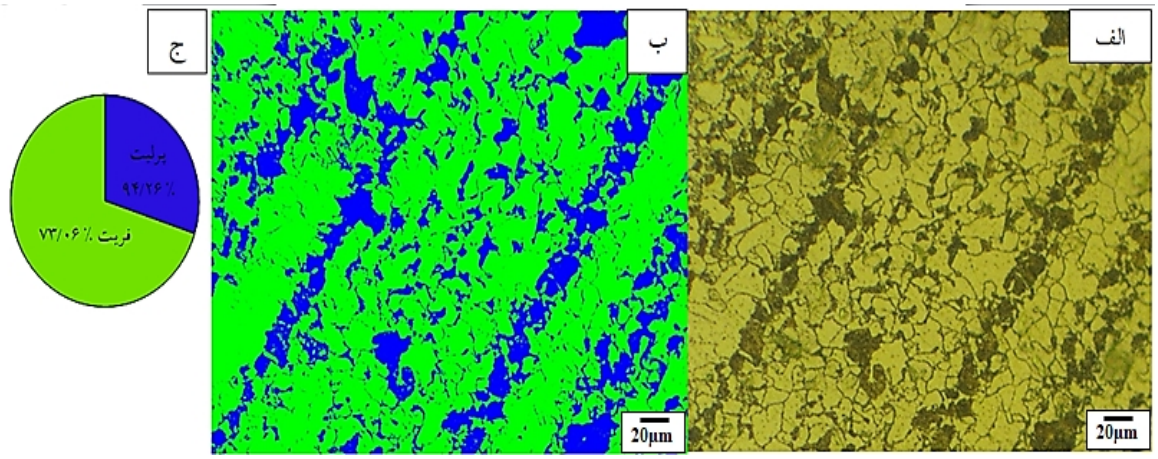
شکل‌های (5 و 6) نیز به ترتیب ریزساختار ناحیه متأثر از حرارت (HAZ) و فلزجوش را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها که نیز با استفاده از نرم‌افزار موردبررسی تصویری و عددی فازها قرارگرفته است، درصد تقریبا یکسانی از فریت و پرلیت در ناحیه متأثر از حرارت و زیادتر بودن میزان فریت در فلز پایه را نشان می‌دهد.

به‌این‌ترتیب می‌توان گفت میزان فریت از طرف فلز پایه به سمت فلز جوش در حال کاهش و میزان پرلیت افزایش‌یافته است. شکل فریت هم از حالت لایه‌ای به سوزنی تغییر کرده است. این پدیده را می‌توان ناشی از افزایش حرارت در نواحی نزدیک به فلز جوش و تغییر ترکیب شیمیایی در نواحی مختلف آن دانست.

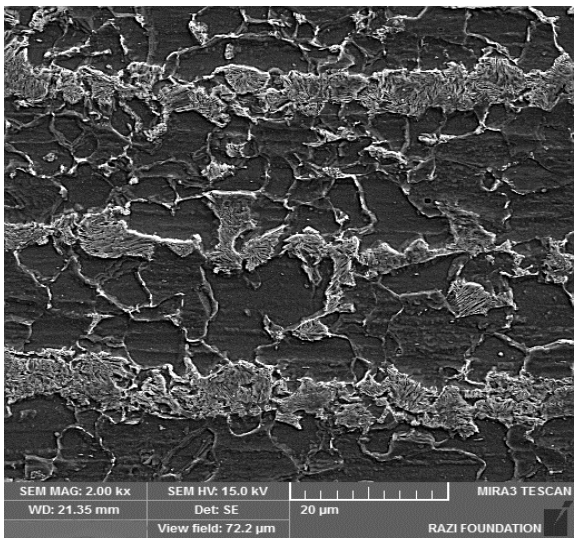
3-2- سختی سنجی

شکل (7) نشان دهنده پروفیل سختی مقطع جوش در نواحی مختلف است. با توجه به این شکل می‌توان تغییرات سختی از مرکز جوش به سمت فلز پایه را ملاحظه نمود. افزایش میزان سختی در ناحیه متأثر از حرارت و کاهش ناگهانی آن می‌تواند تأییدی بر وجود اختلاف زیاد در نوع و میزان ریزساختارهای ناشی از تغییرات دمایی در نواحی مختلف جوش باشد [11]. با در نظر گرفتن خط فرضی در وسط فلز جوش و مقایسه هر دو طرف آن، وجود یک شیب حرارتی قابل‌مشاهده است. به‌طورکلی دما به‌عنوان یک عامل اصلی در تبدیل فریت هم‌محور به فریت سوزنی می‌تواند سختی نواحی مختلف جوش

