نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال چهارم، شماره 2، پاییز و زمستان1397، صفحه 126-111

ارزیابی خواص اتصال غیرمشابه فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI316 به فولاد زنگ نزن فریتی AISI430 جوشکاری شده توسط فرایند GTAW

ایمان رسولی، مهدی رفیعی *

مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

(دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۰۷ ؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۱۸)

چکیده

در این تحقیق، ریزساختار و خواص مکانیکی اتصال غیرمشابه فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI316 به فولاد زنگ نزن فریتی AISI430 بررسی شد. بدین منظور از روش جوشکاری قوسی تنگستن–گاز و فلزات پرکننده ER316L و ER2209 با قطر ۲/۴ میلیمتر استفاده شد. جهت بررسی ریزساختار و مقاطع شکست نمونه‌های جوشکاری شده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. همچنین جهت بررسی خواص مکانیکی اتصال، از آزمون‌های کشش، ضربه، ریزسختی سنجی در راستای افقی و عمودی روی فلز جوش استفاده شد. نتایج نشان داد که ریزساختار در نمونه جوشکاری شده با فلز پرکننده ER316L آستنیتی همراه با فریت بین دندریتی، فریت شبکه‌ای و آستنیت ویدمن اشتاتن و در نمونه جوشکاری شده با فلز پرکننده ER2209 شبکه‌های پیوسته آستنیت در زمینه فریت اولیه می‌باشد. در آزمون کشش تمامی نمونه‌ها از فلز پایه فولاد زنگ نزن فریتیAISI430 و بصورت نرم دچار شکست شدند. فلز جوش ER2209 انرژی ضربه پایین در حدود ۲۷ ژول و فلز جوش ER316L انرژی ضربه بالاتر و در حدود ۴۳ ژول از خود نشان دادند. شکست فلز جوش در هر دو نمونه از نوع ترد بود. نتایج ریزسختی سنجی نشان داد سختی فلز جوش در نمونه جوشکاری شده با فلز پرکننده ER316Lبه دلیل وجود عناصر آلیاژی، توزیع مناسب فاز فریت دلتا و ساختار ریز دانه و افزایش مرزدانه ها، بالاتر از نمونه جوشکاری شده با فلز پرکننده ER2209 می‌باشد.

کلمات کلیدی: اتصال غیرمشابه، فولاد زنگ نزن فریتی AISI430، فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI316، خواص مکانیکی، ریزساختار، فلز جوش.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: m.rafiei@pmt.iaun.ac.ir

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

Evaluation of dissimilar joint properties of AISI316 to AISI430 stainless steels produced by GTAW

I. Rasouli, M. Rafiei*[*]
Advanced Materials Research Center, Department of Materials Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

(Received 28 November 2017 ; Accepted 10 October 2018)

Abstract
In this research, microstructure and mechanical properties of AISI316 to AISI430 dissimilar joint were investigated. For this purpose, GTAW process using ER316L and ER2209 filler metals with diameter of 2.4 mm was used. The microstructure and fracture surface of the welded samples were characterized by optical microscopy and scanning electron microscopy. Also the mechanical properties of the welded samples were evaluated by tension, impact and microhardness tests. It was found that the microstructure of the welded sample with ER316L filler metal contained widmanstatten austenite with inter-dendritic and lathy ferrite. Also, in the welded sample with ER2209 filler metal, Austenite phase in ferrite matrix was seen. In tension test, all samples were fractured from AISI430 side of the joint in a ductile manner. ER2209 weld metal indicated low impact energy about 27 J, while ER316L weld metal indicated higher impact energy about 43 J. The surface fracture in both welded samples indicated brittle fracture mode. The microhardness of the weld metal of the welded sample with ER316L filler metal was higher than the welded sample with ER2209 filler metal due to the presence of alloying elements, proper distribution of delta ferrite and finer microstructure.

Keywords: Dissimilar joint, AISI316 steel, AISI430 steel, Mechanical properties, Microstructure, Weld metal.

1- مقدمه

فولاد زنگ نزن ۳۱۶ یکی از پرکاربردترین نوع فولاد زنگ نزن می‌باشد که در دسته فولادهای زنگ نزن آستنیتی قرار می‌گیرد. فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در صنایع مختلفی همچون نفت، گاز و پتروشیمی، صنایع غذایی، دارویی و ... مصارف گوناگونی دارد. از این آلیاژ برای ساخت لوله و ورق‌های مقاوم در محیط‌های اسیدی استفاده می‌شود و قیمت آن نسبت به گریدهای مشابه همچون فولاد زنگ نزن ۳۰۴ بیشتر است. تیپ ۳۱۶ برای کاربردهایی که به استحکام بالا و مقاومت به حرارت در دمای بالا نیاز دارند به کار گرفته می‌شود. فولاد زنگ نزن فریتی ۴۳۰ نیز در صنایع مختلفی همچون مخازن اسید نیتریک، محفظه احتراق، انبار لوله اگزوز، گرم کننده‌ها و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین فولادهای زنگ نزن فریتی، فولادهایی با قیمت پایین می باشند. این نوع فولاد مقاومت عالی در برابر اکسیـداسیـون در دمـای بالا، جوش پذیری و مقاومت در برابر خوردگی خوبی دارد [۱].

جوشکاری فلزات غیرمشابه[1] (DMW) ، یکی از روش‌های جذاب است که شامل اتصال دادن فلزاتی است که دارای ترکیب شیمیایی، نقطه ذوب و ضریب انبساط حرارتی متفاوت می باشند. از میان اتصالات متنوع، تقاضا برای استفاده از اتصالات فریتی/آستنیتی در صنایع تولید برق، شیمیایی، پتروشیمی، هسته‌ای و خودروسازی زیاد است. بنابراین اتصالات فریتی/آستنیتی از میان اتصالات غیرمشابه از جمله مواردی است که دارای کاربردهای وسیع صنعتی از نظر حجم تولید است. در این راستا تحقیقات متعددی روی اتصال غیرمشابه فولادهای زنگ نزن آستنیتی به فولادهای زنگ نزن فریتی صورت گرفته است. به عنوان مثال خان و همکارانش به بررسی جوشکاری پرتو لیزر فولادهای زنگ نزن غیرمشابه

1 -Dissimilar metal welding

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

AISI430 وAISI304 پرداختند. قدرت لیزر و سرعت جوشکاری مهمترین فاکتورهای تأثیرگذار بر هندسه جوش و نیروی برشی بود. تمامی مشخصات مهره جوش ثابت بود اما عمق نفوذ با افزایش زاویه پرتو برخوردی کاهش یافت. ریزساختار ناحیه ذوبی حاوی ساختار پیچیده‌ای از آستنیت و فریت بود. ریز سختی موضعی ناحیه ذوب بیشتر از هر دو فلز پایه بود [۲].

در تحقیق دیگری ساتیانارایانا و همکارانش فرآیند جوشکاری اصطکاکی را برای اتصال فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI304L و فولاد زنگ نزن فریتی AISI430L مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. مقاومت در برابر خوردگی حفره‌ای اتصالات با جوش فولادهای زنگ نزن فریتی و آستنیتی مقایسه شد. فصل مشترک در مجاورت فولاد زنگ نزن آستنیتی دارای تنش پسماند بیشتر به علت جریان تنش بالاتر و ضریب انبساط حرارتی بیشتر آن بود [۳].

دوندرانت و همکارانش در تحقیقی دیگر، اتصال ایجاد شده بین فولادهای زنگ نزن آستنیتی AISI316L و فولاد زنگ نزن دوفازی UNSS32750 به روش GTAW با جریان پیوسته[1] (CC) و جریان پالسی[2] (PC) با استفاده از فلزات پرکننده ER2553 و ERNiCrMo-3 را مورد بررسی قرار دادند. فاز ثانویه غنی از نیوبیوم و مولیبدن در منطقه ذوب از هر دو جوش CCGTA و PCGTA با استفاده از فلز پرکننده ERNiCrMo-3 مشاهده شد. نسبت موازنه شده فریت–آستنیت در منطقه ذوب جوش فلز پرکننده ER2553 مشاهده شد. آزمون خمش نشان داد هر دو قطعه جوشکاری شده با روش CCGTA و PCGTA با استفاده از فلز پرکننده ERNiCrMo-3 انعطاف پذیری بهتری را ارائه می‌دهند [۴].

متشکر و دانایی ریزساختار و مقاومت در برابر خوردگی اتصالات جوش غیرمشابه بین فولادهای زنگ نزن دو فازی ۲۲۰۵ و فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI316L با استفاده از فلزات پرکننده ER347، ER316L و ER309 را مورد بررسی قرار دادند. مشاهده شد، در فلز جوش ER347 فاز ترد سیگما ایجاد می‌شود که منجر به کاهش مقاومت به خوردگی اتصالات جوش می‌گردد. همچنین مشاهده شد فلز پرکننده ER309 برای این اتصال به روش GTAW مناسب بود [۵].

در تحقیقی دیگر خان و همکارانش به بررسی تأثیر پارامترهای جوشکاری پرتو لیزر روی هندسه مهره جوش اتصال غیرمشابه بین فولادهای زنگ نزن فریتی AISI430L و AISI440L پرداختند. توان لیزر در محدوده ۷۹۰ تا ۱۰۸ وات و سرعت جوشکاری ۴ تا ۶/۳ متر بر دقیقه و زاویه برخورد پرتو در حدود ۱۵ درجه، پارامترهای بهینه‌ای بودند که یک قطعه جوشکاری شده عالی را ارائه می‌دادند [۶].

