

ارزیابی ریزساختار و ضربه پذیری جوش‌های نامشابه فولاد زنگ نزن آستنیتی

ASTMA335 آلیاژ کم AISI347 به فولاد کم آلیاژ

ایمان حاجیان نیا^{۱*}، مرتضی شمعیان^۲ و مسعود کثیری^۳

چکیده

در این پژوهش، ریزساختار جوش‌های نامشابه فولاد زنگ نزن آستنیتی ISI 347 به فولاد کم آلیاژ ASTMA335 با استفاده از روش فوسی تنگستن - گاز با قطبیت منفی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، از دو فلز پرکننده ERNiCr-3 و ER309L استفاده شد. پس از جوشکاری، ریز ساختار مناطق گوناگون هر اتصال شامل فلزات جوش، مناطق متأثر از حرارت (HAZ)، فصل مشترک‌ها و مناطق مخلوط نشده (UMZ) با میکروسکوپ نوری بررسی شد. برای بررسی رسوبات و سطوح شکست از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به سیستم اسپکتروسکوپی انرژی پراکنده (EDS) استفاده شد. بررسی‌های ریزساختاری نشان دادند که یک ساختار دو فازی شامل مناطق دندریتی و بین دندریتی در فلز جوش ERNiCr-3 با انجماد آستنیت اولیه و ساختاری شامل فریت اولیه استخوانی شکل در زمینه آستنیت در فلز جوش ER309L تشکیل شده است. در فصل مشترک فلزات پرکننده با فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۴۷ رشد رونشستی و در فصل مشترک فلزات پرکننده با فولاد کم آلیاژ A335 منطقه‌ای باریک مشاهده شد. هم‌چنین، در منطقه HAZ هر دو فلز پایه، درشت شدن دانه‌ها رخ داد. مقاومت در برابر ضربه در مقطع جوش و نیز شکست نگاری نمونه‌ها بررسی شد. بیشترین مقدار انرژی شکست، مربوط به فلز جوش ERNiCr-3 بود. در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که برای اتصالات بین فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۴۷ و فولاد کم آلیاژ A335، ماده پرکننده ERNiCr-3 ویژگی‌های بهینه‌ای را ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: جوشکاری نامشابه، فولاد زنگ نزن آستنیتی، فولاد کم آلیاژ، ریزساختار.

۱- کارشناسی ارشد جوشکاری، گروه مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، اصفهان، ایران.

۲- دانشیار، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، اصفهان، ایران.

*- نویسنده مسئول مقاله: Iman_hajiannia@yahoo.com

پیشگفتار

فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۴۷، یکی از پر کاربردترین فولادها در صنعت است که به مقداری گسترده در کاربردهای مقاوم به خوردگی در محیط‌های آبی و هم‌چنین، در دماهای بالا بکار می‌رود. این فولاد در صنایع نفت و گاز، پالایشگاه و نیروگاه‌های تولید برق کاربرد فراوان دارد. مقاومت به اکسیداسیون در دمای بالا به خاطر مقدار بالای کرم این فولاد است [۱]. وجود نیکل که عنصری آستنیت‌زا می‌باشد، باعث بالا رفتن خواص مقاوم به حرارت این آلیاژ شده است. در این آلیاژ مقاومت به حمله بین دانه‌ای در محیط‌های خورنده بهبود یافته است [۲]. فولادهای کم آلیاژ کرم - مولیبدن‌دار دسته‌ای دیگر از فولادها می‌باشند که از مقاومت به سایش و مقاومت در برابر خوردگی بویژه مقاومت در برابر محیط‌های خورنده حیایی به وسیله گازهای گوگرد و مشتقات آن برخوردارند و در درجه حرارت‌های نسبتاً بالا نیز استحکام خود را از دست نمی‌دهند زیرا کرم، مقاومت به خوردگی و مولیبدن استحکام در دمای بالای این فولادها را تأمین می‌کند. این فولادها برای ساخت چرخ‌دنده‌ها، عدسی‌های آب بندی فشار بالا و در صنایع نفت و نیروگاهی کاربرد گسترده دارند [۳و۲]. امروزه کاربرد اجتناب ناپذیر اتصالات نامشابه به دلیل ملاحظات اقتصادی و دستیابی به خواص مکانیکی مناسب‌تر و افزایش عملکرد در کاربردهای دمای بالا و افزایش مقاومت در برابر خوردگی برای بسیاری از آلیاژها گسترش یافته است. از جمله این اتصالات نامشابه می‌توان به اتصال فولادهای زنگ نزن به فولادهای کم آلیاژ اشاره نمود. در همین راستا گروهی از پژوهشگران، پژوهش‌های خود را روی جوشکاری نامشابه این آلیاژها متمرکز کرده‌اند. از جمله اریوازاگان و همکاران [۴] که روش‌های گوناگون جوشکاری را برای فولاد زنگ نزن ۳۰۴ به فولاد کم آلیاژ ۴۱۴۰ بررسی کردند و بهترین خواص مکانیکی را با استفاده از روش جوشکاری پرتو الکترونی بدست آوردند. نتایج آنها نشان دادند که به دلیل سرعت سرد شدن سریع و زمان کوتاه در معرض حرارت قرار گرفتن اتصالات در این روش جوشکاری، مقدار کاربیدهای غنی از کرم در مرز دانه‌ها کاهش می‌یابد. هم‌چنین، کلوه [۵] شکست یک اتصال انتقالی بین فولاد Cr-۱Mo ۲/۲۵ و

فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۲۱ ایجاد شده به وسیله فلز پرکننده پایه نیکلی اینکونل ۱۸۲ را مورد مطالعه قرار داد. پژوهش‌های او نشان دادند که پس از قرارگیری این اتصال در معرض دمای بالا در ۱۰ تا ۱۵ سال، ناحیه متأثر از حرارت دارای دانه‌های فریت درشت شده خواهد شد که در نهایت، شکست در این ناحیه را در پی خواهد داشت. با توجه به مطالب یاد شده و با توجه به این‌که اتصال نامشابه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۴۷ به فولاد کم آلیاژ A335 در صنایع نفت و گاز و بویژه در مبدل‌های حرارتی ازاهمیتی بالا برخوردار است، لذا پژوهش در مورد ریزساختار مناطق گوناگون جوش و تعیین بهترین فلز پرکننده، با بهترین خواص مهندسی برای این اتصال نامشابه جهت رسیدن به خواص مطلوب انجام پذیرفت.