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]



شکل 3– الف- تصویر میکروسکوپ نوری از ریزساختار فلز پایه (حکاکی شده توسط محلول‌های پیکرال 2 درصد و نایتال 2 درصد)
ب- آنالیز فازی تصویری ج- درصد فازی.



شکل4- میکروسکوپ الکترونی روبشی از ریز ساختار فلز پایه از فلز پایه (حکاکی شده توسط محلول‌های پیکرال 2 درصد و نایتال 2 درصد).

و نیز ترکیب شیمیایی آن‌ها را تحت تأثیر خود قرار دهد.
شکل(8) نیز نشان دهنده میانگین سختی در هر سه ناحیه جوش می‌باشد. در اینجا نیز ملاحظه می‌شود که سختی ناحیه متأثر از حرارت نسبت به نواحی دیگر بیشتر و سختی فلز پایه از همه آن‌ها کمتر است، بنابراین می‌توان این سختی را ناشی از ریزساختار فریت سوزنی و میزان مالکیت فریت و پرلیت در نواحی مورد بررسی دانست [11 و 12].

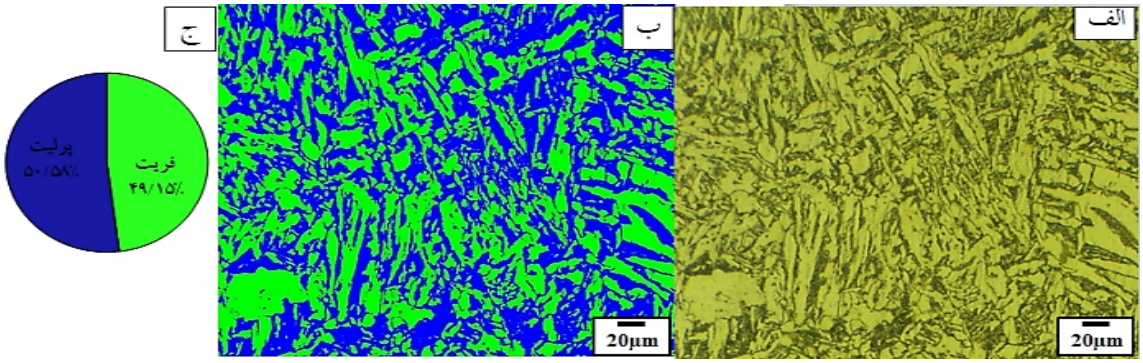
3-3- ضربه شارپی

در شکل(9) با توجه به نتایج آزمون ضربه شارپی، برای نواحی فلز پایه، ناحیه متاثر از حرارت و فلز جوش مشاهده می‌شود که به ترتیب فلزپایه دارای بیشترین انرژی ضربه، سپس ناحیه متاثر از حرارت و در نهایت فلز جوش دارای کمترین انرژی ضربه است. با ارتباط انرژی ضربه با ریزساختار غالب در هر ناحیه می‌توان بیان کرد که با کاهش فریت سوزنی و با افزایش میزان فریت چندوجهی و مرزدانه‌ای انرژی ضربه نیز افزایش یافته است. با توجه به پژوهش‌های گذشته [13 و 14] در حوضه فولادهای میکروآلیاژی، در این پژوهش‌ها نیز به ارتباط کاهش فریت سوزنی و افزایش میزان چقرمگی اشاره شده است و کاهش میزان فریت سوزنی در ریزساختار را در افزایش انرژی ضربه موثر می‌دانند. بنابراین می‌توان تغییر در نوع فریت در هر ناحیه از ریزساختار را دلیلی بر افزایش و کاهش انرژی ضربه دانست. در شکل(10) با مشاهده ناحیه شکست حاصل از آزمون ضربه از نواحی فلز پایه، ناحیه متاثر از حرارت و فلز جوش مشاهده می‌شود در ناحیه شکست فلز جوش علاوه بر کاهش انرژی ضربه در این ناحیه، تغییر شکل پلاستیک کمتری اتفاق افتاده و شکست تردتری را نسبت به بقیه نواحی تجربه کرده است.