چن و همکارانش به بررسی اتصال غیرمشابه به روش جوشکاری اصطکاکی–اغتشاشی نقطه‌ای[3] (FSSW) بین فولاد زنگ نزن ۴۳۰ و فولاد فریتی تقویت شده با نانوساختارهای اکسیدی پراکنده شده، تحت تابش یون دوگانه Fe^{+}/He^{+} پرداختند. تخریب ناشی از تابش این یون‌ها باعث افت خواص مکانیکی به ویژه در مناطق جوشکاری شده گردید. تابش این یون‌ها باعث افزایش سختی در تمامی مناطق جوش گردید [۷].

گوئیلهرم و همکارانش رفتار خوردگی اتصال غیرمشابه فولادهای AISI316L و AISI444 جوشکاری شده توسط روش GTAW را مورد بررسی قرار دارند. این محققین عنوان کردند که اتصال غیرمشابه میان این دو فولاد در مقایسه با اتصال مشابه فولاد AISI316L تا دمای ۷۰ درجه سانتیگراد رفتار خوردگی بهتری از خود نشان می دهد [۸].

شجاعتی و بیدختی اتصال فولادهای AISI304 به AISI409 را با استفاده از فلزات پرکننده مختلف مورد بررسی قرار دادند. این محققین با بررسی خواص اتصالات مختلف ایجاد شده توسط فلزات پرکننده آستنیتی، دوفازی و پایه نیکلی عنوان کردند که از نقطه نظر اقتصادی فلز جوش AISI316L بهترین خواص مکانیکی را ارائه داد [۹]. همچنین گوش و همکارانش اتصال غیرمشابه بین فولادهای زنگ نزن فریتی AISI409 و آستنیتی AISI316L را توسط روش GMAW و فلز پرکننده AISI308 مورد بررسی قرار دادند. این محققین عنوان کردند که در جریان جوشکاری ۱۱۲ آمپر، نرخ گاز ۱۵ لیتر بر دقیقه و

1 -Continuous current
2 -Pulsed current
3 -Friction stir spot welding

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

فاصله نازل تا ورق۱۵ میلیمتر بهترین کیفیت جوش حاصل می‌شود [۱۰]. با توجه به مطالب عنوان شده، پژوهشی روی اتصال غیرمشابه فولاد زنگ نزن فریتی AISI430 به فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI316 با استفاده از فلزات پرکننده آستنیتی و دوفازی در متون علمی مشاهده نشد. این اتصال در صنایع نفت، گاز و خودروسازی کاربرد دارد. یک نمونه از کاربردهای معمول این اتصال استفاده از آن در راکتورهای احیای $TiCl_4$ می باشد، زیرا فولاد زنگ نزن آستنیتی استحکام خزشی و مقاومت اکسیداسیون بالایی در دماهای بالا دارد و از طرفی فولاد زنگ نزن فریتی مشکل خوردگی نیکل توسط مذاب منیزیم را برطرف می کند [۱۰]. به همین دلیل این اتصالات از اهمیت بالایی برخوردار هستند، لذا در این پژوهش به بررسی ریزساختار و خواص مکانیکی اتصال غیرمشابه فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI316 به فولاد زنگ نزن فریتی AISI430 توسط فرآیند جوشکاری GTAW با فلزات پرکننده ER316L و ER2209 پرداخته شده است.

2- مواد و روش تحقیق

2-1- آماده سازی نمونه‌ها و طرح اتصال

در این تحقیق از فلزات پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI316 و فولاد زنگ نزن فریتی AISI430 و فلزات پرکننده ER316L و ER2209 با ترکیب شیمیایی ارائه شده در جدول (۱) استفاده شد. فلزات پایه مورد استفاده به حالت ورق و با ضخامت ۶ میلیمتر بودند. با توجه به ضخامت، جنس مواد و طرح اتصال‌های پیشنهادی منابع، از طرح اتصال V یک طرفه با زاویه پخ ۶۰ درجه، درز اتصال ۲ mm و پاشنه اتصال۱/۵ mm استفاده شد. آماده سازی نمونه‌ها توسط دستگاه فرز با استفاده از خنک کننده آب و صابون، جهت جلوگیری از تحولات ریزساختاری نمونه‌ها، با کیفیت بالا انجام شد. سپس مراحل سنباده زنی، چربی زدایی و تمیزکاری قطعات جهت انجام فرآیند جوشکاری انجام شد.

2-2- فرایند جوشکاری نمونه‌ها

اتصال ورق ها با استفاده از فلزات پرکننده ER316L و ER2209 با قطر ۲/۴ میلیمتر و با استفاده از روش جوشکاری قوسی تنگستن-گاز (GTAW) انجام شد. به این منظور دستور العمل جوشکاری (WPS) طبق استاندارد ASME بخش نهم برای هر کدام از فلزات پرکننده تنظیم شد. جریان مستقیم با قطبیت DCEN، دمای پیشگرم برای فولاد زنگ نزن فریتی ۴۳۰، ۱۰۰ درجه سانتی گراد و حداکثر دمای بین پاسی ۱۵۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد. حداکثر دمای بین پاسی توسط گچ حرارتی و ترموکوپل لیزری، در فاصله ۱/۵ سانتی متر از هر سمت از اتصال جوش داده شد، کنترل شد. همچنین اتصال به وسیله گاز آرگون با خلوص ۹۹/۹ ٪ محافظت شد. در هر پاس مقادیر شدت جریان، ولتاژ و سرعت جوشکاری اندازه گیری شد و حرارت ورودی جوشکاری توسط فرمول $Q=\eta(VI/1000S)$ برحسب kJ/mm بدست آمد. در این فرمول V ولتاژ بر حسب ولت، I میزان جریان بر حسب آمپر، S سرعت حرکت دست جوشکار بر حسب میلیمتر بر ثانیه و η راندمان حرارتی منبع و برابر ۰/۷ در نظر گرفته شده است. مشخصات پارامترهای جوشکاری در جدول (۲) ارائه شده است. نهایتاً پس از اتمام جوشکاری، نمونه‌های جوشکاری شده توسط دو فلز پرکننده، مطابق جدول (۳) نامگذاری شدند.

2-3- بررسی های ریزساختاری

به منظور بررسی های ریزساختاری، از نمونه‌های جوشکاری شده مقاطعی تهیه شد که تمامی نقاط از جمله فلز پایه، فلز جوش و منطقه متاثر از حرارت را شامل شود. قسمت های ابتدایی و انتهایی خط جوش در هر کدام از نمونه‌ها به اندازه ۲۰ میلی متر بریده شد و از آنها نمونه‌ای جهت انجام آزمون تهیه نشد، زیرا احتمال وجود عیوب در این نواحی از خط جوش بسیار بالا می‌باشد. سپس نمونه‌ها با سنباده ۶۰ تا ۳۰۰۰ آماده سازی شد و در نهایت پولیش به وسیله خمیر الماسه با ذرات ۲۰ میکرون و پس از آن توسط خمیر الماسه با ذرات ۱ میکرون انجام شد. سپس به منظور مشاهده فازهای موجود در فولاد زنگ نزن فریتی ۴۳۰ از محلول اچ ماربل (۱۰گرم $CuSO_4$ + ۵۰ میلی لیتر HCl +۵۰ میلی لیترH_2O استفاده شد. همچنیـن به منظور مشـاهده فازهای موجود در فولاد زنگ نزن

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

جدول۱- ترکیب شیمیایی فولادهای مورد استفاده بر حسب درصد وزنی

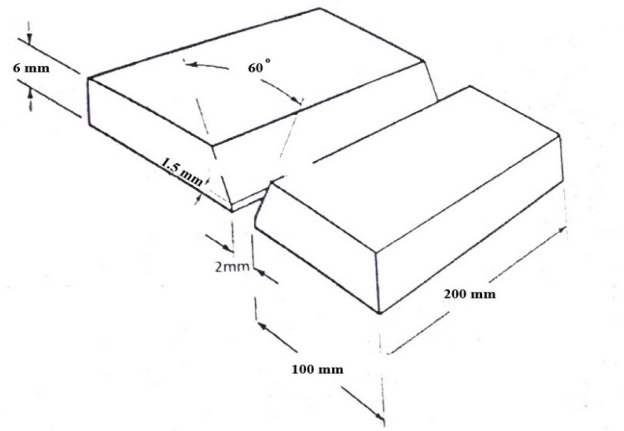
عناصر / فولاد	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	V	S	P	Si	C	Cu	N
AISI316	پایه	۱۵/۷۰	۹/۵۰	۱/۹۱	۱/۷۸	۰/۲۴	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۷۵	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۱۰
AISI430	پایه	۱۶/۵۰	۰/۷۵	۰/۰۵۷	۱	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۰۴	۱/۰۴	۰/۱۲	۰/۱۱	–
ER316L	پایه	۱۹/۲۲	۱۲/۲۹	۲/۲۰	۱/۷۴	–	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۴۱	۰/۰۱	۰/۱۶	–
ER2209	پایه	۲۲/۸۰	۸/۷۰	۳/۱۰	۱/۶۱	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۴۲	۰/۰۱	–	۰/۱۶

آستنیتی ۳۱۶، از الکترواچ با محلول اچ نایتال ۵ ٪ و با مقدار ولتاژ ۳ ولت و زمان غوطه وری ۴۰ ثانیه استفاده شد.

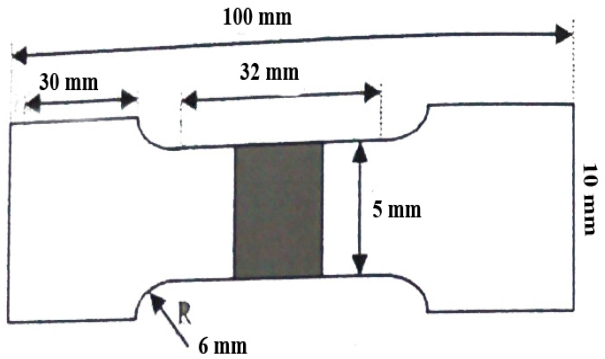
تجهیزاتی که در این تحقیق برای بررسی ریز ساختار و سطح شکست مورد استفاده قرار گرفت، شامل میکروسکوپ نوری MEIJI TECHNO IM7200 ساخت کشور ژاپن و میکروسکوپ الکترونی روبشی LEO 435VP بودند. همچنین جهت تعیین ترکیب شیمیایی فلزات جوش مختلف از آزمون کوانتومتری استفاده گردید.

