

# ارزیابی خواص مکانیکی جوش های غیرمشابه فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی UNS ۳۲۷۵۰ به فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI ۳۰۴L

مهدی رحمانی\*<sup>۱</sup>، مرتضی شمعیان<sup>۲</sup> و مسعود کثیری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد جوشکاری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، اصفهان، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، دانشکده مهندسی مواد دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان، ایران

\* Rahmani\_mhd@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۶/۰۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۰۶)

## چکیده

در این تحقیق خواص مکانیکی جوش های غیرمشابه فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی UNS ۳۲۷۵۰ به فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI ۳۰۴L مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور روش جوشکاری قوسی تنگستن - گاز با دو فلز پرکننده ER۲۵۱۰۴L و ER۳۰۹LMo استفاده شد. برای بدست آوردن ساختار مطلوب و خواص مکانیکی عالی در اتصال مذکور، کنترل عملیات حرارت ورودی و عملیات حرارتی پیش گرم، از جمله پارامترهای موثر و قابل کنترل است. ریزساختار فلزات جوش و بررسی سطوح شکست، با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین خواص مکانیکی شامل خمش، استحکام کششی، مقاومت در برابر ضربه، سختی و نیز شکست نگاری نمونه ها بررسی شد. در آزمون کشش تمامی نمونه ها از منطقه HAZ فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴L و به صورت نرم دچار شکست شدند. بیشترین مقدار انرژی شکست مربوط به فلز جوش ۲۵۱۰۴L بود، نمونه جوش شده با فلز پرکننده ۲۵۱۰۴L بیشترین انعطاف پذیری را از خود نشان داد. بیشترین و کمترین مقادیر سختی به ترتیب مربوط به فلز جوش ۲۵۱۰۴L و فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۹LMo بود. در نهایت، می توان نتیجه گرفت که برای اتصال غیرمشابه فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی UNS۳۲۷۵۰ به فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴L، ماده ی پرکننده ی ۲۵۱۰۴L ویژگی های بهینه ای را ارائه می دهد.

## واژه های کلیدی:

جوش های غیرمشابه، فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی، فولاد زنگ نزن آستنیتی، خواص مکانیکی

## ۱- مقدمه

بسیار عالی در محیط های بسیار خورنده است [۱-۲]. حضور مقادیر زیاد کروم و نیکل باعث افزایش مقاومت آلیاژ در بسیاری از محیط های خورنده شده است. وجود نیتروژن باعث بهبود استحکام و مقاومت به خوردگی حفره ای شده، به طوری که این آلیاژ را در زمره ی بهترین آلیاژهای مقاوم به خوردگی قرار داده

فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی UNS۳۲۷۵۰ (SAF۲۵۰۷) یکی از اعضای معروف فولادهای زنگ نزن دوفازی است. این فولاد با دارا بودن حدود ۲۵ درصد کروم، ۷ درصد نیکل، ۴ درصد مولیبدن و ۰/۳۲ درصد نیتروژن دارای مقاومت به حفره دار شدن معادل  $(PRE_N)^1$  بالاتر از ۴۰ بوده و دارای مقاومت به خوردگی

پرکننده و شرایط جوشکاری باید به گونه ای باشد که فلز جوش ایجاد شده بتواند از لحاظ خواص مکانیکی با فلزات پایه برابری کند. در این پژوهش به انتخاب بهترین ماده پرکننده از دیدگاه خواص مکانیکی پرداخته شده است.

## ۲- مواد و روش تحقیق

### ۲-۱ آماده سازی نمونه ها و طرح اتصال

در این تحقیق، از فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI ۳۰۴ L (۳۰۴۰۳) و فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی SAF ۲۵۰۷ (۳۲۷۵۰) UNS) به عنوان فلزات پایه به صورت کار شده استفاده شد. ترکیب شیمیایی فلزات پایه و فلزات پرکننده در جدول (۱) ارائه شده است. جهت اتصال فلزات پایه از دو نوع فلز پرکننده سیم جوش ER۳۰۹ LMo و سیم جوش ER۲۵۱۰۴ L مطابق با استاندارد AWS A5.9 با قطر ۲/۴ میلیمتر بهره برده شد. لوله هایی با اندازه قطر داخلی ۷۶/۲ میلی (۳ اینچ) و طول ۱۵۰ میلیمتر و ضخامت ۴ میلیمتر (۰/۱۵ اینچ) به عنوان فلزات پایه تهیه شد.

جدول (۱): ترکیب شیمیایی مواد مورد استفاده بر اساس

درصد وزنی [۷].

عناصر	فلزات پایه		فلزات پرکننده	
	۳۰۴L	۳۲۷۵۰	۳۰۹LMo	۲۵۱۰۴L
C	۰/۰۳	۰/۰۲۵	۰/۰۳	۰/۰۲
Cr	۱۹/۱	۲۵/۸۹	۲۲	۲۵
Ni	۱۰/۸	۶/۵۴	۱۵	۱۰
Mo	-	۳/۷۸	۲/۷	۴
Mn	۲	۱/۲	۱/۶	۰/۴
Si	۰/۷۵	۱	۰/۴۵	۰/۳
N	-	۰/۲۵	-	۰/۲۵
Pb	۰/۰۸	۰/۰۳۵	۰/۰۳	۰/۰۲
S	۰/۲۶	۰/۰۱۵	۰/۰۲	۰/۰۱۵
Fe	بقیه	بقیه	بقیه	بقیه

به منظور انجام عملیات جوشکاری لازم بود تا در ابتدا لوله ها را

است. علاوه بر این مولیدن باعث بهبود مقاومت به خوردگی، به ویژه خوردگی حفره ای<sup>۲</sup> و شیاری<sup>۳</sup> می شود. به دلیل ویژگی های فوق العاده ای نظیر مقاومت به خوردگی عالی در برابر حفره دار شدن، خوردگی شیاری و ترک خوردن خوردگی تنشی<sup>۴</sup>، جوش پذیری و کارپذیری خوب، ضریب انبساط حرارتی پایین، که این فولاد از آن برخوردار است، در کاربردهایی همچون تجهیزات صنایع نفت و گاز، مبدل های حرارتی، سیستم های آب آتش نشانی، صنایع شیمیایی، مخازن تحت فشار، واحدهای نمک زدایی، سیستم های آب دریا و تانکرهای شیمیایی بکار می رود [۳-۴].

فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴L که در استاندارد با شماره UNS S30403 معرفی می شود یکی از انواع فولادهای زنگ نزن سری ۳۰۰ می باشد. به علت وجود مقادیر کم کربن در ترکیب این فولاد نسبت به انواع دیگر آلیاژهای این سری از قابلیت جوش پذیری بهتری برخوردار بوده و به طور گسترده در صنایع نفت و گاز، پتروشیمی، صنایع غذایی، تولید لبنیات، تجهیزات آشپزخانه و محصولات دارویی و کاربردهایی که حمله بین دانه ای و ترک خوردن خوردگی تنشی مورد توجه است، مورد استفاده قرار می گیرند. به طور کلی آلیاژهای آستنیتی بسیار جوش پذیر در نظر گرفته می شوند، اما چنانچه راهکارهای مناسب در راستای جوشکاری آنها مورد توجه قرار نگیرد، دچار تعدادی از مشکلات جوش پذیری می شوند. ترک خوردن ذوبی<sup>۵</sup> و انجمادی<sup>۶</sup> جوش ممکن است بسته به ترکیب شیمیایی فلز پایه و پرکننده و مقدار ناخالصی ها به ویژه گوگرد و فسفر رخ دهد [۵-۶].

جایگزینی فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی ۳۲۷۵۰ با فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴L در محیط های بسیار خورنده حاوی غلظت های بالای یون کلر به منظور کاهش و یا جلوگیری از خوردگی، ضرورت اتصال بین این دو آلیاژ را با روش جوشکاری مطرح می سازد. تحقیقات نشان می دهد در زمینه اتصال بین این دو آلیاژ تحقیقات مدونی وجود ندارد. یکی از فاکتورهای مهم در این زمینه برآورده شدن احتیاجات خواص مکانیکی است. فلزات

حرارت ورودی در این رابطه I شدت جریان، V ولتاژ و S سرعت جوشکاری است.  $\eta$  بازده قوس در این رابطه ۰/۷. در نظر گرفته شده است. جدول (۲) مشخصات جوشکاری نمونه ها را نشان می دهد.

بررسی منابع و مراجع نشان می دهد حرارت ورودی نقش به سزایی در تغییرات ریز ساختاری منطقه جوش فولادهای زنگ نزن دوفازی دارد. فولادهای زنگ نزن دوفازی بر حسب ضخامت و هندسه اتصال باید با حرارت ورودی بین ۰/۵ تا ۲/۵ کیلوژول بر میلیمتر جوشکاری شوند. در مورد فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی ۳۲۷۵۰ حرارت ورودی مجاز ۱/۵ کیلوژول بر میلیمتر و دمای بین پاسی کمتر از ۱۵۰ درجه سانتیگراد پیشنهاد شده است. فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی ۳۲۷۵۰ بایستی با حرارت ورودی بین ۰/۵ تا ۱/۵ کیلوژول بر میلیمتر جوشکاری شود تا از تشکیل فازهای ثانویه اجتناب شود [۶۱].

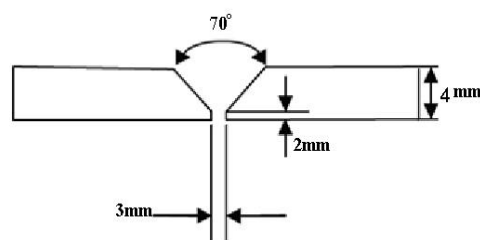
جدول(۲): مشخصات جوشکاری قوسی تنگستن - گاز

فلزپرکننده	شماره پاس	جریان (A)	ولتاژ (V)	سرعت جوشکاری (mm/s)	حرارت ورودی (kJ/mm)
۲۵۱۰۴L	۱	۱۱۰	۱۲	۱	۰/۹۲۴
	۲	۱۰۰	۱۱/۳	۰/۸۵	۰/۹۳
	۳	۸۰	۹/۵	۰/۷۴	۰/۷۱۸
۳۰۹LMo	۱	۱۱۰	۱۲	۰/۹۶	۰/۹۶
	۲	۹۰	۱۱	۰/۸۴	۰/۸۲۵
	۳	۸۵	۱۰	۰/۷۲	۰/۸۲۶

### ۳-۲ بررسی های ریزساختاری

به منظور مطالعه و بررسی ریز ساختار مناطق آلیاژهای پایه، فلز جوش، منطقه تحت تأثیر حرارت، مخلوط نشده و همچنین تحولات ریز ساختاری، از متالوگرافی استفاده شد. بدین منظور از هر اتصال دو نمونه با ابعاد مناسب تهیه شد. سطوح مورد نظر توسط سنباده های کاربیدسیلیسیم ۱۰۰ تا ۲۴۰۰ سنباده زنی شد.

از یک طرف مطابق با طرح مناسب اتصال آماده سازی نمود. بدین منظور لوله های فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی ۳۲۷۵۰ و فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴L برای اتصال لب به لب با شیار V شکل با استفاده از دستگاه فرز ماشینکاری شدند. زاویه هر لوله در ناحیه شیار جوش ۳۵ درجه و در مجموع ۷۰ درجه در نظر گرفته شد. شماتیک طرح اتصال و مشخصات ابعادی آن در شکل (۱) نشان داده شده است.