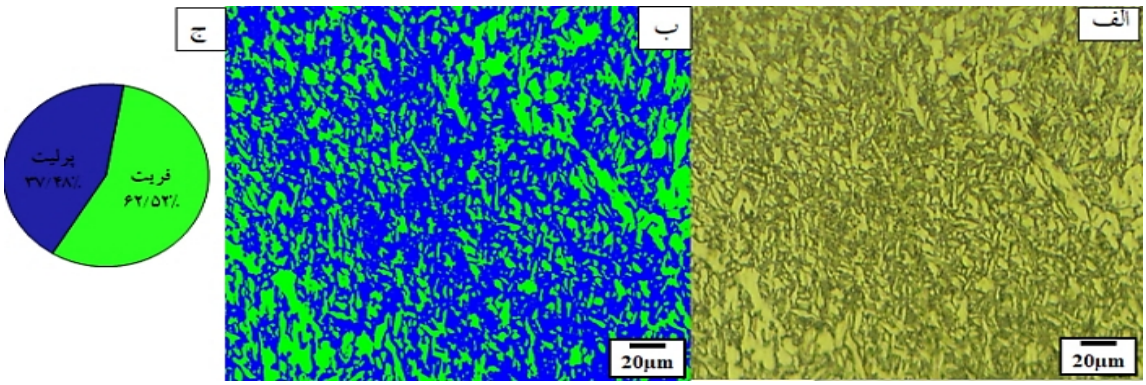
3-4-رفتار خوردگی

شکل(11) پتانسیل مداراز (E_{OCP}) نواحی مختلف جوش را نشان می‌دهد. در این شکل دیده می‌شود که میزان پتانسیل مداراز در ناحیه متأثر از حرارت به‌مراتب بیشتر (مثبت‌تر) از فلز جوش و فلـــز پایه است. با توجه به مـــدت‌زمـان ثـــابت شدن

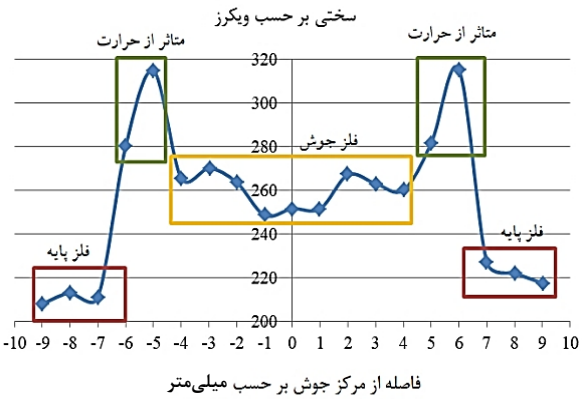
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]



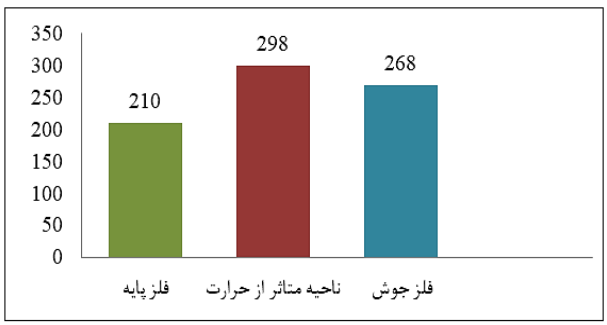
شکل5- الف- تصویر میکروسکوپ نوری از ریزساختار ناحیه متأثر از حرارت (حکاکی شده توسط محلول‌های پیکرال 2 درصد و نایتال 2 درصد)
ب- آنالیز فازی تصویری ج- درصد فازی.