2-4- ارزیابی خواص مکانیکی

این آزمون‌ها به منظور تعیین خواص مکانیکی اتصال مورد استفاده قرار گرفتند که شامل ریزسختی سنجی، آزمون ضربه شاربی و آزمون کشش می‌باشند. آزمون کشش طبق استاندارد ASTME8 توسط دستگاه کشش INSTRON4486 ساخت کشور انگلیس انجام شد. نمونه‌های کشش بصورت عرضی تهیه شدند. جزئیات نمونه برای آزمون کشش طبق استاندارد در شکل (۲) نشان داده شده است. آزمون کشش برای هر نمونه ۳ مرتبه انجام گردید. جهت تعیین میزان انرژی ضربه از آزمون ضربه شارپی استفاده شد. بدین صورت که از فلز جوش، طبق استاندارد ASTM E2300 نمونه‌هایی با ابعاد ۶×۱۰×۵۵ میلیمتر مکعب آماده شد و فلز جوش درست در مرکز نمونه قرار گرفت. شیاری به عمق ۲ میلی متر و زاویه ۴۵ درجه روی نمونه و در فلز جوش ایجاد شد. از هر اتصال سه نمونه برای انجام این آزمون تهیه و این آزمون توسط دستگاه SIT300 در دمای محیط انجام شد. همچنین ریزسختی سنجی ویکرز روی نمونه‌ها و در راستای عمودی و افقی روی فلز جوش مطابق با استاندارد ASTME-92 انجام گردید. تصاویر سطح مقطع شکست نمونه‌های آزمون کشش و ضربه به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی، از مناطق مختلف تهیه شد.



شکل۱- طرح اتصال ورق‌ها برای انجام فرآیند جوشکاری.



شکل۲- جزئیات نمونه آزمون کشش طبق استاندارد ASTME8.

3- نتایج و بحث

3-1- بررسی های ریزساختاری

شکل(۳-الف) ساختار فریتی فولاد زنگ نزن AISI430 را نشان می‌دهد. همچنین شکل(۳-ب) ساختار نواری فولاد

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

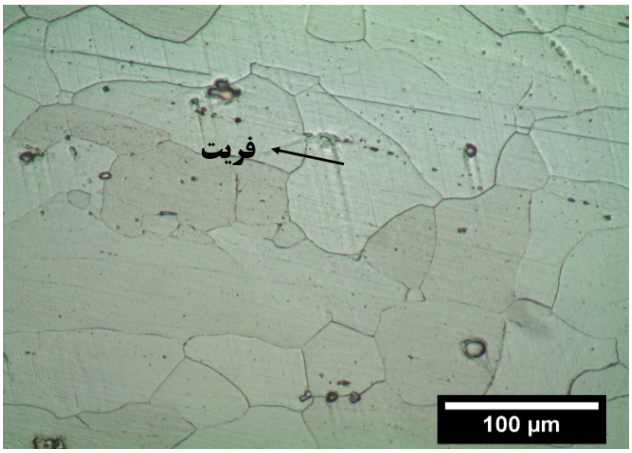
جدول۲- پارامترهای جوشکاری در پاس‌های مختلف

پارامتر / پاس	جریان (A)	ولتاژ (V)	سرعت حرکت دست جوشکار (mm/s)	حرارت ورودی (kJ/mm)	حرارت ورودی کل (kJ/mm)
پاس ریشه	۱۰۰	۱۲	۰/۷۵	۱/۱۲	۸/۰۶
پاس پر کن	۱۵۰	۱۲	۰/۴۵	۲/۸۰	
پاس رویه	۱۲۰	۱۲	۰/۷۵	۱/۳۴	
پاس پشتی	۱۵۰	۱۲	۰/۴۵	۲/۸۰	

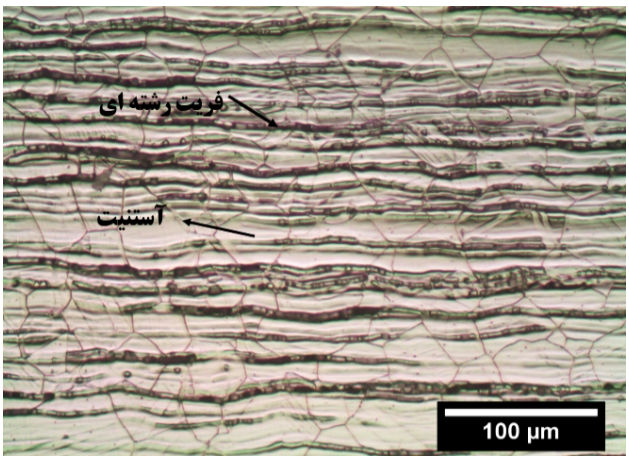
جدول۳- نامگذاری نمونه‌های جوشکاری شده با دو فلز پرکننده متفاوت

کدنمونه	نوع فلز پرکننده استفاده شده
A	ER316L
B	ER2209

زنگ نزن آستنیتی AISI316 را نشان می‌دهد. در این تصویر زمینه آستنیتی با رنگ روش و فاز فریت بصورت رشته‌ای، با رنگ تیره قابل مشاهده هستند.



الف



ب

شکل ۳- ریز ساختار فلزات پایه: الف- فولاد زنگ نزن فریتی AISI430 و ب- فولاد زنگ نزن آستنیتیAISI316

در جدول (۴) نتایج حاصل از آزمون کوانتومتری فلزات جوش ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول و روابط (۱) و (۲) [۱۱]، میزان کروم و نیکل معادل برای هر دو فلز جوش (A و B) محاسبه شد.

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1.5(\%Si) + 0.5(\%Nb) \quad (۱)$$

$$Ni_{eq} = \%Ni + 30(\%C) + 0.5(\%Mn) \quad (۲)$$

شکل‌های (۴-الف) و (۴-ب) ریز ساختار فلز جوش شده نمونه A را در دو بزرگنمایی متفاوت نشان می‌دهد. همان طور که در شکل‌های (۴-الف) و (۴-ب) مشخص است، با توجه به مقدار Cr_{eq}/Ni_{eq} محاسبه شده توسط روابط (۱) و (۲) که برابر با مقدار ۱/۴۸ بدست آمد و همچنین درنظرگیری نمودار فازی Fe-Cr-Ni، انجماد در فلز جوش حاصل از فلز پرکننده ER316L، در پاس رو یه (بالای تصاویر) به صورت AF می‌باشد و فریت بین دندریتی در این پاس از فلز جوش قابل مشاهده می‌باشد. همچنین در پاس‌های زیری (پایین تصاویر)، با افزایش نسبت کروم به نیکل معادل و عدد فریت، ساختار فلز جوش در این پاس‌ها تغییر کرده است و آستنیت ویدمن اشتاتن در این پاس‌ها قابل مشاهده می‌باشد [۱۲]. آستنیت ویدمن اشتاتن در نسبت های Cr_{eq}/Ni_{eq} بالا مشاهده می شود. در این حالت ابتدا فریت جوانه زنی کرده و سپس در ادامه انجماد فاز آستنیت بصورت دندانه‌ای شکل، از مرز دانه‌ها شروع به جوانه‌زنی می‌کند. شکل‌های(۵-الف) و (۵-ب) تصاویر متالوگرافی و ریزساختار فلز جوش حاصل از فلز پرکننده

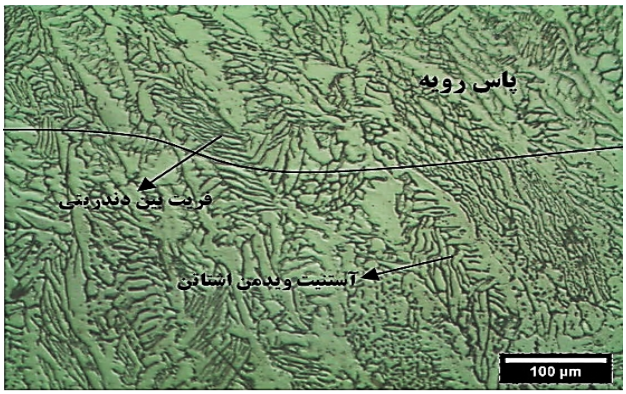
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

جدول۴- ترکیب شیمیایی فلزات جوش مختلف بر حسب درصد وزنی حاصل از آزمون کوانتومتری

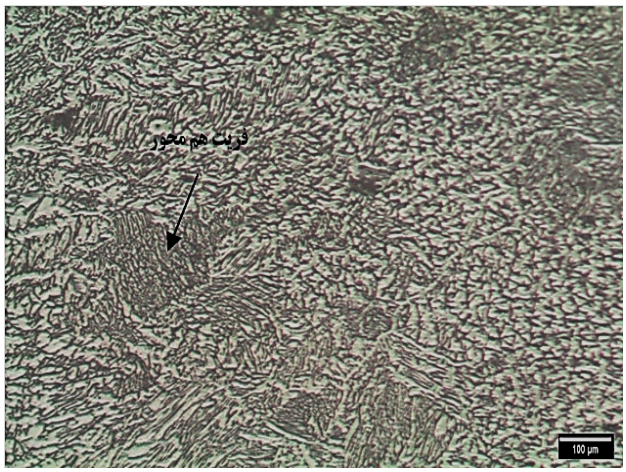
عناصر / نمونه	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Ti	V
A	۶۹/۲	۰/۰۵۲	۰/۵۵	۱/۶۱	<۰/۰۰۳۰	۰/۰۱۲۴	۱۷/۹	۱/۵۰	۸/۳۴	۰/۱۹۳	۰/۱۰۸	۰/۲۱۹	۰/۱	۰/۱
B	۶۶/۵	۰/۰۷۹	۰/۶۸۳	۱/۶۹	<۰/۰۰۳۰	۰/۰۲۱۹	۲۰/۹	۲/۳۲	۷/۰۶	۰/۱	۰/۰۶۴۰	۰/۲۰۵	۰/۰۷۷	۰/۰۸۵