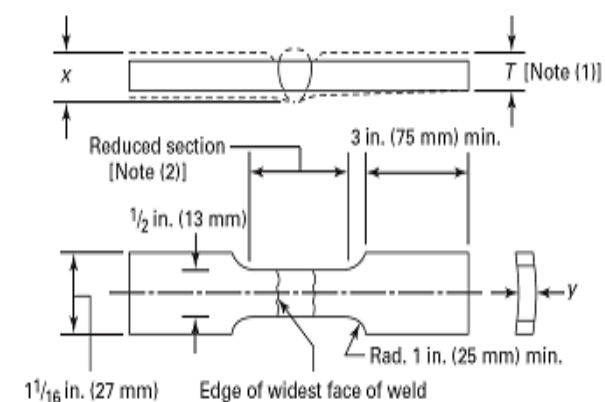
شکل(۱): طرح اتصال لوله ها.

### ۲-۲ جوشکاری نمونه ها

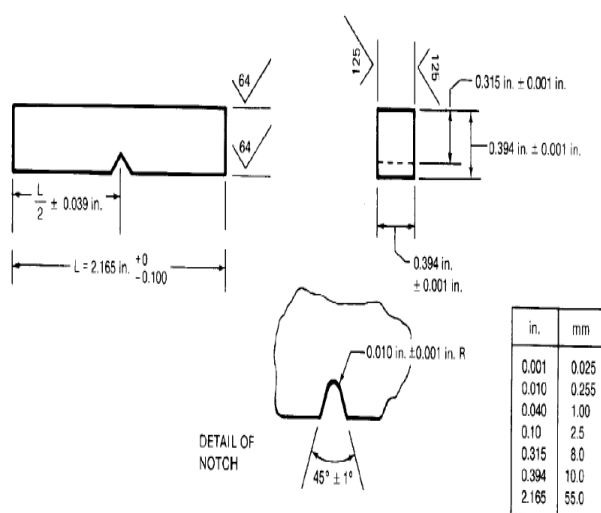
جوشکاری نمونه ها بدون پیشگرم کردن و با استفاده از فرایند جوشکاری قوسی تنگستن - گاز با جریان ثابت و با قطبیت منفی (DCEN) با استفاده از دستگاه جوش نوع گام الکتریک بر روی نمونه ها به صورت 5G (نمونه در حالت افقی) انجام شد. الکتروود مصرف نشدنی مورد استفاده، الکتروود تنگستنی حاوی ۲ درصد توریم به قطر ۲/۴ میلیمتر بود. گاز آرگون با خلوص ۹۹/۹۹ درصد با دبی ۱۰ لیتر بر دقیقه به عنوان گاز محافظ استفاده شد. با توجه به انبساط حرارتی پایین و هدایت حرارتی بالای فولادهای زنگ نزن سوپر دوفازی نسبت به فولادهای زنگ نزن آستنیتی دمای بین پاسی ۱۵۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد، تا تنش های اعوجاج ناشی از انقباض و سرد شدن فلز جوش به حداقل مقدار ممکن برسد. در هر پاس مقادیر شدت جریان، ولتاژ و سرعت جوشکاری اندازه گیری شده و با استفاده از رابطه زیر حرارت ورودی<sup>۷</sup> محاسبه گردید [۶].

$$H.I = \frac{\eta.I.V}{S} \quad (1)$$

دمای اتاق انجام شد و انرژی جذب شده در حین آزمون گزارش شد. آزمون ریز سختی سنجی ویکرز بر روی نمونه‌های تهیه شده از هر اتصال صورت پذیرفت. نمونه‌ها به صورتی آماده شد که عمود بر خط مرکزی جوش بوده و شامل فلزات پایه، فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت باشد. آزمون با استفاده از دستگاه سختی سنج مدل Buehler و با وزنه دویست گرمی انجام شد. نتایج این آزمون بصورت پروفیل سختی برای تمامی نمونه‌ها ترسیم شد و مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل (۲): جزییات نمونه برای آزمون کشش طبق استاندارد ASME Sec IX [۹].



شکل (۳): جزییات نمونه برای آزمون ضربه

طبق استاندارد AWS B4.0 [۸]

### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱ بررسی‌های ریزساختاری فلزات پایه و فلزات جوش

سپس نمونه‌ها با پودر آلومینا پولیش شدند. برای اچ نمونه‌ها نیز از اچ رنگی توسط محلول براها ( ۸۰ میلی لیتر آب مقطر، ۳۰ میلی لیتر اسید کلریدریک، ۰/۳ گرم  $k_2S_2O_5$  ) استفاده شد. پس از آماده سازی نمونه‌ها، ریز ساختار مناطق مختلف قطعات جوشکاری شده توسط میکروسکوپ نوری Olympus مدل CK40M در بزرگنمایی‌های مختلف مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین برای محاسبه درصد هر فاز از روش اندازه گیری درصد فاز فریت با فریتسکوپ Fischer مدل FMP30 استفاده شد.