روش پژوهش

در این پژوهش از لوله‌های با سایز هشت اینچ و ضخامت هشت میلی‌متر از نوع فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۴۷ به صورت کار شده و در شرایط آنیل انحلالی و فولاد کم آلیاژ A335 به عنوان فلزات پایه استفاده شد. ترکیب شیمیایی فلزات پایه و فلزات تمام جوش، در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. جهت اتصال فلزات پایه بر اساس استاندارد ASME SEC.II, Part C و مطالعه مراجع از دو فلز پرکننده ER309L و ERNiCr-3 استفاده شد. در تمامی موارد از مفتول‌هایی با قطر ۲/۴ میلیمتر جهت پاس ریشه و پاس‌های بعدی استفاده شد. جهت اتصال لب به لب با شیار V شکل بر اساس استاندارد ASME B16.9 لوله‌ها آماده سازی شدند. طرح اتصال بکار رفته در شکل ۱ ارائه شده است. نمونه فولاد زنگ نزن آستنیتی 347AISI به دلیل هدایت حرارتی بالا و ضریب انبساط پایین بدون پیش گرم کردن و فولاد کم آلیاژکرم- مولیبدن دار با پیش گرم تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد بر اساس استاندارد ASME SEC.IX QW-406 با توجه به ضخامت لوله و جلوگیری از ایجاد ترک‌های سرد در منطقه مجاور جوش، هم‌چنین، کاهش تنش‌های داخلی به وسیله مشعل انجام گرفت. سپس جوشکاری به صورت دستی با استفاده از روش جوشکاری قوسی- الکتروود تنگستنی با گاز محافظ با

به $(50\text{cc HCl} + 50\text{cc H}_2\text{O})$ (۳۰٪ HCl وزنی) به مدت ۱۵ ثانیه استفاده شد. همچنین، نمونه‌ها در محلول حاوی ۶۰ میلی‌لیتر آب و ۴۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک و زیر ولتاژ ۵ ولت به مدت ۱۰ ثانیه الکترواچ شدند [۹و۸]. در این مرحله، ریزساختار فلز جوش پایه نیکل به روشنی مشخص شد. ریزساختار مناطق گوناگون قطعات جوشکاری شده با میکروسکوپ نوری Olympus مدل CK40M در بزرگنمایی‌های گوناگون مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به منظور مقایسه مقاومت در برابر ضربه فلزات جوش، نمونه‌های آزمایش ضربه بر اساس استاندارد ASME SEC.IX QW-403.5 تهیه شدند. فلز جوش درست در مرکز نمونه و در پاس نخست واقع شد. از هر اتصال سه نمونه برای انجام این آزمایش تهیه شد. سپس آزمایش ضربه چارپی با استفاده از دستگاه Santam روی نمونه‌ها در دمای ۲۷ درجه سانتیگراد و ۲۰- درجه سانتیگراد به دلیل اهمیت انعطاف پذیری و کاهش آن در دمای پایین انجام و انرژی جذب شده در حین آزمایش گزارش شد. همچنین، سطوح شکست نمونه‌ها پس از انجام آزمایش، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Leo تحت ولتاژ ۲۰ کیلو ولت مورد مطالعه قرار گرفتند. برای بررسی ریزساختار مناطق گوناگون قطعات جوشکاری شده از میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی استفاده شد. برای تعیین درصد فازهای فریت و آستنیت در نمونه‌های گوناگون به روش مغناطیسی، از دستگاه فریتوسکوپ ساخت شرکت Fischer مدل FMP30 استفاده شد. این دستگاه قابل حمل بوده و دارای یک پروب است که با استفاده از روش القای مغناطیسی کسر حجمی فاز مغناطیسی در فولادهای متشکل از فازهای مغناطیسی و غیر مغناطیسی را بر اساس استاندارد ANSI/AWS A4.2M/A4.2:1997 اندازه‌گیری می‌کند.

نتایج و بحث

بررسی‌های ریزساختاری فلزات پایه

شکل ۲ الف تصویر میکروسکوپ نوری فلز پایه فولاد کم آلیاژ کرم- مولیبدن دار A335 در گروه P11 را نشان می‌دهد. این فولاد دارای ریزساختاری شامل پرلیت- فریت

قطبیت الکتروود منفی (GTAW-DCEN) در وضعیت ۲G و در چهار پاس به گونه‌ای که یک پاس نفوذی و سه پاس پرکننده بود، جوشکاری شدند. جوشکاری با استفاده از دستگاه جوش گام الکتریک مدل Pars-EL 631 به وسیله جوشکار ماهر صلاحیت دار انجام شد. الکتروود مصرف نشدنی بکار رفته، الکتروود تنگستنی ۲٪ اکسید توریم به قطر ۲/۴ میلی متر بود. گاز آرگون خالص صنعتی با دبی ۳۰ لیتر بر دقیقه در پاس نخست به عنوان گاز محافظ و در دیگر پاس‌ها با دبی ۱۰ لیتر بر دقیقه به دلیل کافی بودن محافظت به وسیله کامل شدن پاس ریشه، استفاده شد. دمای بین پاسی ۱۵۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد تا تنش‌های ناشی از انقباض و سرد شدن فلز جوش به کم‌ترین مقدار ممکن برسد. حرارت ورودی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید [۷و۶].

$$\text{رابطه (۱)} \quad H \cdot I = \frac{\eta \cdot I \cdot V}{S} \quad \text{حرارت ورودی}$$

در این رابطه I شدت جریان، V ولتاژ و S سرعت جوشکاری است. η (بازده قوس) در این رابطه ۰/۶ در نظر گرفته شده است [۴]. با توجه به سیالیت حوضچه مذاب و سرعت دست جوشکار و مطالعه منابع مقدار پارامترهای شدت جریان و ولتاژ در هر پاس انتخاب گردید. کم‌ترین طول قوس نیز حدود دو میلی‌متر در نظر گرفته شد. جدول ۲ پارامترهای قابل کنترل برای جوشکاری با دو فلز پرکننده را با بیش‌ترین درصد رقت (۳۰ درصد) نشان می‌دهد. کرم معادل و نیکل معادل با استفاده از روابط اصلی شیفلر و از رابطه (۲) محاسبه شد [۸].

$$\text{رابطه (۲)} \quad Cr_{eq} = Cr + Mo + 1.5Si + 0.5Nb + 2Ti$$

$$Ni_{eq} = Ni + 0.5Mn + 30C$$

برای مطالعه و بررسی ریزساختار فلزات پایه، فلزات جوش در پاس نخست از متالوگرافی استفاده شد. بدین منظور از هر اتصال دو نمونه با ابعاد مناسب تهیه گردید. سطوح مورد نظر به وسیله سنباده‌های کاربید سیلیسیوم ۸۰ تا ۲۰۰۰ صاف شده و سپس به وسیله پودر آلومینای $0.3\mu\text{m}$ پرداخت شدند. نمونه‌ها به وسیله محلول نایتال که محتوی محلول ۲٪ اسید نیتریک در الکل بود، جهت آشکار شدن ساختار فولاد کم آلیاژ و برای آشکار شدن ریز ساختار فلز جوش فولاد زنگ نزن آستنیتی، محلول ماربل با ترکیبی شامل (10grCuSO_4)

آمده از جدول ۴ با نتایج بدست آمده از نمودار شیفلر همخوانی دارد.