ER2209 را در دو بزرگنمایی متفاوت نشان می‌دهد. این نوع فلز پرکننده، دو فازی می‌باشد.فلزات پرکننده دو فازی علاوه بر اتصالات مشابه و غیرمشابه، برای روکش کاری فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۳]. در این فلز جوش فاز فریت در زمینه و فاز آستنیت به صورت برجسته و سوزنی شکل، در زمینه فریتی قابل مشاهده است و ساختار فلز جوش شبیه ساختار ریختگی این فولاد است [۱۴]. بدلیل وجود حرارت ورودی مناسب، تعادل فازی قابل قبولی در فلز جوش حاصل از فلز پرکننده دو فازی ER2209 مشاهده می‌شود، به طوری که مقادیر مناسب از فاز آستنیت در اثر استحاله نفوذی فریت –آستنیت پس از سرد شدن فلز جوش تا دمای محیط در این ناحیه بوجود آمده است. وجود مقادیر مناسب از فاز آستنیت (نزدیک به ۵۵٪) باعث بهبود مقاومت به خوردگی شیاری و حفره‌ای و چقرمگی قابل قبول در فلز جوش ER2209 می‌شود [۱۵].بدیهی است که میزان چقرمگی در این نوع فلز جوش پایین تر از فلزهای جوش آستنیتی است. این امر به دلیل وجود مقادیر بالاتری از فاز فریت نسبت به مقدار اندک این فاز در فلزات جوش آستنیتی می‌باشد، اما به دلیل بازه بین ۳۰ تا ۷۰ درصدی از هر کدام از فازهای فریت و آستنیت در سری‌های استاندارد، وجود مقادیر بیشتر فاز آستنیت، باعث بهبود خاصیت چقرمگی در انواع فلز جوش دوفازی خواهد شد [۱۶]. به طور کلی انجماد فلز جوش حاصل از فلزات پرکننده دوفازی بصورت فریتی (انجماد نوع F) می‌باشد. در این حالت ریزساختار در انتهای انجماد کامل فریتی است. وقتی که فلز جوش تا ریز خط انحلال فریت سرد شود، آستنیت طی یک استحاله نفوذی بوجود می آید [۱۷].

با توجه به مقدار Cr_{eq}/Ni_{eq} فلز جوش حاصل از فلز پرکننده دوفازی ER2209 که برابر ۲/۳۶ می باشد، انجماد آن در محدود نوع F در نمودار Fe-Cr-Ni قرار می گیرد.



الف



ب

شکل۴- ریزساختار فلز جوش نمونه ی A در دو بزرگنمایی متفاوت.

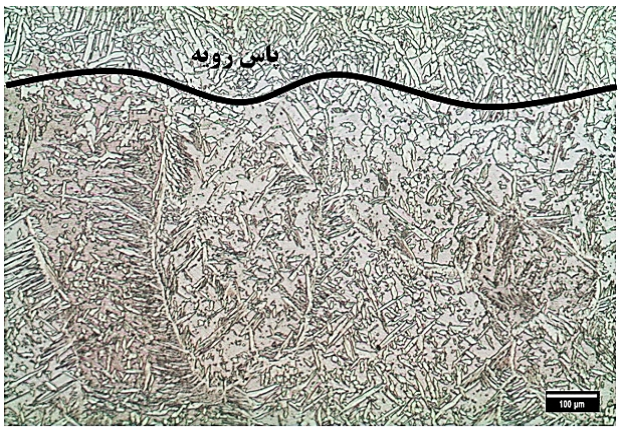
همانگونه که از ریزساختار ارائه شده در شکل(۵) مشخص است، مورفولوژی حاصل از فلز پرکننده ER2209 یک ریزساختار با زمینه فریت اولیه و آستنیت سوزنی و ویدمن اشتاتن می‌باشد. همچنین در برخی از مناطق فلز جوش، فریت بین دندریتی قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به نمودار Fe-Cr-Ni می‌توان گفت انجماد در این مناطق از نوع AF است. همان طور که در شکل (۵–الف) مشخص است ریزساختار فلز جوش در پاس بالایی (بالای تصویر) با پاس‌های زیری (پایین تصویر) متفاوت است. این تغییر ساختار در پاس‌های مختلف

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

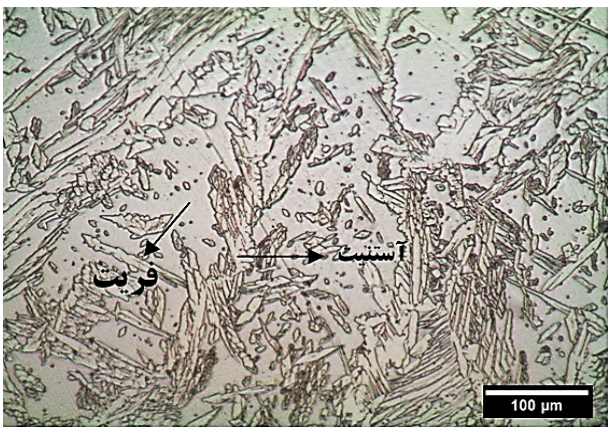
فلز جوش به دلیل تغییرات موضعی در اثر تغییرات لحظه‌ای سرعت انجماد و همچنین کاهش عدد فریت در پاس‌های بالایی، در جوش‌های چند پاسه می‌باشد [۱۷ و ۱۸].با توجه به شکل(۶) ملاحظه می‌شود در هر دو نمونه جوشکاری شده مناطق متاثر از حرارت تقریباً مشابهی بوجود آمده است. با پیشروی از سمت فلز پایه به سمت فلز جوش در منطقه متاثر از حرارت، دانه‌های آستنیت از حالت نوردی و کشیده به صورت هم‌محور در آمده است. دلیل این رخداد میزان حرارت ورودی بیشتر در نواحی نزدیک به فلز جوش می‌باشد که باعث تبلور مجدد[1] و ایجاد دانه‌های هم‌محور آستنیت در این ناحیه شده است [۱۱و ۱۹].

همچنین در فصل مشترک فلز جوش و فلز پایه نمونه‌های B و A به دلیل وجود حرارت زیاد و ماندگاری بیشتر این ناحیه در دماهای زیاد نسبت به نواحی دیگر HAZ دانه‌های فریت اولیه فرصت رشد پیدا کرده و با افزایش رشد در نواحی فصل مشترک نمایان شده‌اند. همچنین رشد دانه‌ها در فصل مشترک فلزات پایه و فلزات جوش در نمونه‌های مذکور به صورت اپی تاکسی می‌باشد که دلیل این رخداد شباهت ترکیب شیمیایی فلز پایه و فلز جوش می‌باشد.

همچنین شکل‌های(۷-الف) و(۷-ب) آنالیز خطی عنصری از فلز پایه تا فلز جوش نمونه‌های جوشکاری شده در سمت فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶ را نشان می‌دهد.

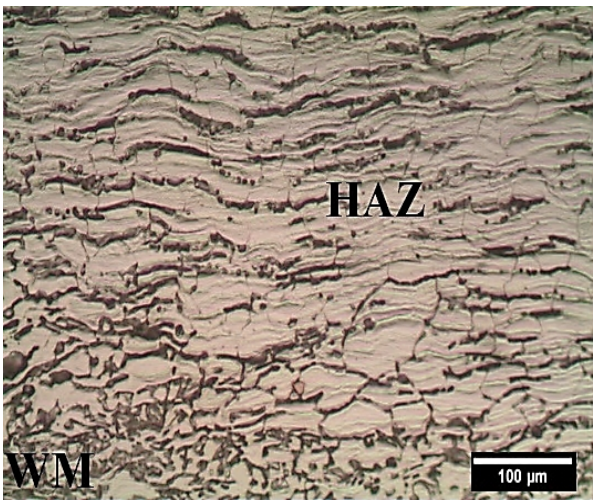


الف

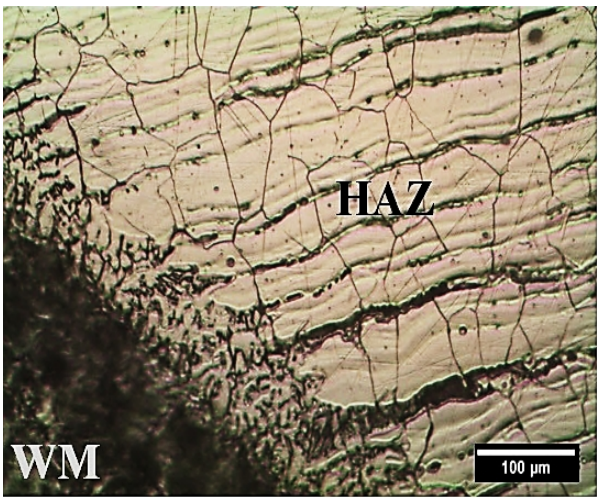


ب

شکل۵- ریزساختار فلز جوش نمونه B در دو بزرگنمایی متفاوت.