#### ۲-۴ ارزیابی خواص مکانیکی

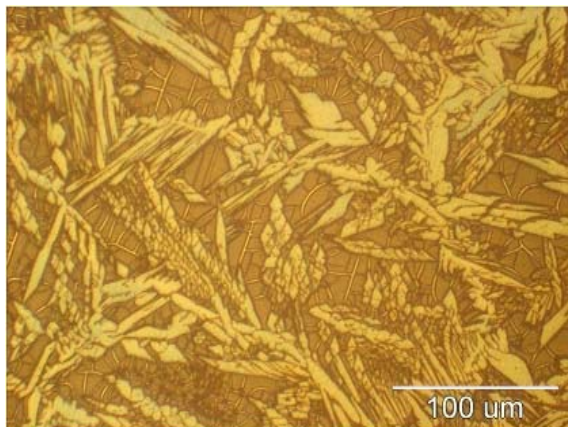
به منظور ارزیابی خواص مکانیکی بر اساس استانداردهای ASME SEC.IX و ANSI-AWS B4.0 نمونه‌های آزمون کشش، خمش و ضربه از قطعات جوشکاری شده تهیه گردید [۸]. طبق این استاندارد نمونه‌هایی برای آزمون کشش تهیه شد که منطقه ی تحت کشش شامل فلز جوش و هر یک از فلزات پایه باشد. به این منظور فلز جوش بایستی درست در مرکز نمونه واقع شود. تعداد نمونه‌های آزمون کشش برای اتصالات با ضخامت کمتر از ۲۵ میلیمتر دو نمونه می‌باشد. بدین منظور برای هر اتصال دو نمونه در نظر گرفته شد و توسط دستگاه کشش مدل Instron کشیده شد. جزییات نمونه برای آزمون کشش طبق استاندارد ASME SEC.IX در شکل (۲) نشان داده شده است. همچنین نمونه‌هایی از اتصال براساس استاندارد ASME SEC.IX جهت آزمون خمش ریشه و آزمون خمش رویه تهیه شد و سپس توسط دستگاه خمش Senze تحت بار قرار گرفت [۹]. به منظور مقایسه مقاومت در برابر ضربه فلزات جوش، نمونه‌های آزمون ضربه مطابق با استاندارد AWS B4.0 تهیه شد. طبق این استاندارد فلز جوش درست در مرکز نمونه واقع می‌شود. شیاری در مقطع عرضی نمونه جوش به عمق ۲ میلی متر و زاویه ۴۵ درجه طبق شکل (۳) بر روی نمونه و در فلز جوش ایجاد شد. از هر اتصال سه نمونه برای انجام این آزمون تهیه شد. سپس آزمون ضربه چارپی<sup>۸</sup> بر روی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه Santam و در

در شکل (۶) ریزساختار فلز جوش حاصل از فلز پرکننده ۳۰۹LMo نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود ساختار آستنیتی همراه با مقداری فریت دلتا به صورت اسکلتی است.



شکل (۶): ریزساختار میکروسکوپ نوری فلز جوش ۳۰۹LMo

شکل (۷) ریزساختار فلز جوش حاصل از فلز پرکننده ۲۵۱۰۴L را می دهد. ساختار متشکل از فاز فریت (تیره)، آستنیت (روشن) و رسوب آستنیت ثانویه (ظریف روشن) است.

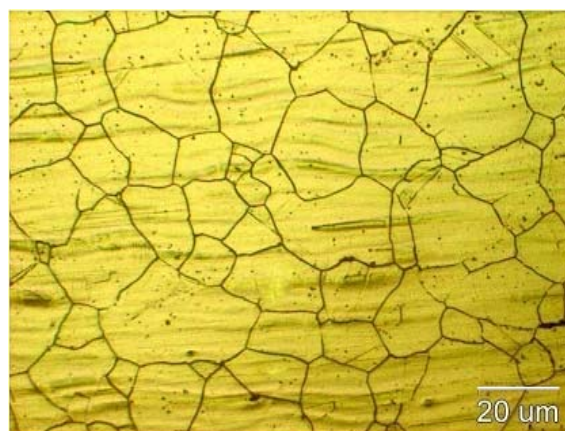


شکل (۷): ریزساختار میکروسکوپ نوری فلز جوش ۲۵۱۰۴L

### ۳-۲ نتایج حاصل از آزمون خمش

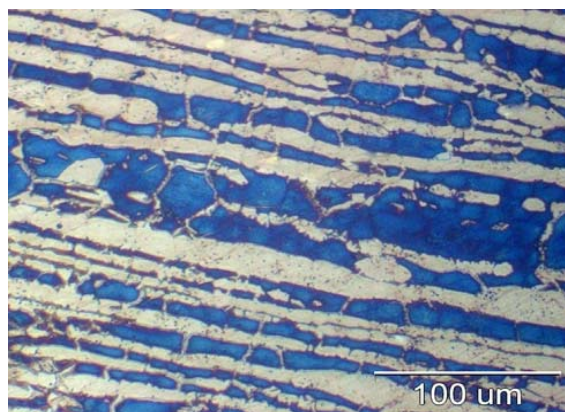
بررسی مراجع نشان داد که اگر ریزساختار بدست آمده از جوش، میزان کمی فریت در اولین پاس خود دارا باشد، ترک خوردن انجمادی جوش بسیار غیرمحمتمل خواهد بود و فلز جوش

شکل (۴) تصویر میکروسکوپ نوری ریزساختار فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴L را نشان می دهد. این ریزساختار، شبیه به ریزساختار معمول فولادهای زنگ نزن آستنیتی است. همان طور که ملاحظه می شود ریزساختار، دانه های آستنیتی هم محور به همراه مقداری فریت دلتا<sup>۹</sup> در طول جهت نورد را نشان می دهد.



شکل (۴): ریزساختار فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴L

در شکل (۵) تصویر میکروسکوپ نوری ریزساختار فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی ۳۲۷۵۰ ارائه شده است. ساختار متشکل از دو فاز فریت و آستنیت به صورت لایه ای می باشد و ساختار نوردی کاملاً واضح است. فاز روشن آستنیت و فاز تیره رنگ فریت می باشد، و فاز ثانویه<sup>۱۰</sup> دیگری که به طور قابل ملاحظه آشکار باشد، تشکیل نشده است.