بررسی ریز ساختار فلزات جوش و فصل مشترک‌ها

در شکل ۴ ریزساختار فلز جوش ناشی از فلز پرکننده ۳۰۹L مربوط به پاس نخست نشان داده شده است. نتایج بدست آمده از فریت سنجی برای پاس ریشه (نخست) فلز پرکننده ۳۰۹ L حدود ۵/۷ درصد فریت را نشان داد. همان گونه که ملاحظه می‌شود، ساختار آستنیتی همراه با مقداری فریت دلتا (δ) به صورت اسکلتی است [۱۴]. ساختار دانه بندی فلز جوش ERNiCr-3 مربوط به پاس نخست در شکل ۵ نشان داده شده است. انجماد فلز جوش ERNiCr-3 به صورت آستنیت اولیه بوده و در آن یک ساختار دو فازی شامل دندریت‌ها و مناطق بین دندریتی دیده می‌شود. این فلز جوش حاوی نیوبیوم است. نیوبیوم می‌تواند محدوده دمای انجماد را افزایش دهد. به بیان دیگر، باعث وسعت اندازه منطقه تحت انجماد می‌شود [۱۰]. جهت بررسی دقیق‌تر ریز ساختار جوش از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. در مناطق بین دندریتی رسوبات ریز سفید رنگی که بیش‌تر آن‌ها از زمینه کاملاً متمایزند، مشاهده شد. شکل ۶ و ۷ به ترتیب تصویر میکروسکوپ الکترونی فلز جوش و این رسوبات و شکل ۸ آنالیز نقطه‌ای رسوبات را نشان می‌دهد. این رسوبات شکل هندسی معینی ندارند، طول آنها تقریباً ۲ میکرومتر است، غنی از نیوبیوم بوده و به شکل کاربید NbC می‌باشند [۱۱ و ۱۳]. البته، مقداری Ti نیز در آنالیز نقطه‌ای به چشم می‌خورد که در نهایت، کاربید کمپلکسی از این عناصر را تشکیل می‌دهد.

شکل ۹، فصل مشترک فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۴۷ و فلز جوش 309L را نشان می‌دهد. ریخت شناسی فریت دلتا که به صورت اسکلتی انجماد یافته است به روشنی مشخص است. فریت، در طول مرز دانه‌ها تشکیل شده است که به خاطر سرعت سرد شدن متوسط جوش و مقدار کم Cr_{eq}/Ni_{eq} می‌باشد. فریت تشکیل شده در مرز دانه‌های HAZ، رشد دانه‌ها را محدود کرده و احتمال ترک خوردن ذوبی HAZ را کاهش می‌دهد [۱۱]. شکل ۱۰ فصل مشترک فلز پایه

است. درصد حجمی فاز فریت محاسبه شده با فریتوسکوپ حدود ۷۴ درصد بدست آمد. با توجه به شکل و محاسبات انجام گرفته به وسیله نرم افزارهای میکروسکوپ نوری میانگین اندازه دانه‌های فریت حدود ۱۰ میکرومتر و میانگین اندازه دانه‌های پرلیت حدود ۱۴ میکرومتر بدست آمد. همان‌گونه که مشخص است، ساختار شامل دانه‌های روشن فریت به همراه پرلیت به رنگ تیره است. شکل ۲ ب تصویر میکروسکوپی نوری از فولاد زنگ نزن آستنیتی 347 را نشان می‌دهد، زمینه کاملاً آستنیتی با دانه‌های هم محور مشخص است. با استفاده از جداول تبدیل اندازه دانه به قطر میانگین بر اساس استاندارد ASTM E112 میانگین قطر دانه حدود ۷۵ میکرومتر بدست آمد.

مقایسه ریزساختار فلزات جوش

در این پژوهش جهت پیش بینی ریز ساختار فلز جوش برای دو فلز پرکننده و مقایسه آنها با یکدیگر، از نمودار شیفلر بهره برده شد [۸]. جدول ۳ مقادیر محاسبه شده برای کرم معادل و نیکل معادل را نشان می‌دهد.

در شکل ۳، در نمودار شیفلر، فولاد کم آلیاژ A335 به نوع ۳۴۷ جوش شده است (علامت مربع) و فلز پرکننده نوع ER309L (علامت دایره) و ERNiCr-3 (علامت مثلثی) بکار رفته است. ترکیب نهایی فلز جوش پاس نخست، در طول خط رابط نقطه چین قرار می‌گیرد که این نقطه را به ترکیب فلز پرکننده متصل می‌کند (اگر رقت فلز پایه برابر باشد). اگر کل رقت فلز پایه در پاس نخست فلز پرکننده ۳۰ درصد باشد، در این صورت از نقطه L ۳۰۹ به سمت فلز پایه، ترکیب فلز جوش تقریباً در مکانی است که خط رابط دوم، خط ایزوفریت حاوی ۵ درصد فریت را قطع می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که کنترل مقدار فریت فلز جوش، برای جلوگیری از ترک خوردن در جوش چند پایه بسیار اهمیت دارد. برای فلز جوش ERNiCr-3 به خاطر وجود نیکل در ساختار که عنصری آستنیت زا می‌باشد، انجمادی کاملاً آستنیتی مشخص شد. جدول ۴ تغییرات درصد آستنیت پاس ریشه منطقه جوش دو فلز پرکننده بکار رفته در این پژوهش را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، نتایج بدست

ERNiCr-3 در هر دو دما، دارای بیشترین انرژی شکست ضربه بوده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به سطوح شکست فلزات جوش ERNiCr-3 و ER309L، به ترتیب در شکل‌های ۱۳ تا ۱۴ ارائه شده است. برای هر دو نمونه شکل‌ها شامل دیمپل‌هاست که نشان می‌دهد نمونه‌ها زیر اعمال فشار کششی در حالتی انعطاف‌پذیر شکسته می‌شوند. تصاویر سطح شکست فلز جوش ERNiCr-3، مشخصه‌های یک شکست نرم را ارائه می‌کند. در این سطوح خطوط سیلان مشخص بوده و حالت پیوسته دارند. حفرات و دیمپل‌ها نیز در ساختار به چشم می‌خورند. حضور دیمپل‌های درشت در شکست ناحیه آستنیتی، نشان دهنده شکست کاملاً نرم این فاز است. انرژی شکست فلز جوش ERNiCr-3، بیش‌تر از فلز جوش ER309L بود که این ناشی از ساختار کاملاً آستنیتی و انعطاف‌پذیر در ساختار فلز پرکننده ERNiCr-3 است.

