اتصال جوشکاری سوپر آلیاژ Hastelloy B-2 به روش GTAW و بررسی ریزساختار و خواص مکانیکی

مهدی خلاصی دزفولی[۱]، مهدی قبیتی حسب[۲*]، علی حیدری مقدم[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد - جوشکاری، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران
[۲] استادیار، گروه مهندسی مواد، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران
[۳] استادیار، مرکز تحقیقات مواد و انرژی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

دریافت: بهار ۹۸ پذیرش: بهار ۹۸

چکیده

در این پژوهش به مقایسه‌ی دوحالت جوشکاری تنگستن-گاز(GTAW) با جریان مستقیم (DCSP-GTAW) و جریان پالسی(PC-GTAW) و اثرات آن برریزساختار و رفتار مکانیکی اتصال سوپر آلیاژ پایه نیکل-مولیبدن هستلوی2-B بررسی شد.بدین منظور از فلز پرکننده2-ERNiCrMo جهت اتصال استفاده شد.جهت بررسی ریزساختاراز میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی و برای آنالیز رسوبات از طیف سنجی پراکندگی انرژی پرتوی ایکس(EDS)استفاده شد.همچنین برای بررسی خواص مکانیکی اتصال، از آزمون های کشش و ریزسختی استفاده شد.نتایج نشان داد جریان پالسی منجر به کاهش شدید اندازه دندریت ها در فلز جوش شده است.در جوشکاری با جریان مستقیم، ریزساختارفلز جوش دندریتی کشیده می باشد. نتایج سختی سنجی نشان داد که سختی فلزجوش با جریان مستقیم حدود۳۰۰ویکرز درحالی که باجریان پالسی حدود۳۳۰ویکرز است.سطح مقطع شکست ناشی ازآزمون کشش درهردو روش به صورت نرم بوده با این تفاوت که در روش پالسی دیمپل ها و حفرات ریزتر از روش مستقیم مشاهده شد.همچنین نمونه جوشکاری شده با جریان پالسی خواص کششی مطلوب تری دارد.

* **عهده‌دار مکاتبات: ghobeiti@iaud.ac.ir**

کلمات کلیدی: جوشکاری قوس تنگستن- گاز، اتصال سوپر آلیاژ هستلوی B-2، ریزساختار، خواص مکانیکی.

۱- مقدمه

سوپر آلیاژها، آلیاژهای مقاوم به حرارتی هستند که معمولاً در دماهای بالاتر از ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد در توربین‌های گازی، صنایع پتروشیمی، صنایع هوا فضا، راکتورهای هسته‌ای، زیر دریایی‌ها و غیره کاربرد فراوان دارند. از ویژگی‌های سوپر آلیاژهای پایه نیکل استفاده از آن‌ها در کاربردهای تحمل بار در دمای ۸۰٪ نقطه ذوب آن است که این ویژگی منحصر به فرد، این آلیاژ را با اهمیت کرده است. سوپرآلیاژهای محلول جامد، پر کاربردترین دسته از سوپرآلیاژهای پایه نیکل هستند. این سوپر آلیاژها در شرایط آنیل انحلالی جوش‌پذیری خوبی دارند. معمولاً فلز پرکننده برای جوشکاری آلیاژهای محلول جامد به کار می‌رود که این فلزات پرکننده اغلب آلیاژهای آستنیتی یا فلزات هم‌جنس فلز پایه هستند. سوپر آلیاژ پایه نیکلی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است هستلوی2-B می‌باشد. این آلیاژ به شکل ورق، صفحه، میله‌گرد، سیم، شمش و پوشش الکترود در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. ریزساختار آلیاژ شامل زمینه آستنیتی به همراه شبکه‌های کاربیدی است هستلوی2-Bیک سوپر آلیاژ پایه نیکل سخت شونده با محلول جامد است که به دلیل مقاومت بسیار خوب در برابر اکسیداسیون تا دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و استحکام مناسب تا دمای ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد در اجزای ثابت توربین‌های گازی مانند محفظه احتراق، پوشش محافظ، لاینر و قطعات انتهایی اگزوز و نیز اجزای راکتور خنک شونده گازی دما بالا کاربرد دارد.[۳-۱]. روش های مختلف ذوبی و حالت جامد برای جوشکاری این سوپر آلیاژ استفاده می شود که متداول ترین آن جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود تنگستنی تحت گاز خنثی (GTAW) می باشد. ساختار انجمادی فلز جوش در جریان مستقیم این فرآیند عمدتاً به صورت دندریتی است که منجر به افت خواص مکانیکی می شود [۴و۵]. برای جلوگیری از رشد دندریت ها و درشت شدن آن ها هنگام انجماد، از روش های مختلفی نظیر جوشکاری با جریان پالسی، استفاده از مواد جوانه زا در حوضچه مذاب و لرزش حوضچه جوش در حین جوشکاری می توان بهره برد [۶]. از سایر مزایای استفاده از جریان پالسی می توان به افزایش بازده انرژی قوس الکتریکی، جلوگیری از انتقال حرارت اضافی به فلز، کاهش وسعت منطقه متاثر از حرارت، افزایش پایداری قوس، کاهش تنش های پس ماند و اعوجاج اشاره کرد [۷و۸].

