علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال سوم، شماره 2، پاییز و زمستان 1396، صفحه 8-1

امکان‌پذیری اتصال فاز مایع گذرای فولاد زنگ‌نزن دوفازی UNS S32750 به فولاد آستنیتی AISI 304

روح الله عبدالوند[1*]، مسعود عطاپور[1]، مرتضی شمعانیان[1]، علیرضا علافچیان[2]

1- دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

2- پژوهشکده نانو فناوری و مواد پیشرفته، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

(دریافت مقاله: 1395/03/16 ؛ دریافت نسخهٔ نهایی: 1395/08/29)

چکیده

اتصال فاز مایع گذرای فولاد زنگ نزن دوفازی UNS S32750 به فولاد آستینتی زنگ نـزن304 AISI بـا اسـتفاده از لایـه میـانی BNi-2 در دمـای 1050 ^{o}C و به مدت زمان 45 دقیقه انجام شد. ریز ساختار اتصال با میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی مجهز به سیستم آنالیز تفکیک انرژی بررسی شد. به منظور تخمین خواص مکانیکی اتصال از آزمون ریزسختی سنجی و استحکام برشی استفاده شد. در ناحیـه ی اتصـال هـیچ گونـه ترکیب یوتکتیکی مشاهده نشد که به معنای کامل شدن انجماد همدما بود. ناحیه ی اتصال از دو قسمت انجماد همدما و منطقه ی متـاثر از نفـوذ تشکیل شد. استحکام برشی اتصال حدود 0/7 استحکام برشی فولاد زنگ نزن دوفازی بود.بررسی سطوح شکست نشان داد که نمونه متصل شده در زمان 45 دقیقه به صورت نرم شکسته بود.

کلمات کلیدی: اتصال فاز مایع گذرا، فولاد زنگ نزن دوفازی، فولاد زنگ نزن آستنیتی، اتصال غیر مشابه.

The possibility of the TLP bonding between UNS S32750 and AISI 304

R. Abdolvand[1], M. Atapour[1], M. Shamanian[1], A. Allafchian[2]

1- Department of Material Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2-Nanotechnology and Advanced Materials Institute, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

(Received 5 June 2016 ; Accepted 19 November 2016)

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: r.abdolvand@ma.iut.ac.ir

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]

Abstract
Transient liquid phase bonding of UNS S32750 super duplex stainless steel to AISI 304 austenitic stainless steel using BNi-2 interlayer was carried out at 1050 oC for 45 min. Microstructure analyses of the joint were carried out using optical microscopy, scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy. Microhardness indentation and shear strength test were performed to assess mechanical behavior of the joint. No eutectic contents was seen at the joint and thus Isothermal solidification was completed at 45 min bonding time. The shear strength of the joint was about 0.7 of duplex stainless steel shear strength. Froctographic studies revealed that the fracture mode was completely ductile in the case of the joint made at bonding time of 45 min.

Keywords: Transient liquid phase, Duplex stainless steel, Austenitic stainless steel, Dissimilar joint.

1- مقدمه

امروزه اتصال غیر مشابه فولاد های زنگ نزن با هدف کاهش هزینه ها و استفاده همزمان از ویژگی های مختلف این آلیاژها، در صنایع مختلفی هم چون صنعت نفت و گاز، صنایع دریایی و پتروشیمی مورد استفاده قرار می گیرد[1]. فولادهای زنگ نزن آستنیتی به علت برخورداری ازمقاومت به خوردگی بالا و جوش پذیری مناسب در صنایع مختلفی استفاده می شوند. اما این آلیاژها جهت استفاده در برخی از محیط های متداول نظیر آب دریا، محیط های حاوی یون کلر و محیط های بسیار قلیایی انتخاب مناسبی نیستند[2]. از طرف دیگر فولاد زنگ نزن دو فازی از مقادیر تقریبا یکسان آستنیت و فریت تشکیل شده و دارای مقاومت به خوردگی عالی در محیط های بسیار خورنده است.مقاومت بالای این آلیاژها در برابر خوردگی حفره ای ؛ خوردگی شیاری و ترک خوردن خوردگی تنشی به خصوص در حضور یون کلر باعث افزایش روز افزون استفاده از آن ها به عنوان جایگزین فولاد های زنگ نزن آستنیتی در صنعت شده است[3و4] . این فولاد ها به صورت عمده در مبدل های حرارتی حاوی آب شور یا آب کلر دار، خطوط لوله و مخازن استخراج نفت و گاز از چاه های ترش، پالایشگاه ها و محیط های دارای یون کلر و سولفید استفاده می شود[5و6].

