

## بررسی ریزساختار، خواص مکانیکی و مقاومت به خوردگی اتصال بین فولاد کم آلیاژ X70 و فولاد زنگ‌نزن ۲۳۰۴ با جوشکاری قوس الکتریکی تنگستن - گاز

محمد ساندانی  
 مهدی قبیتهی حسب\*  
 علی حیدری مقدم

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مواد و متالورژی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران  
 استادیار، مرکز تحقیقات مواد و انرژی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران  
 استادیار، مرکز تحقیقات مواد و انرژی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

### چکیده

در این تحقیق، فولاد کم آلیاژ X70 با فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی تنگستن - گاز (GTAW) به فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۳۰۴ با استفاده از فلز پرکننده ER316L، متصل گردید. هر یک از پارامترهای جریان زمینه، جریان بیشینه، فرکانس و درصد زمان روشن بودن پالس در سه سطح تغییر داده شدند. ریزساختار، خواص مکانیکی (کشش، ضربه، سختی)، سطوح شکست و مقاومت به خوردگی فلز جوش نمونه‌های مختلف بررسی گردیدند. بر اساس مشاهدات میکروسکوپ نوری ریزساختار فلز جوش شامل فاز غالب آستنیت به همراه فریت اسکلتی می‌باشد. اگر چه در تست کشش به دلیل گسیخته شدن نمونه‌ها از سمت فولاد زنگ‌نزن ۲۳۰۴ خواص کششی نمونه‌ها نزدیک به هم هستند لیکن افزایش جریان زمینه، کاهش جریان بیشینه، افزایش فرکانس و کاهش درصد زمان روشن بودن پالس، سختی و چقرمگی اتصال را افزایش می‌دهد. مشاهدات میکروسکوپ الکترونی روشی سطح شکست فلز جوش نشان داد که شکست از نوع مختلط (نرم/ترد) است. جوشکاری با جریان پالسی در مقایسه با جریان مستقیم، مقاومت فلز جوش در برابر خوردگی را بهبود می‌بخشد. **واژه‌های کلیدی:** جوشکاری قوس الکتریکی تنگستن - گاز، فولاد زنگ‌نزن، فولاد کم آلیاژ، ریزساختار، خواص مکانیکی، مقاومت به خوردگی.

## Investigation of microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of the joint between X70 low alloy steel and 2304 stainless steel by tungsten-gas arc welding

M. Sandani  
 M. Ghoheiti-Hasab  
 A. Heidary-Moghadam

Department of Materials and Metallurgy Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran  
 Materials and Energy Research Center, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran  
 Materials and Energy Research Center, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

### Abstract

In this study, X70 low-alloy steel was jointed to the 2304 duplex stainless steel by tungsten-gas arc welding (GTAW) process and using ER316L filler metal. Each of the parameters of background current, maximum current, frequency and percentage of pulse on time were changed in three levels. Microstructure, mechanical properties (tensile, impact, hardness), fracture surfaces and corrosion resistance of weld metal for different samples were investigated. Based on the optical microscope observations the weld metal microstructure includes the predominant phase of austenite along with skeletal ferrite. Although in the tensile test due to the rupture of the samples from the 2304 stainless steel side the tensile properties of the samples are similar to each other, but the increase of background current, decrease of maximum current, increase of frequency and decrease of percentage of pulse on time increases the hardness and toughness of the joint. The scanning electron microscope observations of the weld metal fracture surface showed that the fracture mode is mixed (soft/brittle). The pulsed welding improves the corrosion resistance of the weld metal in comparison with the direct current.

**Keywords:** GTAW, Stainless steel, Low alloy steel, Microstructure, Mechanical properties, Corrosion resistance.

مقطع جوش از سمت فولاد زنگ نزن به سمت سوپر آلیاژ افزایش می‌یابد که ناشی از غیریکنواختی ترکیب شیمیایی فلز جوش است.

پور علی اکبر و همکارانش [۶]، صفحات فولاد CK45 و فولاد زنگ نزن ۳۰۴ را با جوشکاری قوس تنگستن گاز به یکدیگر متصل کردند. آن‌ها در یک نمونه سطح فولاد CK45 را با لایه ای به ضخامت ۴ میلی متر توسط سیم ERNi-1 روکش دادند و برای جوش از سیم ER308L استفاده کردند. در نمونه دیگر فرایند روکش دادن فولاد CK45 را انجام ندادند. نتایج نشان داد که چقرمگی شکست فلز جوش در حالتی که فولاد CK45 روکش داده شده، بالاتر است.