الف



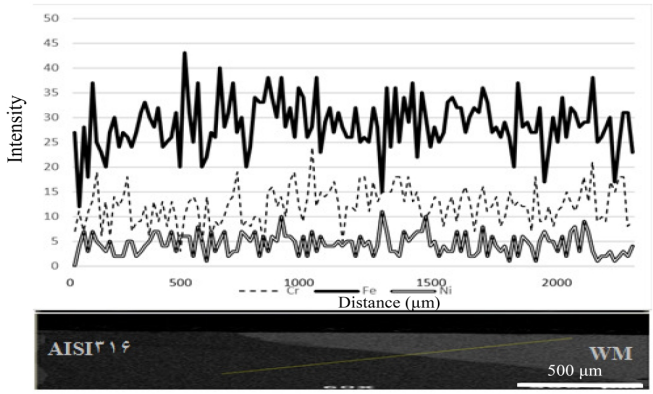
ب

شکل۶- ریزساختار مناطق متأثر از حرارت و فصل مشترک سمت فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶ (الف)نمونه A، (ب) نمونه B.

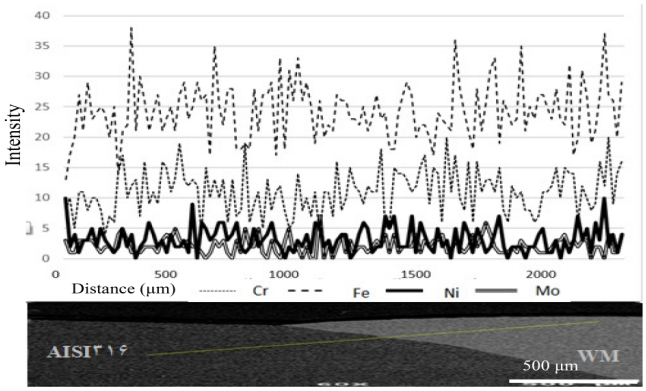
1- Recrystallization

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

با توجه به شکل(۷-الف) مشخص می‌شود با حرکت از فلز پایه AISI316 به سمت فلز جوش آستنیتی ER316L، عناصر آهن، کروم و نیکل تغییرات چندانی نداشته‌اند که این امر به دلیل شباهت ساختار و ترکیب شیمیایی فلز جوش و فلز پایه در این نمونه می‌باشد. در نمونه B (ب) علاوه بر آهن، کروم و نیکل تغییرات عنصر مولیبدن نیز مورد بررسی قرار گرفت که همانطور که در شکل مشخص است این عنصر نیز از فلز پایه تا فلز جوش تغییرات چندانی نداشته است. شکل(۸) مناطق متاثر از حرارت فولاد زنگ نزن فریتی ۴۳۰ را در دو نمونه جوشکاری شده نشان می‌دهد. منطقه متاثر از حرارت برای هر دو نمونه دارای ساختار فریتی می‌باشد. پهنای منطقه متاثر از حرارت در فولاد زنگ نزن فریتی ۴۳۰ بیشتر از پهنای این منطقه در فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶ می‌باشد. این امر به دلیل هدایت حرارتی بالاتر فولادهای زنگ نزن فریتی نسبت به فولادهای زنگ نزن آستنیتی می‌باشد[۱۴].



الف

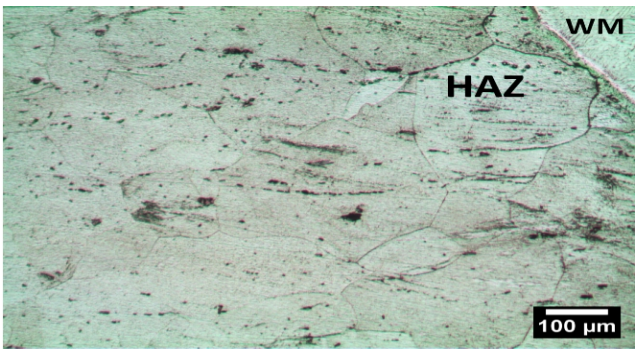


ب

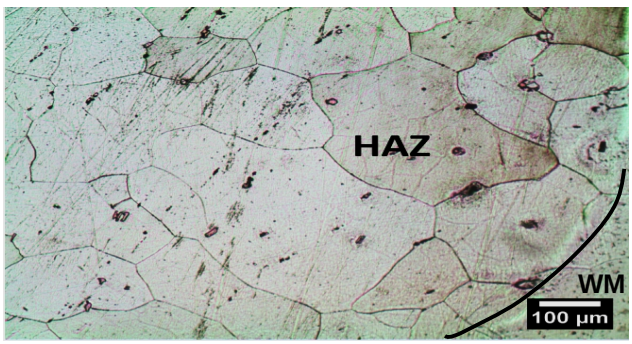
شکل۷- آنالیز خطی عنصری در فصل مشترک از فلز پایه تا فلز جوش سمت فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶ (الف) نمونه A، (ب) نمونه B.

در فلزاتی که ضریب انتقال حرارت بالاتری دارند ایجاد تمرکز حرارت سخت است، بنابراین پهنای منطقه HAZ در این آلیاژها بیشتر است. همچنین همانطور که در شکل(۸-ب) مشخص است در نمونه جوشکاری شده توسط فلز پرکننده دوفازی (نمونه B)، اندازه دانه‌ها در منطقه HAZ نسبت به نمونه A بزرگ تر می‌باشد که دلیل این رخداد هدایت حرارتی بالاتر فلز جوش دوفازی به دلیل وجود مقادیر بالا از فاز فریت در ساختار آن، نسبت به فلز جوش آستنیتی می‌باشد [۱۴].

شکل(۹) فصل مشترک فلز جوش و فلز پایه ۴۳۰ را در دو نمونه جوشکاری شده A و B نشان می‌دهد. از شکل(۹-الف) مشخص می‌شود که در فصل مشترک فولاد ۴۳۰ و فلز جوش نمونه A تغییر ناگهانی ساختار اتفاق افتاده است، فصل مشترک شارپ‌تری نسبت به نمونه B دیده می شود و رشد دانه‌ها در فصل مشترک بصورت غیر اپیتکسی می‌باشد. این تغییر ناگهانی و اختلاف در ساختار در مرز جوش در اتصال‌های غیرمشابه، به دلیل اختلاف در ترکیب شیمیایی فلز پرکننده و فلز پایه می‌باشد [۱۷].



الف

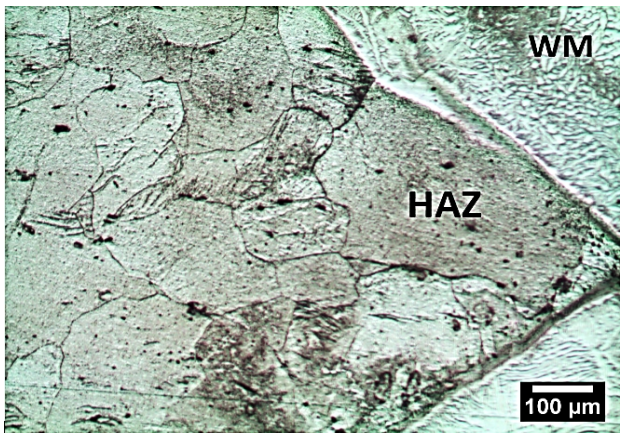


ب

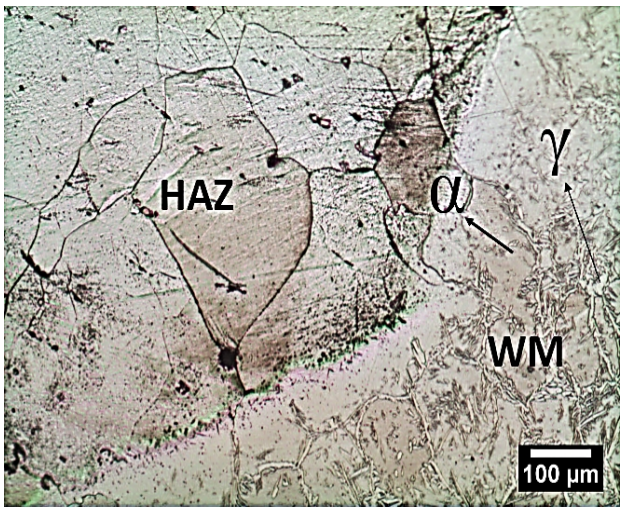
شکل۸- ریزساختار مناطق متاثر از حرارت و فصل مشترک سمت فولاد زنگ نزن فریتی ۴۳۰ الف) نمونه A، ب) نمونه B

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

هنگامی که جوشکاری با فلز پرکننده همراه باشد، ترکیب شیمیایی فلز جوش با ترکیب شیمیایی فلز پایه تفاوت داشته و ساختار کریستالی فلز جوش می تواند با ساختار کریستالی فلز پایه متفاوت باشد. هنگامی که این حالت رخ می‌دهد، رشد یکنواخت امکان پذیر نبوده و کریستال‌های جدیدی در مرز ذوب جوانه زنی می‌کنند [۲۰]. همانطور که در شکل(۹–ب) مشخص شده است، در مرز فلز جوش و فلز پایه در نمونهB ، دانه‌ها به صورت اپی تکسیال رشد کرده‌اند. این امر به این دلیل است که فلز جوش در این نمونه نسبت به نمونه A حاوی فریت بالاتری است و ترکیب شیمیایی فلز جوش اختلاف زیادی با فلز پایه ۴۳۰ ندارد.