تاکنون اتصال غیرمشابه فولاد های زنگ نزن به روش های مختلف جوشکاری ذوبی و حالت-جامد بررسی شده است [7-9]. رحمانی و همکاران [10]، به بررسی ریزساختار و خواص مکانیکی اتصال غیرمشابه فولاد زنگ نزن UNS S32750 به فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI 304 با روش GTAW و فلزات پرکننده ی ER2594 و ER309L پرداختند. آن ها نشان دادند که اتصال ایجاد شده با هر دو فلز پرکننده استحکام کششی، انرژی ضربه و خواص خمشی خوبی داشت. در پژوهشی دیگر ویگرامان و همکاران [11]، اتصال نفوذی غیرمشابه فولاد SAE 2205 و AISI 1035را بررسی کردند. آن ها گزارش دادند که با افزایش دمای اتصال دهی استحکام اتصال افزایش یافت. از مشکلات موجود در اتصال غیرمشابه فولاد های زنگ نزن می توان به وجود ترکیبات سخت و ترد در ناحیه اتصال حاصل از جوشکاری ذوبی اشاره کرد[1].

فرایند اتصال فاز مایع گذرا (TLP) تلفیقی از فرایند های اتصال نفوذی و لحیم کاری سخت است. در این فرایند یک لایه ی میانی با نقطه ی ذوب پایین تر از نقطه ی ذوب اجزای متصل شونده و حاوی عناصر کاهش دهنده ی نقطه ذوب (B، Siو P) در بین قطعات قرار می گیرد. سپس قطعات را تا دمای اتصال که معمولا کمی بالاتر از نقطه ی ذوب لایه ی میانی است حرارت می دهند. با رسیدن به دمای اتصال لایه ی میانی ذوب می شود و با نگه داری قطعات در این دما؛ در اثر نفوذ عناصر مختلف به خصوص عناصر کاهنده نقطه ی ذوب، مذاب تشکیل شده به صورت همدما منجمد می شود. در این روش به علت وجود لایه نازک مذاب، به فشار کمتری نسبت به فرایند جوشکاری نفوذی نیاز است واز طرف دیگر به دلیل کامل شدن انجماد همدما استحکام اتصال بالاتری نسبت به روش لحیم کاری سخت حاصل می شود[12].

اخیرا برخی از پژوهش گران از روش اتصال فاز مایع گذرا برای اتصال مشابه فولاد های زنگ نزن استفاده کرده اند

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[13-15]. ولی تاکنون گزارشی راجع به اتصال غیر مشابه فولاد زنگ نزن دوفازی به فولاد زنگ نزن آستنیتی ارائه نشده است.

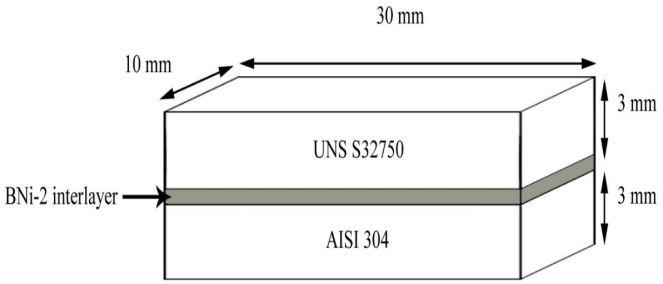
بنابراین یکی از اهداف اصلی این پژوهش بررسی امکان پذیری اتصال غیر مشابه فولاد زنگ نزن دو فازی UNS S32750 به فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI 304، با استفاده از روش فاز مایع گذرابود..

2- روش تحقیق

در این پژوهش، از فولاد زنگ نزن دو فازی UNS S32750و فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI 304 به عنوان فلزهای پایه و از آلیاژ تجاری BNi-2 به عنوان لایه ی میانی استفاده شد.این لایه میانی به علت دمای ذوب پایین و ترشوندگی خوب روی فولاد ها، در این پژوهش استفاده شد. ترکیب شیمیایی فلز های پایه و لایه ی میانی در جدول 1 آمده است. برای اتصال، نمونه هایی از فولاد زنگ نزن دوفازی و فولاد زنگ نزن آستنیتی به ابعاد 3×10×30 mm تهیه شد.

سپس سطح نمونه های فولاد دو فازی و آستنیتی با کاغذ سنباده تا شماره 1200 صیقل کاری شدند. از یک فویل BNi-2 به ضخامت 50 µm و ابعاد 10×30 mm به عنوان لایه ی میانی استفاده شد. نمونه های صیقل کاری شده به همراه لایه ی میانی به مدت یک ساعت در حمام آلتراسونیک با استفاده از استن پاک سازی و تا قبل از عملیات درون محلول استن نگه داری شدند. برای اتصال، فویل BNi-2بین قطعات قرار داده شد. شکل 1 نحوه سر هم بندی قطعات را نشان می دهد. عملیات اتصال دهی در کوره ای با اتمسفر گاز آرگون با دبی 5 لیتر بر دقیقه، در دمای 1050 درجه سانتی گراد و زمان 45 دقیقه انجام شد.