وانگ و همکاران[۹] طی پژوهشی به بررسی تاثیر عملیات حرارتی PWHT بر روی ریزساختاروخواص مکانیکی آلیاژhastelloyN به روش تیگ پالسی پرداختند.نتایج نشان دادنمونه های جوش داده شده بیشترین سختی نسبت به نمونه های پس از PWHT را دارا بوده، همچنین استحکام تسلیم در نمونه های جوش داده شده نسبت به نمونه های جوش بعد از PWHT دارای بیشترین مقدار، و درصد ازدیاد طول در نمونه

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.1.4.4]

های جوش پس از PWHT دارای بیشترین مقدار نسبت به نمونه های جوش گزارش شد.

پاندیت و همکاران [۱۰] طی پژوهشی به بررسی خواص اتصال در جوشکاری غیرمشابه سوپر آلیاژهای مونل ۴۰۰ و Hastelloy C-276 پرداختند. نتایج آزمون کشش نشان داد شکست در فلزات پایه و به صورت نرم رخ می‌دهد. همچنین نتایج آنالیز EDS حاکی از تشکیل ترکیبات بین فلزی در فلز جوش و HAZ بود که وجود این ترکیبات افزایش استحکام و مقاومت در برابر ضربه را در پی داشت.

وو و همکاران [۱۱] سوپر آلیاژ Hastelloy C-276 را با روش لیزر پالسی جوشکاری کردند. نتایج نشان داد که این روش باعث ریزدانگی فلزات جوش و HAZ می‌شود.

مانیکاندان و همکاران [۱۲] با استفاده از جریان مستقیم و پالسی، آلیاژ Hastelloy C-276 را با فلز پرکننده ERNiCrMo-3 جوشکاری نمودند. بر اساس مشاهدات آنها با بکارگیری جریان پالسی، ساختار سلولی درشت حاصل از جریان مستقیم تبدیل به دندریت‌های هم‌محور ریز می شود و ریز جدایش نیز کاهش یافت. آنها همچنین با انجام آزمون کشش نتیجه گرفتند که استحکام و ازدیاد طول در نمونه با جریان پالسی افزایش یافته است که علت آن ریز شدن ساختار و کاهش جدایش بود.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق از ورق سوپر آلیاژ هستلوی B-2 به ضخامت ۱ میلیمتر با ابعاد ۱۵*۱۵ سانتیمتر به عنوان فلز پایه و فلز پرکننده ERNiCrMo-2 با ترکیب شیمیایی ارائه شده در جدول(۱) استفاده شد.

طرح اتصال مطابق شکل(۱) براساس استاندارد AWS D1.1 لب به لب ساده بدون فاصله انتخاب شد.اتصال ورق ها با روش جوشکاری قوسی تنگستن تحت گاز محافظ آرگون و با جریان مستقیم و پالسی با قطبیت منفی الکترود استفاده شد. الکترود مصرف نشدنی تنگستنی ۲٪ اکسید توریم به قطر ۲/۴ میلیمتر و آرگون با خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد با دبی ۱۵ لیتر بر دقیقه به عنوان گاز محافظ به کار گرفته شد.