راتود و همکارانش [۷] در تحقیقی اتصال دو فلز غیر مشابه فولاد زنگ نزن فریتی و فولاد زنگ نزن آستنیتی را با روش جوشکاری قوس

### ۱- مقدمه

اتصال فولادهای غیرمشابه در تجهیزات نیروگاهی، هسته ای، شیمیایی و دفاعی حائز اهمیت است [۱،۲]. قوس تنگستن تحت پوشش گاز محافظ، یکی از مهم‌ترین روش‌های جوشکاری برای اتصال صفحات فلزی غیرمشابه است [۳]. غیریکنواختی ترکیب شیمیایی و مهاجرت عناصر آلیاژی به خصوص کربن در محل اتصال بر خواص مکانیکی اتصال تاثیر منفی دارد. برای کاهش نفوذ کربن، لایه سطحی از جنس آلیاژ آهن - نیکل بین دو فلز مورد اتصال ایجاد می‌کنند [۴]. شارما و همکارانش [۵] اتصال صفحات سوپر آلیاژ هستلوی C-276 و فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۲۱ را با جوشکاری قوس تنگستن گاز انجام دادند. نتایج سختی سنجی ویکرز نشان داد که سختی سطح

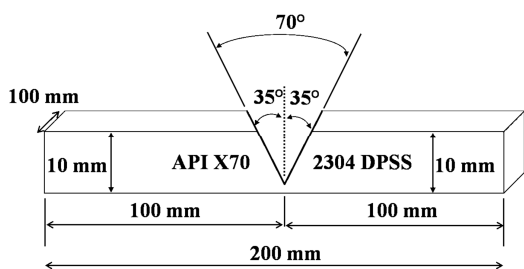
\* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: ghobeiti@iaud.ac.ir

تاریخ دریافت: ۰۰/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۲/۱۹

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فلزات پایه و پرکننده (درصد وزنی)

ماده				عنصر
ER 316L	Inconel 82	X70 steel	2304 steel	
۰٫۰۲	۰٫۱۰	۰٫۱۳	۰٫۰۲	C
۱۹٫۵۸	۱۹٫۶۲	۰٫۴۴	۲۲٫۴۰	Cr
۱۲٫۷۷	باقی مانده	-	۳٫۵۲	Ni
۱٫۹۸	۲٫۸۴	۱٫۶۸	۱٫۹۱	Mn
۲٫۶۳	۱٫۹۴	-	۰٫۲۱	Mo
۰٫۳۸	۰٫۴۱	-	۰٫۲۸	Cu
۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	S
۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۳	P
-	۰٫۴۸	۰٫۰۶	-	Ti
-	-	۰٫۰۱	-	V
-	۱٫۸۸	۰٫۰۵	-	Nb
باقی مانده	۲٫۹۶	باقی مانده	باقی مانده	Fe



شکل ۱- طرح حواره اتصال مورد استفاده در این تحقیق

### ۳-۲- جوشکاری نمونه ها

پس از آماده سازی طرح اتصال، در ناحیه یخ خورده فولاد کم آلیاژ جوشکاری به ضخامت حدود ۴ میلی متر از سوپر آلیاژ اینکونل ۸۲ با جوشکاری قوس الکتریکی تنگستن - گاز (۱۰۰ آمپر، ۱۲ ولت، ۴ پاس) قرار داده شد. جوشکاری نمونه ها بوسیله یک دستگاه اینورت جوش آرگون مدل Mini TIG 202 ساخت شرکت گام الکتریک ایران انجام شد. نمونه‌ها در کنار هم جفت و برای محافظت از ریشه جوش، یک صفحه (پشت بند) به ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ میلی‌متر به ضخامت ۱۰ میلی‌متر از جنس فولاد ساده کربنی St۳۷ و دارای یک شیار سرتاسری به عرض ۱۲ میلی‌متر استفاده شد تا جریان گاز محافظ آرگون را به ریشه جوش برساند. برای جوشکاری از الکتروود تنگستن حاوی ۲ درصد توریوم به قطر ۲٫۴ میلی متر و گاز آرگون به منظور محافظت از حوضچه جوش با خلوص ۹۹٫۹۹ درصد و دبی ۱۵ لیتر در دقیقه استفاده شد. جوشکاری نمونه‌ها توسط هر دو فرآیند معمولی و پالسی با قطبیت منفی و با استفاده از فلز پرکننده ER316L، در ۵ پاس انجام گردید. به منظور بررسی تأثیر پارامترهای جوشکاری پالسی، یک نمونه شاهد با جریان مستقیم (۱۴۰ آمپر و ۱۲ ولت) جوشکاری شد. پارامترهای جوشکاری پالسی در سه سطح مختلف تغییر داده شدند: جریان زمینه (۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ آمپر)، جریان پیشینه (۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ آمپر)، فرکانس (۵، ۱۰ و ۱۵ هرتز) و درصد زمان روشن بودن پالس (۳۵، ۵۰ و ۶۵ درصد). جدول ۲ مقادیر پارامترهای جوشکاری را برای نمونه های مختلف نشان می دهد.

تنگستن - گاز جهت کاربرد در نیروگاه هسته ای بررسی کردند. آن ها قبل از اتصال ابتدا بر روی فولاد فریتی لایه ای از آلیاژ اینکونل ۸۲ جوش دادند.