الف

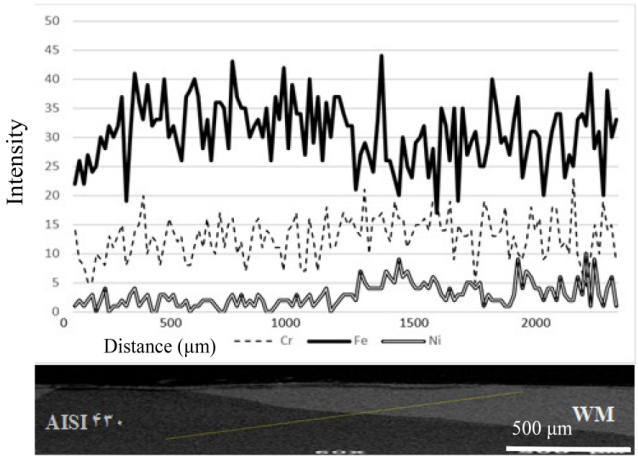


ب

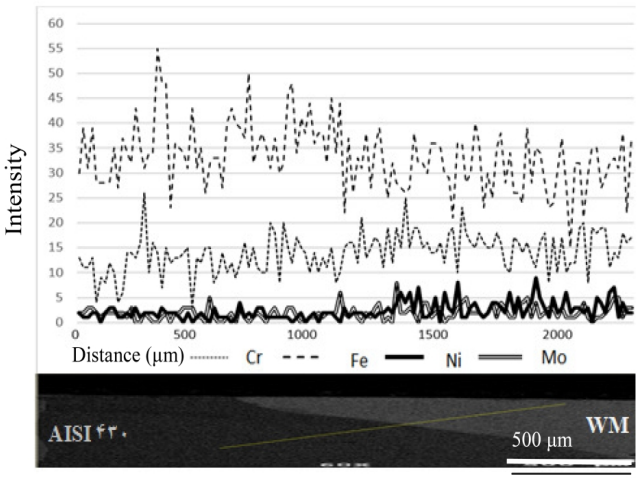
شکل۹– ریزساختار فصل مشترک منطقه متاثر از حرارت و فلز جوش سمت فولاد زنگ نزن ۴۳۰

الف) نمونه A ، ب) نمونه B.

شکل(۱۰–الف) و (۱۰–ب) آنالیز خطی عنصری از فلز پایه تا فلز جوش نمونه‌های جوشکاری شده در سمت فولاد زنگ نزن فریتی ۴۳۰ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص می‌شود که در هر دو نمونه با حرکت از فلز پایه به سمت فلز جوش، عناصر آهن و کروم تغییرات چندانی نداشته‌اند، ولی میزان نیکل در هر دو نمونه با حرکت از فلز پایه به سمت فلز جوش افزایش داشت.



الف



ب

شکل۱۰– آنالیز خطی عنصری در فصل مشترک از فلز پایه تا فلز جوش سمت فولاد زنگ نزن فریتی ۴۳۰، (الف) نمونه A، (ب) نمونه B.

در نمونه B (ب) میزان تغییرات مولیبدن نیز مورد بررسی قرار گرفت و همانطور که در شکل مشخص است میزان این عنصر در فلز جوش افزایش یافته است. همچنین انتظار می‌رود در این

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

جدول۵- خواص مکانیکی فلزات جوش

نمونه	استحکام کششی (MPG)	استحکام تسلیم (MPG)	ازدیاد طول (٪)
A	۴۹۹/۹۸±۱۰	۱۸۱/۴۳±۱۰	۱۸/۸۵±۱
B	۵۲۳/۰۳±۱۵	۲۹۴/۱۷±۱۲	۲۰/۲۴±۱/۵

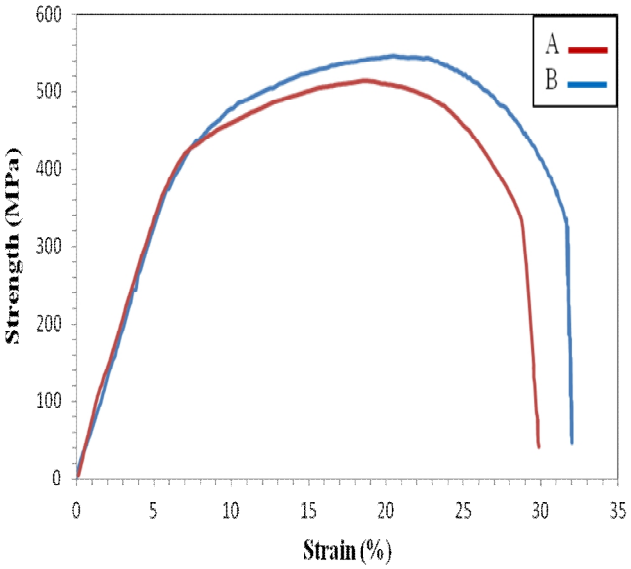
جدول۶- خواص مکانیکی فلزات پایه [۱]

فلز پایه	استحکام تسلیم (MPa)	استحکام کششی (MPa)	ازدیاد طول (٪)
AISI430	۳۳۳	۵۱۵	۲۲
AISI316	۲۷۹	۵۶۵	۴۵

نمونه به علت تغییرات خیلی کم این عناصر و تفاوت نسبتاً کم ترکیب شیمیایی فلز جوش و فلز پایه ۴۳۰، این نمونه نسبت به نمونه A فصل مشترک یکنواخت‌تری از خود نشان دهد و می‌تواند بصورت اپی تاکسی باشد [۱۹]. همانطور که قبلاً اشاره شد این فصل مشترک یکنواخت در شکل(۹-ب) کاملاً مشخص است.

3-2- آزمون کشش

نتایج آزمون کشش نشان داد که تمامی نمونه‌های جوشکاری شده از فلز پایه AISI430 دچار شکست شدند. این بدان معنی است که ضعیف ترین قسمت در این قطعه جوشکاری شده، فلز پایه AISI430 می‌باشد. به طور کلی محل شکست در نمونه‌های جوشکاری شده به استحکام نسبی اجزای مختلف نمونه در اتصال بستگی خواهد داشت. نمودارهای تنش-کرنش و نتایج آزمون کشش مربوط به اتصال غیرمشابه دو فلز پایه توسط فلزات پرکننده ER316L و ER2209 در شکل ۱۱ و جدول (۵) و خواص مکانیکی فلزات پایه در جدول (۶) آورده شده است [۱]. نتایج بدست آمده از آزمون کشش نشان می‌دهد که شکست در نمونه‌های جوش داده شده از فلز پایه AISI430 اتفاق افتاده است و منطقه جوش و منطقه متاثر از حرارت دچار شکست نشدند. این اتفاق را می توان با ساختار فولاد زنگ نزن فریتی AISI430 و مقدار بالای فریت در این فولاد توجیه کرد[۲۱].



شکل۱۱- نمودار تنش-کرنش نمونه های جوشکاری شده

از آن جایی که در آزمون کشش، شکست در هر دو نمونه از فلز پایه فولاد زنگ نزن فریتی ۴۳۰ اتفاق افتاد، سطح شکست یکی از نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. از شکل(۱۲) مشخص می‌شود که سطح شکست در نمونه کشش دارای فرورفتگی‌های متناوب و عمیق بدون وجود صفحات صاف و تورق در این مقاطع بوده است. عمق زیاد فرورفتگی‌ها در این مقاطع، با وجود مقدار بالای فاز فریت در فلز پایه قابل توجیه می‌باشد. این حالت نشان می‌دهد که شکست در فلز پایه از نوع نرم می‌باشد [۱۸].

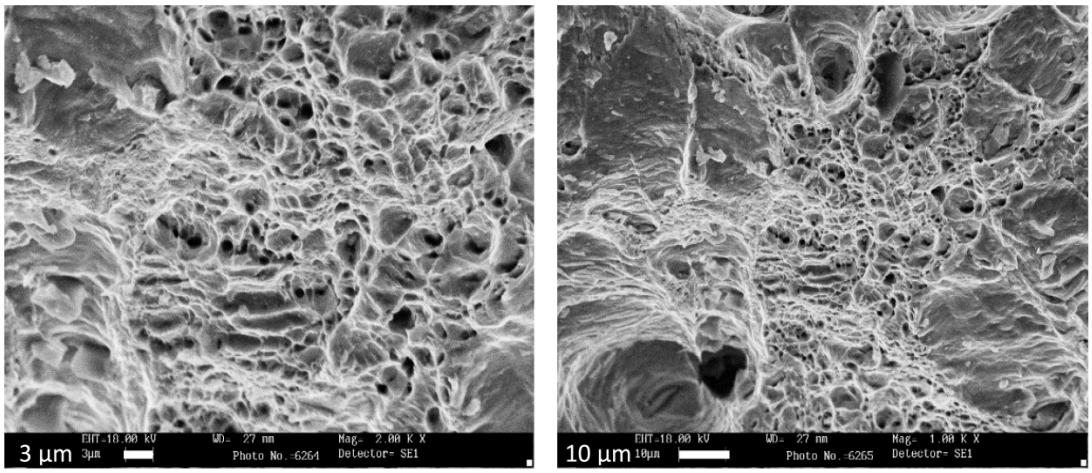
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