شکل6- الف- تصویر میکروسکوپ نوری از ریزساختار ناحیه جوش (حکاکی شده توسط محلول‌های پیکرال 2 درصد و نایتال 2 درصد)
ب- آنالیز فازی تصویری ج- درصد فازی.

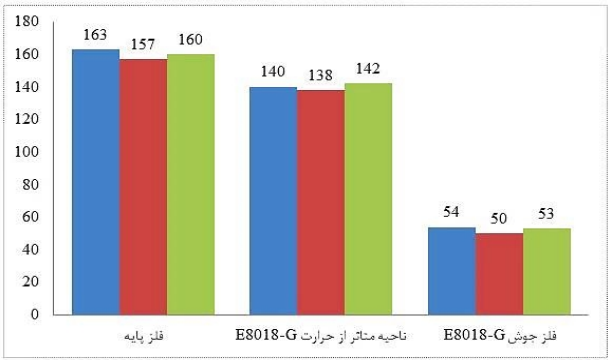


شکل7- پروفیل سختی جوش و نواحی اطراف آن.



شکل 8- میانگین سختی در نواحی مختلف نمونه فولاد P460NH جوشکاری شده به روش دستی.

پتانسیل مدار باز می‌توان گفت کاهش مدت زمان ثابت شدن پتانسیل مدارباز می‌تواند ناشی از تأثیر کار مکانیکی سطحی باقی‌مانده از روش تولید ورق اولیه که به صورت نورد سرد بوده است، دانست.



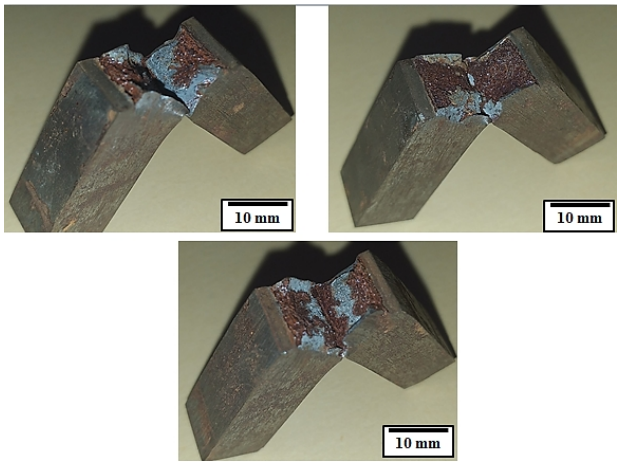
شکل9- نتایج حاصل از آزمون ضربه شارپی برای نواحی سه گانه حاصل از جوشکاری فولاد P460NH با الکترود .E8018-G

نتایج حاصل از آزمون پلاریزاسیون تافل برای مناطق مختلف جوش در شکل(12) نشان داده شده است. با استفاده از این شکل می‌توان سرعت خوردگی(i_{corr})، پتانسیل خوردگی(E_{corr})،

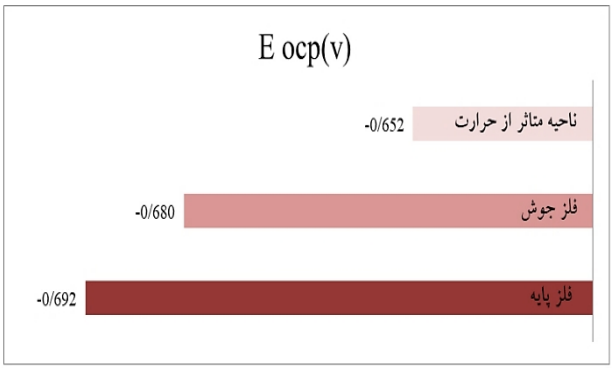
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

جدول 4- نتایج خوردگی نواحی مختلف جوش.