شکل (۵): ریزساختار فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی ۳۲۷۵۰

را به خود اختصاص داده است، و این باعث می شود تسلیم در حین آزمون کشش تمایل به شروع از محل نرم تر (فلز پایه ۳۰۴L) داشته باشد. درشت شدن دانه ها در منطقه HAZ فلز پایه می تواند نرخ کار سختی را کم نموده و روند افزایش استحکام در این منطقه را با مشکل مواجه کند. این روند، شکست نمونه ها در منطقه فلز پایه ۳۰۴L را توجیه می کند [۱۱]. شکل (۹) درشت شدن دانه ها در فصل مشترک بین فلز پایه آستنیتی ۳۰۴L و فلز جوش با استفاده از فلز پرکننده ۳۰۹LMo و شکل (۱۰) درشت شدن دانه ها در فصل مشترک بین فلز پایه آستنیتی ۳۰۴L و فلز جوش با استفاده از فلز پرکننده ۲۵۱۰۴L را نشان می دهد. بررسی آزمون کشش نمونه های جوشکاری شده نشان داد که فلز جوش موجود در قسمت میانی نمونه، طی آزمون کشش دچار ازدیاد طول شده است. با توجه به آنکه نمونه ها از سلامت کاملی قبل از جوشکاری برخوردار بوده اند و بیشینه تنش اعمالی در قسمت میانی اعمال می شود، لذا ازدیاد طول فلز جوش رخ داده است. همچنین با توجه به استحکام کشش بالاتر فلز جوش خالص ۲۵۱۰۴L و ۳۰۹LMo در مقایسه با فلزات پایه، نمونه های جوشکاری شده استحکام کشش بالاتری را نشان می دهند و پس از آنکه میزان تنش اعمالی به حد بالاتری در مقایسه با استحکام کشش فلز پایه ۳۰۴L رسید، منطقه مجاور جوش سمت این فلز پایه تسلیم شده و شکست در آن رخ می دهد. بنابراین میزان استحکام کشش نمونه های جوشکاری شده در مقایسه با فلز پایه ۳۰۴L بالاتر است.

جدول (۴): نتایج حاصل از آزمون کشش

درصد افزایش	استحکام کشش	استحکام تسلیم	نوع
۱۷	$914 \pm 10$	$758 \pm 10$	فلز جوش ۲۵۱۰۴L
۱۸	$883 \pm 10$	$750 \pm 10$	فلز جوش
۱۵	۷۸۰	۵۵۰	فلز پایه ۳۲۷۵۰
۴۰	۵۵۰	۱۹۰	فلز پایه ۳۰۴L

به طور قابل ملاحظه ای انعطاف پذیر خواهد شد [۱۰]. نتایج حاصل از آزمون خمش در جدول (۳) آورده شده است، در نهایت هیچ گونه ترک غیر قابل قبولی در سطح نمونه ها مشاهده نگردید.

جدول (۳): نتایج حاصل از آزمون خمش فلزات جوش

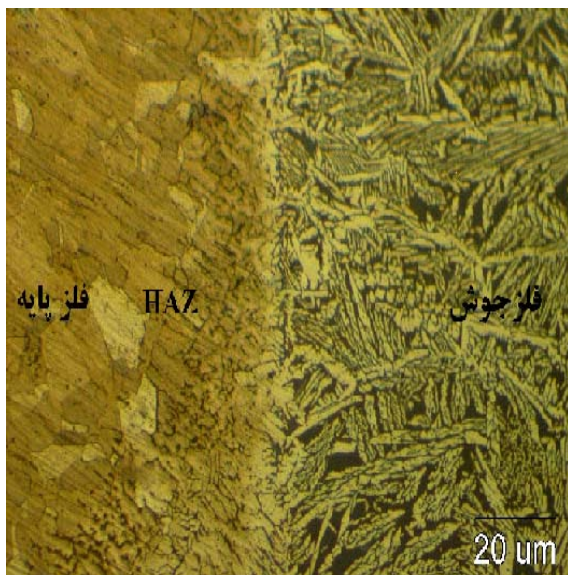
نتیجه	جهت خمش	زاویه سنبه	
قبول	ریشه	$180^\circ$	نمونه با فلز پرکننده ER309LMo
قبول	رویه	$180^\circ$	
قبول	ریشه	$180^\circ$	نمونه با فلز پرکننده
قبول	رویه	$180^\circ$	ER25104L

### ۳-۳ نتایج حاصل از آزمون کشش

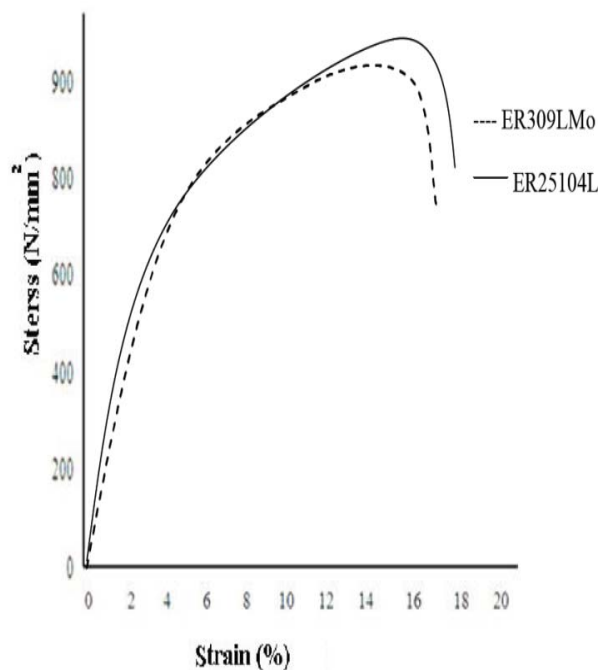
نمودار تنش - کرنش مربوط به اتصالات غیر مشابه جوشکاری شده با فلزات پرکننده ۳۰۹LMo و ۲۵۱۰۴L در شکل (۸) به عنوان نتایج آزمون کشش آورده شده است. اولین نتیجه بدست آمده از آزمون کشش آن است که تمامی نمونه های جوش شده با استفاده از فلز پرکننده ۲۵۱۰۴L و ۳۰۹LMo از منطقه ضعیف تر اتصال یعنی در فلز پایه ۳۰۴L دچار شکست شدند. این بدان معنی است که به احتمال فراوان ضعیف ترین قسمت اتصالات فلز پایه ۳۰۴L می باشد. به طور کلی محل شکست در نمونه های جوشکاری شده به استحکام نسبی اجزای مختلف نمونه در اتصال بستگی خواهد داشت. جدول (۴) نتایج آزمون کشش برای فلزات پایه و جوش را نشان می دهد.