درفرآیندجوشکاریPC-GTAW، جریان بیشینه، جریان زمینه، فرکانس ودرصدزمان روشن بودن پارامترهای اصلی فرآیند می باشند، لذا بمنظور محاسبه حرارت ورودی از رابطه زیراستفاده گردید[۱۳].

$$H.I = \eta * \frac{I*V*60}{S*1000}$$

حرارت ورودی

در این رابطهI شدت جریان،V ولتاژو S سرعت جوشکاری است.η بازده قوس در این رابطه۰.۷ در نظر گرفته شده است. باتوجه به سیالیت حوضچه مذاب و سرعت دست جوشکار و مطالعه منابع مقدارپارامترهای جریان بیشینه، جریان زمینه وفرکانس تغییرداده شدند، تا اثرات آنها بر روی ریزساختاراتصالات موردبررسی قرارگیرد.جدول۲مشخصات جوشکاری نمونه ها را نشان می دهد.

برای مطالعه و بررسی ریزساختار فلز پایه، مناطق جوش و منطقه متاثر از حرارت، مطابق بااستاندارد ASTM E3-11 نمونه هایی از مقطع عرضی جوش جهت آماده سازی و متالوگرافی تهیه شده و پس از انجام عملیات پرداخت، سطح نمونه توسط محلول اسید اگزالیک ۱۰٪ به مدت ۱۵ ثانیه اچ شده سپس ریزساختار فلز پایه، مناطق جوش با استفاده از میکروسکوپ نوری مارکoptika مدلB-600 و الکترونی روبشی (SEM) مارکTESCAN مدلVEGA مورد مطالعه قرارگرفت جهت بررسی دقیق تر و شناسایی فازها و نواحی مختلف جوش از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به آنالیز طیف سنجی تفکیک انرژی(EDS) استفاده شد.

سختی نواحی مختلف فلزات جوش و پایه، با استفاده از آزمون سختی سنجی ویکرز تحت بار اعمالی ۱۰۰ گرم و زمان بارگذاری ۱۰ ثانیه تعیین شد. به منظور انجام آزمایش کشش، مطابق با استاندارد ENIS06892 نمونه هایی تهیه شد. برای هر اتصال دو نمونه در نظر گرفته شد و به وسیله دستگاه کشش مدل SANTAM درصد ازدیاد طول، استحکام تسلیم و استحکام کششی نمونه ها تعیین گردید.



شکل۱:شماتیک طرح اتصال

جدول۱: ترکیب شیمیایی فلز پایه و فلز پرکننده (بر حسب درصد وزنی)

عنصر	فلز پایه Hastelloy B-2	فلز پر کننده Hastelloy X
C	۰/۰۱۲۲	۰/۱۷۴
Al	۰/۱۴۵	۰/۴۷۴
Si	۰/۰۳۲۳	۰/۳۱۸
Mn	۰/۷۲۲	۰/۶۵۴
Nb	۰/۰۳۰۷	۰/۱۸۱
Cu	۰/۰۷۹۵	۱/۱۸
Cr	۰/۴۳۸	۱۸/۷۴
Ni	۶۹/۰۰	۷۰/۰۰
Mo	۲۵/۲۸	۶/۷۸
V	۰/۴۰۳	۰/۰۳۳۹
Fe	۴/۰۰	۲۴/۸۴

جدول۲: پارامترهای فرآیند جوشکاری مورد استفاده در تحقیق

نوع جریان	پارامترها	
مستقیم	جریان	۱۰ آمپر
پالسی	جریان بیشینه	۸۰ آمپر
	جریان زمینه	۲۰ امپر
	فرکانس	۳۰ هرتز
	درصد زمان روشن بودن	۵۰ درصد
	جریان بیشینه	۶۰ آمپر
	جریان زمینه	۴۰ امپر
	فرکانس	۳۰ هرتز
	درصد زمان روشن بودن	۵۰ درصد

۳- نتایج و بحث:

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

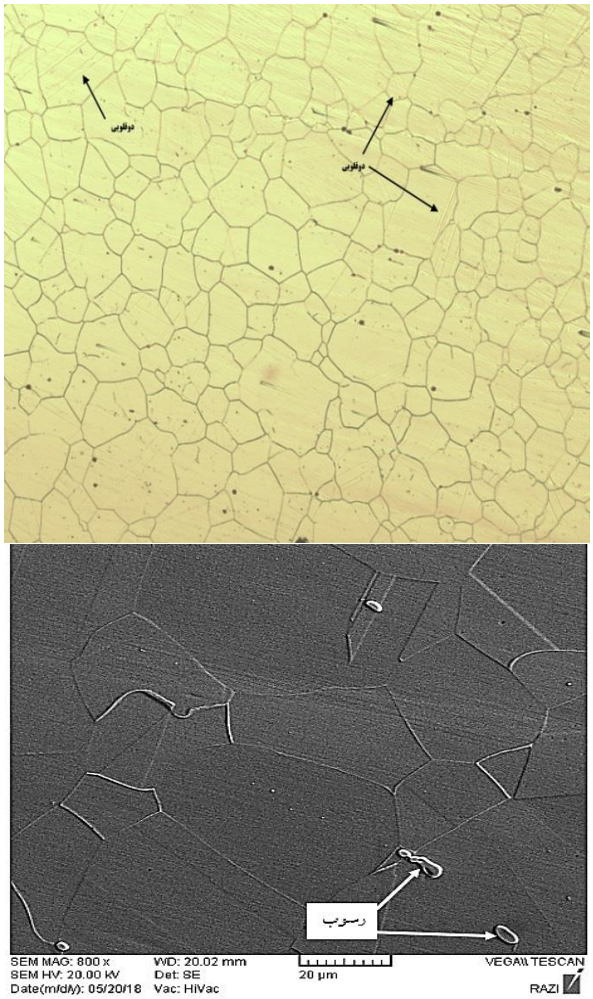
[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.1.4.4]

در شکل ۲ریزساختار فلز پایه مشاهده شده به ترتیب با میکروسکوپ های نوری و الکترونی روبشی نشان داده شده است. دانه های هم محور آستنیت همراه با رسوبات ریز است که درون دانه ها و در مرزدانه ها پراکنده شده اندکه در این ریزساختار بخوبی قابل مشاهده است. در ریزساختار فلز پایه، دوقلویی‌های آنیلی نیز مشاهده می‌شوند. این دوقلوها هنگامی تشکیل می‌شوند که در ضمن تبلور مجدد و رشد دانه‌ها، در چینش اتم‌ها و استقرار آن‌ها بر روی صفحات فشرده (۱۱۱) تغییراتی رخ دهد.به منظور بررسی دقیق تر ذرات توزیع شده در زمینه، از ذرات موجود طیف سنجی آنالیز عنصری(EDS) به عمل آمد. نتایج آنالیز عنصری از رسوبات توسط در نمودار۱ ارایه شده است. این رسوبات غنی از عناصر نیکل و مولیبدن درون دانه ها و غالبا در مرزدانه ها توزیع شده اند.

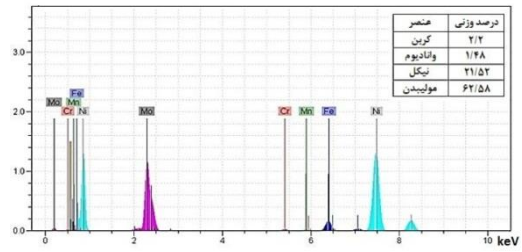
شکل۳ تصاویری از ریزساختار فلز جوش حاصل از جوشکاری تیگ با جریان مستقیم و جریان پالسی را نشان می‌دهد. برخلاف ریزساختار هم محور فلز پایه، فلز جوش در جوشکاری با جریان مستقیم، ریزساختار دندریتی کشیده دارد که ناشی از نحوه انتقال حرارت در ناحیه جوش می باشد. کمتر بودن سرعت سرد شدن می‌تواند سرعت نفوذ عناصر آلیاژی را افزایش دهد و با تشکیل مقادیر بالاتر آستنیت به رسوب فازهای بین فلزی کمک کند. همچنین سرعت سرد شدن کمتر در روش جوشکاری با جریان مستقیم، باعث می‌شود که کریستال‌های جامد در دمایی نزدیک نقطه ذوب تشکیل شوند. اگرچه جوانه‌زنی در دماهای بالا سخت است اما به دلیل بالا بودن سرعت نفوذ، جوانه‌های ایجاد شده با سرعت بیشتری می‌توانند رشد نمایند که این عامل نیز دلیلی برای درشت‌تر بودن دندریت‌ها در جوشکاری با جریان مستقیم است. نتیجه این اتفاقات کمتر بودن فضاهای بین دندریتی در جوشکاری پالسی نسبت به مستقیم است.