برای ارزیابی ریزساختاری، نمونه‌ی متصل شده به وسیله سنباده کاربید سیلیسیم از شماره 240 تا 2400 سنباده زنی وسپس با خمیر الماس پولیش شد. بعد از اچ کردن الکتریکی نمونهدر محلول آبی 10 درصد HNO_3، ریزساختار مناطق مختلف قطعه-ی متصل شده توسط میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی (SEM)[1]مجهز به سیستم آنالیز تفکیک انرژی (EDS)[2] انجام شد.در نهایت استحکام برشی قطعه‌ی متصل شده اندازه‌گیری و سطح شکست آن با میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. شکل(2) شماتیک نگه‌دارنده‌ی تست برش را نشان می‌دهد.



شکل1- نحوه ی سر هم بندی قطعات.

3- نتایج و بحث

3-1- بررسی ریز ساختاری

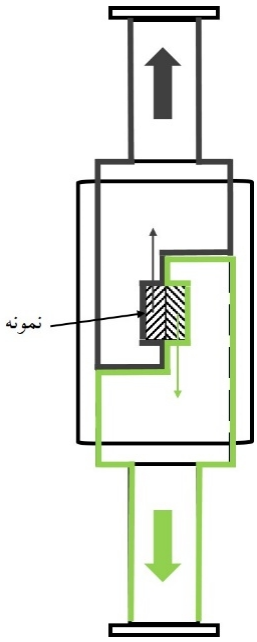
شکل 3 (الف) تصویر میکروسکوپ نوری ریز ساختار فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI 304 را نشان داده است. همان طور که دیده می شود، ریز ساختار معمول فولادهای آستنیتی شامل دانه های آستنیت هم محور در این تصویر مشاهده می شود.

جدول1-ترکیب شیمیایی فلزهای پایه و لایه ی میانی

مواد	ترکیب شیمیایی (درصد وزنی)								
	Fe	N	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	B
UNS S32750	Bal.	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۴۰	۱/۴۱	۵/۸۶	۲۲/۴۰	۳/۰۰	–
AISI 304	Bal.	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۷۵	۲/۰۰	۸	۱۷/۵	–	–
BNi-2	۳	–	۰/۰۶	۴/۵	–	Bal.	۷	–	۳/۲

[1]Scanning Electron Microscope
[2]Energy dispersive X-ray spectroscopy

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]

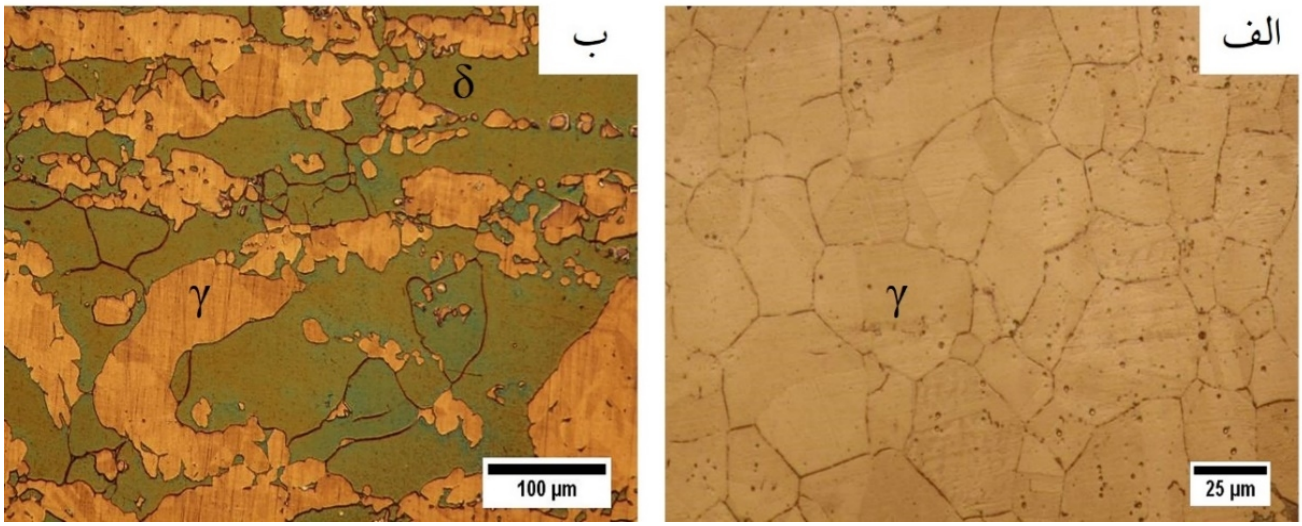


شکل2-شماتیک نگه دارنده تست برش.