جدول۷- نتایج آزمون ضربه

نمونه	انرژی ضربه (J)	نوع شکست
A	۴۳±۵	ترد
B	۲۷±۳	ترد

جدول ۸- درصد حجمی فاز فریت در فلزات جوش و پایه

کد نمونه	درصد حجمی فاز فریت
WM-A	۹/۳
WM-B	۴۳/۲۵
BM-430	۸۲/۶۸
BM-316	۲/۴۴



ب الف

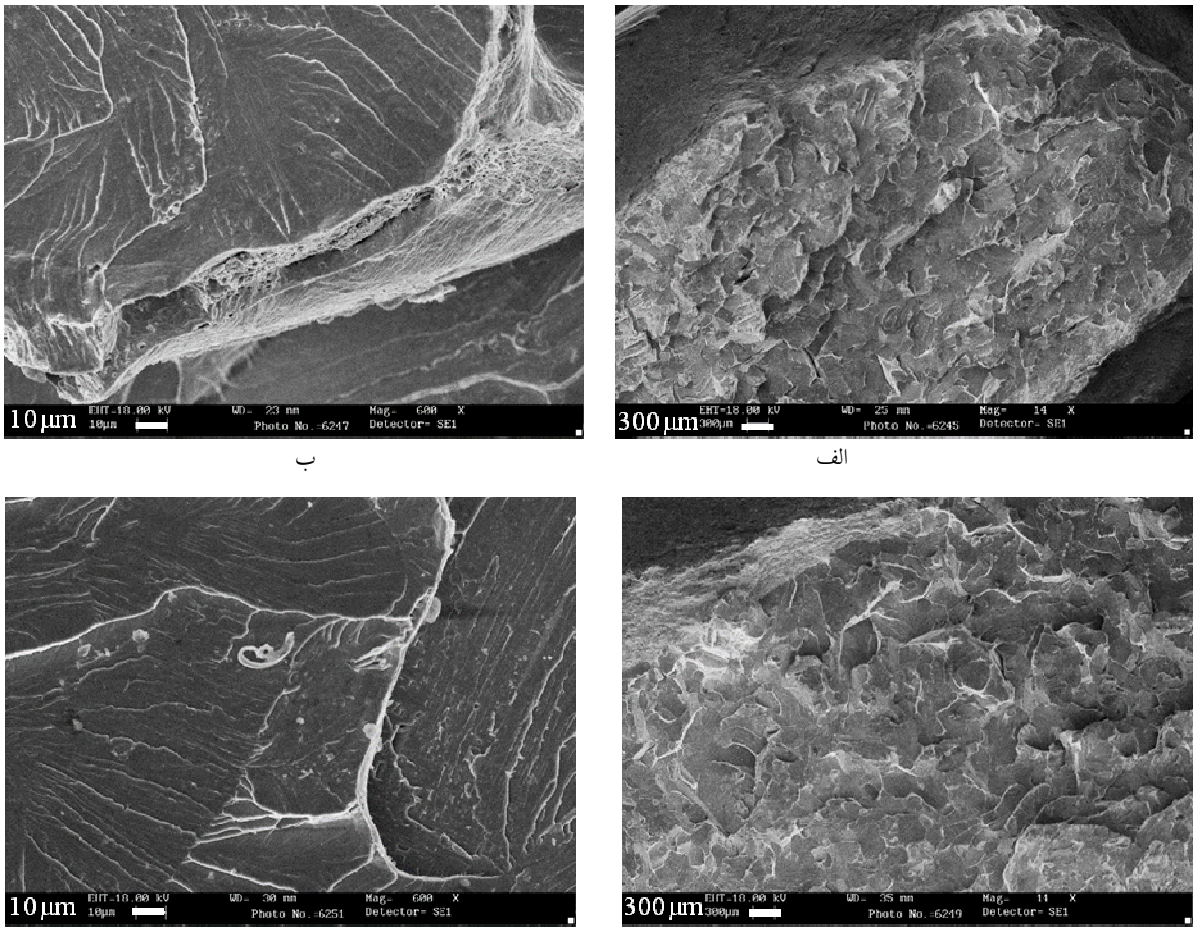
شکل۱۲- سطح شکست در آزمون کشش نمونه A در دو بزرگنمایی متفاوت.

3-3- آزمون ضربه

نتایج آزمون ضربه شارپی برای فلزات جوش نمونه‌های A و B در جدول (۷) آمده است. نتایج نشان می‌دهد که انرژی جذب شده توسط نمونه A بیشتر از نمونه B می‌باشد و نمونه A انرژی ضربه قابل قبولی دارد. این رخداد را می‌توان این گونه توجیه کرد که مقاومت به ضربه نمونه‌ها به طور مستقیم با مقادیر فریت موجود در ساختار آن‌ها در ارتباط است. علت مقدار پایین تر استحکام ضربه در نمونه B حضور مقادیر نسبتاً زیاد از فاز فریت در نمونه جوش B نسبت به نمونه A بوده است. به طور کلی فاز فریت با مقادیر کروم زیاد چقرمگی و انعطاف پذیری کمی دارد. این امر به دلیل مقادیر زیاد عناصر بین نشین می‌باشد. مقادیر کروم در فلز پرکننده نمونه B حدود ۲۲ درصد و مقادیر کربن و نیتروژن به عنوان عناصر بین نشین به ترتیب ۰/۰۱۵ و ۰/۱۵ درصد وزنی می‌باشند که مقادیر بالایی هستند. از طرف دیگر چقرمگی در فلزات BCC کمتر است که این پدیده نیز به کمک عامل اول آمده تا خواص ضربه این نمونه افت کند. همچنین در این نمونه به دلیل وجود مقادیر کمتر از فاز آستنیت دانه‌های فریت اندازه بزرگتری نسبت به نمونه A داشته که درشت‌تر بودن دانه‌های فریت نیز منجر به کاهش خواص ضربه در این نمونه شده است [۱۹و۲۲].

نتایج محاسبه مقدار فریت در فلز جوش و فلزات پایه با استفاده از فریت اسکوپ در جدول (۸) نشان داده شده است. با توجه به جدول مذکور مشخص می‌شود که در نمونهA ۹/۳ درصد و در نمونه B ۴۳/۲۵ درصد فاز فریت وجود دارد. نتایج حاصل

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]



الف ب

شکل۱۳- سطح شکست فلز جوش در آزمون ضربه برای نمونه‌های جوشکاری شده (الف و ب) نمونه A، (ج و د) نمونه B.

از فریت سنجی نمونه‌های جوشکاری شده نشان می‌دهد که میزان فاز فریت موجود در فلز جوش آستنیتی به مقداری بوده است که برای عدم ایجاد ترک انجمادی اطمینان حاصل شود، اما این فاز در فلز جوش نمونه B به مقدار بسیار زیاد تشکیل شده که باعث کاهش چقرمگی و استحکام ضربه در این نمونه شده است.مقدار زیاد فریت در فولاد (بیشتر از ۱۰٪ حجمی) تمایل به کاهش چقرمگی و مقاومت به خوردگی را افزایش می‌دهد، در حالی که مقادیر خیلی کم فریت (کمتر از ۵٪ حجمی) می‌تواند سبب ترک خوردگی انجمادی شود. فریت در فلز جوش فولادهای زنگ نزن آستنیتی دارای سه نوع مورفولوژی مختلف است، که شامل فریت بین دندریتی، فریت کرمی شکل و فریت شبکه‌ای می‌باشد. زمانی که Cr_{eq}/Ni_{eq} کم باشد و ماده در محدوده AF قرار داشته باشد، فریت بین دندریتی ایجاد می‌شود [۱۴].

محدوده AF قرار داشته باشد، فریت بین دندریتی ایجاد می‌شود [۱۴]. این ساختار در پاس بالایی در فلز جوش نمونه A در شکل(۴-الف) قابل مشاهده است. زمانی که Cr_{eq}/Ni_{eq} کم باشد و ماده هنوز در محدوده FA قرار داشته باشد، مورفولوژی فریت کرمی شکل یا اسکلتی ایجاد می‌شود. با افزایش مقادیر Cr_{eq}/Ni_{eq} در محدوده انجماد FA یک مورفولوژی فریت شبکه‌ای ایجاد می‌شود.

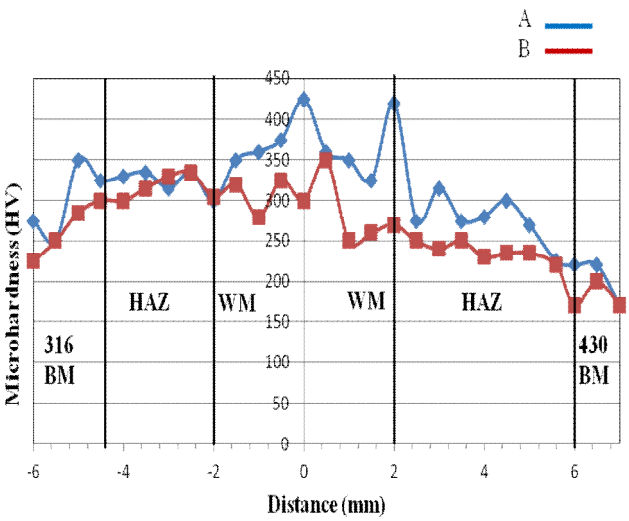
شکل (۱۳-الف) و (۱۳-ب) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به سطح شکست فلز جوش نمونه A در آزمون ضربه و شکل (۱۳-ج) و (۱۳-د) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به سطح شکست نمونه B در آزمون ضربه را در دو بزرگنمایی متفاوت ارائه می‌دهد. با توجه به شکل(۱۳) به نظر می‌رسد که شکست در فلز جوش این دو نمونه عمدتاً از نوع ترد می‌باشد. این موضوع با توجه به میزان

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

انرژی جذب شده نسبتا پایین در این دو نمونه نیز قابل توجیه می‌باشد.با افزایش بزرگنمایی در شکل(۱۳) در نواحی دیگر از سطح شکست جوش این نمونه‌ها مشخص می‌شود که صفحات تورقی و فرورفتگی‌هایی به صورت جزئی در اطراف این صفحات صاف وجود دارند. شکست در این نمونه‌ها عمدتاً از نوع ترد می‌باشد ولی در برخی نواحی شکست نرم نیز به صورت جزئی قابل مشاهده می‌باشد. در نهایت میتوان گفت شکست در این نمونه‌ها ترد است.