تی سنگ و چو [۸] اثر پارامترهای جوشکاری قوس تنگستن گاز با جریان پالسی را نسبت به جریان ثابت در اتصال دو فولاد زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۰ بررسی کردند. نتایج نشان داد که در جوشکاری پالسی به دلیل کاهش مقدار حرارت ورودی، منطقه تنش پسماند کششی کوچکتر است.

زارعی و شمعانیان [۹] در تحقیقی نشان دادند که استفاده از روش جوشکاری قوس تنگستن-گاز پالسی برای جوش فولاد زنگ نزن ۳۱۶ منجر به ایجاد فلز جوشی با ساختار دانه ریزتر شده و در نتیجه سختی را افزایش می دهد.

شجاعتی و بیدختی [۱۰] اتصال فولادهای ۳۰۴ به ۴۰۹ را با روش جوشکاری قوس تنگستن-گاز و استفاده از فلزات پرکننده مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد که فلز جوش ER 316L بهترین خواص مکانیکی را ارائه می دهد.

در این تحقیق، فولاد کم آلیاژ XY۰ به فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۳۰۴ به روش جوشکاری قوس الکتریکی تنگستن - گاز با ایجاد روکشی از اینکونل ۸۲ بر سطح فولاد XY۰ و استفاده از فلز جوش ER316L انجام و ریزساختار، خواص مکانیکی (کشش، ضربه، سختی) و مقاومت به خوردگی فلز جوش بررسی شده است.

## ۲- مواد و روش انجام آزمایش

### ۲-۱- مواد اولیه

در این پژوهش از ورق‌هایی به ضخامت ۱۰ میلی‌متر از جنس فولاد زنگ‌نزن دوفازی فریتی-آستنیتی UNS-S32304 و فولاد کم آلیاژ (میکروآلیاژی) API5L-X70 به عنوان فلزات پایه استفاده گردید. ترکیب شیمیایی فلزات پایه با استفاده از آنالیز کوانتومتری در جدول ۱ گزارش داده شده است. برای اعمال لایه حائل از اینکونل ۸۲ برای انجام جوشکاری از فلز جوش ER316L، با قطر ۲٫۴ میلی متر استفاده گردید. همان طور که در بخش مقدمه در مراجع ۴ تا ۷ اشاره شد علت استفاده از روکش اینکونل ۸۲ بر سطح فولاد کم آلیاژ، کاهش نفوذ کربن و جلوگیری از غیر یکنواختی در ترکیب شیمیایی و افت خواص مکانیکی فلز جوش می باشد. ترکیب شیمیایی فلز روکش و فلز جوش نیز در جدول ۱ آورده شده است.

### ۲-۲- آماده سازی طرح اتصال

از ورق های فولاد زنگ نزن و فولاد کم آلیاژ نمونه‌هایی به ابعاد ۱۰۰ × ۱۰۰ میلی متر جدا و طرح اتصالی به صورت جناقی یک طرفه با زاویه شیار ۳۵ درجه در هر نمونه (مجموعاً ۷۰ درجه) ایجاد شد. شکل ۱ طرحواره اتصال را نشان می دهد. پس از آماده سازی طرح اتصال، به منظور حذف هرگونه لایه اکسیدی و آلودگی سطحی، محل اتصال با برس سیمی و با استون چربی زدایی و سپس خشک شد.

شکل ۲ تصاویری از قطعات جوش داده شده، نمونه تست کشش، نمونه تست ضربه، نمونه متالوگرافی و نمونه تست خوردگی را نشان می دهد.



(الف)



(ب)



(ج)



(د)



(ه)

شکل ۲- (الف) قطعات جوش داده شده، (ب) نمونه تست کشش، (ج) نمونه تست ضربه، (د) نمونه متالوگرافی و (ه) نمونه تست خوردگی

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی های ریزساختاری

با استفاده از میکروسکوپ نوری، تصاویر متعددی از ریزساختار سطح مقطع نواحی مختلف نمونه ها تهیه گردید که چهار تصویر انتخاب و در شکل ۳ آرایه شده است. در شکل ۳ (الف) ریزساختار فلز پایه فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۳۰۴ نشان داده شده است. ریزساختار این فولاد متشکل از دانه‌های کشیده شده آستنیت به همراه دانه های فریت می باشد (با نسبت تقریباً مساوی آستنیت و فریت). این دانه های کشیده شده حاصل از فرایند نورد هستند.