نتیجه گیری

۱- فلز پرکننده ERNiCr-3 ریزساختاری با انجماد از نوع آستنیتی ایجاد می‌کند. در ساختار، رسوبات NbC و کاربرد های کمپلکس، در مناطق بین دندریتی فلز جوش ERNiCr-3، تشکیل شدند. ریزساختار فلز جوش فولاد زنگ نزن آستنیتی ER309L به صورت فریت اولیه همراه با آستنیت است و ساختار با ریخت شناسی فریت اسکلتی بدست می‌آید.

۲- در فصل مشترک فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۴۷، برای فلز پر کننده 309L، فریت تشکیل شده در طول مرزدانه‌های HAZ رشد دانه‌ها را محدود کرد و احتمال ترک خوردن ذوبی HAZ را کاهش داد و برای فلز جوش ERNiCr-3 در حد فاصل بین فلز پایه و فلز جوش یک منطقه مخلوط نشده بوجود آمد.

۳- در فصل مشترک فولاد کم آلیاژ A335 در طی جوشکاری، برای فلز پر کننده 309L، مهاجرت کربن از HAZ به ناحیه ذوب وجود خواهد داشت. در این شرایط یک ناحیه مارتنزیتی باریک در مرز ذوب بوجود خواهد آمد. برای فلز جوش ERNiCr-3 منطقه ذوب جزئی و منطقه مخلوط نشده از عرض چندانی برخوردار نبود.

فولاد کم آلیاژ A335 و فلز جوش 309L را نشان می‌دهد. با توجه به شکل در HAZ فولاد کم آلیاژ، درشت شدن دانه‌ها به خوبی قابل مشاهده است، همان گونه که مشخص شد، مرز ناحیه انتقال ذوب ممکن است در یک فاصله بسیار کوتاه (حدود یک میلی‌متر) به گونه‌ای چشمگیر تغییر کند. رشد این منطقه رشد صفحه ای است که به علت تغییر در ترکیب شیمیایی فولاد کم آلیاژ A335 با محتوای کربن بالاتر (پنج برابر) نسبت به فلز جوش 309L می‌باشد. بنابراین، در طی جوشکاری مهاجرت کربن از HAZ به ناحیه ذوب وجود خواهد داشت. در این شرایط یک ناحیه مارتنزیتی باریک در مرز ذوب بوجود خواهد آمد [۱۵].

شکل ۱۱ فصل مشترک فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۴۷ و فلز جوش ERNiCr-3 را نشان می‌دهد، یک فصل مشترک کاملاً پیوسته در سرتاسر مرز جوش همراه با رشد صفحه‌ای مشاهده می‌شود [۱۶]. در حد فاصل بین فلز پایه و فلز جوش یک منطقه مخلوط نشده وجود دارد، علت این امر این است که بخشی از فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۴۷ که در مجاورت حوضچه وجود دارد، ذوب شده، بدون این‌که با فلز جوش مخلوط شود، دوباره منجمد شده است، بنابراین، این منطقه ترکیب شیمیایی فلز پایه را دارا می‌باشد. منطقه مخلوط نشده با آنالیز نقطه‌ای بررسی و مشخص شد که ترکیب شیمیایی این منطقه، مشابه فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۴۷ است. شکل ۱۲ فصل مشترک فلز پایه فولاد کم آلیاژ A335 و فلز جوش ERNiCr-3 با رشد صفحه ای را ارائه می‌دهد. با توجه به شکل، درشت شدن دانه‌ها در HAZ فولاد کم آلیاژ A335 مشاهده می‌شود. برای فلز جوش ERNiCr-3 منطقه ذوب جزئی و منطقه مخلوط نشده از عرض چندانی برخوردار نبود.

آزمایش ضربه و شکست نگاری فلزات جوش

نتایج آزمایش ضربه چارپی برای فلزات جوش مورد بحث در این پژوهش، در دمای ۲۷ و ۲۰- درجه سانتیگراد در جدول ۵ ارائه شده است. مقادیر انرژی شکست برای فلزات جوش نشان می‌دهند که شکست نرم برای تمامی آنها رخ داده است و در بین فلزات جوش، فلز پرکننده

۵- می‌توان نتیجه گرفت که برای اتصال بین فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۴۷ و فولاد کم آلیاژ A335، ماده پرکننده ERNiCr-3 ویژگی‌های بهینه‌ای را ارائه می‌دهد.

۴- نتایج شکست نگاری نمونه‌های آزمایش ضربه شکست نرم را برای هر دو فلز پرکننده نشان داد و فلز پرکننده ERNiCr-3 در هر دو دمای آزمایش (۲۰- و ۲۷ درجه سانتیگراد) دارای بیش‌ترین انرژی شکست ضربه بود.

References

- 1- H. Shah Hosseini, M. Shamanian, and A. Kermanpur, "Characterization of microstructures and mechanical properties of Inconel 617/310 stainless steel dissimilar welds", *Materials Characterization*, Vol. 62, pp.425-431, 2011.
- 2- J.C. Lippold, and D. Koteki, "Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels", John Wiley and Sons, New Jersey, 2005.
- 3- H. Naffakha, M. Shamaniana, and F. Ashrafizadeh, "Dissimilar Welding of AISI 310 Austenitic Stainless Steel to Nickel-Based Alloy Inconel 657", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, 3628-3639, 2008.
- 4- N. Arivazhagan, and S. S. Singh, "Investigation on AISI 304 Austenitic Stainless Steel to AISI 4140 Low Alloy Steel Dissimilar Joints by Gas Tungsten Arc, Electron Beam and Friction Welding", *Materials and Design*, Vol. 32, pp. 3036-3050, 2011.
- 5- R.L. Klueh, and L. King, "Austenitic Stainless Steel-Ferritic Steel Weld Joint Failures", *Welding Journal*, Vol. 61, pp.302-311, 1982.
- 6- ASME Sec IX, "Qualification Standard for Welding and Brazing Procedure, Article II, Welding Procedure Qualification", American Society of Mechanical Engineers, Edition: 2, 2001.
- 7- V. Kumslytis, A.V. Valiulis, and O. Cernasejus, "The strength-related characteristics of chromium molybdenum P5 steel dependence on postweld heat treatment parameters", *Echanika*, pp.27-30, 2008.
- 8- A.A. Omar, "Effects Of Welding Parameters On Hard Zone Formation At Dissimilar Metal Welds", *Welding Journal*, Vol. 77, pp.86-93, 1998.
- 9- ASM Handbook, Volume 9, "Metallography and Microstructures", ASM International, Materials Park, Ohio, 2002.
- 10- R. Dehmolaie, M. Shamanian, and A. Kermanpour, "Microstructural characterization of dissimilar welds alloy 800 and HP heat-resistant steel", *Materials Characterization*, vol. 59, pp.1447-54, 2008.
- 11- H. Muesch, "Welding of material grade TP 347", *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 2, pp.85:155-161, 2003.
- 12- M.J. Torkamany, J. Sabbaghzadeh, and M.J. Hamed, "Effect of laser welding mode on the microstructure and mechanical performance of dissimilar laser spot welds between low carbon and austenitic stainless steels", *Materials and Design*, Vol. 34, pp . 666-672, 2011.
- 13- M. Tan, E. Akiyama, H. Habazaki, and A. Kawashima, "The role of chromium and molybdenum in passivation of amorphous Fe-Cr-Mo-P-C alloys in deaerated 1 M HCl", *Corrosion Science*, Vol. 38, pp.2137-2151, 1996.
- 14- G. Kaishu, X. Xiaodong, X. Hong, and W. Zhiwen, "Effect of aging at 700 °C on precipitation and toughness of AISI 321 and AISI 347 austenitic stainless steel welds", *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 23, pp.2485-2494, 2005.
- 15- L. Li, and R. Messler, "Segregation of Phosphorus and Sulfur in Heat-Affected Zone Hot Cracking of Type 308 Stainless Steel", *Welding Journal*, pp.78-84, 2002 .
- 16- U. Anwar, M. Hani, and M. Tawancy, "Nureddin M. Abbas, Failure of weld joints between carbon steel pipe and 304 stainless steel elbows", *Engineering Failure Analysis*, Vol.12, pp.181-191, 2005.