در فرآیند جوشکاری پالسی یک حد بالا به عنوان جریان بیشینه و یک حد پایین به عنوان جریان زمینه وجود دارد که با فرکانس مشخصی تغییر می‌کنند. در این نوع جوشکاری نقش جریان بیشینه، دستیابی به نفوذ کافی و شکل‌دهی مهره جوش می‌باشد در حالی که وظیفه جریان زمینه پایداری قوس است. از مهم‌ترین مزایای متالورژیکی استفاده از جریان پالسی، ریز دانه کردن ساختار در فلز جوش و در سطوح مشترک است. هنگام جوشکاری با جریان پالسی در نیم سیکل جریان زمینه، به دلیل افت ناگهانی انرژی قوس الکتریکی، دمای حوضچه مذاب کاهش پیدا می‌کند و فلز مذاب در شرایط تحت انجماد قرار می‌گیرد. ایجاد تحت انجماد، سبب افزایش جوانه‌زنی سطحی می‌گردد که به دلیل دمای پایین، فلز جوش مذاب در نیم سیکل جریان زمینه، پایدار خواهند بود. در واقع ذوب در نیم سیکل جریان بیشینه و انجماد در نیم سیکل جریان زمینه رخ می‌دهد. همچنین به دلیل ضربان ایجاد شده در اثر جریان پالسی که منجر به افزایش همرفت فلز مذاب و ایجاد نوسان در حوضچه جوش می‌گردد، جوانه‌های ایجاد شده به طور مؤثرتری توزیع می‌گردند. علاوه بر افزایش جوانه‌زنی، شکسته شدن نوک دندریت‌ها در اثر افزایش همرفت و ایجاد نوسان در فلز جوش اتفاق می‌افتد. نوک دندریت‌های شکسته شده نیز به عنوان جوانه‌های جدید عمل کرده و سبب ریزتر شدن ساختار فلز جوش می‌گردند .

تغییرات پالسی قوس نیز یک جریان سیال اضافی به حوضچه مذاب اعمال می‌کند که این عامل نیز باعث چرخش مذاب جلوی جبهه انجماد و کاهش دمای آن می‌شود. همان طور که از تصاویر پیداست اعمال جریان پالسی سبب ریزتر شدن دانه‌های هم‌محور فلز جوش شده است.



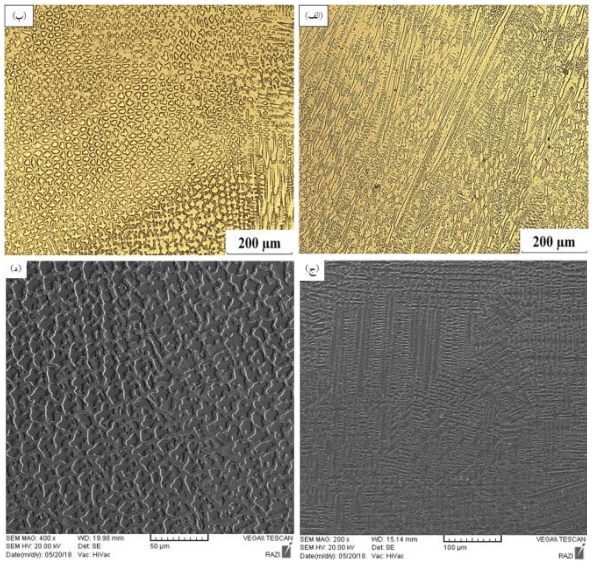
شکل۲: ریزساختار فلز پایه زیر میکروسکوپ های نوری و الکترونی روبشی



نمودار۱: آنالیز عنصری رسوبات موجود در ریزساختار فلز پایه توسط EDS

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.1.4.4]



شکل۳: ریزساختار فلز جوش در جریان مستقیم و پالسی؛ الف) جریان مستقیم، ب) جریان پالسی (جریان بیشینه ۸۰ آمپر، جریان زمینه ۲۰ آمپر، فرکانس ۳۰ هرتز و درصد زمان روشن بودن پالس ۵۰)، ج) تصویر میکروسکوپ الکترونی از فلز جوش در جریان مستقیم، د) تصویر میکروسکوپ الکترونی از فلز جوش در جریان پالسی.