#### جدول ۲- پارامترهای جوشکاری پالسی مورد استفاده در این تحقیق

شماره نمونه	جریان زمینه (A)	جریان پیشینه (A)	فرکانس (Hz)	زمان روشنایی پالسی (%)
۱	۸۰	۲۰۰	۱۰	۵۰
۲	۱۰۰	۱۸۰	۱۰	۵۰
۳	۱۲۰	۱۶۰	۱۰	۵۰
۴	۱۲۰	۱۶۰	۵	۵۰
۵	۱۲۰	۱۶۰	۱۵	۵۰
۶	۱۲۰	۱۶۰	۱۰	۳۵
۷	۱۲۰	۱۶۰	۱۰	۶۵
۸	جریان مستقیم			

#### ۲-۴- متالوگرافی نمونه ها

از سطح مقطع (ضخامت) هر نمونه جوشکاری شده، نمونه هایی به ابعاد  $۱۰ \times ۱۰ \times ۵۰$  میلی متر که شامل مناطق جوش، متأثر از گرما و فلز پایه می باشد به وسیله دستگاه وایرکات به همراه آب و صابون برش داده شدند. به منظور صیقل کاری نمونه ها از سنباده های شماره ۶۰ تا ۱۵۰۰ استفاده شد و با استفاده از محلول آلومینا با اندازه ذرات  $۰.۲$  میکرون صیقل نهایی انجام گرفت. سپس الکترو اچ نمونه های پولیش شده در محلول اسید آگزالیک ۱۰ درصد با اختلاف پتانسیل ۶ ولت و مدت زمان ۶۰ ثانیه انجام شد. ریزساختار سطح مقطع نواحی مختلف نمونه های جوش داده شده به وسیله میکروسکوپ نوری Optika مدل B-600 بررسی گردید.

#### ۲-۵- تست های خواص مکانیکی

جهت انجام تست کشش از دستگاه یونیورسال مدل Multi Test-X با سرعت ۱ میلی متر بر دقیقه در دمای محیط استفاده گردید. به منظور بررسی تغییرات سختی فلزات پایه و جوش، از دستگاه تست ریزسختی سنجی ویکرز ساخت شرکت Bowers Instrument مدل CV400DAT تحت بار اعمالی ۱۰۰ گرم و زمان بارگذاری ۱۰ ثانیه استفاده شد. مقادیر سختی در یک راستا به فاصله ۱۰۰ میکرومتر از یکدیگر اندازه گیری شد. تست ضربه چارپی توسط دستگاه ساخت شرکت SANTAM مدل SIT-200B با ظرفیت ۴۰۰ ژول در دمای محیط انجام شد. برای بررسی سطوح شکست از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل VEGA استفاده گردید.

#### ۲-۶- تست خوردگی

رفتار خوردگی نمونه ها با آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک توسط دستگاه پتانسیواستات EG&G مدل PARSTAT 2273 مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمون از الکتروود مرجع نقره/کلرید نقره (Ag/AgCl) و از الکتروود شمارنده پلاتینی و محدوده پتانسیل ۵۰۰- تا +۵۰۰ میلی ولت استفاده گردید. برای انجام این آزمون، نمونه برش داده شده با ابعاد  $۱۰ \times ۱۰ \times ۳۰$  میلی متر پس از صیقل کاری، توسط استون به مدت ۳-۱ دقیقه چربی زدایی شد. سپس سطحی به ابعاد  $۱۰ \times ۱۰$  میلی متر از ناحیه مورد نظر مجزا و مابقی نواحی عایق پوشی و نمونه در معرض محلول خورنده (اسید سولفوریک ۱ مولار) قرار گرفت.

فریت دلتای اسکلتی مانند است. با این ریزساختار، چقرمگی به میزان قابل توجهی افزایش می یابد. در شکل ۳ (د)، ریزساختار فلز جوش در حالت جوشکاری پالسی (نمونه شماره ۱) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود جوشکاری پالسی باعث ریزتر شدن شاخه های فریت اسکلتی و توزیع یکنواخت تر آن در فلز جوش شده است. این ریزساختار، خواص مکانیکی را بهبود خواهد بخشید.

### ۳-۲- تست کشش

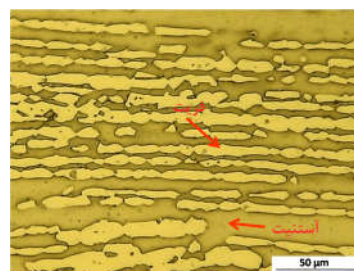
شکل ۴ (الف) تا (د) نمودار تنش-کرنش حاصل از تست کشش نمونه های جوش داده شده در شرایط مختلف را نشان می دهد. در تست کشش، همه نمونه ها در هر دو روش جوشکاری با جریان مستقیم و جریان پالسی از سمت فلز پایه فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۳۰۴ دچار شکست شدند. به عبارتی در کلیه نمونه های جوشکاری شده، استحکام فلز جوش از استحکام فلزات پایه بیشتر است و طی کشش پس از آن که میزان تنش اعمالی به حد بالاتری از استحکام کششی فلز پایه فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۳۰۴ رسید، شکست رخ می دهد، لذا خواص کششی نمونه ها تقریباً مشابه است. مقادیر استحکام کششی، استحکام تسلیم و درصد ازدیاد طول نمونه ها گزارش شده در جدول ۳ گویای این مطلب است.