پیوست‌ها

جدول ۱- ترکیب شیمیایی مواد مورد استفاده بر اساس (درصدوزنی).

عنصر	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	Ti	Cu	Co	Nb	Fe
ASTM A335	۰/۱	۱/۱۲	-	۰/۵	۰/۳	۱/۰	-	۰/۰۸	۰/۲۶	-	بقیه
AISI 347	۰/۰۸	۱۷/۳۶	۱۰/۶۵	۰/۳۷	۲/۰	۱/۰	۰/۰۱	۰/۳۵	۰/۰۹	۰/۵۵	بقیه
ER309L	۰/۰۲	۲۳/۷	۱۳/۹	۰/۰۴	۱/۸	۰/۵۱	-	۰/۰۵	-	-	بقیه
ERNiCr-3	۰/۱	۱۶	بقیه	۳	۰/۵	۰/۷۵	۰/۵	۰/۱۲	-	۳	۳

جدول ۲- ویژگی‌های جوشکاری قوسی تنگستن-گاز.

پارامترهای جوشکاری					
فلز پرکننده	شماره پاس	جریان (آمپر)	ولتاژ (ولت)	سرعت جوشکاری (mms ⁻¹)	گرمای ورودی (kJmm ⁻¹)
ER309L	۱	۱۵۰	۱۲	۱/۱	۰/۹۸۱
	۲	۱۴۰	۱۰	۱/۰	۰/۸۴۰
	۳	۱۳۰	۱۱	۱/۱	۰/۷۰۹
	۴	۱۱۰	۱۲	۱/۱	۰/۷۲۰
ERNiCr-3	۱	۱۵۰	۱۰	۱/۱	۰/۸۱۸
	۲	۱۴۰	۱۰	۱/۰	۰/۸۴۰
	۳	۱۴۰	۱۰	۱/۰	۰/۸۴۰
	۴	۱۳۰	۱۱	۱/۲	۰/۷۱۵

جدول ۳- مقادیر محاسبه شده کروم و نیکل معادل برای فلزات پایه و فلزات پرکننده.

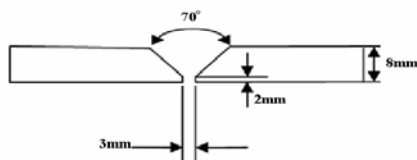
نوع ماده	مقادیر محاسبه شده کروم و نیکل معادل	
	کرم معادل	نیکل معادل
AISI 347	۱۹/۵۲	۱۴/۰۵
ASTM A335	۳/۱۲	۳/۱۵
ER309L	۲۴/۵۰	۱۵/۴۰
ERNiCr-3	۱۹/۷۵	۷۱/۵۰

جدول ۴- تغییرات درصد آستنیت فلز جوش با دستگاه فریتسکوپ

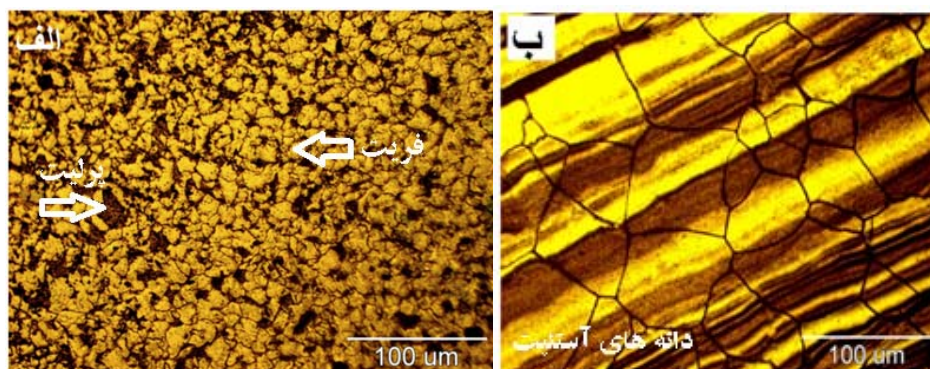
فلز پرکننده	درصد آستنیت	درصد خطا
ERNiCR-3	۹۹ / ۷	۰ / ۱
ER309L	۹۴ / ۳	۱

جدول ۵- میانگین نتایج بدست آمده از آزمایش ضربه برای فلزات جوش.

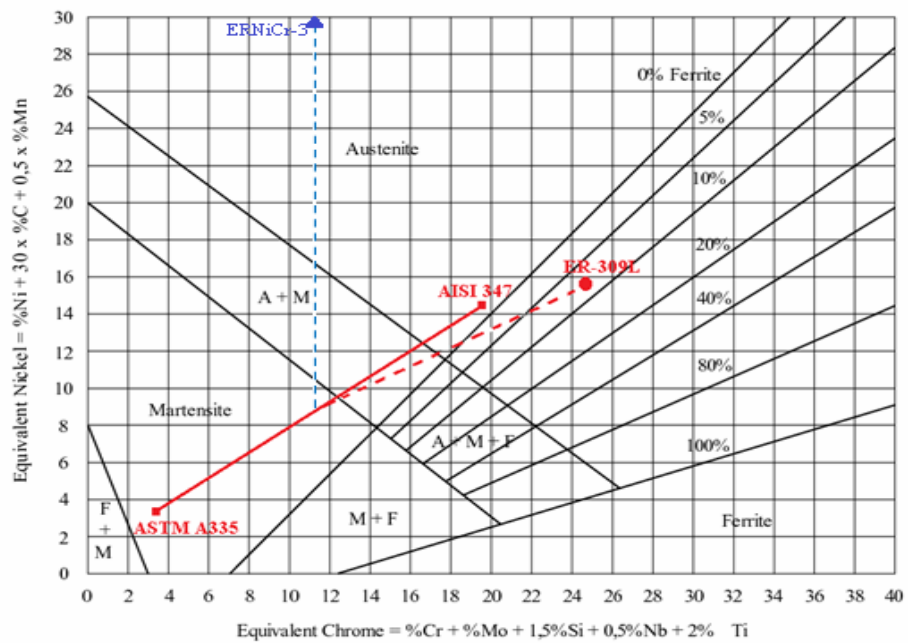
نوع فیئر متال	انرژی ضربه (ژول) -۲۰ °C	انرژی ضربه (ژول) +۲۷ °C	نوع شکست
ERNiCr3	۹۰	۱۰۷	نرم
ER309L	۷۴	۸۵	نرم



شکل ۱- طرح اتصال لوله‌ها [۲].