بررسی ها نشان می دهد، که فولادهای زنگ نزن آستنیتی معمولاً در شرایط کار سرد، نورد گرم و آنیل شده جوشکاری می شوند. بنابراین مقداری نرم شدگی در منطقه تحت تاثیر حرارت<sup>۱۱</sup> رخ می دهد که به رشد دانه در مواد نورد گرم شده و یا تبلور مجدد و رشد دانه در مواد کار سرد شده مربوط است. در نتیجه وقتی که آزمون کشش عرضی نمونه های جوش انجام می شود، شکست اغلب در منطقه متأثر از حرارت در مقایسه با فلز جوش اتفاق می افتد [۶]. از سوی دیگر مطالعه منابع موجود نشان می دهد که فلز پایه آستنیتی ۳۰۴L درصد بالایی از افزایش طول





شکل (۱۰): فصل مشترک بین فلز پایه آستنیتی ۳۰۴L و فلز جوش با استفاده از فلز پرکننده ۲۵۱۰۴L



شکل (۸): نمودار تنش بر حسب کرنش مربوط به اتصالات

### ۳-۴ نتایج حاصل از آزمون ضربه

نتایج آزمون ضربه چارپی برای فلزات جوش مورد بحث در این تحقیق، در دمای اتاق در جدول (۵) ارائه شده است. مقادیر انرژی شکست برای فلزات جوش مطابق جدول (۵) نشان می دهد که در بین فلزات جوش، فلز پرکننده ۲۵۱۰۴L دارای بیشترین انرژی شکست ضربه بوده است.

جدول (۵): میانگین نتایج حاصل از آزمون

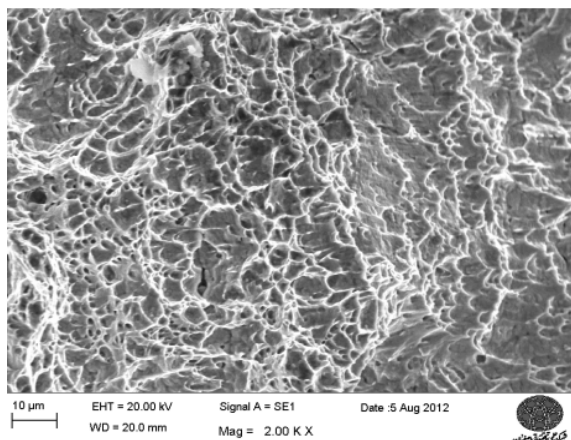
ضربه برای فلزات جوش.

نوع شکست	انرژی	
	ضربه (ژول)	نوع فلز جوش
نرم	$170 \pm 10$	فلز جوش ۲۵۱۰۴L
نرم	$90 \pm 10$	فلز جوش ۳۰۹LMo

تصاویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به سطوح شکست فلزات جوش ۲۵۱۰۴L و ۳۰۹LMo، به ترتیب در شکل های (۱۱) و (۱۲) ارائه شده است. تصاویر سطوح شکست مربوط به فلزات جوش ۲۵۱۰۴L و ۳۰۹LMo، مشخصه های یک شکست



شکل (۹): فصل مشترک بین فلز پایه آستنیتی ۳۰۴L و فلز جوش با استفاده از فلز پرکننده ۳۰۹LMo



شکل (۱۲): شکست نگاری فلز جوش ۳۰۹LMo با بزرگنمایی ۲۰۰۰

برابر

از سمت فلز پایه ۳۰۴L به سمت فلز پایه ۳۲۷۵۰ برقرار است. بررسی ها نشان داده است که ساختارهای دوفازی سختی بالاتری نسبت به ساختارهای آستنیتی دارند [۶]، از سوی دیگر، در آن طرف اتصال باگذر از فلز پایه سوپر دوفازی ۳۲۷۵۰ و در منطقه تحت تأثیر حرارت یک افزایش موضعی سختی مشاهده می شود، که علت این افزایش سختی در مقایسه با مناطق مجاور خود، مقدارفریت بیشتر در این منطقه می باشد که همین امر موجب سختی بالاتر آن می شود.

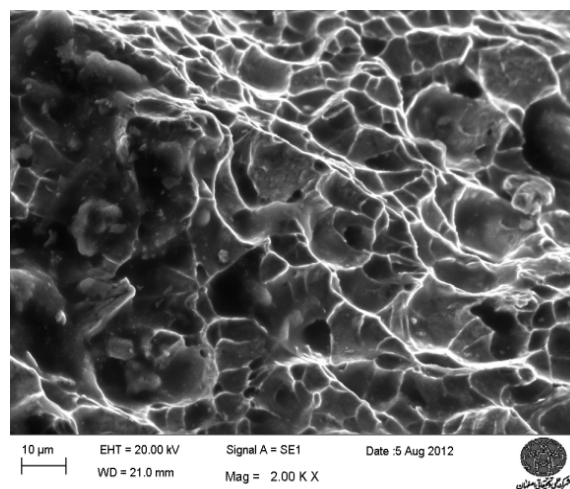
همان طور که در شکل (۱۳) مشخص است میانگین سختی فلز جوش در حدفاصل خط مرکزی جوش تا فلز پایه ۳۰۴L پایین تر از میانگین سختی در حدفاصل خط مرکزی تا فلز پایه ۳۲۷۵۰ است. علت این امر ممکن است متفاوت بودن ساختار فلز جوش با توجه به متفاوت بودن فلزات پایه در دو سمت منطقه جوش باشد. بررسی ها نشان داد که در نمونه جوش ۲۵۱۰۴L میانگین درصد فریت فلز جوش در حدفاصل خط مرکزی جوش تا فلز پایه ۳۰۴L کمتر از درصد فریت فلز جوش در حد فاصل خط مرکزی جوش تا فلز پایه ۳۲۷۵۰ است.