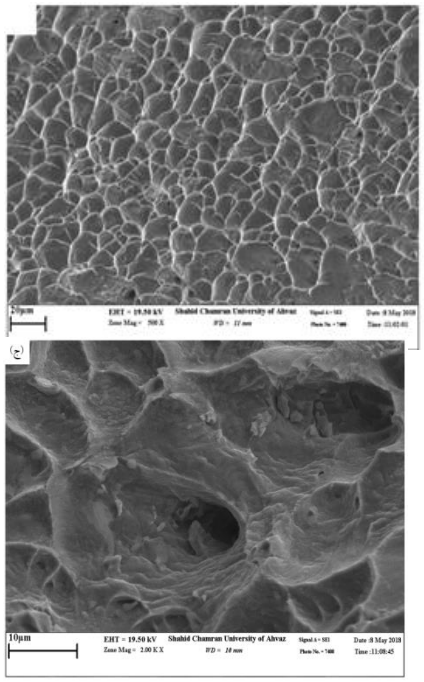
در آزمون کشش، تمامی نمونه‌ها در هر دو روش جوشکاری با جریان مستقیم و پالسی از فلز پایه، به صورت مورب و با زاویه حدود ۴۵ درجه دچار شکست شدند. این موضوع نشان می‌دهد که در هر دو حالت جوشکاری، استحکام در فلزات جوش و مناطق متأثر از حرارت مناسب و هیچ گونه عیبی در این نواحی وجود ندارد. نتایج آزمون کشش مانند درصد ازدیاد طول، استحکام تسلیم و استحکام کششی، در شرایط نمونه خام (جوشکاری نشده)، جوشکاری با جریان مستقیم و پالسی در جدول۳ آورده شده است. نمونه جوشکاری شده با جریان پالسی خواص کششی مطلوب تری دارد.

درشکل۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به سطح شکست فلز پایه ی هستلوی2-B رانشان می دهد.از آنجایی که در هر دو حالت جوشکاری پالسی و مستقیم نمونه ها از قسمت فلز پایه دچار شکست شدند، در نتیجه سطح مقطع شکست یکی از نمونه ها جهت تعیین نوع شکست مورد بررسی قرار گرفت.همانطور که مشاهده می شود این سطح شکست مشخصه های شکست نرم را نشان می دهد.در این سطوح خطوط سیلان مشخص بوده و حالت پیوسته دارد.حفرات و دیمپل ها نیز در ساختار به چشم می خورد.حضور دیمپل های درشت و حفرات قیفی شکل در سطح شکست، نشان می دهد که شکست بصورت کاملا نرم اتفاق افتاده است.

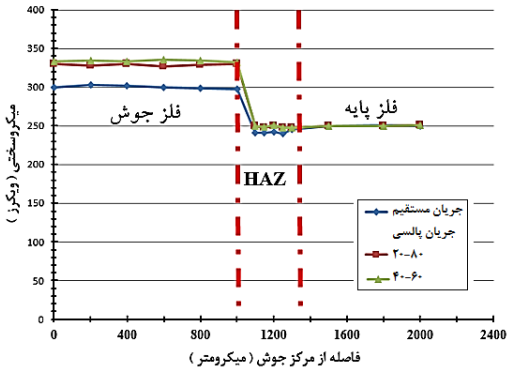
نمودار ۲ نتایج آزمون ریز سختی افقی از فلز پایه تا فلز جوش را نشان می دهد. همان طور که در نمودار۲ مشاهده می شود در هر دو روش جوشکاری با جریان مستقیم و پالسی، سختی از سمت فلز پایه به سمت فلز جوش روندی صعودی دارد. سختی فلز پایه حدود ۲۵۰ ویکرز، سختی فلز جوش با جریان مستقیم حدود ۳۰۰ ویکرز و سختی با جریان پالسی حدود ۳۳۰ ویکرز است. با اعمال جریان پالسی میانگین اندازه دندریت‌ها و رسوبات کاهش و با کاهش اندازه دانه، سختی فلز جوش افزایش می‌یابد.