جدول ۳- خواص کششی نمونه های جوش داده شده در شرایط مختلف

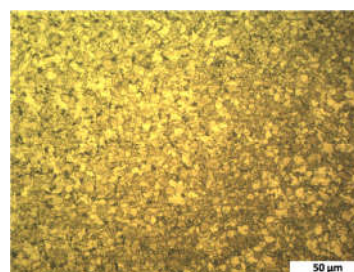
شماره نمونه	استحکام تسلیم (MPa)	استحکام کششی (MPa)	ازدیاد طول (%)
۱	۴۰۵	۶۱۳	۲۶٫۲
۲	۴۱۱	۶۰۴	۲۶٫۳
۳	۴۰۶	۶۰۷	۲۶٫۱
۴	۴۰۵	۶۰۷	۲۶٫۰
۵	۴۰۷	۶۰۶	۲۶٫۲
۶	۴۰۴	۶۱۰	۲۵٫۸
۷	۴۰۹	۶۰۷	۲۶٫۳
۸	۴۰۳	۶۰۵	۲۶٫۱

### ۳-۳- تست سختی

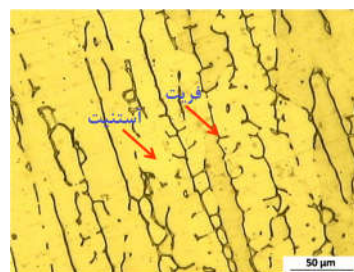
در شکل ۵ (الف) تا (د) نتایج تست سختی سطح مقطع فلز جوش تحت شرایط مختلف از سمت فلز پایه فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۳۰۴ تا فلز پایه فولاد کم آلیاژ X70 ارایه شده است. سختی فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۳۰۴ حدود ۱۲۰ ویکرز، فولاد کم آلیاژ X70 حدود ۱۸۰ ویکرز و فلز جوش ایجاد شده با جریان مستقیم حدود ۲۳۰ ویکرز است. سختی کلیه فلزات جوش در حالت جریان پالسی از حالت جریان مستقیم بالاتر است. شکل ۵ (الف) نشان می دهد که با افزایش جریان زمینه از ۸۰ به ۱۲۰ آمپر و کاهش جریان بیشینه از ۲۰۰ به ۱۶۰ آمپر سختی فلز جوش افزایش یافته است. شکل ۵ (ب) نشان می دهد که افزایش فرکانس از ۵ به ۱۵ هرتز موجب افزایش سختی فلز جوش شده است. بر اساس نتایج شکل ۵ (ج) با کاهش درصد زمان روشن بودن پالس از ۶۵ به ۳۵ درصد، سختی فلز جوش افزایش یافته است. تاثیر استفاده از جریان پالسی بر افزایش سختی فلز جوش در شکل ۵ (د) مشخص است.



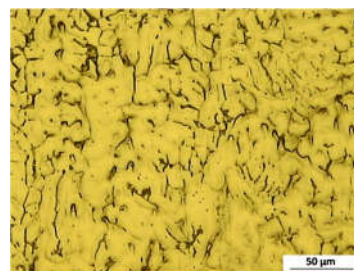
(الف)



(ب)



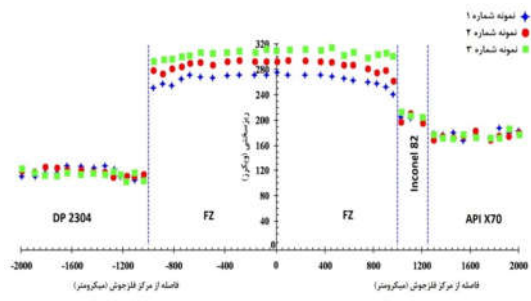
(ج)



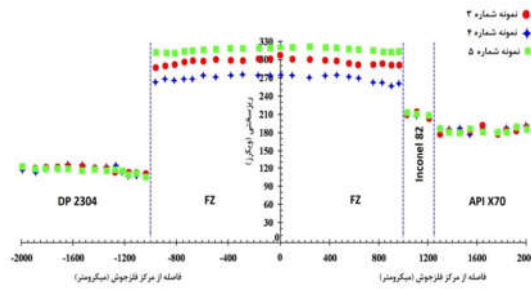
(د)

شکل ۳- تصویر ریزساختار فلزات پایه: (الف) فولاد زنگ نزن (ب) فولاد کم آلیاژ، و فلزات جوش: (ج) جریان مستقیم (د) جریان پالسی