در شکل 3 (ب) تصویر میکروسکوپ نوری ریز ساختار فولاد زنگ نزن دو فازی UNS S32750 آورده شده است. ساختار متشکل از دو فاز فریت وآستنیت بامقدار 48 درصد حجمی فریت بود. فاز قهوه ای آستنیت و فاز سبز رنگ فریت است.

شکل(4) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی اتصال انجام شده در دمای 1050 درجه سانتی گراد و زمان 45 دقیقه را نشان داده است. آنالیز مناطق مختلف اتصال که در شکل(4) مشخص شده، در جدول 2 آورده شده است،با توجه به شکل(4) و جدول(2)، ناحیه اتصال به دو ناحیه مجزا تقسیم شده است:

الف- منطقه ی انجماد همدما (ISZ) که متشکل از فاز پرویوتکتیک محلول جامد نیکل γبود (ناحیه ی A). نیروی محرکه ی انجماد همدما بوجود بوجود آمدن یک تغییر ترکیب شیمیایی در دمای ثابت به خاطر نفوذ عناصر آلیاژی بین لایه ی میانی و فلز پایه بود[16].در واقع بعد از ذوب شدن لایه ی میانی مقداری از آلیاژهای پایه در لایه مذاب حل شد. افزایش غلظت عناصر فلزپایه در مذاب (Cr، Feو Mo) و نفوذ عنصر کاهنده نقطه ذوب (B) به فلزات پایه،باعث افزایش دمای لیکوییدوس مذاب شد. بنابراین مذاب از فصل مشترک لایه میانی/فلزپایه به صورت همدما منجمد شد. جهت حرکت این جبهه انجماد به سمت مرکز لایه میانی بود،با مقایسه ترکیب شیمیایی اولیه لایه میانی (جدول 1) و لایه میانی بعد از اتصال (جدول 2)افزایش مقدار عناصری مانندآهن، کرم و به خصوص مولیبدن، در ناحیه ی انجماد همدما، دلیل واضحی بر ذوب شدن فلزپایه در فصل مشترک فلزپایه-لایه ی میانی بود،نکته دیگر این بود که آنالیز EDS (شکل4-ب) در راستای سطح مقطع اتصال نشان داد که مقدار سیلیسیم در ناحیه اتصال بسیار زیاد تر از نواحی اطراف است. این نکته با در نظر گرفتن

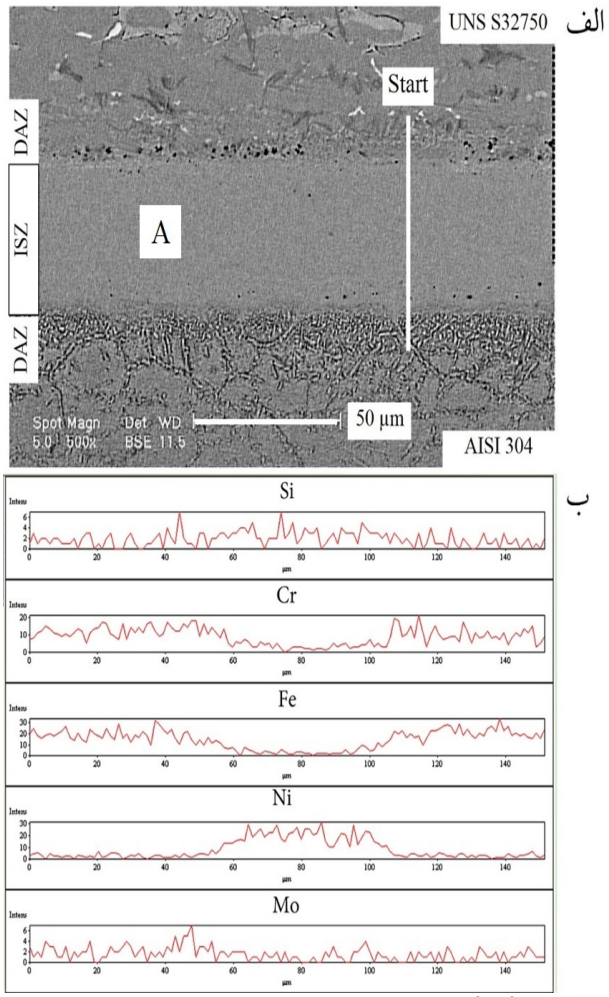


شکل3- ریز ساختار میکروسکوپ نوری

الف)فولاد زنگ نزن آستنیتی و ب).فولاد زنگ نزن دو فازی (مناطق قهوه ای آستنیت و مناطق سبز فریت هستند.)