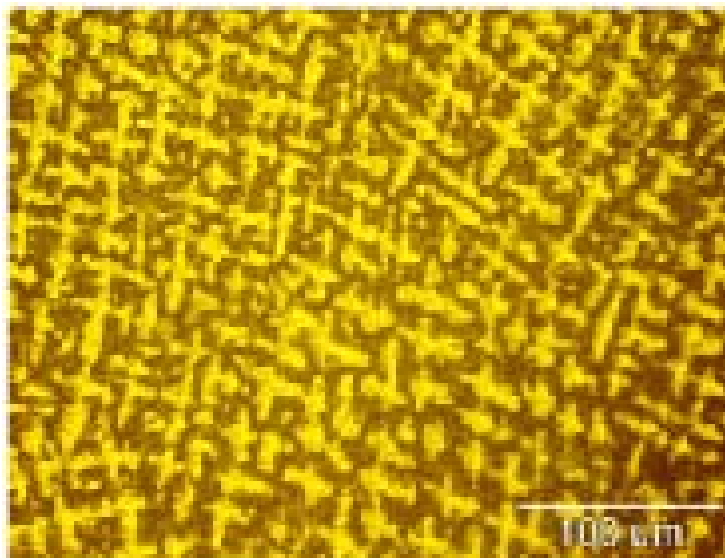
شکل ۲(الف) - ریزساختار فلز پایه فولاد کم آلیاژ A335 شکل ۲(ب) - ریزساختار فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۴۷.



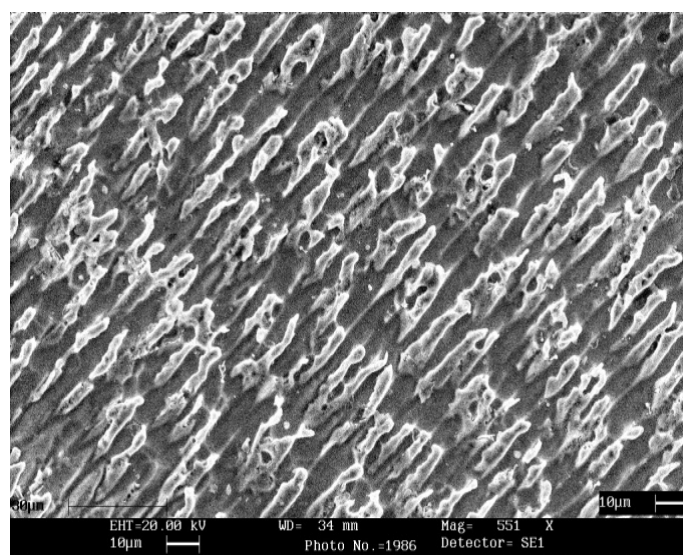
شکل ۳- نمودار شیفلر برای دو فلز پرکننده ۳۰۹L و ERNiCr-3 [۸].



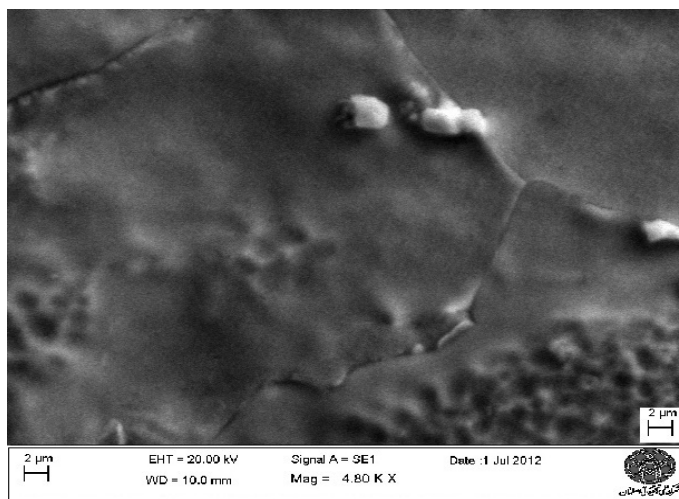
شکل ۴- ریزساختار فلز جوش ۳۰۹L مربوط به پاس نخست.



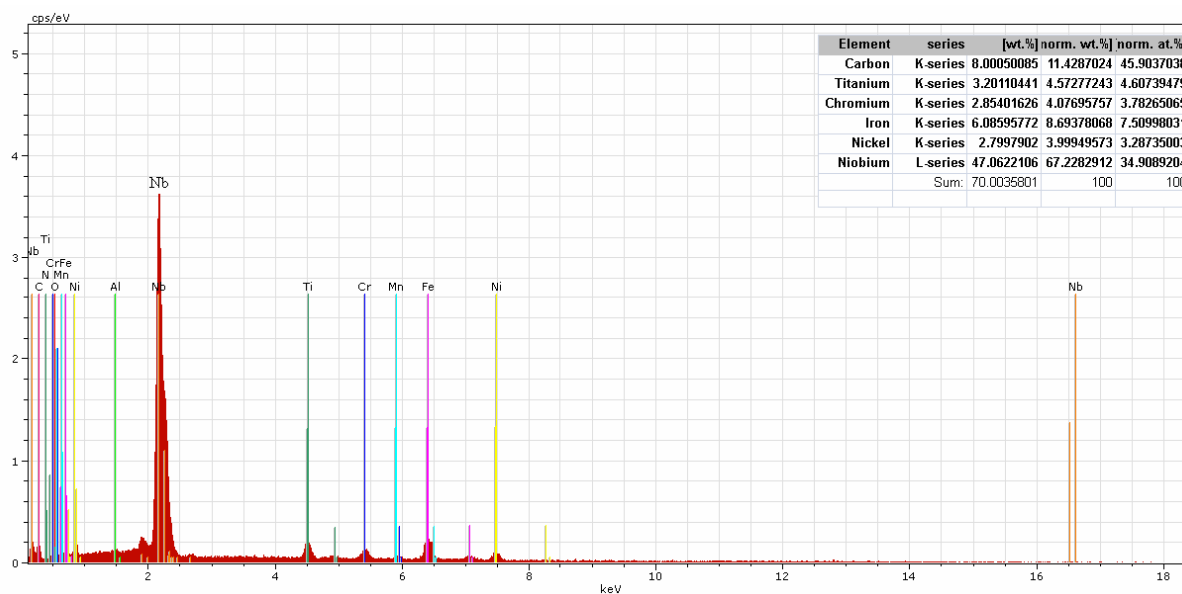
شکل ۵- ریزساختار فلز جوش ERNiCr-3 مربوط به پاس نخست.