نوع نمونه	چگالی جریان خوردگی (i_{corr}) (A/cm^2)	پتانسیل خوردگی (E_{corr}) (V vs.SCE)	شیب آندی (β_a)	شیب کاتدی (β_c)	مقاومت پلاریزاسیون (Ω/cm^2)
فلز پایه	۱/۲ x $۱۰^{-۵}$	-۰/۶۹۳	۰/۰۰۸۴ x $۱۰^{۵}$	-۰/۷۸۴۳ x $۱۰^{۵}$	۳/۶ x $۱۰^{۴}$
فلز جوش	۱/۲۸ x $۱۰^{-۵}$	-۰/۶۸۲	۰/۰۰۶۸ x $۱۰^{۵}$	-۰/۰۲۸۹ x $۱۰^{۵}$	۳/۴ x $۱۰^{۴}$
ناحیه متأثر از حرارت	۱/۷۵ x $۱۰^{-۵}$	-۰/۶۵۲	۰/۰۰۸۵ x $۱۰^{۴}$	-۰/۰۲۲۷ x $۱۰^{۵}$	۲/۵ x $۱۰^{۴}$



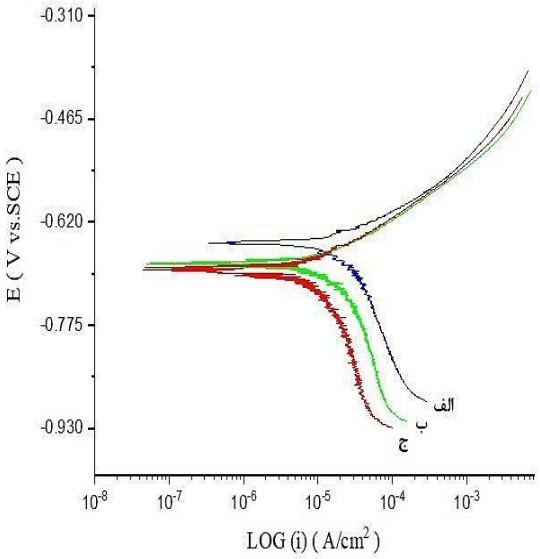
شکل10- تصویر ناحیه شکست نمونه‌های آزمون ضربه
الف- فلزجوش E8018-G، ب- ناحیه متأثر از حرارت جوش SMAW، ج- فلز پایه.



شکل 11- پتانسیل مدارباز در نواحی مختلف جوش.

شیب‌های آندی (β_a) و کاتدی (β_c) و نیز مقاومت پلاریزاسیون (R_p) را بدست آورد (جدول 4). مقایسه پتانسیل خوردگی نواحی مختلف نشان‌دهنده آن است که پتانسیل ناحیه متأثر از حرارت و ناحیه جوش نسبت به فلز پایه بیشتر و در موقعیت نجیب‌تری قرار دارند. این در حالی است که سرعت خوردگی این نواحی نیز نسبت به فلز پایه بیشتر است. علت این اختلاف را می‌توان ناشی از وجود فریت سوزنی دانست.

با توجه به داده‌های جدول (4) و نتایج تحقیق دین و همکاران می‌توان گفت مثبت‌تر بودن پتانسیل خوردگی منطقه متأثر از حرارت ناشی از وجود مقدار بیشتر فریت سوزنی در مقایسه با ناحیه جوش و فلز پایه است [15].



شکل 12- منحنی پلاریزاسیون تافل الف) ناحیه متأثر از حرارت، ب) فلز جوش، ج) فلز پایه.

با این‌حال علی‌رغم وجود فریت سوزنی در ریزساختار فلز جوش و ناحیه متأثر از حرارت، وجود فریت مرزدانه‌ای در کنار فریت سوزنی، موجب منفی‌تر شدن پتانسیل خوردگی و کاهش جریان خوردگی ناحیه جوش نسبت به ناحیه متأثر از حرارت شده است. محاسبه مقاومت پلاریزاسیون نیز نشان‌دهنده آن است که فلز پایه و فلزجوش دارای مقاومت به خوردگی بهتری نسبت به ناحیه متأثر از حرارت هستند. درنتیجه فلز پایه و ناحیه متأثر از حرارت به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقاومت به خوردگی خواهند بود.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

4- نتیجه‌گیری

با مقایسه پارامترهای مورد ارزیابی در ناحیه جوش، ناحیه متاثر از حـرارت و فلز پایه برای فولاد P460NH جوشکاری با الکترودE8018-G می‌توان گفت:

- میزان حرارت ورودی و تغییرات دمایی در فرایند جوشکاری موجب ایجاد اختلاف در ریزساختار نواحی مختلف جوش شده است.