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]

ضریب نفوذ سیلیسیم در نیکل و ضریب نفوذ بور در نیکل (به ترتیب $3/09\times10^{-14}$ و $6/22\times10^{-11}$ مترمربع بر ثانیه[17]) توجیه پذیر بود. در واقع حین اتصال دهی عنصر سیلیسیم به علت نفوذ کم در مرکز اتصال متمرکز شد و بنابراین عنصر اصلی نفوذ کننده بور بود.



شکل 4- (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی اتصال انجام شده در دمای 1050 درجه سانتی‌گراد به مدت 45 دقیقه و (ب) آنالیز EDS از خط مشخص شده در قسمت الف.

(ب) مناطق متاثر از نفوذ(DAZ)[1](شکل 5) که شامل رسوبات غنی از بور بود. علت بوجود آمدن این ناحیه، نفوذ بور به فصل مشترک فلز پایه-لایه‌ی میانی و تشکیل یک منطقه‌ی فوق اشباع از بور در این ناحیه بود. حضور همزمان بور و بورایدزاهای قوی مانند کروم، آهن، نیکل و مولیبدن باعث تشکیل بورایدهای این عناصر شد.آنالیز EDS (جدول 3) از ناحیه متاثر از نفوذ فولاد زنگ نزن آستنیتی (شکل 5 -الف) وجود بورایدها و کربوبورایدهای آهن و کروم در این ناحیه را پیشنهاد کرد. کاهش حلالیت کربن در اثر ورود بور به ساختار آهن [18]، موجب خارج شدن کربن از ساختار آهن شد که این کربن با عناصر آهن و کروم تشکیل کربوبوراید داد. با توجه به آنالیز EDS(جدول 3)از ناحیه متاثر از نفوذ فولاد زنگ نزن دوفازی (شکل 5 (ب))، علاوه بر وجود بورایدهای کروم، نیکل، آهن و مولیبدن، در این ناحیه نیترید بور نیز تشکیل شد. تشکیل شدن نیترید بور در این ناحیه به حضور نیتروژن در فولاد زنگ نزن دوفازی و پایدارتر بودن آن نسبت به سایر بورایدها و نیتریدها [19]نسبت داده شد. این مشاهدات و نتایج در سایر پژوهش‌های مشابه گزارش شده است [18-20].

3-2- خواص مکانیکی اتصال

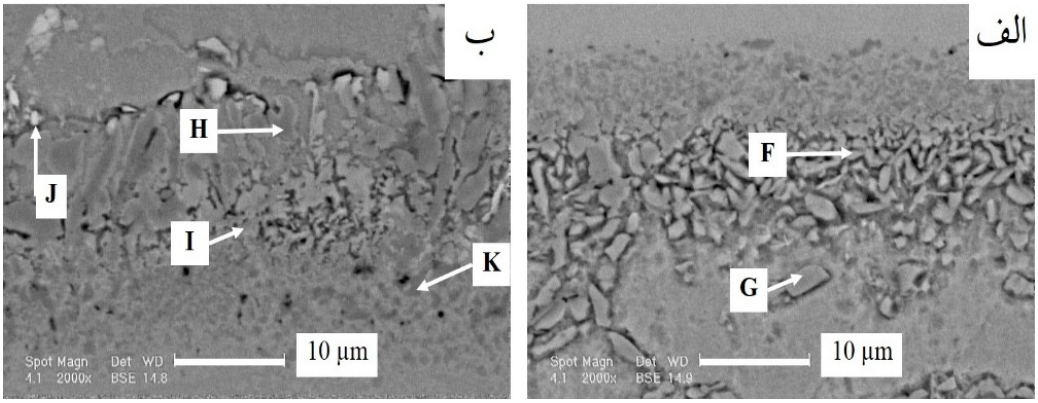
شکل 6 استحکام برشی نمونه‌ی متصل شده در دمای 1050 درجه سانتی‌گراد به مدت 45 دقیقه را در مقایسه با استحکام برشی اسمیفلزات پایه نشان داده است. استحکام برشی در نمونه‌ی متصل شده به مدت 45 دقیقه و دارای انجماد همدمای کامل حدود 0/7 استحکام برشی فولاد زنگ نزن دوفازی و 1/1 برابر استحکام برشی فولاد زنگ نزن آستنیتی بود.عدم وجود ترکیبات ترد یوتکتیک، که مانند نقاط تمرکز تنش عمل می‌کنندو کامل شدن انجماد همدما باعث استحکام بالای اتصال شده است.شکل(7) تصویر میکروسکوپ الکترونی از محل شکست اتصال انجام شده به مدت 45 دقیقه را نشان داده است.