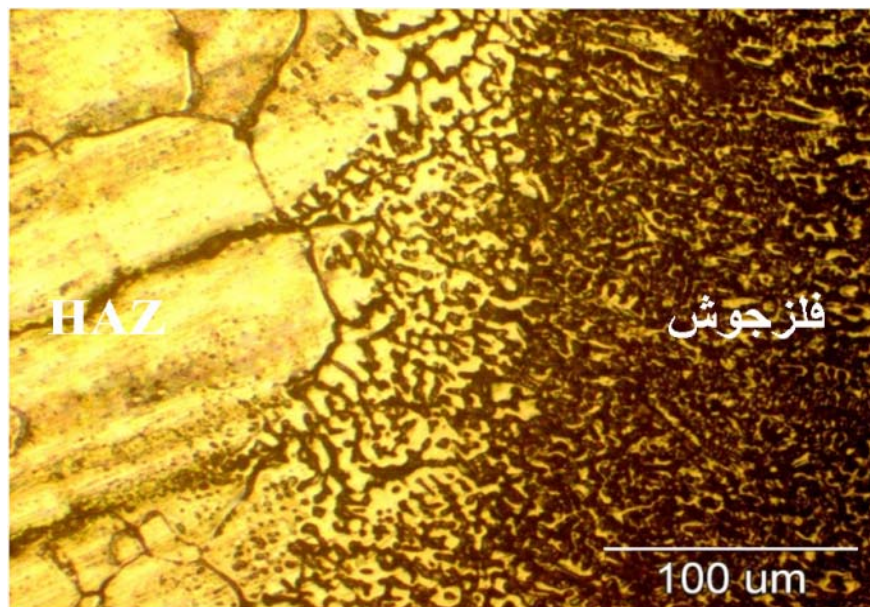
شکل ۶- تصویر SEM از ریزساختار فلز جوش ERNiCr-3.



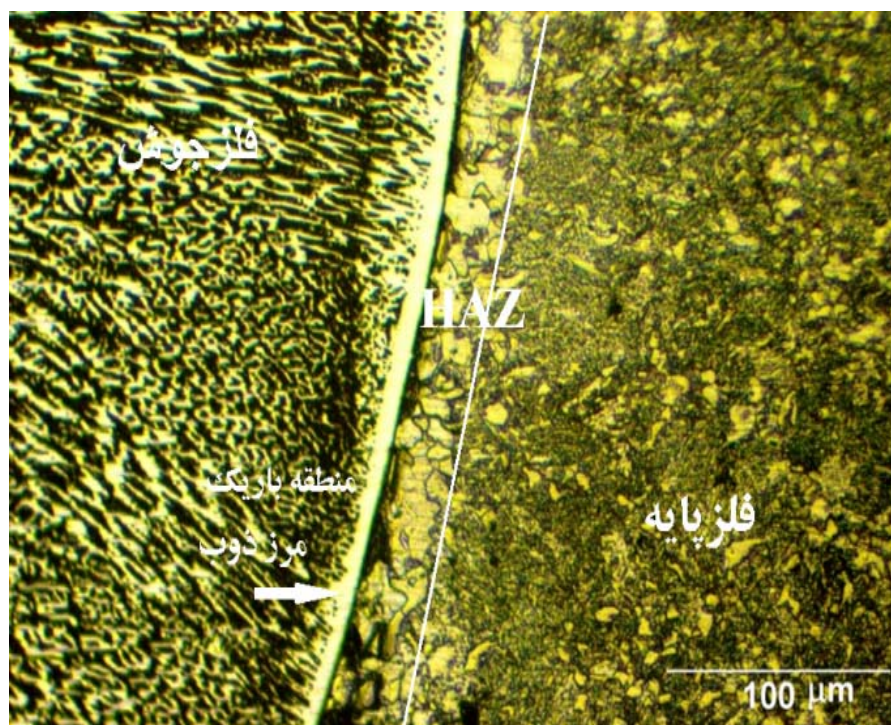
شکل ۷- تصویر SEM از رسوبات در فلز جوش ERNiCr-3



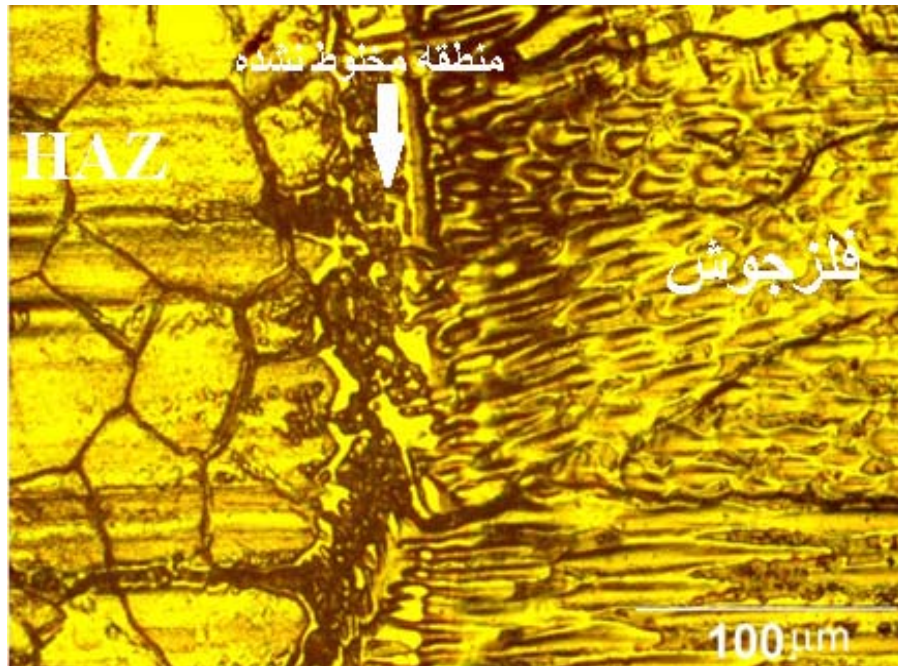
شکل ۸- آنالیز نقطه ای رسوبات بین دندریتی فلز جوش ERNiCr-3