3-4- ریزسختی سنجی

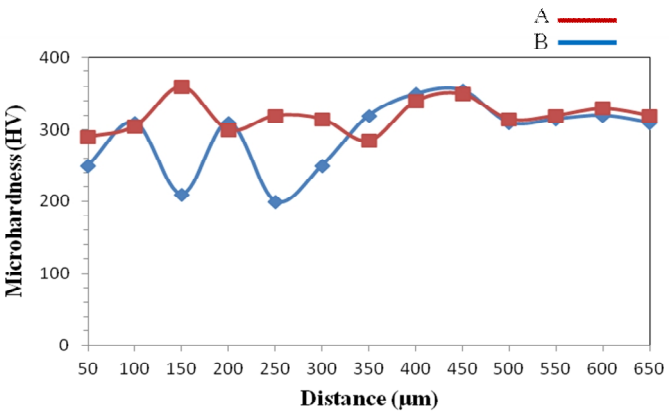
نتایج آزمون ریزسختی سنجی افقی از فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶ تا فلز پایه فولاد زنگ نزن فریتی ۴۳۰ در شکل(۱۴) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که به طور کلی یک روند صعودی از سمت دو فلز پایه به سمت فلز جوش وجود دارد.



شکل۱۴- پروفیل سختی از فلز پایه فولاد زنگ نزن فریتی AISI430 تا فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI316.

با توجه به شکل(۱۴) ملاحظه می‌شود که سختی در فلز پایه فولاد زنگ نزن فریتی کمتر از سختی فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶ و در حدود ۱۷۰ ویکرز می‌باشد، در صورتی که میزان سختی در فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶، در حدود ۲۵۰ ویکرز می‌باشد. در منطقه متاثر از حرارت در هر دو سمت، هر دو نمونه افزایش سختی نسبت به فلز پایه داشتند. این افزایش سختی در HAZ ، به دلیل هم محور شدن دانه‌ها و حضور بیشتر فاز فریت در این ناحیه می‌باشد [۱۶]. همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود، مقدار سختی در ناحیه فلز جوش در نمونه A بیشتر از نمونه B می‌باشد. این امر بدلیل توزیع مناسب فاز فریت دلتا و ساختار درون دانه‌ای هم محور و ریز در فلز جوش نمونه A می‌باشد.

همچنین شکل(۱۵) نتایج ریزسختی سنجی عمودی از پاس رویه تا پاس پشتی در فلز جوش نمونه‌های جوشکاری شده را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود پاس‌های ریشه و رویه، در هر دو نمونه دارای سختی بیشتری نسبت به پاس میانی می‌باشند. این افزایش سختی در این پاس‌ها به دلیل اعمال حرارت و سرمایش سریع این پاس‌ها و در نتیجه به تعویق افتادن استحاله نفوذی فریت به آستنیت و رفتن تعادل فازی فریت–آستنیت به سمت فاز فریت می‌باشد. اما در پاس‌های میانی به دلیل اعمال حرارت مجدد توسط پاس‌های رویه و پشتی، مقادیری از فاز آستنیت ثانویه ایجاد شده که باعث کاهش سختی در این پاس‌ها می‌شود [۲۳].



شکل۱۵- نمودار ریزسختی سنجی عمودی برای دو نمونه جوشکاری شده.

4- نتیجه گیری

در این تحقیق ریزساختار و خواص مکانیکی اتصال غیرمشابه فولاد زنگ نزن فریتی AISI430 به فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI316 مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد:

۱- ریزساختار در نمونه A آستنیتی همراه با فریت بین دندریتی، فریت شبکه‌ای و آستنیت ویدمن اشتاتن و در نمونه B شبکه‌های پیوسته آستنیت در زمینه فریت اولیه بود.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

۲- نتایج آزمون کشش نشان داد که نمونه‌ها از قسمت فلز پایه فولاد زنگ نزن فریتی AISI430 و بصورت نرم شکسته شدند.

۳- سختی فلز جوش در نمونه A به دلیل وجود عناصر آلیاژی، ساختار ریز دانه و افزایش مرز دانه‌ها، بالاتر از نمونه B بود.

۳- در هر دو نمونه، در منطقه متاثر از حرارت به دلیل تبلور مجدد و هم محور شدن دانه‌ها و همچنین وجود بیشتر فاز فریت دلتا در این ناحیه افزایش سختی نسبت به فلز پایه مشاهده شد.

۴- انرژی جذب شده در آزمون ضربه برای فلز جوش نمونه A بیشتر از نمونه B بود. حضور مقادیر نسبتاً زیاد از فاز فریت در نمونه B نسبت به نمونه A علت انرژی ضربه پایین در این نمونه بود.

۵- بررسی سطوح شکست در آزمون ضربه نشان داد که شکست فلز جوش در هر دو نمونه از نوع ترد بود.

در پایان فلز پرکننده ER316L در مقایسه با فلز پرکننده ER2209 به دلیل خواص مکانیکی مناسب از جمله انرژی ضربه بالاتر، سختی بالاتر و همچنین درصد فاز فریت مناسب در فلز جوش ایجاد شده، فلز پرکننده مناسب تری جهت اتصال فولاد زنگ نزن فریتی AISI430 به فولاد زنگ نزن AISI316 ارزیابی شد.

منابع

1- Ally Digest source Book: stainless steel, ASM Intemational, 2000.

2- Kha . M.M.A, Romol . L, Fiaschi. M, Dini.G, Sarri. F,"Laser beam Welding of dissimilar Stainless steels in a fillet joint configuration", Journal of materials processing Technology, Vol. 212, pp.856-861, 2012.

3- satyanarayana. V.V, Madhusudhan Reddy. G, Mohandas.T, "Dissimilar Metal friction welding of austenitic-ferritic stainless steel", Journal of Materials processing Technology, Vol. 160, pp.128-137, 2005.

4- Devendranath Ramkumar. K, Anshuman S., Shubham R., Ankur B., Tathagat S., Arivarasu. M, Arivazhagan. N, Narayanan. S, "Metallurgical and mechanical characterization of dissimilar welds of austenitic stainless steel and super-duplex stainless steel-A comparative study", Journal of Manufacturing Processes, Vol. 19, pp.212-232, 2015.

5- Moteshakker. A, Danaee. I, "Microstructure and corrosion Resistance of Dissimilar weld-Joints between Duplex stainless steel 2205 and Austenitic stainless steel 316L", Journal of Materials science and Technology, doi:10, 1016/j.jmst 2015.11.021.

6- khan, M.M.A, Romoli. L, Dini. G, "Laser beam welding of Dissimilar ferritic/martensitic stainless steels in a butt joint configuration", optics and laser Technology, Vol. 49, PP. 12-136, 2013.

7- Chen.C. L, Richter. A, Kogler. R, Griepentrog. M, Reinstadt. P, "Ion-irradiation effects on dissimilar friction stir welded joints between ODS alloy and ferritic stainless steel" Journal of Alloys and compounds, Vol. 615, pp. 448-453, 2014.

8- Guilherme, L.H., Della Rovere, C.A., Kuri, S.E., de Oliveira, M.F., "Corrosion behaviour of a dissimilar joint TIG weld between austenitic AISI 316L and ferritic AISI 444 stainless steels", Welding International, Vol . 30, pp. 268–276, 2016.

9- Shojaati, M., Beidokhti, B., "Characterization of AISI 304/AISI 409 stainless steel joints using different filler materials", Construction and Building Materials, Vol. 147, pp. 608–615, 2017.

10- Ghosh, N., Kumar Pal, P., Nandi, G., "GMAW dissimilar welding of AISI 409 ferritic stainless steel to AISI 316L austenitic stainless steel by using AISI 308 filler wire", Engineering Science and Technology, an International Journal, Vol. 20, 1334–1341, 2017.

11- Kou. S, "welding metallurgy", 2nd Ed., Wiley-Interscience. Newjersey, The United States of America, 2003.

12- Brook. J., Tompson A.W., "micro structural development and solidification cracking susceptibility of austenitic stainless steel welds", International Materials Reviews, Vol. 36, pp. 16-44, 1991.

13- Eghlimi. A. Shamanian .M. Eskandarian. M, Zabolian. A, M. Nezakat , "Evaluation of micro structure and texture across the welded interface of super duplex stainless steel and high strength low alloy steel" , Surface & coatings technology, Vol. 264 , pp. 150-162, 2015.

14- Heat Exchanger Design Hadbook 2nd edition, Kuppan Thulukkanam, CRC press, 2013.

15- TMR stainless "Practical guidelines for the fabrication of duplex stainless steel" Interbnational Molybdenum Association (IMOA). London, second edition, 2009.

16- Mourad. A.H.l., Khorshid. A., Sharef. T., "Gas tungsten arc laser beam welding processes effects on duplex stainless steel 2205 properties", Materials science and engineering a, Vol. 549 , pp. 105-113 , 2012.

17- Lippold. J.C., Kotccki, D. J, "welding metallurgy and weldability of atainless steels", john wilcy & sons Inc. newjersey, WSA, 2005.

18- Bala Srinivasan, P, Muthupandi, V, Dietzel, W, Sivan, V, "An assessment of impact strength and corrosion behavior of shielded metal arc welded dissimilar weldments between UNS 3183 and IS2062 steels" Materials and design , Vol. 27 , pp. 182-191, 2006.

۱۹- شمعانیان. م، رحیمی، متالورژی جوشکاری و

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]

جوش پذیری فولادهای زنگ نزن، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان- مرکز انتشارات، ۱۳۹۸.

20- O, brien R.L. , Ed. Jefferson Welding Encyclopedia, American Welding Society , Miami , FL, 1997, p. 316.

21- Smith. W., structure and properties of Engineering Materials, McGraw-Hill, 1987.

۲۲- شهیـــدی. ش، " متـالورژی مکانیکی " تهران، مرکز نشـر دانشگاهی، ۱۳۸۶.

23- Wang, S, Ma, Q., Li. Y, "characterization of microstrusturee, mechanical properties and corsion resistance of dissimilar welded joint between 2205 duplex stainless steel and 16 MnR", materials and Design, Vol. 32, pp. 831-837, 2011.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-22]