جدول2- ترکیب شیمیایی ناحیه‌ی مشخص شده در شکل 4.

منطقه	عنصر (درصد وزنی)							فاز/منطقه پیشنهادی
	B	Ni	Cr	Si	Fe	Mo	C	
A	۳/۴۴	۶۷/۱۹	۱۱/۱۹	۳/۳۲	۱۳/۲۵	۱/۶۱	–	محلول جامد γ-Ni (ISZ)

[1]Diffusion affected zone

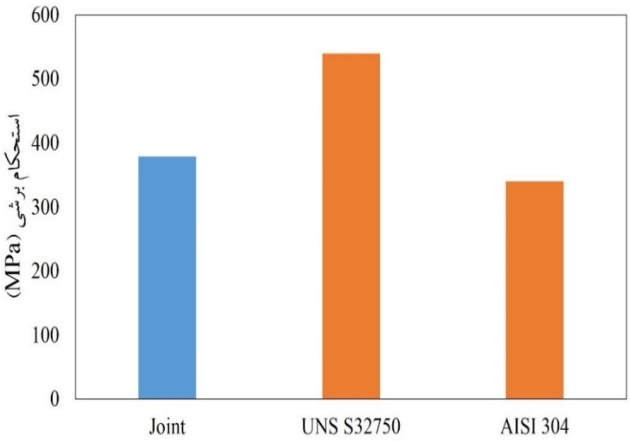
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]



شکل5- تصویر میکروسکوپ الکترونی از مناطق متاثر از نفوذ الف) فولاد زنگ نزن آستنیتی و ب) فولاد زنگ نزن دوفازی.

جدول3-ترکیب شیمیایی مناطق مشخص شده در شکل 5.

منطقه	عنصر (درصد وزنی)								فاز پیشنهادی
	B	Ni	Cr	Si	Fe	Mo	C	N	
F	۲۸/۲۱	۰/۵۸	۲۰/۰۲	۰/۱۰	۲۲/۰۶	۱/۲۳	۲۳/۴۸	۴/۳۲	کربو-بوراید غنی از آهن و کروم
G	۲۰/۲۱	۴/۰۶	۲۴/۰۲	۰/۰۱	۳۰/۰۶	۱/۲۳	۲۰/۴۱	–	کربو-بوراید غنی از آهن و کروم
H	۴۱/۸۳	۲۴/۶۳	۸/۱۴	۰/۹۹	۲۱/۴۷	۲/۹۴	–	–	بوراید غنی از آهن و نیکل
I	۳۶/۵۶	۰/۸۴	۳۳/۱۲	۰/۴۴	۲۵/۲۱	۳/۸۳	–	–	بوراید غنی از آهن و کروم
J	۴۴/۳۸	۳/۴۹	۱۴/۳۶	۱/۲۷	۹/۹۴	۲۶/۵۶	–	–	بوراید غنی از کروم و مولیبدن
K	۳۰/۳۶	۱/۲۷	۲۰/۳۴	۱/۰۴	۲۴/۰۹	۱/۲۶	–	۲۱/۶۴	نیترید بور

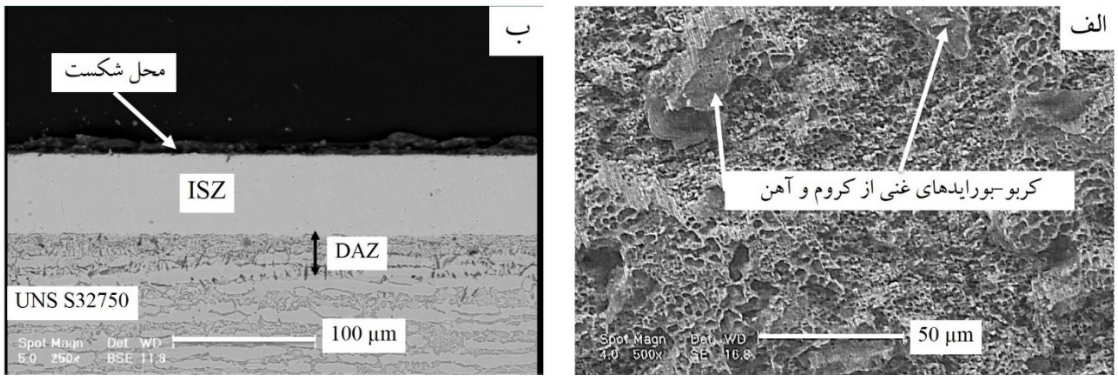


شکل6- استحکام برشی نمونه ی متصل شده در دمای 1050 درجه سانتیگراد به مدت 45 دقیقه درمقایسه با استحکام فلزهای پایه.