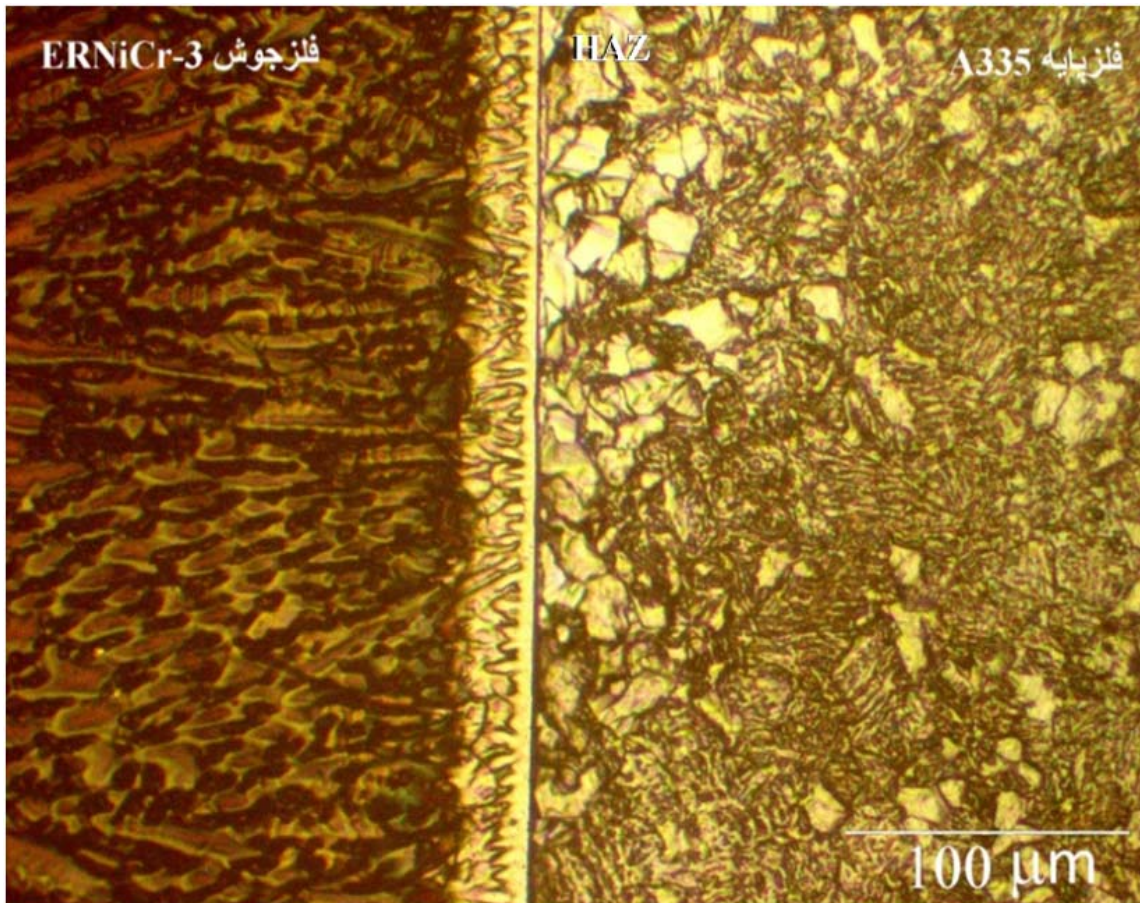
شکل ۹- فصل مشترک فلز پایه فولاد زنگ نزن ۳۴۷ و فلز جوش ۳۰۹L.



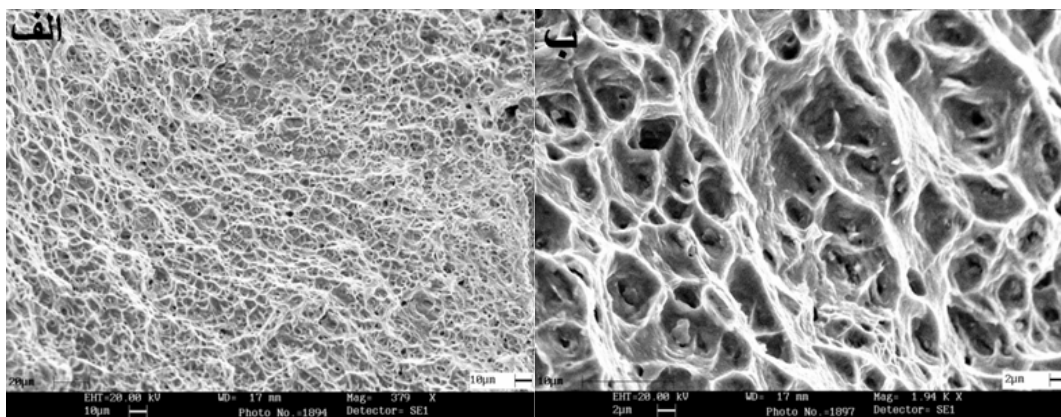
شکل ۱۰- فصل مشترک فلز پایه فولاد کم آلیاژ A۳۳۵ و فلز جوش ۳۰۹L.



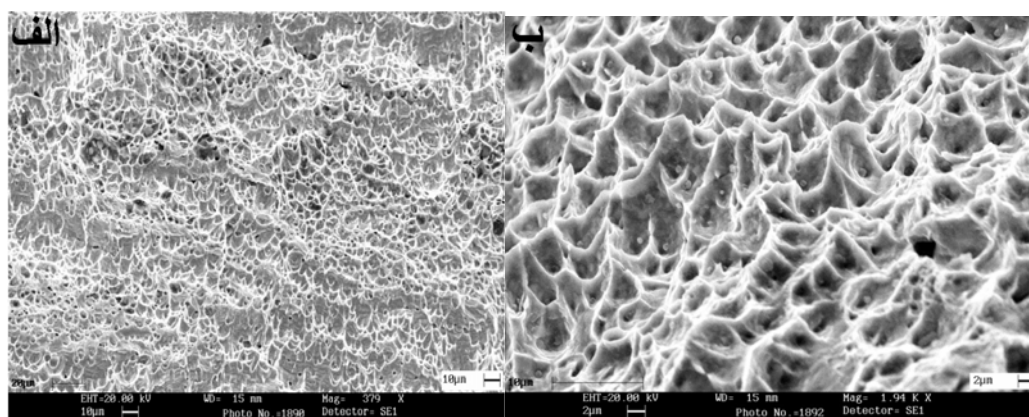
شکل ۱۱- فصل مشترک فولاد زنگ نزن ۳۰۴ و فلز جوش ERNiCr-3.



شکل ۱۲- فصل مشترک فولاد کم آلیاژ A335 و فلز جوش ERNiCr-3.



شکل ۱۳- شکست نگاری فلز جوش ERNiCr-3، (الف) ۴۰۰ برابر (ب) ۲۰۰۰ برابر.



شکل ۱۴- شکست نگاری فلز جوش ER309L، (الف) ۴۰۰ برابر (ب) ۲۰۰۰ برابر.