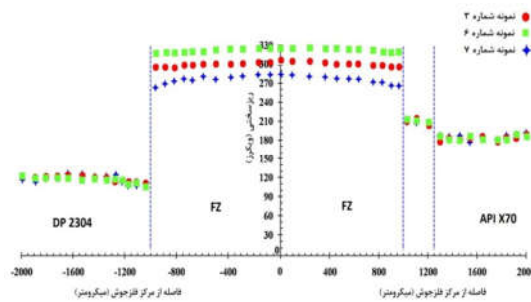
در شکل ۳ (ب) ریزساختار فلز پایه فولاد کم آلیاژ X70 نشان داده شده است. این ریزساختار دانه بندی ریز با فریت های هم محور دارد. کنترل اندازه دانه ها در این فولاد به کمک مقادیر کم عناصر آلیاژی نظیر تیتانیوم، وانادیوم، نیوبیوم و ... که با کربن یا نیتروژن ترکیب و تشکیل رسوبات ریز کاربرد و نیتريد می دهند صورت می گیرد. این رسوبات تبلور مجدد و رشد دانه های آستنیت را در ضمن نورد گرم یا عملیات حرارتی محدود کرده و بنابراین فریت حاصل از آستنیت نیز دارای دانه های بسیار ریز خواهد بود. شکل ۳ (ج) ریزساختار فلز جوش را در حالت جوشکاری با جریان مستقیم نشان می دهد. همان گونه که ملاحظه می شود ریزساختار آن شامل فاز زمینه آستنیت به همراه فاز



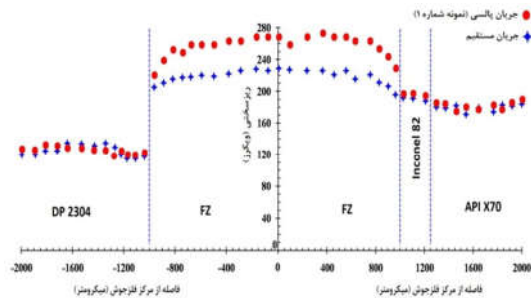
(الف)



(ب)



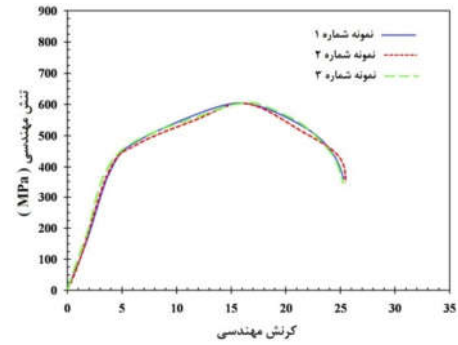
(ج)



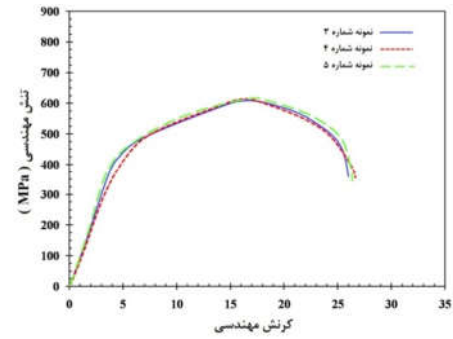
(د)

شکل ۵- پروفیل سختی نمونه های جوش داده شده در شرایط مختلف

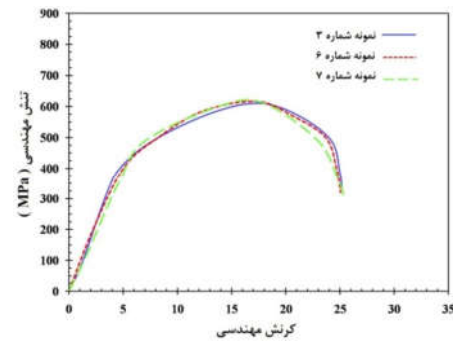
نتایج حاصل مشابه نتایج تحقیق ابو آیش و همکارانش [۱۱] می باشد که علت افزایش سختی فلز جوش در اتصال دو قطعه فولاد زنگ نزن آستنیتی در شرایط جریان پالسی با افزایش جریان زمینه، کاهش جریان بیشینه، افزایش فرکانس و کاهش درصد زمان روشن بودن پالس را ناشی از تشکیل ساختار فریت اسکلتی دانه ریزتر با توزیعی همگن تر در زمینه آستنیت بیان کرده اند.



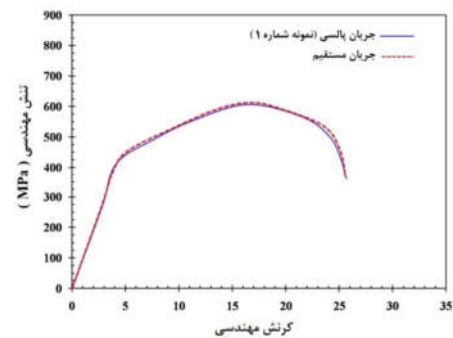
(الف)



(ب)



(ج)