- متفاوت بودن ریزساختار نواحی سه‌گانه جوش موجب ایجاد اختلاف در سختی و رفتار خوردگی آن‌ها شده است.

- ناحیه جوش و ناحیه متأثر از حرارت که دارای فریت سوزنی بیشتری هستند، دارای سختی بیشتر، پتانسیل مثبت‌تر و سرعت خوردگی بیشتری می‌باشند.

منابع

1- Hai-long, Y. Lin-xiu, D. Guo-dong, W. Xiang-hua, L. Development of Nb-V-Ti Hot-Rolled High Strength Steel With Fine Ferrite and Precipitation Strengthening. Journal of Iron and Steel Research International - J IRON STEEL RES INT. 16.pp. 72-77, 2009.

2- Camp, J. M. Francis, C. B. The Making Shaping and Treating of Steels, Pittsburgh Pa. Carnegie Steel Company, 1998.

3- Davis, J.R.Corrosion of Weldments, ASM International, USA, 2006.

4- Steklov, O. I., STEKLOV OI, and LUCHKIN RS. "Method of Evaluating the Influence of Non-Uniformity of Welded Joint Properties on Corrosion." (1972).

5- Pezeshkian,M. Shayanfar,P. Shafaiepour, Saiedeh. Groove Angles Influence on Mechanical and Microstructural Properties of P460N Steel in SMAW. Advanced Materials Research. Vol 891-892.pp. 1551-1558, 2014.

6- غلامی، م، گلعذار، م، اشرفی زاده، س، تأثیر تکرار عملیات جوشکاری تعمیری بر ریزساختار خواص مکانیکی و خوردگی فولاد P460N، اولین همایش بین‌المللی و ششمین همایش مشترک انجمن مهندسی متالورژی ایران، انجمن علمی ریخته‌گری ایران، ص 10-1، 1391.

7- رفیع زاده، ر، توحید، س، علیرضا ابراهیمی، ملائی میلانی، ج، راضی‌نیا، ت، تأثیر حرارت ورودی ناشی از جوشکاری GTA بر ریزساختار و خواص مکانیکی فولاد HSLA-100، هشتمین همایش مشترک و سومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی مواد و متالورژی، انجمن مهندسین متالورژی ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران، مرکز همایش‌های بین‌المللی شهید بهشتی- تهران، ص10-1، 1393.

8- ASTM E23-07, Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.

9- Ozgowicz, W. Opiela, M. Grajcar, A. Kalinowska-Ozgowicz, E. Krukiewicz, W. "Metallurgical products of microalloy constructional steels", Journal of Achievement in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 44, pp. 7-33, 2011.

10- سیندوکو، ترجمه شمعانیان، م، اشرفی، ع، متالورژی جوشکاری، چاپ اول، دانشگاه صنعتی اصفهان، 1385.

11- Li, Y. Crowther, D.N. Green, M.J.W. Mitchell, P.S. Baker, T.N. "The Effect of Vanadium and Niobium on the Properties and Microstructure of the Intercritically Reheated Coarse Grained Heat Affected Zone in Low Carbon Microalloyed Steels", ISIJ International, Vol. 41, No. 1, pp. 46-55, 2001.

12- López, M. Octavio, E. Gómez, V, Javier, H. Hernández, V. Serna, S. and Bernardo Campillo. "Mechanical characterization of the welding of two experimental HSLA steels by microhardness and nanoindentation tests." Metals and Materials International 22, no. 6.pp. 987-994. 2016.

13- Lee, C.H., Shin, S.H., Park, K.T., "Evaluation of high strength TMCP steel weld for use in cold regions", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 74, pp. 134-139, 2012.

14- Bhole, S.D., Nemade, J.B., Collins, L., Liu, C., "Effect of nickel and molybdenum additions on weld metal toughness in a submerged arc welded HSLA line-pipe steel", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 173, pp. 92-100, 2006.

15- Deen, K.M., Ahmad, R., Khan, I.H., Farahat, Z., "Microstructural study and electrochemical behavior of low alloy steel weldment" Material and Design,Vol. 31, pp. 3051-3055, 2010.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]