با توجه به آن که هدایت حرارتی فلز پایه دوفازی بیشتر از فلز پایه آستنیتی است [۱۲]، انتقال حرارت از سمت فلز پایه ۳۲۷۵۰ بیشتر است. بنابراین می توان گفت نرخ سرد شدن منطقه جوش در نواحی نزدیک به فلز پایه ۳۲۷۵۰ بیشتر از نواحی مجاور فلز پایه ۳۰۴L است. نرخ سرد شدن بیشتر موجب می شود استحاله

نرم را ارائه می کند. در تصویر سطح شکست فلز جوش ۲۵۱۰۴L حفرات و دیپل ها<sup>۱۲</sup> در ساختار به چشم می خورند. حضور دیپل های درشت در سطح شکست، نشان دهنده شکست کاملاً نرم این فاز است. تنها تفاوت نمونه ها در آزمون ضربه، اختلاف در میزان انرژی شکست آنها می باشد، همانطور که نشان داده شد، انرژی شکست فلز جوش ER۲۵۱۰۴L، بیشتر از فلز جوش ER۳۰۹LMo بود.

### ۳-۵ نتایج حاصل از سختی سنجی

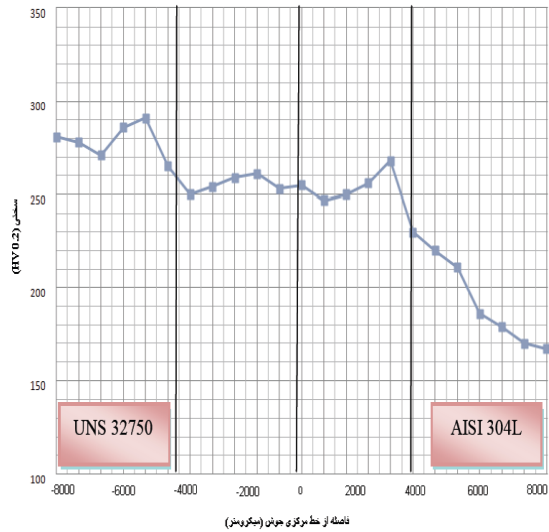
پروفیل سختی معیار مناسبی از ریزساختار تشکیل شده در مناطق مختلف محل اتصال است. شکل (۱۳) پروفیل سختی مقطع جوش مربوط به نمونه جوش شده با فلز پرکننده ۲۵۱۰۴L و شکل (۱۴) سختی مقطع جوش با استفاده از فلز پرکننده ۳۰۹LMo را نشان می دهد. به طور کلی یک روند صعودی از سمت فلز پایه ۳۰۴L به سمت فلز پایه ۳۲۷۵۰ برقرار است. بررسی ها نشان داده است که ساختارهای دوفازی سختی بالاتری نسبت به ساختارهای آستنیتی دارند [۶]، از سوی دیگر، در آن طرف اتصال باگذر از فلز پایه سوپر دوفازی ۳۲۷۵۰ و در منطقه تحت تأثیر حرارت یک افزایش موضعی سختی مشاهده می شود، که علت این افزایش سختی در مقایسه با مناطق مجاور خود، مقدارفریت بیشتر در این منطقه می باشد که همین امر موجب سختی بالاتر آن می شود



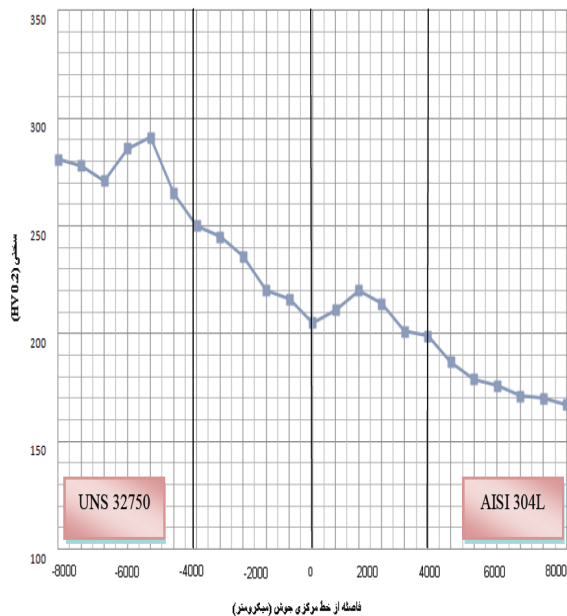
شکل (۱۱): شکست نگاری فلز جوش ۲۵۱۰۴L با بزرگنمایی ۲۰۰۰

برابر





شکل (۱۳): پروفیل سختی مقطع جوش غیرمشابه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴L به فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی ۳۲۷۵۰ با استفاده از فلز پرکننده ۲۵۱۰۴L



شکل (۱۴): پروفیل سختی مقطع جوش غیرمشابه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴L به فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی ۳۲۷۵۰ با استفاده از فلز پرکننده ۳۰۹LMo

فریت به آستنیت کمتر انجام شده و درصد فریت فلز جوش نزدیک به فلز پایه ۳۲۷۵۰ بیشتر باشد. درصد فریت بیشتر موجب افزایش سختی در این منطقه می‌گردد. در حالی که در نواحی نزدیک به فلز پایه ۳۰۴L به علت نرخ سرد شدن کمتر و در نتیجه درشت شدن دانه ها روند کاهش سختی مشاهده می شود. بنابراین می توان گفت احتمالا " تفاوت کمی که در سختی مشاهده می شود به دلیل متفاوت بودن هدایت حرارتی دو فلز پایه است.