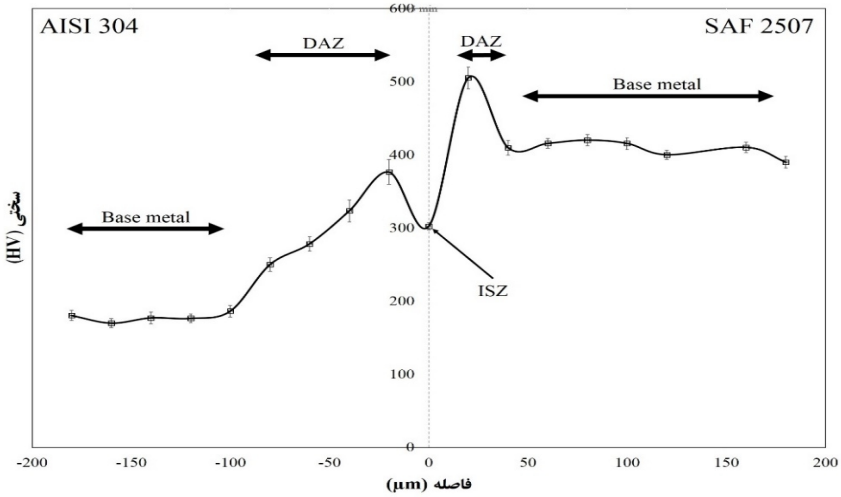
با توجه به شکل(7-الف) سطح شکست نمونه متصل شده به مدت 45 دقیقه کاملا نرم بود. دلیل این امر کامل شدن انجماد همدما در این نمونه بود. در این سطح شکست رسوباتی مشاهده شد که با بررسی سطح مقطع شکست (شکل 7-ب)، محل شکسته شدن قطعه ناحیه‌ی متاثر از نفوذ فولاد 304 تشخیص داده شد. با توجه به آنالیز EDS منطقه متاثر از نفوذ فولاد 304 (جدول2)، این رسوبات بورایدهای غنی از آهن و کروم تشخیص داده شد.

به منظور بررسی دقیق‌تر خواص موضع اتصال، تغییرات سختی در این منطقه بررسی شد. نتایج حاصل از این آزمون در شکل8 ارایه شده است. با توجه به شکل(8)، مقدار سختی از ناحیه آلیاژهای پایه به سمت منطقه اتصال افزایش یافت و سپس در منطقه مرکزی اتصال کاهش پیدا کرد. دلیل سختی پایین ناحیه مرکزی اتصال کامل شدن انجماد همدما در این نمونه بود. افزایش مقدار سختی در مناطق متاثر از نفوذ نمونه‌ها به وجود فازهای سخت بین‌فلزی (بوراید عناصری مانند آهن، کروم و مولیبدن) در این مناطق نسبت داده شد. هم‌چنین مقدار سختی منطقه‌ی متاثر از نفوذ فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی بیشتر از مقدار میانگین سختی در ناحیه‌ی متاثر از نفوذ فولاد زنگ نزن آستنیتی بود. دلیل این امر نیز به تفاوت ترکیب شیمیایی و

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]



شکل 7- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از (الف) سطح شکست نمونه‌های متصل شده در دمای 1050 درجه سانتی‌گراد به مدت 45 دقیقه و (ب) سطح مقطع نمونه شکسته شده.



شکل8-تغییرات سختی در نمونه متصل شده در دمای 1050 درجه سانتی‌گراد به مدت 45 دقیقه.

مورفولوژی رسوبات سخت این دو ناحیه نسبت داده شد.

4- نتیجه گیری

اتصال فاز مایع گذرای فولاد زنگ نزن دوفازی UNS S32750و فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI 304 در دمای 1050 درجه سانتی گراد و زمان 45 دقیقه با موفقیت انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش عبارتند از:

1- هیچ گونه ترکیب یوتکتیکی در ناحیه ی اتصال مشاهده نشد.

2- انجماد همدما در دمای 1050 درجه سانتی گراد در زمان 45 دقیقه کامل شد.

3- استحکام برشی نمونه ی متصل شده حدود 0/7 برابر استحکام برشی فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی بود.

4- نمونه ی متصل شده در زمان 45 دقیقه دارای شکست نرم بود.

منابع

1- Lippold, J.C., Kotecki, D.J., Welding metallurgy and weldability of stainless steels, John Wiley, New Jersey, 2005.