جدول۳: نتایج آزمون کشش برای فلز پایه و نمونه های جوشکاری شده با جریان مستقیم و پالسی

نمونه	درصد ازدیاد طول	استحکام تسلیم (مگاپاسکال)	استحکام کششی (مگاپاسکال)
فلز پایه	۵۸/۹	۴۵۰	۸۴۹
نمونه جوشکاری شده با جریان مستقیم	۴۰/۶	۴۲۰	۶۰۱
نمونه جوشکاری شده با جریان پالسی	۵۰/۷	۴۳۲	۶۲۴
	۵۱/۰	۴۳۴	۶۶۱



شکل۴: تصویر SEM از سطح شکست نمونه ها



نمودار۲:تغییرات میکروسختی برحسب فاصله از مرکز جوش

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.1.4.4]

4- نتیجه گیری

۱- ریزساختار فلز پایه شامل دانه‌های هم‌محور به همراه رسوبات غنی از نیکل و مولیبدن و ریزساختار ناحیه جوش در حالت استفاده از جریان مستقیم بصورت ستونی کشیده بود.

۲-جوشکاری با استفاده از جریان پالسی، سبب افزایش دندریت‌های هم‌محور در مرکز فلز جوش شد. جریان پالسی موجب کاهش قابل توجه اندازه دندریتها و ریز تر شدن ساختار ناحیه جوش می شود.

۳-جوشکاری با جریان پالسی بیشترین ریزسختی نسبت به جریان مستقیم را داراست.

۴-خواص کششی درجوشکاری با جریان پالسی نسبت به جوشکاری با جریان مستقیم بهبود یافته است.

مراجع

[1] B. Yu, Y. Li, Y. Nie, H. Mei, High temperature oxidation behavior of a novel cobalt-nickel-base superalloy, Journal of Alloys and Compounds, Vol. 765, pp. 1148-1157, 2018.

[2] H. Jiang, L. Li, J. Dong, X. Xie, Microstructure-based hot extrusion process control principles for nickel-base superalloy pipes, Progress in Natural Science: Materials International, 2018, In press.

[3] A. Basak, R. Acharya, S. Das, Epitaxial deposition of nickel-based superalloy René 142 through scanning laser epitaxy (SLE), Additive Manufacturing, Vol. 22, pp. 665-671, 2018.

[4] S. Huang, M. Huang, Z. Li, Effect of interfacial dislocation networks on the evolution of matrix dislocations in nickel-based superalloy, International Journal of Plasticity, 2018, In press.

[5] H.S. Mali, D.R. Unune, Machinability of Nickel-Based Superalloys: An Overview, Reference. Module in Materials Science and Materials Engineering,Vol. 1, pp.1-5, 2017.

[6] S. Kou, Welding Metallurgy, Second Edittion, A Wiley-Interscience publication, 2002.

[7] M. Yousefieh, M. Shamanian, A.R. Arghavan, Analysis of Design of Experiments Methodology for Optimization of Pulsed Current GTAW Process Parameters for Ultimate Tensile Strength of UNS S32760 Welds, Metallography, Microstructure, and Analysis, Vol. 1, pp. 85-91, 2012.

[8] P.K. Palani, N. Murugan, Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 172, pp.1-10, 2006.

[9] C.R. Brooks, J.E. Spruiell, E.E. Stansbury, Physical metallurgy of nickel-molybdenum alloys, International Metals Reviews, Vol. 29, pp. 210-248, 1984.

[10] S. Pandit, V. Joshi, M. Agrawal, M. Manikandan, K. D. Ramkumar, N. Arivazhagan, S. Narayanan, Investigations on Mechanical and Metallurgical Properties of Dissimilar Continuous GTA Welds of Monel 400 and C-276, Procedia Engineering, Vol. 75, pp. 61-65, 2014.

[11] D. Wu, G. Ma, Y. Guo D. Guo, Study of Weld Morphology on Thin Hastelloy C-276 Sheet Of Pulsed Laser Welding, Procedia Engineering, Vol. 5, pp. 99-105, 2010.

[12] M. Manikandan, N. Arivazhagan, M. Nageswara Rao, G. Madhusudhan Reddy, Improvement of Microstructure and Mechanical Behavior of Gas Tungsten Arc Weldments of Alloy C-276 by Current Pulsing, Acta Metallurgica Sinica (English Letters), Vol. 28, pp. 208-215, 2015.

[۱۳]. ASME Sec IX, Qualification Standard for Welding and Brazing Procedure, Article II, Welding Procedure Qualification, 2001.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.1.4.4]