از سوی دیگر برای فلز جوش ۳۰۹LMo با توجه به شکل (۱۴) ، نیز یک روند صعودی افزایش سختی از سمت فلز پایه ۳۰۴L به سمت فلز پایه ۳۲۷۵۰ برقرار است. با عبور از فلز جوش ۳۰۹LMo و رسیدن به منطقه متأثر از حرارت ۳۰۴L یک روند کاهش سختی مشاهده می شود. علت این کاهش سختی در منطقه متأثر از حرارت می تواند نرخ سرد شدن کمتر و در نتیجه درشت شدن دانه ها باشد. در آن طرف اتصال با گذر از فلز جوش ۳۰۹LMo و رسیدن به منطقه متأثر از حرارت سوپر دوفازی ۳۲۷۵۰ یک افزایش موضعی سختی مشاهده می‌شود، که علت این افزایش سختی در مقایسه با مناطق مجاور خود، مقدار فریت بیشتر در این منطقه می‌باشد که همین امر موجب سختی بالاتر آن می شود. اندازه گیری میزان فریت فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت در دو سمت فلزات پایه توسط دستگاه فریتسکوپ صورت گرفت که نتایج آن در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول (۶): تغییرات درصد فریت فلز جوش برای دو فلز پرکننده

فلز پرکننده	سمت ۳۰۴L	فلز جوش	سمت ۳۲۷۵۰
ER25104L	۳۵	۵۵	۶۵
ER309LMo	۲۵	۴۶	۶۰

#### ۴- نتیجه گیری

۱. درآزمون کشش، تمامی نمونه ها، از منطقه HAZ فلز پایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴L شکسته شدند.

- and Weldability of Stainles Steels”, John Wiley and Sons, New Jersey, 2005.
- [8] ASME Sec II, "Specification for Welding Rods, Electrodes and Filler Metals, Part C", American Society of Mechanical Engineers, Edition: 3<sup>th</sup>, 2004 .
- [9] ANSI/AWS B4.0 “Standard Methods for Mechanical Testing of Welds”, American Welding Society, Edition: 9th 2009.
- [10] ASME Sec IX, “Qualification Standard for Welding and Brazing Procedure”, Article II, Welding Procedure Qualification, 2001.
- [11] T. Ogawa , E. Tsunetomi, "Hot Cracking Suseptibility of Austenitic Stainles Steels", Welding Journal, Vol.61, pp.82-93, 1982.
- [12] H. Shah Hosseini, M. Shamanian & A. Kermanpur, "Characterization of Microstructures and Mechanical Properties of Inconel 617/310 Stainless Steel Dissimilar Welds", Materials Characterization, Vol.62, pp. 425-431, 2011.
- [13] j. Labanowski, "Mechanical properties and corrosion resistance of dissimilar stainless steel welds", Archives of Materials Science and Engineering, Vol.28, pp.27-33, 2007.
۲. بیشترین مقادیر سختی به علت میانگین فریت بالاتر مربوط به فلز پرکننده ۲۵۱۰۴L و کمترین مقادیر سختی به علت میانگین فریت پایین تر مربوط به فلز پرکننده ۳۰۹LMo می باشد.
۳. فلز پرکننده ER۲۵۱۰۴L به علت وجود فریت بیشتر در ریزساختار فلز جوش، دارای بیشترین انرژی شکست ضربه بود.
۴. از بین دو فلز پرکننده به کارگیری شده برای اتصال غیرمشابه فولاد آستنیتی ۳۰۴L به فولاد زنگ نزن سوپر دوفازی ۳۲۷۵۰، فلز پرکننده ۲۵۱۰۴L دارای بیشترین استحکام کششی بود.
۵. از دیدگاه خواص مکانیکی، جهت اتصال غیرمشابه سوپر دوفازی ۳۲۷۵۰ به فولاد زنگ نزن ۳۰۴L فلز پرکننده ۲۵۱۰۴L بالاترین خواص مکانیکی را بوجود می آورد.

#### ۵- مراجع

- [1] M. Niset, R. Daemen & S. Soudometal, "Welding Duplex Stainless Steels", Materials & Design, Vol.5, pp. 291–293, 1984.
- [2] D.A. Jones," Principle and Prevention of Corrosion", Prentice Hall, Upper Saddle River, 1995.
- [3] T.G. Gooch, "Corrosion behavior of welded stainless steel", Welding Journal, Vol. 75, pp.135-154, 1996.
- [4] L. Weber, P.J. Uggowitzer, "Partitioning of Chromium and Molybdenum in Super Duplex Stainless Steels with Respect to Nitrogen and Nickel Content", Materials Science and Engineering, 242, pp. 222–229, 1998.
- [5] PA. West Conshohocken, ASTM Standard Specification for Casting, Iron-Chromium-Nickel-Molybdenum Corrosion Resistant, Duplex for General Application, American Society for Testing and Materials, 1999.
- [6] ASM Handbook, " Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys", ASM International, Materials Park, Ohio, Vol.1,2002.
- [7] J.C. Lippold , D. Koteki, “Welding Metallurgy

#### ۶- پی نوشت ها

- 1-Pitting Resistance Equivalent
- 2- Pitting Corrosion
- 3- Crevice Corrosion
- 4- Stress Corrosion Cracking
- 5- Liquation Cracking
- 6- Solidification Cracking
- 7- Heat Input
- 8- Charpy Impact Test
- 9- Delta Ferrite
- 10- Secondary Phase
- 11- Heat Affected Zone
- 12- -Dimple