2-Bhattacharya, A., Kumar, R., "Dissimilar joining between austenitic and duplex stainless steel in double-shielded gmaw: a comparative study",Materials and Manufacturing Processes, Vol. 31, NO. 3, pp. 300-310, 2016.

3-Badji, R., Bouabdallah, B., Bacroix, B., Kahloun, C., Belkessa, B., Maza, H.,"Phase transformation and mechanical behavior in annealed 2205 duplex stainless steel welds", Materials Characterization, Vol. 59,447-453, 2008.

4-Muthupandi, V., Srinivasan, P.B., Seshadri, S., Sundaresan, S.,"Effect of weld metal chemistry and heat input on the structure and properties of duplex stainless steel welds", Materials Science and Engineering: A, Vol. 358,9-16, 2003.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]

5-Centeno, D.M.A., Carvalho, Jr, C., Brandi, S.D., "Brazing of UNS S32101 and UNS S32304 lean duplex stainless steels andUNS S32750 super duplex with AWS A5.3 BNi-7 (Ni–Cr–P) filler metal", Welding International, Vol. 29, NO. 12, pp. 937-945, 2015.
6- Gunn, R.N., Duplex stainless steels: microstructure, properties and applications, Woodhead Publishing, 1997.
7-Kumar, S.S., Murugan, N., Ramachandran, K., "Influence of tool material on mechanical and microstructural properties of friction stir welded 316L austenitic stainless steel butt joints", International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 58, pp. 196-205, 2016.
8-Eghlimi, A., Shamanian, M., Eskandarian, M., Zabolian, A., Szpunar, J.A., "Characterization of microstructure and texture across dissimilar super duplex/austenitic stainless steel weldment joint by austenitic filler metal", Materials Characterization, Vol. 106, pp. 208-217, 2015.
9-Ramkumar, K.D., Singh, A., Raghuvanshi, S., Bajpai, A., Solanki, T., 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.
10-Rahmani, M., Eghlimi, A., Shamanian, M., "Evaluation of microstructure and mechanical properties in dissimilar austenitic/super duplex stainless steel joint", Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 23, NO. 10, pp. 3745-3753, 2014.
11-Vigraman, T., Narayanasamy, R., Ravindran, D., "Microstructure and mechanical property evaluation of diffusion-bonded joints made between SAE 2205 steel and AISI 1035 steel", Materials & Design, Vol. 35, pp. 156-169, 2012.
12-Cook III, G.O., Sorensen, C.D., "Overview of transient liquid phase and partial transient liquid phase bonding", Journal of materials science, Vol. 46, NO. 16, pp. 5305-5323, 2011.
13-Yuan, X., Kim, M.B., Kang, C.Y., "Characterization of transient-liquid-phase-bonded joints in a duplex stainless steel with a Ni–Cr–B insert alloy", Materials Characterization, Vol. 60, NO. 11, pp. 1289-1297, 2009.
14-Atabaki, M.M., Wati, N.J., Jamaliah, I., "Transient liquid phase diffusion bonding of stainless steel 304", Metallurgical and Materials Engineering, Vol. 18, NO. 3, pp. 177-186, 2012.
15-Khan, T., Kabir, M., Bulpett, R., "Effect of transient liquid-phase bonding variables on the properties of a micro-duplex stainless steel", Materials Science and Engineering: A, Vol. 372, NO. 1, pp. 290-295, 2004.
16-Yuan, X., Kim, M.B., Kang, C.Y., "Characterization of transient-liquid-phase-bonded joints in a duplex stainless steel with a Ni–Cr–B insert alloy", Materials Characterization, Vol. 60, NO. 11, pp. 1289-1297, 2009.
17- Pouranvari, M., Ekrami, A., Kokabi, A., "Solidification and solid state phenomena during TLP bonding of IN718 superalloy using Ni–Si–B ternary filler alloy", Journal ofalloys and compounds, Vol. 563, pp. 143-149, 2013.
18-Yuan, X., Kang, C.Y., "Microstructural characteristics in vacuum TLP (Transient Liquid Phase) bonds using a novel iron-based interlayer based on duplex stainless steel base metal alloyed with a melting-point depressant", Vacuum, Vol. 99, pp. 12-16, 2014.
19- Rhee, B., Roh, S., Kim, D., "Transient liquid phase bonding of nitrogen containing duplex stainless steel UNS S31803 using Ni-Cr-Fe-Si-B insert metal", Materials Transactions, Vol. 44, NO. 5, pp. 1014-1023, 2003.
20- Arafin, M., Medraj, M., Turner, D., Bocher, P., "Effect of alloying elements on the isothermal solidification during TLP bonding of SS 410 and SS 321 using a BNi-2 interlayer", Materials Chemistry and Physics, Vol. 106, NO. 1, pp. 109-119, 2007.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]