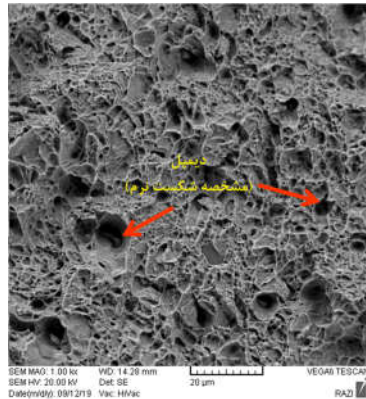
(د)

شکل ۴- نمودارهای تنش - کرنش حاصل از تست کشش نمونه های جوش داده شده در شرایط مختلف

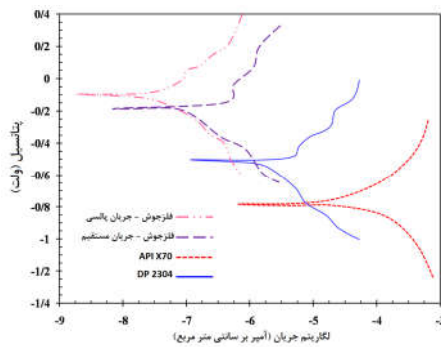


### ۳-۴- تست ضربه

در شکل ۶ نتایج تست ضربه نمونه های جوشکاری شده تحت شرایط مختلف نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می گردد استفاده از جریان پالسی نسبت به جریان مستقیم منجر به افزایش انرژی شکست اتصال می شود. در حالت جریان پالسی نیز افزایش جریان زمینه، کاهش جریان پیشینه، افزایش فرکانس و کاهش درصد زمان روشن بودن پالس منجر به افزایش انرژی شکست فلز جوش گردیده است. افزایش میزان انرژی جذب شده در حین شکست در نمونه های جوش شده با جریان پالسی ناشی از ریزتر بودن فریت اسکلتی در ریزساختار فلز جوش می باشد (به شکل ۳ ج) و (د) رجوع شود). بر اساس تحلیلی که گانتش و همکارانش [۱۲] در اتصال فولاد زنگ نزن استالیت ۲۱ به فولاد زنگ نزن ۳۱۶L توسط فرایند جوشکاری لیزر انجام داده اند، فریتهای اسکلتی ریز بعنوان سد و مانع محکمی در برابر اشاعه ترک عمل کرده و منجر به افزایش قابل توجه انرژی شکست اتصال جوشکاری می شوند. با توجه به اینکه نمونه جوش شماره ۶ (جریان پالسی، جریان زمینه ۱۲۰ آمپر، جریان پیشینه ۱۶۰ آمپر، فرکانس ۱۰ هرتز، زمان روشن بودن ۳۵ درصد) بیشترین انرژی ضربه (حدود ۲۲۰ ژول) را دارا بود، سطح شکست این نمونه مورد بررسی قرار گرفت. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی در شکل ۷، سطح شکست فلز جوش این نمونه را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود سطح شکست شامل ترکیبی از شکست ترد و نرم می باشد. حفره های ریز (دیمپل) که مشخصه شکست نرم هستند حدود ۵۰ درصد سطح شکست را در بر گرفته اند.



شکل ۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح شکست فلز جوش نمونه شماره ۶



شکل ۸- منحنیهای پلاریزاسیون فلزات پایه و فلزات جوش (در حالت جوشکاری با جریان مستقیم و جریان پالسی)

جدول ۴- مقادیر حاصل از تست پلاریزاسیون پتانسیودینامیک

پارامتر	ماده		
	فولاد ۲۳۰۴	فولاد XV۰	فلز جوش (مستقیم)
E <sub>corr</sub> (mV vs. Ag/AgCl)	-۳۰۴	-۸۰۳	-۲۰۴
I <sub>corr</sub> (μA/cm <sup>2</sup> )	۳۱۸۲	۹۰۰۱	۷۸۵

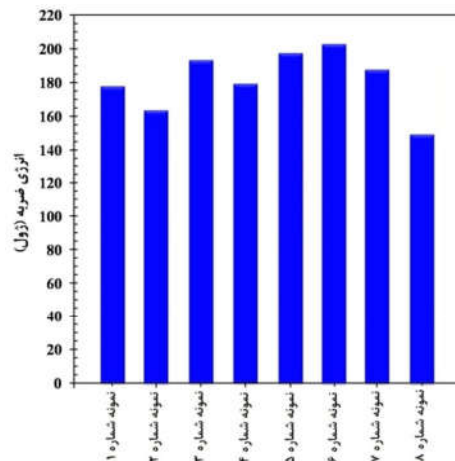
### ۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از بررسی ریزساختار، خواص مکانیکی و مقاومت به خوردگی اتصال فولاد کم آلیاژ XV۰ روکش شده با اینکونل ۸۲ به فولاد زنگ نزن ۲۳۰۴ توسط جوشکاری قوس الکتریکی تنگستن - گاز (GTAW) با استفاده از فلز پرکننده ER316L به طور خلاصه به شرح زیر می باشد:

- ۱- جوشکاری با جریان پالسی باعث ریزتر شدن شاخه های فریت اسکلتی و توزیع یکنواخت تر آن در فلز جوش می شود.
- ۲- در تست کشش، همه نمونه ها از سمت فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۳۰۴ گسسته شدند لذا نمی توان در خصوص تاثیر پارامترهای جوشکاری بر خواص کششی فلز جوش اظهار نظر کرد.
- ۳- افزایش جریان زمینه، کاهش جریان پیشینه، افزایش فرکانس و کاهش درصد زمان روشن بودن پالس منجر به افزایش ریزسختی و

### ۳-۵- تست خوردگی

منحنی پلاریزاسیون فلزات پایه و جوش در حالت جوشکاری شده با جریان مستقیم و جریان پالسی (نمونه شماره ۶)، در شکل ۸ نشان داده شده است. پارامترهای الکتروشیمیایی حاصل از این منحنی ها نیز در جدول ۴ ارائه شده است. هر چه جریان خوردگی کمتر باشد، سرعت خوردگی پایین تر است و به عبارتی مقاومت در برابر خوردگی بیشتر می باشد. از نتایج این بخش به وضوح مشاهده می شود که مقاومت به خوردگی فلز جوش با جریان پالسی از سایر نمونه ها بیشتر است.



شکل ۶- نتایج تست ضربه نمونه های جوش شده تحت شرایط مختلف

انرژی شکست اتصال می شود.

۴- سطح شکست فلز جوش مشخصه شکست مختلط (نرم/ ترد) را دارا است.

۵- جوشکاری با استفاده از جریان پالسی نسبت به جوشکاری با جریان مستقیم، مقاومت در برابر خوردگی فلز جوش را بهبود می بخشد.

## ۵- مراجع

- [1] Wang W.K., Liu Y., Zhang Q.B., Zhang L.J., Zhang J.X., Microstructure and local mechanical properties of a dissimilar metal welded joint with buttering layer in steam turbine rotor, *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 747, No. 1, pp. 244-254, 2019.
- [2] Rajkumar V., Arivazhagan N., Role of pulsed current on metallurgical and mechanical properties of dissimilar metal gas tungsten arc welding of maraging steel to low alloy steel, *Materials & Design*, Vol. 63, No. 1, pp. 69-82, 2014.
- [3] Arivazhagan N., Singh S., Prakash S., Reddy G.M., 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, No. 5, pp. 3036-3050, 2011.
- [4] Rathod D., Pandey S., Aravindan S., Singh P.K., Diffusion control and metallurgical behavior of successive buttering on SA508 steel using Ni-Fe alloy and Inconel 182, *Metallography, Microstructure, and Analysis*, Vol. 5, No. 1, pp. 450-460, 2016.
- [5] Sharma S., Taiwade R.V., Vashishtha H., Effect of pulsed current gas tungsten arc process on the dissimilar weldments between nickel-based superalloy/austenitic stainless steel, *ISIJ International*, Vol. 57, No. 6, pp. 1080-1086, 2017.
- [6] Rathod D., Aravindan S., Singh P.K., Pandey S., Metallurgical Characterization and Diffusion Studies of Successively Buttered Deposit of Ni-Fe Alloy and Inconel on SA508 Ferritic Steel, *ISIJ International*, Vol. 54, No. 8, pp. 1866-1875, 2014.
- [7] Pouraliakbar H., Hamed M., Kokabi M.H., Nazari A., Designing of CK45 carbon steel and AISI 304 stainless steel dissimilar welds, *Materials Research*, Vol. 17, No. 1, pp. 106-114, 2014.
- [8] Tseng K.H., Chou C.P., The Effect of Pulsed GTA Welding on The Residual Stress of a Stainless Weldment. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.123, No. 3, pp. 346-353, 2002.
- [9] Zareie H.R., Shamanian M., Effects of pulsed GTA Welding on Microstructure and Mechanical properties of AISI 316 Stainless Steel Welds, In *Proceedings of The IIW International Congress on Welding & Joining*, Tehran, Iran, 2009.
- [10] Shojaati M., Beidokhti B., Characterization of AISI 304/AISI 409 stainless steel joints using different filler materials, *Construction and Building Materials*, Vol.147, No. 1, pp. 608-615, 2017.
- [11] Abu-Aesh M., Taha M., El-Sabbagh A., Dorn L., Welding of fully-Austenitic stainless steel using PCGTAW process; Part I: Bead structure, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 38, No. 1, pp. 21-29, 2019.
- [12] Ganesh P., Moitra A., Tiwari P., Sathyanarayanan S., Kumar H., Rai S.K., Kaul R., Paul C.P., Prasad R.C., Kukreja L.M., Fracture behavior of laser-clad joint of Stellite 21 on AISI 316L stainless steel, *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 527, No. 16-17, pp. 3748-3756, 2010.